

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD  
MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONOMICAS



TRABAJO DE GRADO:

RENDIMIENTO Y CALIDAD DE BIOFERTILIZANTE OBTENIDO DENTRO DE  
BIODIGESTORES ARTESANALES CON DIFERENTES MEZCLAS DE AGUA Y  
EXCRETA BOVINA.

POR

GLENDALIZETH CASTILLO GONZALEZ  
BRYAN ARIEL HERNANDEZ GARCILAZO  
MOISES NOEL PARADA CRUZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO AGRONOMO

DOCENTE ASESOR: ING.  
NERY SAÚL GUEVARA

CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, NOVIEMBRE 2020

SAN MIGUEL

EL SALVADOR

CENTRO AMÉRICA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**AUTORIDADES**

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

**RECTOR**

PHD. RAÚL ERNESTO AZCUNAGA LÓPEZ

**VICE-RECTOR ACADÉMICO**

ING. JUAN ROSA QUINTANILLA

**VICE-RECTOR ADMINISTRATIVO**

ING. FRANCISCO ALARCÓN

**SECRETARIO GENERAL INTERINO**

LICDO. RAFAEL HUMBERTO PEÑA MARÍN

**FISCAL GENERAL INTERINA**

**FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL**

**AUTORIDADES**

LIC. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ

**DECANO**

LIC. ÓSCAR VILLALOBOS

**VICE-DECANO**

LIC. ISRAEL LÓPEZ MIRANDA

**SECRETARIO**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

**AUTORIDADES**

ING. JOSÉ ISMAEL GUEVARA ZELAYA

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**

ING. NERY SAÚL GUEVARA

**DOCENTE DIRECTOR:**

ING. LIC. MSC. JOAQUIN ORLANDO MACHUCA

**COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

## **AGRADECIMIENTOS.**

Este trabajo no se habría podido realizar sin la colaboración de muchas personas e instituciones que nos han brindado su ayuda, sus conocimientos y su apoyo.

Por ello es para nosotros un verdadero placer utilizar este espacio para expresarles nuestros más sinceros agradecimientos. Primero y, antes que nada, dar gracias a Dios, por estar con nosotros en cada paso que damos, por fortalecer nuestro corazón e iluminar nuestra mente y por haber puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestro soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A la Universidad de El Salvador, por habernos acogido como estudiantes de ingeniería agronómica y por brindarnos sus beneficios y habernos dado la cobertura necesaria A nuestro asesor de tesis, Ing. NERY SAÚL GUEVARA, por su apoyo incondicional, orientación y valiosos aportes que nos brindó para hacer un excelente trabajo investigación.

A los ingenieros miembros del Departamento de Ciencias Agronómicas de la Facultad Multidisciplinaria Oriental, por sus valiosas aportaciones a la investigación y por su apoyo a nuestro grupo de tesis.

Al director, Manuel de Jesús Osorio de investigación y desarrollo tecnológico del centro nacional de tecnología agropecuaria y forestal Enrique Alvares Córdova.

Ángel Gabriel Orellana Díaz y Carlos Balmore Fuentes Velásquez por sus asesorías y consejos.

## DEDICATORIA

A Dios primeramente por todo ya que me distes la vida, la salud, las fuerzas y sobre todo la dirección de mi vida, porque nunca me abandonas y siempre me sacas adelante sobre todas las adversidades.

GRACIAS a mis padres Milagro de Castillo y Julio Castillo por su apoyo incondicional, cariño, amor, comprensión, que lo tuve y lo tengo siempre sin condiciones, gracias por confiar en mí, y por darme su apoyo siempre, por sus sacrificios y su entrega para sacarme adelante, sin ustedes no lo hubiera logrado, este triunfo es suyo.

A mi esposo Marcos Carrillo (Q.E.P.D) gracias porque siempre fue mi soporte, mi amigo y mi compañero durante 11 años, gracias por el apoyo, comprensión y paciencia que tuvo conmigo. A mi hijo David Carrillo por ser lo más importante que tengo en la vida.

A mis hermanos, Tatiana, Cesar, Erlin y Julio (Q.E.P.D), por el apoyo positivo que siempre tienen conmigo.

Glenda Lizeth Castillo González

## DEDICATORIA

A Dios primeramente por todo ya que me distes la vida, la salud, las fuerzas y sobre todo la dirección de mi vida, porque nunca me abandonas y siempre me sacas adelante sobre todas las adversidades, este triunfo y todos te los debo a ti. GRACIAS DIOS.

A mi familia, especialmente a mis madres: Blanca Lidia Cruz de Parada y Manuel de Jesús Parada ya que siempre me motivaron a seguir adelante, a continuar con mis estudios y su amor incondicional que siempre han tenido hacia mi persona.

A mis hermanas, Clara Parada, Argentina Parada y a mi hermano, Rafael Parada. Por sus muestras de cariño y confianza por todos los momentos que compartimos y por su apoyo económico. Rita, Karla, gracias por sus consejos y por motivarme a seguir adelante.

A mis compañeros de tesis y amigos que con sus ayudas en algún momento de la carrera hicieron el caminar universitario más fácil.

Moisés Noel Parada Cruz

## DEDICATORIA

Dedico la culminación de mi carrera universitaria principalmente a Dios, que es el que guía todo lo que pasa y en su infinita sabiduría maneja los tiempos a la perfección, nada es casualidad ni destino, todo es plan de Dios.

A mi familia por siempre motivarme a no rendirme, principalmente a mis padres: Isrrael Antonio Hernández Merino y Nancy Eydanela Garcilazo de Hernández por su apoyo y consejo en los momentos de duda.

A ti Grecia E. Torres mi consejera y confidente, por el amor, el apoyo, la dedicación, por impulsarme a dar todo de mí, aun cuando me sentía derrotado.

A cada uno de los docentes del Departamento de Ciencias Agronómicas F.M.O, por compartir sus conocimientos y consejos para afrontar los retos por venir en la vida laboral.

A mis compañeros y amigos que con sus ayudas en algún momento de la carrera hicieron el caminar universitario más fácil.

Bryan Ariel Hernández Garcilazo



## CONTENIDOS

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INTRODUCCION .....                                    | i  |
| 2     | MARCO DE REFERENCIA.....                              | 3  |
| 2.1   | Antecedentes .....                                    | 3  |
| 2.1.1 | Historia de los sistemas biodigestores .....          | 3  |
| 2.1.2 | Empresas que utilizan biogás en El Salvador.....      | 4  |
| 2.2   | Biomasa. ....   | 6  |
| 2.2.1 | Tipos de biomasa.....                                 | 6  |
| 2.2.2 | Biomasa y su aplicación.....                          | 7  |
| 2.2.3 | Biomasa o sustrato a utilizar. ....                   | 8  |
| 2.2.4 | Procesos biomásicos. ....                             | 9  |
| 2.2.5 | Excremento.....                                       | 10 |
| 2.2.6 | La célula bacteriana.....                             | 13 |
| 2.3   | Sistemas biodigestores. ....                          | 17 |
| 2.3.1 | Biodigestor (reactor).....                            | 17 |
| 2.3.2 | Estructura de un biodigestor. ....                    | 18 |
| 2.3.3 | Clasificación de los digestores. ....                 | 19 |
| 2.3.4 | Tipos de biodigestores. ....                          | 20 |
| 2.3.5 | Factores que regulan el proceso de biodigestión. .... | 23 |
| 2.3.6 | Ventajas y desventajas de los biodigestores.....      | 27 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.4   | Biofertilizantes.....   | 28 |
| 2.4.1 | Elementos de importancia que contienen los biofertilizantes.....  | 28 |
| 2.4.2 | Los nutrientes secundarios. ....  | 37 |
| 2.4.3 | Ventajas y desventajas del biol/biosol. ....  | 40 |
| 2.5   | Marco legal e institucional. ....   | 40 |
| 2.5.1 | Leyes que intervienen en la gestión del proyecto. ....  | 41 |
| 2.6   | Estudios realizados .....   | 45 |
| 2.6.1 | Evaluación de las concentraciones en nitrógeno, fosforo y potasio de biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuna en un biodigestor de geomembrana de PVC..... | 45 |
| 2.6.2 | Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de pvc. ....  | 46 |
| 2.6.3 | Efecto de biodigestor plástico de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales de establos bovino. ....   | 48 |
| 2.6.4 | Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores.....   | 49 |
| 3     | MATERIALES Y METODOS .....  | 49 |
| 3.1   | Características de la investigación .....   | 50 |
| 3.1.1 | Ubicación .....   | 50 |
| 3.1.2 | Duración del estudio .....  | 50 |
| 3.1.3 | Factores en estudio.....  | 50 |
| 3.1.4 | Variables.....  | 50 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 3.1.5 | Diseño experimental .....                   | 81  |
| 3.1.6 | Descripción de los tratamientos. ....       | 82  |
| 3.1.7 | Unidades experimentales.....                | 82  |
| 3.2   | Metodología experimental. ....              | 82  |
| 3.2.1 | Instalación y montaje de biodigestores..... | 82  |
| 3.2.2 | Sustrato utilizado. ....                    | 83  |
| 3.2.3 | Llenado de los biodigestores.....           | 83  |
| 3.2.4 | Plan de manejo. ....                        | 84  |
| 3.2.5 | Toma de datos. ....                         | 86  |
| 3.2.6 | Equipo.....                                 | 87  |
| 3.3   | Materiales e instrumentos. ....             | 88  |
| 4     | RESULTADOS Y DISCUSION.....                 | 89  |
| 4.1   | Resultado de análisis de pH.....            | 89  |
| 4.2   | Porcentaje de Nitrógeno.....                | 94  |
| 4.3   | Porcentaje de fosforo .....                 | 100 |
| 4.4   | Porcentaje de Potasio. ....                 | 105 |
| 4.5   | Porcentaje de calcio. ....                  | 110 |
| 4.6   | porcentaje de Magnesio .....                | 114 |
| 4.7   | Temperatura interna promedio .....          | 119 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.8 Porcentaje de materia seca.....         | 124 |
| 4.9 Peso de materia seca en kilogramos..... | 128 |
| 4.10 Análisis económico .....               | 132 |
| 5 CONCLUSIONES.....                         | 135 |
| 6 RECOMENDACIONES .....                     | 137 |
| 7 CRONOGRAMA .....                          | 138 |
| 8 PRESUPUESTO.....                          | 141 |
| 9 BIBLIOGRAFIA.....                         | 142 |
| 10. ANEXOS.....                             | 153 |

| INDICE DE TABLAS E ILUSTRACIONES  | PAGINA |
|---|--------|
| Tabla 1 Concentraciones totales de N, P Y K.....                                      | 46     |
| Tabla 2 Resultados de la mezcla 1/4 Y 1/5.....  | 47     |
| Tabla 3 Parámetros en el afluente y efluente solidos del biodigestor anaeróbico ..... | 48     |
| Tabla 4 Caracterización de la calidad de dos tipos de biodigestores.....              | 49     |
| Tabla 5 Operacionalización de Variables.....  | 51     |
| Tabla 6 Distribución estadística del modelo.....                                      | 81     |
| Tabla 7 Cantidades de agua y excreta bovino total por cada biodigestor. ....          | 84     |
| Tabla 8 Materiales para la Construcción del sistema biodigestor artesanal. ....       | 88     |
| Tabla 9 Resultado de pH promedio por tratamiento.....                                 | 89     |
| Tabla 10 Resultado de pH promedio por bloques.....                                    | 92     |
| Tabla 11 Porcentaje de Nitrógeno promedio por tratamiento.....                        | 94     |
| Tabla 12 Porcentaje de Nitrógeno promedio por bloques. ....                           | 98     |
| Tabla 13 Porcentaje de Fosforo promedio por tratamiento. ....                         | 100    |
| Tabla 14 Porcentaje de fosforo promedio por bloques.....                              | 103    |
| Tabla 15 Porcentaje de Potasio promedio por tratamiento. ....                         | 105    |
| Tabla 16. Porcentaje de Potasio promedio por bloques.....                             | 108    |
| Tabla 17 Porcentaje de calcio promedio por tratamiento. ....                          | 110    |
| Tabla 18 Porcentaje de calcio promedio por bloques. ....                              | 112    |
| Tabla 19 Porcentaje de magnesio promedio por tratamiento.....                         | 114    |
| Tabla 20 Porcentaje de magnesio promedio por bloques. ....                            | 117    |
| Tabla 21 Temperatura interna promedio del estudio por tratamiento.....                | 119    |
| Tabla 22 Temperatura interna promedio por bloques. ....                               | 122    |
| Tabla 23 Porcentaje de materia seca promedio del estudio por tratamiento.....         | 124    |
| Tabla 24 Porcentaje de materia seca promedio por bloques. ....                        | 126    |
| Tabla 25 Peso de materia seca por tratamiento. ....                                   | 128    |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabla 26   | Peso de materia seca por bloque. ....   | 130 |
| Tabla 27   | Análisis Económico para cada uno de los tratamientos de la investigación (fase de campo).....           | 133 |
| Tabla 28   | Análisis Económico para cada uno de los tratamientos considerando volúmenes mayores de producción.....  | 134 |
| Tabla 29   | Experiencias documentadas relacionadas con la obtención de biogás en El Salvador. (Canales, 2010) ..... | 153 |
| Tabla 30.  | Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica. (FAO, 2011) .....                            | 155 |
| Tabla 31   | Resultado de PH en cada tratamiento. ....   | 155 |
| Tabla 32.  | Análisis de varianza para variable pH .....   | 156 |
| Tabla 33   | Prueba de Duncan del pH en los tratamientos. ....   | 156 |
| Tabla 34   | Prueba de Duncan de pH para los bloques.....  | 157 |
| Tabla 35   | Resultados de porcentaje de Nitrógeno. ....   | 157 |
| Tabla 36   | Análisis de varianza para la variable de Nitrógeno.....   | 158 |
| Tabla 37   | Prueba de Duncan de Nitrógeno por tratamiento. ....   | 158 |
| Tabla 38.  | Prueba de Duncan de Nitrógeno por bloque. ....  | 159 |
| Tabla 39 . | Resultados de porcentaje de fosforo.....  | 159 |
| Tabla 40 . | Análisis de varianza de Fosforo. ....   | 160 |
| Tabla 41   | Prueba de Duncan de Fosforo por tratamiento. ....   | 160 |
| Tabla 42.  | Prueba de Duncan de fosforo por bloque.....   | 161 |
| Tabla 43   | Resultados de porcentaje de potasio. ....   | 161 |
| Tabla 44   | Análisis de varianza de potasio.....  | 162 |
| Tabla 45   | Prueba de Duncan de potasio por tratamiento.....  | 162 |
| Tabla 46   | Prueba de Duncan de potasio por bloque. ....  | 163 |
| Tabla 47   | Resultados de porcentaje de calcio. ....  | 163 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 48 Análisis de varianza de calcio.....                               | 164 |
| Tabla 49 . Prueba de Duncan de calcio por tratamiento. ....                | 164 |
| Tabla 50 . Prueba de Duncan de calcio por bloque. ....                     | 165 |
| Tabla 51. Resultados de porcentaje de magnesio. ....                       | 165 |
| Tabla 52 Análisis de varianza de magnesio.....                             | 166 |
| Tabla 53 Prueba de Duncan de magnesio por tratamiento. ....                | 166 |
| Tabla 54. Prueba de Duncan de magnesio por bloque.....                     | 167 |
| Tabla 55 Resultados de materia seca en kilogramos.....                     | 167 |
| Tabla 56.Análisis de varianza de materia seca en kilogramos.....           | 168 |
| Tabla 57 Prueba de Duncan de materia seca por tratamiento. ....            | 168 |
| Tabla 58 . Prueba de Duncan de materia seca por bloque.....                | 169 |
| Tabla 59 . Resultados de porcentaje en materia seca. ....                  | 169 |
| Tabla 60 Análisis de varianza de porcentaje de materia seca. ....          | 170 |
| Tabla 61 .Prueba de Duncan de porcentaje materia seca por tratamiento..... | 170 |
| Tabla 62. Prueba de Duncan de porcentaje materia seca por bloque.....      | 171 |
| Tabla 63 . Resultados de temperatura interna. ....                         | 171 |
| Tabla 64 . Análisis de varianza temperatura interna. ....                  | 172 |
| Tabla 65 . Prueba de Duncan de temperatura interna por tratamiento.....    | 172 |
| Tabla 66 Prueba de Duncan de temperatura interna por bloque.....           | 173 |

|   |     |
|---|-----|
| Ilustración 1 Diseño y distribución de los tratamientos.....                        | 85  |
| Ilustración 2 Promedio de análisis de pH por tratamiento. ....                      | 91  |
| Ilustración 3 Promedio de pH por bloque.....  | 93  |
| Ilustración 4 Porcentaje promedio de nitrógeno por tratamiento .....                | 97  |
| Ilustración 5 Porcentaje promedio de Nitrógeno por bloques .....                    | 99  |
| Ilustración 6 Porcentaje promedio de fosforo por tratamiento. ....                  | 102 |
| Ilustración 7 Porcentaje promedio de fosforo por bloque. ....                       | 104 |
| Ilustración 8 Porcentaje promedio de potasio por tratamiento. ....                  | 106 |
| Ilustración 9 Porcentaje promedio de potasio por bloque.....                        | 109 |
| Ilustración 10 Porcentaje promedio de calcio por tratamiento.....                   | 111 |
| Ilustración 11 Porcentaje de calcio por bloques.....                                | 113 |
| Ilustración 12 Porcentaje de magnesio promedio por tratamiento.....                 | 116 |
| Ilustración 13 Porcentaje de magnesio promedio por bloque.....                      | 118 |
| Ilustración 14 Temperatura interna promedio del estudio por tratamiento.....        | 120 |
| Ilustración 15 Temperatura interna promedio por bloques.....                        | 123 |
| Ilustración 16 Porcentaje de materia seca promedio del estudio por tratamiento..... | 125 |
| Ilustración 17 Porcentaje de materia seca promedio por bloques. ....                | 127 |
| Ilustración 18 Peso de materia seca por tratamiento .....                           | 129 |
| Ilustración 19 Peso promedio de materia seca por bloques.....                       | 131 |
| Ilustración 20 Charla previa al proyecto.....                                       | 174 |
| Ilustración 21 Pesado de excreta bovina. ....                                       | 174 |
| Ilustración 22 Verificación de uniones.....   | 175 |
| Ilustración 23 Mezcla del material orgánico .....                                   | 175 |
| Ilustración 24 mezcla de material .....   | 176 |
| Ilustración 25 Distribución del área del experimento.....                           | 176 |
| Ilustración 26 Prueba de secado de tamices. ....                                    | 177 |



|  |     |
|--|-----|
| Ilustración 27 Colección de material seco.....   | 177 |
| Ilustración 28 Entrega de muestras en CENTA San Andrés. ....   | 178 |
| Ilustración 29 Éter de petróleo y ácido sulfúrico.....   | 178 |
| Ilustración 30 Relación de la temperatura y la tasa de crecimiento para un psicrófilo, mesófilo, termófilo y termófilo extremo. (Aguilar, 2014)..... | 179 |
| Ilustración 31 Composición del biogás en función del pH de la mezcla de materias primas. (FAO, 2011).....  | 179 |
| Ilustración 32 Respuesta de análisis químicos del CENTA SAN ANDRES .....   | 180 |
| Ilustración 33 Cotización Freud. ....  | 181 |

## RESUMEN.

Los residuos de las ganaderías como el estiércol bovino, generan grandes focos de contaminación al no ser tratados adecuadamente. La implementación de biodigestores se presenta como una alternativa para tratar estos residuos y convertirlos en un excelente abono orgánico para los cultivos. Teniendo como objetivo general, evaluar rendimiento y calidad de biofertilizante obtenido a partir de biodigestores artesanales, utilizando 3 mezclas de agua y excreta bovina. T1: 25% agua, 75% excremento bovino, T2: 50% agua, 50% excremento bovino, T3: 75% agua, 25% excremento bovino. A esto y mucho más se le atribuye la importancia de la presente investigación, la cual tuvo una duración de 90 días, del 7 de diciembre del 2018 hasta el 08 de marzo del 2019. En la variable de pH no se encontró diferencia estadísticamente, pero los valores obtenidos mostraron que están en los límites aceptables T1: 6.67, T2: 6.57 y T3: 6.58. Por otra parte, el porcentaje de nitrógeno estadísticamente no se encontró diferencia significativa, por lo tanto, en los tres tratamientos se comportó igual. El sustrato que obtuvo el más alto porcentaje de fósforo fue el Tratamiento 2, que contiene igual contenido de estiércol bovino y agua con un promedio de (0.63%), le sigue el Tratamiento 1 con mayor contenido de estiércol bovino de (0.62%) y el Tratamiento 3 de menor cantidad de estiércol bovino (0.53%). Respecto al porcentaje de potasio estadísticamente no es significativo, sin embargo, los datos obtenidos fueron T1: (1.66%), T2: (1,30%) y T3: (0.79%). Además, en el análisis de calcio se encontró que el Tratamiento 2 fue el que tuvo el mayor porcentaje (1.72%), siguiendo así el Tratamiento 1 de (1.69%) y el Tratamiento 3 de (1.41%). En cuanto al porcentaje de magnesio estadísticamente es significativo, teniendo el Tratamiento 1 con 0.76%, siguiendo con el Tratamiento 2 con 0.64% y en último dato el Tratamiento 3 con 0.49%. De acuerdo a la cantidad y porcentaje de materia seca en biofertilizantes el de mayor cantidad y porcentaje fue el Tratamiento 1 con 0.92kg y 19.93%. Respectivamente siguiendo el Tratamiento 2 con 0.51kg y 10.82% y por último el Tratamiento 3 0.27kg y 5.86% para cada una de las variables. Cabe

considerar, que por otra parte la variable de temperatura interna mostró estadísticamente significancia con mayor temperatura el tratamiento 2 con 31.53°C, luego el tratamiento 3 con 31.37°C y por último el T 1 con menor temperatura de 30.55°C. Por lo tanto, realizando el análisis económico se determinó la utilidad neta y la relación B/C de cada uno de los tratamientos. Describiendo, además, que en los tres tratamientos se encontró pérdidas en la utilidad, debido que la producción fue menor. Así mismo en el B/C obteniendo los siguientes datos Tratamiento 1 \$ -107.96 (b/c \$ 0.32), Tratamiento 2 \$ -131.05 (b/c \$0.18) y Tratamiento3 \$ -144.47(b/c \$0.09)

**Palabras claves:** biodigestores, excreta, biofertilizantes, sustratos, tratamiento, estiércol bovino, abono orgánico, pH.

## ABSTRACT

Residues from livestock, such as bovine manure, generate large sources of contamination by not being treated properly. The implementation of biodigesters is presented as an alternative to treat this waste and turn it into an excellent organic fertilizer for crops. With the general objective of evaluating the performance and quality of the biofertilizer obtained from artisan biodigesters, using 3 mixtures of water and bovine excreta. T1: 25% water, 75% bovine excrement, T2: 50% water, 50% bovine excrement, T3: 75% water, 25% bovine excrement. The importance of the present investigation is attributed to this and much more, which lasted 90 days, from December 7, 2018 to March 8, 2019. No statistically difference was found in the pH variable, but The values obtained showed that they are within the acceptable limits T1: 6.67, T2: 6.57 and T3: 6.58. On the other hand, the percentage of nitrogen statistically did not find a significant difference, therefore, in the three treatments it behaved the same. The substrate that obtained the highest percentage of phosphorus was Treatment 2, which contains the same content of bovine manure and water with an average of (0.63%), followed by Treatment 1 with a higher content of bovine manure of (0.62%) and Treatment 3 with a lower amount of bovine manure (0.53%). Regarding the percentage of potassium, it is not statistically significant, however, the data obtained were T1: (1.66%), T2: (1.30%) and T3: (0.79%). In addition, in the calcium analysis it was found that Treatment 2 had the highest percentage (1.72%), thus following Treatment 1 of (1.69%) and Treatment 3 of (1.41%). Regarding the percentage of magnesium, it is statistically significant, having Treatment 1 with 0.76%, continuing with Treatment 2 with 0.64% and lastly Treatment 3 with 0.49%. According to the amount and percentage of dry matter in biofertilizers, the highest quantity and percentage was Treatment 1 with 0.92kg and 19.93%. Respectively following Treatment 2 with 0.51kg and 10.82% and finally Treatment 3 0.27kg and 5.86% for each of the variables.

It should be considered that, on the other hand, the internal temperature variable showed statistically significance with higher temperature treatment 2 with 31.53 ° C, then treatment 3 with 31.37 ° C and finally T 1 with lower temperature of 30.55 ° C. Therefore, performing the economic analysis, the net profit and the B / C ratio of each of the treatments were determined. Describing, in addition, that in the three treatments losses in utility were found, due to the fact that the production was lower. Likewise, in the B / C obtaining the following data Treatment 1 \$ -107.96 (b / c \$ 0.32), Treatment 2 \$ -131.05 (b / c \$ 0.18) and Treatment 3 \$ -144.47 (b / c \$ 0.09)

## 1 INTRODUCCION

En nuestro país, la ganadería bovina se ha convertido en uno de los rubros más ampliamente difundidos; por otra parte, su implementación, se obtienen grandes beneficios para el ser humano como productos de alimentación básica: carne/leche, en cuanto a sus aspectos positivos el rubro de la ganadería bovina ha sido criticada; debido al mal manejo que les da a los desechos orgánicos de origen animal, los cuales generan muchos daños ambientales.

Debe señalarse en la búsqueda de una alternativa para la problemática se han probado diversas prácticas de mitigación, siendo una de las principales el sistema biodigestor.

Sin duda el manejo y procesamiento de las excretas bovinas en un biodigestor mitiga los problemas de contaminación de aguas superficiales y subterráneas, daños a la atmosfera y a los suelos, desperdicio de espacio cuando se acumula en montones de excretas, propagación de enfermedades en la misma ganadería por la proliferación de moscas, y genera un ahorro a los agricultores con el aprovechamiento del abono orgánico producido.

De esta manera en el sistema biodigestor se conserva la biomasa herméticamente; la cual es víctima de los procesos anaerobios y como subproductos de la implementación de estos sistemas se obtiene biogás, con diversos usos y un muy deseable biofertilizante, rico en nutrientes esenciales para los cultivos agrícolas.

En este estudio se evaluó por medio del diseño de bloques completamente al azar, el rendimiento y calidad de biofertilizante obtenido a partir de biodigestores artesanales utilizando 3 mezclas de agua y excreta bovina para promover el buen manejo de las excretas. Para

estas 3 mezclas de agua y excreta bovina se determinó si afectan o no la calidad y rendimiento de biofertilizantes. Se explica en este estudio que se comparó la cantidad de biofertilizante (base seca y base húmeda) resultante de tres diferentes mezclas proporcionales de agua y excreta, se midió el PH, se analizó el porcentaje de nitrógeno, fosforo y potasio (base seca) y se estudiaron los diferentes aspectos de la biomasa como lo son: las características, componentes, su función de alimento para las bacterias y su relación directa con los biodigestores, dentro de los cuales se llevarán a cabo los procesos de digestión anaerobia.

## 2 MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 *Historia de los sistemas biodigestores*

En la actualidad el estudio de nuevas energías y energías sostenibles, especialmente el biogás para el área pecuaria, son el diario vivir de muchas investigaciones alrededor del mundo, pero esto no es para nada nuevo.

(Deublein y Steinhauser, 2008) Según escritos antiguos, podemos afirmar que la utilización de los desechos orgánicos para producir energía se originó mucho antes del nacimiento de Cristo, ya que los sumerios, (civilización situada en la zona sur de la antigua Mesopotamia, entre los ríos Éufrates y Tigris) realizaban la “limpieza” de residuos orgánicos de forma anaeróbica allá por el año 3000 antes de Cristo. (p. 447)

(Brakel, 1980; Lusk, 1998) Es durante el siglo XVI cuando se recogen por primera vez escritos de la antigua Persia, donde se emplea el biogás para un fin más “parecido” a lo que conocemos en la actualidad. (p. 3)

Según Redel (2018) Fue en el siglo XVIII cuando se detectó la presencia de gas metano (CH<sub>4</sub>) en la descomposición del biogás, y posteriormente en el siglo XIX experimentos aislados dirigidos por L. Pasteur demostraron la factibilidad de aprovechar la capacidad de combustión del gas metano (CH<sub>4</sub>) con fines energéticos. A fines del siglo XIX y durante las primeras décadas de nuestro siglo en varias ciudades de Europa, India y Estados Unidos se instalaron plantas para el tratamiento de aguas negras, en donde los sedimentos de alcantarillado eran sometidos a digestión anaeróbica. El gas producido se utilizó para el alumbrado público o como parte del combustible necesario para operar la planta.

La crisis de los combustibles (Durante la 2da guerra mundial) forzó que las investigaciones en esta área aumentaran, impulsando el desarrollo a pequeña y gran escala, entonces en varios países europeos se desarrollaron y difundieron plantas para la obtención



del biogás en el medio rural, con el fin de hacer funcionar tractores y automóviles, debido a la escasez de combustibles fósiles como el petróleo. Durante la década de 1950, en Asia y particularmente en la India, se desarrollan modelos simples de cámaras de fermentación más conocidos como biodigestores, para la producción de biogás y bioabono apropiados para hogares aldeanos y alimentados con estiércol y desechos vegetales. En china, India y Sudáfrica, debido a la escasez de recursos económicos los sistemas de biodigestión se han difundido y desarrollado de tal manera que en la actualidad se cuentan con técnicas de generación gaseosa a pequeña y gran escala. Afirmando Redel (2018)

De acuerdo Ardón (1992) Pese a no ser el pionero en el tema, China es hoy la región que tiene un mayor número de este tipo de instalaciones, aproximadamente 6.7 millones.

En El Salvador el biogás comenzó a utilizarse en los años setenta, debido al aumento en el precio del petróleo, lo que hizo estudiar alternativas en la producción de energía; a partir de la pulpa de café y las aguas residuales resultantes del beneficiado húmedo del café. (p.35)

(Canales, 2010) Propone la línea temporal en la que el que el biodigestor en el país empezó a tomar peso en 1960. (Cuadro A-1)

### **2.1.2 Empresas que utilizan biogás en El Salvador**

Según (Guevara, 2016) En El Salvador existen diferentes empresas y organizaciones, que han implementado la utilización del biogás dentro de sus procesos o actividades. A continuación, se mostrarán las experiencias de unas de ellas:

#### **2.1.2.1 Industrias la constancia.**

Industrias La Constancia una empresa subsidiaria de SABMiller, líderes en la producción de bebidas en El Salvador y a nivel mundial, las cuales incluyen agua envasada, bebidas carbonatadas, jugos, néctares, isotónicos y cervezas.

Dicha empresa, con la finalidad de reducir el efecto de contaminación de las aguas residuales, debido al proceso de elaboración de cervezas, instaló en el año 2008 una planta

de tratamiento de aguas residuales con dos fines: uno, el ya mencionado tratamiento de aguas residuales y el otro, la generación de biogás, el cual es utilizado como combustible para las calderas dentro de la planta. La materia prima la cual es el agua a tratar, proviene de varios procesos que se realizan en la elaboración de la cerveza dentro de la planta. Estas aguas contienen ciertos porcentajes de levaduras, polvos e inclusive materia orgánica vegetal

El agua proveniente de los procesos llega a la planta de tratamiento por tuberías de acero inoxidable, por medio de la gravedad, las cuales se almacenan en un pozo conocido como estación de bombeo, y en la cual se poseen dos bombas sumergidas que transportan el influente (Líquido) hacia una criba automática, en la cual, por medio de un proceso de filtrado (Tamizado), se separan todas las partículas sólidas mayores a 1 mm de diámetro. Dichos sólidos son removidos y llevados a un relleno sanitario. Una vez el influente (Líquido) es filtrado, se transporta por gravedad al siguiente proceso llamado proceso anaeróbico. (p. 172).

#### **2.1.2.2 Biodigestor granja San José.**

Afirmo Guevara (2016) La granja San José está ubicada en el km 63, de la carretera que conduce a San Isidro y Sensuntepeque. Ha sido financiado por la Alianza en Energía y Ambiente para Centroamérica (p.174)

(ILC reporte de desarrollo sostenible, 2016) En su reporte de desarrollo sostenible del año 2016 reportaron la Optimización en el proceso de retorno de condensado, logrando una recuperación del 94% en Planta Nixapa. Esto contribuye a la reducción de los gases del efecto invernadero, al captar metano y desplazar el uso de los combustibles fósiles. La construcción de tres biodigestores de iguales dimensiones que se utilizan para el tratamiento de las excretas de los cerdos provenientes de la granja ya mencionada, por lo que previamente fueron dimensionados para ajustarse a la disponibilidad y producción de las excretas porcinas, así como a la topografía del lugar de construcción. El diseño pertenece al Arq. Guatemalteco Manuel Thai.

En 2016, Guevara concluyo que los tres biodigestores se construyeron en base a los siguientes criterios: facilidad de construcción, su principio de funcionamiento se basa en el desplazamiento de la materia (cerdaza y otros residuos orgánicos) por medio de la gravedad, la instalación al fondo de los digestores, de lagunas de oxidación para los efluentes, funciones de operación y mantenimiento sencillas, costos bajos y largo tiempo de vida útil. Habiéndose evaluado todos estos aspectos y realizados. (p. 176)

## **2.2 Biomasa.**

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, es utilizada en la creación de energías renovables debido a que su contenido energético proveniente de la energía producida por el sol cuando este entra en contacto con las plantas, con el cual estos se alimentan mediante el proceso de la fotosíntesis. (EPEC,2018)

### **2.2.1 Tipos de biomasa.**

Según (García, 2012) Existen diferentes tipos de biomasa siendo mencionados a continuación:

#### **2.2.1.1 Biomasa natural.**

Es aquella producida por todos los desechos forestales en los ecosistemas naturales, en ellos no existe intervención de los seres humanos.

Teniendo la desventaja que la explotación de esta biomasa sea inviable económicamente, debido a que usarla requiere transportar el recurso al lugar de utilización. (Planta de biomasa, 2013).

#### **2.2.1.2 Biomasa residual seca.**

Se produce por la intervención de los seres humanos, cuando este ejerce actividades ya sea agrícola o forestal. (García, 2012).

### **2.2.1.3 Biomasa residual húmeda.**

Está conformada por desagüe de efluentes en zonas urbanas e industriales, por ejemplo, los residuos formados en las fincas ganaderas. (Construmatica, 2010)

### **2.2.1.4 Cultivos energéticos.**

(EPEC,2018) Su única finalidad es producir biomasa transformable en combustible.

Incluye los cereales, oleaginosas, remolacha y los cultivos lignocelulósicos.

## **2.2.2 Biomasa y su aplicación.**

Según Fuentes (2018) La biomasa es utilizada como combustible para cocina, calefactor, máquinas de vapor, entre otras funciones. En el pasado debido a la gran demanda en los países desarrollados, la biomasa no daba abasto a la gran exigencia de energía, por lo tanto, comenzó a promocionarse el uso de carbón mineral y demás combustibles fósiles, disminuyendo así el uso de la biomasa en grandes cantidades y explotando así los derivados del petróleo.

Pese a su menor difusión la biomasa posee propiedades renovables ya que es una fuente no contaminante de energía, haciendo de esta materia prima; una alternativa conveniente para disminuir la contaminación y al mismo tiempo una forma de desarrollo en funciones industriales.

Además, pudiendo ser utilizada para la generación de biofertilizante, tomando en cuenta el bajo costo de producción y una alternativa amplia para el manejo de los desechos de origen animal. El proceso de tratamiento en plantas de producción de biogás y biofertilizante contribuye a la generación de empleo, el cual hará que se activen las economías de algunos lugares ubicados en zonas rurales y puede llegar a

considerarse como una opción de alternativa en el futuro para el progreso industrial y desarrollo económico del país.

Algunas de las características de la energía y fertilizante, generada mediante la biomasa son: el bajo contenido de carbono que posee, la alta concentración de oxígeno y compuestos volátiles que se puede llegar a formar de manera lenta; donde éstos compuestos volátiles concentran el mayor porcentaje del poder calorífico que depende del tipo de materia prima considerada y de la humedad que ésta tiene, mayor disponibilidad de nutrientes para el suelo. (p.76)

Desde el punto de vista medioambiental se considera que el aprovechamiento energético no influye en el aumento de gases efecto invernadero, debido a que la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es neutro, ya que todo gas y biofertilizante producido es absorbido por las plantas sirviendo así para el crecimiento de estas hasta que tenga el punto de producción. (ONU 2008).

### **2.2.3 Biomasa o sustrato a utilizar.**

(Pérez, 2010) Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende, se busca que sea lo más alto posible.
- El sustrato debe estar libre de agentes patógenos que pueden inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del sustrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable.

#### **2.2.4 Procesos biomásicos.**

Según Probiomasa (2012) existen diversos procesos de tratamiento de biomasa, previo a su utilización, entre los que se pueden mencionar: la combustión, gasificación, pirolisis, procesos anaerobios, procesos aerobios.

##### **2.2.4.1 Combustión.**

Este tratamiento tiene la capacidad de obtener energía térmica por medio del desprendimiento de calor, utilizando combinaciones de oxidantes del combustible con oxígeno del aire.

##### **2.2.4.2 Gasificación.**

Esta es realizada en recipientes cerrados donde es quemada la biomasa con cantidades controladas de aire, con el fin de no tener una combustión completa en el interior, dando como resultado un gas combustible que puede ser utilizado para producir energía térmica.

##### **2.2.4.3 Pirolisis.**

Proceso donde es quemada una porción controlada de biomasa y al igual que la gasificación con una porción controlada de aire, para obtener carbón vegetal y también producir combinaciones de combustibles líquidos y gaseosos.

Otros tratamientos biomásicos son producidos mediante procesos bioquímicos que utilizan la acción de microorganismos para degradar los residuos orgánicos, estos se pueden realizar en dos procesos que son:

##### **2.2.4.4 Procesos anaerobios**

Este es producido en recipientes cerrados llamados reactores o biodigestores y generalmente utiliza residuos animales o vegetales, el cual en su fermentación o degradación produce biogás o gas combustible compuesto por CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>.

#### **2.2.4.5 Procesos aerobios**

Se utiliza material biodegradable con elevados contenidos de azúcares o almidones, pasando por un proceso de trituración para después agregarlo a un recipiente hasta alcanzar una etapa de fermentación y así, ser destilado y rectificado, dando como resultado la formación de alcoholes o combustible líquido.

La utilización de diferentes mezclas de la biomasa incluyendo el excremento y estiércol, lo cual ha sido una de las deyecciones de mayor importancia para la elaboración de fertilizante orgánicos que a medida ha ido evolucionando debido al interés agrícola pecuario por su alternativa de los desechos sólidos generando a menor costo aumentando la fertilidad de suelo y mayor producción del mismo. (p. 5-7)

#### **2.2.5 Excremento.**

Es una mezcla de materia fecal y alimento rechazado, el cual tiene procedencia del tracto digestivo de los animales y en cuya composición también pueden aparecer restos de jugo gástricos enzimas, células de la mucosa intestinal, restos de distintos materiales de sus camas, como la paja de cereales, etc. (Cajamarca 2012)

##### **2.2.5.1 Consistencia del excremento.**

Bavera, (2006) afirmo que el excremento animal está conformado por agua y alimentos sin digerir o alimentos muy finos, por ello su estado inicial afectara los posibles usos y manejos que se le puedan dar. El excremento es clasificado según su consistencia en:

**Líquida o chirle:** es expulsadas en forma de chorros discontinuos, y al caer se extiende en el suelo de manera plana, presenta un color verde oscuro cuando el ganado está expuesto mayormente al consumo de pastoreo. Blanda: tiene una consistencia pastosa en la que se puede observar granos enteros y fibras largas, se amontona en un lugar específico teniendo una altura aproximada de 1 cm, presenta un color gris claro.

**Correcta o balanceada:** es de consistencia espesa, suele amontonarse con una altura entre 2 a 3 cm, y su formación tiene bordes curvos y suaves al tacto, es homogéneos y levemente pastosos.

**Firme:** contiene una consistencia moderadamente espesa, presentada en forma de torta cónica truncada baja, o más alta que la balanceada, estas son excretas suficientemente secas para no quedar pegadas en la suela.

**Dura:** son excretas que presenta una coloración marrón oscuro en forma de rodajas o anillos duros, secos y se amontonan en pequeños grupos. (p. 4-6)

**Blanda:** tiene una consistencia pastosa en la que se puede observar granos enteros y fibras largas, se amontona en un lugar específico teniendo una altura aproximada de 1 cm, presenta un color gris claro.

#### **2.2.5.2 Excremento de ganado bovino.**

Sierra, (2019) menciona que se puede considerar como el de mayor relevancia, por ser el más producido gracias a la extensión de este sector. El excremento bovino es el más usado en correcciones de terreno, ya que cuando se busca evitar la erosión este da consistencia a la tierra arenosa y móvil, ligereza al terreno pedregoso y refresca los suelos cálidos, calizos y margosos, además de su notorio aporte mineral e impulsó a la actividad biológica, con lo cual se incrementa la fertilidad del suelo. Este es ampliamente utilizado para fertilizar el suelo por la neutralidad de su PH en comparación a la de otro tipo de ganado, lo cual evita que los suelos se vuelvan ácidos. Eso junto con sus altos contenidos de minerales y sus bajos costos lo convierten en un fertilizante deseable.

El valor del excremento de los animales como elemento importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, es tan obvio, que parece necio repetir la conveniencia de emplearlo en la fabricación de abonos orgánicos. (ICA, 1972)



### **2.2.5.3 Mal manejo del excremento bovino.**

Según Pinos, (2012) Las excretas bovinas son ricas en nitrógeno y otros minerales esenciales para las plantas, ya que los bovinos al ser rumiantes en su digestión participan microorganismos anaerobios; los cuales en su proceso metabólico degradan los alimentos y forman parte vital de la digestión de estos animales. El metano(CH<sub>4</sub>) es uno de los principales gases de efecto invernadero y es mucho más dañino que el ya bien conocido CO<sub>2</sub>, de todas las formas que los rumiantes poseen para liberar o expulsar este gas de su interior, la más representativa es la excreción fecal; ya que todas estas excretas van no solo cargadas del gas si no también llevan parte de la población de bacterias anaerobias en su interior, las cuales continúan actuando y así liberando gas metano (CH<sub>4</sub>) hasta lograr descomponer la excreta o que su ciclo de vida concluya.

El problema ambiental es bien conocido y por ello como solución se usan estas excretas como abono orgánico, con ello evitando la aplicación de tanto abono químico.

Nos dice que para que esta excreta se vuelva viable la colocan en montones hasta que se descompone y así evitar que los cultivos se afecten, pero esto no hace más que disimular el problema con una solución a medias ya que estos montones continúan expulsando grandes cantidades de metano (CH<sub>4</sub>) a la atmósfera. (p. 2-3)

Preocupantemente los daños del mal manejo de la ganadería no se limitan ahí, sino que también es una de las principales causas de daños al recurso suelo y la degradación de los recursos hídricos. (Morales, 2018)

Esta sobrecarga de nutrientes en el suelo tiende a ocasionar una infiltración por escurrimiento y lixiviación en aguas superficiales y subterráneas. Además, pueden dañar al mismo ser humano con olores, polvo proveniente de la materia orgánica en descomposición y dar un microambiente para vectores de enfermedades. (p. 2)

#### **2.2.5.4 Uso potencial del estiércol.**

Sagarpa, (2005) Con el conocimiento de las características del excremento y de todos los problemas que su mal manejo genera, se han desarrollado nuevas técnicas de aprovechamiento de todas sus características, con lo cual se disminuyen en gran medida los daños y problemas.

La técnica más promovida y conocida actualmente es el uso de un sistema biodigestor con el cual se utiliza el excremento para la producción de biogás y fertilizante orgánico (biol), se somete el excremento a una degradación en condiciones anaerobias lo cual favorece la digestión y desarrollo de las bacterias anaerobias en un ambiente controlado y con ello reducir los daños y darle una ventaja al productor sobre otro tipo de práctica, ya que es un proceso de bajo costo y amigable con el medio ambiente.

El fundamento del proceso es crear unas condiciones ambientales en un recinto cerrado, en el que ciertos microorganismos, capaces de utilizar la sustancia orgánica presente en las deyecciones de estos animales, puedan vivir y multiplicarse. (p.3)

Según Pinos, (2012) la aplicación de excremento en tierras de cultivo proporciona un beneficio ecológico al depositar nutrientes como nitrógeno y fósforo en el suelo; el nitrógeno del estiércol se encuentra principalmente en forma de amoniaco y las plantas lo usan como nutriente. A pesar de ello, la aceptación del excremento como fertilizante orgánico, comparada con la de fertilizantes químicos, es mínima. Sin embargo, por sus características orgánicas, el estiércol aumenta la capacidad de retención de agua, la filtración de agua al subsuelo, y reduce la erosión. (p. 2)

#### **2.2.6 La célula bacteriana.**

Valladares, (2017) asegura que las bacterias son células muy sencillas; carecen de núcleo y tampoco presentan orgánulos en el citoplasma. Se las denomina Procariotas. Son organismos unicelulares y se encuentran en todos los ecosistemas.

Las bacterias son un numeroso grupo de seres vivos, con características muy diversas. En la clasificación de los Dominios (Woese), aparecen dos grupos de Procariotas, el Dominio Archaea, que engloba a los organismos más antiguos del Planeta, y el Dominio Bacteria, en el que se encuentran la gran mayoría de los organismos bacterianos actuales, también conocidos con el nombre de Eubacterias.

#### **2.2.6.1 Biodigestión o digestión anaerobia.**

Este proceso es desarrollado sin presencia de oxígeno y en él los sustratos son descompuestos por colonias de bacterias anaerobias.

Los sustratos deben ser ricos en carbono y en nitrógeno, para asegurar que las bacterias tengan la energía necesaria para su crecimiento y su fortalecimiento estructural.

Los productos más significativos de este proceso son gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) además de un subproducto líquido caracterizado por su alto valor nutricional para las plantas. Siendo de gran aporte e interés al sector agrícola y medio ambiental, ya que el aprovechamiento de la digestión anaerobia permite un equilibrio entre ambos sectores.

Superficialmente el proceso se resume en que parte del carbono es oxidado para conformar el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otra parte se reduce para conformar el metano (CH<sub>4</sub>) y otros gases, dejando con ello el subproducto biol. (p.35)

#### **2.2.6.2 Nutrición bacteriana.**

Canales, (2010) afirma que las bacterias, como el resto de los seres vivos, necesitan una fuente de carbono para poder sobrevivir. El origen de esta fuente de carbono sirve como criterio de clasificación para las bacterias. Además, se necesita una fuente de energía que sirva para poder construir sus propias moléculas; el tipo de fuente de energía utilizada también sirve como criterio de clasificación.

Las podemos clasificar en:

**Autótrofos:** la fuente de carbono es inorgánica (CO<sub>2</sub>). En este grupo están las bacterias fotolitotrofas y las quimiolitotrofas.

**Fotolitotrofas:** la energía utilizada es la luz. (Ejemplo: bacterias purpúreas del azufre).

**Quimiolitotrofas:** la energía utilizada es la liberada en reacciones químicas. (Ejemplo: bacterias incoloras del azufre).

**Heterótrofos:** la fuente de carbono es inorgánica. En este grupo están las bacterias fotoorganotrofas y las quimioorganotrofas

Fotoorganotrofas: la energía utilizada es la luz.

Quimioorganotrofas: la energía utilizada es la liberada en reacciones químicas. A este grupo pertenecen la mayoría de las bacterias.

### **2.2.6.3 Etapas de la digestión anaerobia.**

Se puede identificar dentro de este complejo proceso los siguientes subprocesos: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

Fase de hidrólisis: se rompen los enlaces para dar lugar a la formación de compuestos más sencillos.

Fase de acidificación: se forman ácidos orgánicos de cadena corta. (Canales, 2010)

Fase acetogénica: se da la formación de acetato a partir de los ácidos orgánicos.

Fase metanogénica: se da la formación de metano por bacterias metanogénicas a partir de acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. (p.185).

(MEJIA, 2005) Agrupan en 3 fases bien marcadas el proceso de la digestión anaerobia:

Primera etapa.

Ocurre una hidrólisis generalizada de la materia orgánica compleja adicionada al digestor, realizada por enzimas producidas por diversas bacterias: proteolíticas, lipóticas y carbolíticas, que destruyen inicialmente las proteínas, grasas y carbohidratos presentes.

Segunda etapa.

El producto de la primera etapa, es tomado por un segundo tipo de bacterias, conocidas generalmente como acidogénicas, que transforman la materia orgánica hidrolizada, en ácidos orgánicos de bajo peso molecular, principalmente ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) y ácido propiónico ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ).

Tercera etapa.

Los ácidos de bajo peso molecular obtenidos, son a su vez tomados por un tercer grupo de bacterias, llamadas propiamente metanogénicas, que los transforman en Gas Metano y Dióxido de Carbono.

El comportamiento microbiológico es más complejo que estas tres etapas; dentro de un biodigestor en operación ocurren multitud de reacciones y fermentaciones simultáneas de docenas de bacterias diferentes, que trabajan de forma simbiótica y elaboran gran variedad de productos, que a su vez son tomados por otras bacterias que retransforman para otros grupos.

Por lo anterior, con el biogás se encuentran trazas de Hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), Nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), Ácido Sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y otros. Cualquier cambio brusco que ocurra dentro del digestor en funcionamiento destruirá el delicado equilibrio establecido en el sistema y el proceso se detendría o desviaría la reacción para otro lado. (p. 1-2)

Por otra parte (Fuentes, 2018) prefiere dividir la explicación del proceso en 4 etapas, separando hidrólisis de las fases:

Hidrólisis, etapa que consiste en la degradación controlada de material degradable mediante la activación de organismos en la parte exterior de la pared celular, estas moléculas orgánicas no disueltas son capaces de usarse como fuente de energía química mediante el proceso de degradación de la materia prima utilizada.

Fase 1 o etapa fermentativa o acidogénica, aquí se transforman los microorganismos formados en la hidrólisis en otros compuestos de diferente peso molecular como el  $\text{CO}_2$ , hidrógeno ( $\text{H}$ ), entre otros. A esta etapa también se le conoce como acidogénesis.

Fase 2 o etapa acetogénica también conocida como acetogénesis, es un proceso donde los principales constituyentes de la fermentación producida por los sustratos animales o ácidos grasos volátiles son transformados en ácido acético ( $C_2H_4O_2$ ),  $H$  y  $CO_2$ .

Fase 3 o etapa metanogénica, proceso de la digestión anaerobia donde el  $C_2H_4O_2$  es transformado en un gas combustible conocido como  $CH_4$  y  $CO_2$ , aquí el  $CO_2$  y el  $H$  se convierte en  $CH_4$ . (p. 76)

Para que todas las etapas de la digestión anaerobias se concluyan, se debe tener un ambiente sin oxígeno, por ello se utilizan reactores (digestores) cerrados, donde se controlan los parámetros para favorecer el proceso. (Agrowaste, 2012).

## **2.3 Sistemas biodigestores.**

### **2.3.1 Biodigestor (reactor).**

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor, en su forma más simple es; un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita materia orgánica en determinada dilución con agua, esta mezcla es degradada mediante la fermentación anaerobia por acción de microorganismos,

obteniendo como producto gas metano (biogás) y un subproducto líquido (biol).

(Wikipedia, 2009)

Corona, (2007) asegura que el biogás puede utilizarse para cocinar, calentar agua, iluminar, calentar cerditos pequeños o aves por medio de un calentador, generar electricidad; mientras el biol por su alto contenido mineral puede ser utilizado para la fertilización de cultivos.

Los desechos orgánicos, que serán sometidos al proceso deben tener un potencial de degradación de corto plazo como excrementos de origen animal o humano, así como restos vegetales.

Los biodigestores toman su término de digestivo o digestión, son sistemas simples que pueden estar fabricados de concreto, polietileno, hormigón, metal e incluso bolsas, cuentan con

una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el gas (biogás), y una salida para el material ya procesado (biol). (p. 69)

Los desechos orgánicos, que serán sometidos al proceso deben tener un potencial de degradación de corto plazo como excrementos de origen animal o humano, así como restos vegetales.

Los biodigestores toman su término de digestivo o digestión, son sistemas simples que pueden estar fabricados de concreto, polietileno, hormigón, metal e incluso bolsas, cuentan con una entrada para el material orgánico, un espacio para su descomposición, una salida con válvula de control para el gas (biogás), y una salida para el material ya procesado (biol). (p. 69)

Este tipo de tecnología tiene un gran potencial para el cuidado del ambiente ya que disminuye la cantidad de desechos y gases contaminantes vertidos a los ecosistemas y además se produce una fuente de energía relativamente limpia. (Fundesyram, 2017)

### **2.3.2 Estructura de un biodigestor.**

Existen muchas variaciones en el diseño del biodigestor. Algunos elementos que comúnmente se incorporan afirma Tóala, (2013):

**Cámara de fermentación:** El espacio donde se almacena la biomasa durante el proceso de descomposición.

**Cámara de almacén de gas:** El espacio donde se acumula el biogás antes de ser extraído.

**Pila de carga:** La entrada donde se coloca la biomasa.

**Pila de descarga:** La salida, sirve para retirar los residuos que están gastados y ya no son útiles para el biogás, pero que se pueden utilizar como abono (biol)

**Tubería de gas:** La salida del biogás. Se puede conectar directamente a una estufa o se puede transportar por medio de la misma tubería a su lugar de aprovechamiento. (p. 138)

### **2.3.3 Clasificación de los digestores.**

Los biodigestores se pueden clasificar de diversas formas, pero la importancia radica en la frecuencia de cargado, ya que esta determina la cantidad de sustrato o biomasa, que entrará en el proceso de digestión anaerobia. En función a (bautista, 2010) estos flujos de entrada y salida, la operación de un biodigestor puede ser de tres formas:

#### **2.3.3.1 Sistema discontinuo.**

En el 2010, Bautista afirma que este sistema, la carga de materia orgánica se realiza una sola vez, hasta que deje de producir gas; se podría decir que consta de dos etapas de producción; la primera cuando es agregada la cantidad de material a degradar (producir el biogás), y la segunda etapa cuando se remueve todo el efluente producido (biol) durante el proceso, para volver a llenar el biodigestor.

En estos casos, normalmente se usan varios digestores cargados en diferentes tiempos, para mantener la continuidad del suministro de gas; por ello necesita mayor personal y grandes espacios para construir los biodigestores y gasómetros, capaces de guardar el gas producido en ese tiempo de degradación total. (p. 2)

#### **2.3.3.2 Sistema semicontinuo.**

Posee dos etapas; en la primera se llena el biodigestor hasta un 75% de su capacidad, con una mezcla compuesta por materia prima y agua, de tal manera que el material biodegradable a fermentar, tenga una consistencia más fluida y la segunda es, mantener un llenado diario del 25% de la capacidad con la misma mezcla, este

descargará su efluente en iguales lapsos de tiempo de llenado, durante todo el proceso de producción de biogás, adaptando un recipiente de acumulación de este.

Requiere poca intervención de personal lo que los volvió muy usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los que más difusión tuvieron en un principio, fueron el tipo chino y el tipo hindú. (p. 2)



### **2.3.3.3 Sistema de mezcla completa.**

En 2013, Amaya lo define como continuo, se compone de una entrada constante del sustrato y una igual salida del fertilizante y gas. En este tipo de biodigestores, no se completa al 100% la digestión anaerobia, por lo que no garantiza la eliminación total de agentes causantes patógenos, lo cual vuelve necesaria la recirculación del efluente y el uso de un sistema, para calentar el material degradable, con el propósito de acelerar el proceso de producción de biogás. Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales, además genera una gran cantidad de biogás el que a su vez es aprovechado, en aplicaciones de las grandes industrias o en la demanda de gas de una población, colocándolos dentro de la red de la ciudad.

### **2.3.4 Tipos de biodigestores.**

#### **2.3.4.1 Pozos sépticos.**

Es el más antiguo y sencillo digester 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. Para la correcta operación de estos pozos es requisito indispensable aislar las aguas servidas que caen en él, de las que contienen jabón o detergentes.

El efecto de los jabones y en especial los detergentes, inhibe la acción metabólica de las bacterias, razón por la que los pozos se colmatan con rapidez y dejan de operar,

haciendo necesario destaparlos frecuentemente para recomenzar la operación. Cuando no es posible separar las aguas negras de las jabonosas, como en el alcantarillado urbano, es necesario hacer un tratamiento químico con polímeros a esta agua, a fin de solucionar el problema antes de iniciar la fermentación anaeróbica.

#### **2.3.4.2 Biodigestor de domo flotante (india).**

Originario de la India, es llamado también biodigestor de campana, ya que cuenta con un domo que asemeja a una; la cual se caracteriza por flotar en encima del sustrato debido al

contenido de biogás en su interior. Esta campana tiene la habilidad de subir y bajar dependiendo de la cantidad de biogás, que se genera en el interior de la estructura, la campana o el domo puede ser de un material resistente a la corrosión y requiere de una guía central o rieles laterales, que eviten el contacto con las paredes interiores. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. (p. 2-5)

Linares, (2017) afirma este tipo de biodigestores no necesita un recipiente externo; para almacenar el gas generado, además mantiene a una presión relativamente constante al interior de la campana lo que es muy ventajoso. El reactor se alimenta semicontinua mente a través de una tubería de entrada. (p. 158)

#### **2.3.4.3 Biodigestor de domo fijo (china).**

En el 2013, Amaya define este reactor consiste en una cámara de gas, de volumen constante construida de ladrillos, piedra u hormigón. La cúpula y el fondo son hemisféricos y están unidos por lados rectos; la superficie interior es sellada por muchas capas delgadas de mortero para hacerlo firme. La tubería de la entrada es recta y los extremos nivelados.

Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo, que al no ser flexible varía los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón por lo que la cúpula y el fondo deben ser redondos. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor.

#### **2.3.4.4 Biodigestores de estructura flexible.**

También conocidos como horizontales, se caracterizan por tener la cámara de digestión alargada, donde el material orgánico recorre a lo largo del biodigestor produciéndose la degradación anaerobia, en cuyos extremos se sitúan la cámara de carga y la cámara de descarga del sistema. (p. 2-5)

Según (Tóala, 2013) es Construido con doble capa de polietileno (resistente a condiciones en intemperie) y ubicado sobre bases de concreto y ladrillos para evitar

deformaciones, la vida útil promedio es de 5 años, las ventajas que posee es el bajo costo de construcción e instalación de los accesorios en la canalización del biogás generado. El modelo horizontal antes descrito, ayuda a que la carga inicial no se mezcle con el efluente, haciéndolo útil en el aprovechamiento de residuos que requieran un tratamiento prolongado. Estos modelos horizontales son conocidos como biodigestores familiares de bajo costo, donde las familias campesinas que no tienen suficientes recursos optan por la construcción este modelo. (p. 138).

#### **2.3.4.5 Biodigestor artesanal.**

La construcción no requiere grandes conocimientos técnicos, los materiales no son difíciles de encontrar. Suele ser utilizado para muestras experimentales o para proyectos de muy bajo alcance. (Energía casera, 2010)

##### **2.3.4.5.1 Construcción de planta de tratamiento anaerobio artesanal.**

El diseño de la planta de tratamiento anaerobio de tipo artesanal debe ser detallado en el proceso de construcción, tomando en cuenta las partes que poseen las plantas de tratamiento, controlando los factores que influyen en el proceso del sistema anaerobio. (Fundación hábitat, 2005)

Fundación hábitat, (2005) presenta a continuación, como se desglosan las partes que se deben diseñar en una planta de tratamiento artesanal:

**2.3.4.5.2 Tanque de mezcla.** Fabricado con plástico de polietileno, su volumen depende de la cantidad de material biodegradable que se agregue al biodigestor. En algunos casos las plantas artesanales, no tienen conectado el canal de entrada con la cúpula, por lo que es agregado en la parte superior del tanque.

##### **2.3.4.5.3 Tanque de retención del biodigestor.**

Depende de la cantidad del volumen de biogás que se quiera producir, está hecho de plástico de polietileno y pueden estar conectados desde uno a varios tanques. Este tendrá en la

parte superior del tanque un orificio tapado, donde se llena el 75% de la capacidad total como carga inicial, no se debe de adicionar más mezcla hasta que se produzca gas metano (CH<sub>4</sub>).

Así mismo, tiene adaptado un tubo de desagüe para el efluente líquido, en la parte superior posee un tubo de salida del biogás, que es conectado a una válvula de control de presión, luego se ubica un sello hidráulico; que sirve como mecanismo liberador de presión, al exceso de gas producido sin que este afecte el proceso (hecho de un envase lleno de agua hasta la mitad), además tiene ubicada una válvula de liberación de agua (este tiene como objetivo botar la cantidad de agua acumulada en la tubería y así evitar retener el paso del gas producido), luego se adapta el filtro de ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) (filtro hecho con viruta o lana de acero), para evitar el contacto o inhalación de éste al ser utilizado el biogás, y produzca daños en la salud por su exposición durante largos periodos.

**2.3.4.5.4 Gasómetro.** Recipiente formado por neumáticos de goma, el volumen depende de número de biodigestores utilizados en el proceso.

**2.3.4.5.5 Tanque de descarga.** Fabricado de polietileno, en este recipiente es acumulado el efluente que proviene del biodigestor, el volumen del recipiente depende del uso del residuo que se obtenga del proceso. (p. 3-5)

### **2.3.5 Factores que regulan el proceso de biodigestión.**

Agrowaste, (2012) afirma que durante el proceso de Biodigestión, existen diversos parámetros que lo controlan cuando está expuesto a condiciones ambientales, y que es necesario cumplir para alcanzar los resultados deseados, entre estos se pueden mencionar

#### **2.3.5.1 Hermeticidad.**

El contenedor debe de estar perfectamente sellado para evitar que, entre el Oxígeno, evitar fugas de biogás, parte del efluente también impedir la intervención de un factor externo como insectos y de esta manera tener un procedimiento anaeróbico adecuado.

### **2.3.5.2 Temperatura.**

Indudablemente es uno de los factores más importantes a controlar a la hora de implementar el proceso controlado de la digestión anaerobia, ya que influye directa y específicamente en el desarrollo y crecimiento de los organismos bacterianos contenidos, de tal manera que a mayor temperatura la velocidad de desarrollo y crecimiento de los microorganismos aumentará y por lo tanto el proceso de digestión será acelerado produciendo biogás y la descomposición de la materia orgánica en menor tiempo.

Considerando que la temperatura afecta directamente el tiempo de retención hidráulica, dependiendo el objetivo principal de la implementación debemos considerar la zona donde instalaremos el sistema, así como las medidas para alcanzar el éxito de los objetivos.

(Figura A-11) Podemos distinguir dos rangos fundamentales, el mesófilo que tiene un rango entre los 15 y los 45°C, es más utilizado, por las condiciones en el que está expuesto el sistema, y necesita menos control en el proceso. El otro rango es denominado termófilo, varía entre los 40 y los 70°C, este rango es utilizado mayormente en industrias que poseen sistemas de calentamiento controlado, su eficiencia es mayor ya que se tiene una mayor velocidad de crecimiento de microorganismos y también se mejora eliminación de organismos patógenos o inhibidos en todo el proceso

### **2.3.5.3 El pH.**

El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad en los suelos. El pH se define como el logaritmo (base 10) negativo de la actividad de los iones hidronio ( $H^+$  o, más precisamente,  $H_3O^+_{aq}$ ) en una solución. El índice varía de 1 a 14, siendo 7 neutro. Un pH por debajo de 7 es ácido y por encima de 7 es básico (alcalino). El pH del suelo es considerado como una de las principales variables en los suelos, ya que controla muchos procesos químicos que en este tienen lugar. Afecta específicamente la disponibilidad de los nutrientes de las plantas, mediante el control de las formas químicas de los nutrientes. El rango de pH óptimo

para la mayoría de las plantas oscila entre 5,5 y 7,0, sin embargo, muchas plantas se han adaptado para crecer a valores de pH fuera de este rango. (p. 1-4)

FAO, (2011) según en la biomasa el nivel de acidez determina como se desenvuelve la fermentación del material orgánico. El pH tiene que estar en un valor cercano a la neutralidad (este rango varía entre los 6.5 y 7.5 medida que nos indica que el compuesto no es ni base ni alcalino). Al estar fuera de este rango neutro la materia orgánica corre el riesgo de pudrirse, ya que se aumenta la actividad relativa de los microorganismos equivocados; esto normalmente produce un olor muy desagradable. Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición (Figura A-12). Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. (fig. A- 12) (p. 45)

(Canales, 2010) afirma Un descenso en el valor del pH acompañado de un incremento en las emisiones de CO<sub>2</sub> indica que hay una perturbación en el proceso de fermentación. El primer signo de acidificación es el aumento en la concentración del ácido propiónico. Las medidas que se pueden tomar para solventar este problema son:

Detener el suministro del sustrato para que las bacterias metanogénicas puedan degradar el ácido.

Aumento del tiempo de residencia.

Remoción continúa de los ácidos.

Adición de sustancias neutralizantes como lechada de cal (CaO, Ca(OH)<sub>2</sub>), carbonato de sodio y solución de soda caustica.

Adición de agua.

- Vaciar y cargar de nuevo el reactor. (p. 185)

#### **2.3.5.4 Tamaño de biomasa.**

Fuentes, en el año 2028 asegura que para lograr una descomposición eficiente, la materia orgánica debe de ser en tamaños digeribles, pues entre más chica más rápida la descomposición y por ello la producción del biogás y efluente utilizable.

#### **2.3.5.5 Nutrientes.**

Dependen del proceso anaerobio, ya que influye en el crecimiento de las bacterias en el interior del biodigestor. Una de las ventajas en el proceso anaerobio, es que no necesita mucha cantidad de nutrientes en la materia utilizada; para que se lleve a cabo, esto se debe al ritmo de crecimiento de los microorganismos en la degradación.

Los nutrientes principales que los microorganismos formadores de metano (CH<sub>4</sub>) deben de tener son el carbono y el nitrógeno, es por eso que la mezcla de llenado del

biodigestor está formada únicamente de residuos orgánicos, teniendo un papel importante en el proceso de fermentación.

#### **2.3.5.6 Tiempo de retención hidráulica (TRH).**

Depende del volumen que posee el digestor, la temperatura ambiental y el caudal de alimentación, significa el tiempo medio, que el biodigestor debe mantener sometida la materia prima a actividades bacterianas, para generar biogás y transformarse en efluente, reduciendo la cantidad de contaminantes que se puede generar en el proceso. (p.76)

Quipuzco, L., Baldeón, (2014) afirman que trabajar con un tiempo de retención hidráulica de 36 días se puede obtener un resultado con valores similares a los de un abono orgánico convencional. (p. 45)

(Canales 2010) Destaca que a temperaturas mesófilas en los primeros días (10) se obtiene una mayor cantidad de producción de biogás, por otro lado, el efluente obtenido es rico en nitrógeno más sin embargo por su pobre descomposición se puede considerar aun no apto para la utilización directa a la planta.

(FAO, 2011) Existen 3 principales rangos de tiempo retención hidráulica, basados principalmente en la temperatura de manejo (Cuadro A-2).

La cantidad de materia orgánica, varía de acuerdo a su origen con respecto al agua, pero se puede trabajar en concentraciones de 50-50 o 25- 75 respectivamente, dependiendo de la disponibilidad de la materia prima, aunque la proporción más usada es 1/3 de materia orgánica y 2/3 de agua, dejando siempre un espacio de 10 a 20 cm en el borde superior del recipiente.

(Pinos, 2012)

### **2.3.6 Ventajas y desventajas de los biodigestores.**

#### **2.3.6.1 Ventajas.**

Linares, (2017) menciona las siguientes ventajas:

- Ayuda a controlar la excesiva acumulación de estiércol en las zonas ganaderas.
- Ayuda a satisfacer la demanda de alumbrado, gas para cocinar, producción de energía eléctrica, etc.
- Generación de fertilizantes naturales ricos en nutrientes, para cultivos de los campesinos.
- Ayudan a controlar y minimizar la contaminación ambiental, sin aportar al calentamiento global.
- La disminución de olores del estiércol en los ranchos.
- Controla la proliferación de vectores que generan los excrementos y que causan enfermedades en el ganado.
- Crea empleos especializados.
- Crea la posibilidad de incursionar un proyecto de vanguardia. (p. 158)

#### **2.3.6.2 Desventajas.**

Fuentes, (2018) asegura que debe evitarse cambios bruscos de temperatura, manteniéndola constante y cercana a los 35 ° C.



Si no se tiene un monitoreo constante de la presión interior, puede explotar o generar fugas de gas.

El tiempo de durabilidad depende del tipo de biodigestor a construir. (p. 76)

## **2.4 Biofertilizantes.**

Es un producto biológico a base de microorganismos, cuya actividad fisiológica permite promover el crecimiento de las plantas, con lo cual es posible sustituir o al menos reducir el uso de agroquímicos, así como la contaminación generada por los mismos, cuando el inóculo se aplica en partes específicas de la planta (semilla, tallo, hoja, raíz) o en el agua de riego. (Aviporto, 2016)

García, (2017) asegura que mediante el uso de biodigestores además de generar gas combustible, la fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades fertilizantes, este es conocido como biol. El biol tiene dos componentes: una parte sólida y una líquida. La parte líquida es conocida como abono foliar y tras un proceso de deshidratación, se puede obtener la segunda la cual es conocida como biosol, con la cual se facilita el transporte y almacenamiento.

La principal ventaja es que los Biofertilizantes, disminuyen el uso de fertilizantes químicos. Esto les brinda un impacto ambiental positivo, ya que no sólo permiten disminuir el uso excesivo de fertilizantes tradicionales, sino que también disminuyen el uso global de energía. Además, estos pueden mejorar la textura del suelo, incrementando así la vida útil del suelo y lo mantiene en condiciones de cultivo, ya que hay una menor degradación de la tierra por pérdida de nutrientes, porque los ciclos biológicos de algunos biofertilizantes pueden reponer nutrientes. (p. 2)

### **2.4.1 Elementos de importancia que contienen los biofertilizantes.**

Plantas y hortalizas, (2009) asegura que un biofertilizante tiene como objetivo principal compensar las necesidades nutricionales de las plantas o cultivos, disminuyendo el uso de

fertilizantes químicos, en este marco el biol realiza una gran labor, alcanzando niveles óptimos que ayudan a que el agricultor ahorre en cantidad de químico que compra y por tanto daña en menor medida el medio ambiente.

#### **2.4.1.1 Nitrógeno.**

La absorción del nitrato por la planta es muy alta; ocurre por transporte activo y es favorecido por un pH bajo en la rizósfera. Las plantas absorben la mayor parte del N en la forma de iones de amonio ( $\text{NH}_4$ ) o de nitrato ( $\text{NO}_3$ ). La absorción directa de urea puede ocurrir a través de las hojas y pequeñas cantidades de N son obtenidas de ciertos materiales como los aminoácidos solubles en agua. Con la excepción del arroz, la mayoría de los cultivos agronómicos absorben gran parte de su N en la forma de nitrato.

Las investigaciones han demostrado que los cultivos utilizan cantidades considerables de amonio, si este se encuentra en el suelo. Ciertos tipos de maíz tienen un requerimiento alto de N en forma de amonio, el cual ayuda a incrementar las cosechas. La razón de este alto rendimiento es que la reducción de nitrato en la planta requiere energía (el nitrato es reducido a amonio, y una vez dentro de la planta

convertido en aminoácidos). Esta energía es suministrada por carbohidratos que pudieran ser utilizados de otra manera en la formación de grano.

El nitrógeno es necesario para la síntesis de la clorofila y, como parte de la molécula de clorofila, tiene un papel en el proceso de fotosíntesis. La falta de N y clorofila significa que el cultivo no utilizara la luz del sol como fuente de energía para llevar a cabo funciones esenciales como la absorción de nutrientes. El nitrógeno es también un componente de las vitaminas y sistemas de energía de la planta.

##### **2.4.1.1.1 *Síntomas de deficiencia de N en la planta.***

Un suministro adecuado de N produce hojas de color verde oscuro, con motivo de una alta concentración de clorofila. La deficiencia de N produce clorosis (un amarillamiento de las

hojas por una disminución de clorofila). Este amarillamiento comienza primero en las hojas más viejas, luego se muestra en las más jóvenes, a medida que la deficiencia se hace más severa

Los pigmentos verdes de la clorofila absorben la energía luminosa necesaria para iniciar la fotosíntesis. La clorofila ayuda a convertir el carbono, hidrogeno y oxígeno en azucares simples. Estos azucares y sus productos de conversión estimulan la mayor parte del crecimiento de las plantas.

Cantidades inadecuadas de N producen bajos niveles de proteína en la semilla y puntos vegetativos de la planta. Las plantas deficientes de N tienden a atrofiarse, crecen más lentamente y producen menos hijuelos que lo normal. También presentan menor número de hojas y en algunos cultivos tales como el algodón producen madurez prematura comparadas con las plantas con cantidades adecuadas de N.

El maíz fertilizado en forma adecuada con N tendrá un porcentaje de agua en el grano menor que el maíz con insuficiencia de N.

#### **2.4.1.1.2      *El nitrógeno en el suelo y en el aire.***

La cantidad de N en el suelo en forma disponible es pequeña. Muy poco N se encuentra en las rocas y minerales que dieron origen al suelo. La mayoría del N del suelo proviene de la atmosfera terrestre, la cual contiene cantidades ilimitadas. Cerca del 80% del aire que respiramos es N. cada acre de superficie de tierra está cubierto por 37,000 toneladas de N, pero este N es gas inerte. Debe combinarse con otros elementos antes de que pueda ser utilizado por las plantas. El N que se presenta en el suelo lo hace en tres formas principales:

nitrógeno orgánico: parte de la materia orgánica del suelo, no disponible para las plantas en crecimiento.

nitrógeno amoniacal: fijado en minerales arcillosos, disponible en forma lenta para las plantas.

iones de amonio y nitrato o compuestos solubles: el N que las plantas utilizan.

### **2.4.1.2 Fosforo.**

El fosforo (P) es esencial para el crecimiento de las plantas. No existen ningún otro nutriente que pueda sustituirlo. Las plantas deben tener P para completar su ciclo normal de producción.

#### **2.4.1.2.1 *El fosforo desempeña varios papeles en las plantas***

Las plantas absorben la mayor parte del fosforo que necesitan como Ion ortofosfato primario ( $H_2PO_4$ ).

También absorben cantidades menores del ion ortofosfato secundario ( $HPO_4$ ). El PH del suelo influye enormemente en la proporción con que estos iones son absorbidos por las plantas. Otras formas de P también pueden ser utilizadas, pero en cantidades mucho menores que los ortofosfatos. (Plantas y hortalizas, 2009) El P actúa en la fotosíntesis, reparación, almacenamiento y transferencia de energía, división celular, alargamiento celular y muchos otros procesos de la planta

viviente. Promueve la formación temprana y el crecimiento de las raíces. El P mejora la calidad de numerosas frutas, verduras y cereales. El P es vital para la formación de la semilla. La concentración de P es más alta en la semilla que en ninguna otra parte de la planta madura. El P ayuda a que la plántula y las raíces se desarrollen más rápidamente. El P permite a las plantas soportar inviernos rigurosos. El P aumenta la eficiencia de uso del agua. El P acelera la madures, lo cual es importante para la cosecha y para la calidad del cultivo. El P contribuye a aumentar la resistencia a las enfermedades en algunas plantas

#### **2.4.1.2.2 *Síntomas de deficiencia en las plantas:***

El primer síntoma de falta de P es una planta atrofiada. Las hojas pueden deformarse. Con deficiencia severa, se pueden producir áreas necróticas en las hojas, frutos y tallos. Las hojas más viejas quedan afectadas antes que las jóvenes. A menudo se observan un color rojizo en las plantas de maíz deficientes en P. Esto también ocurre en otros cultivos, especialmente cuando las temperaturas del medio ambiente son bajas. Los síntomas visibles,

aparte de la atrofia en crecimiento y bajos rendimientos, son en general menos claras que los síntomas de deficiencia producida por el N y el K.

Las deficiencias de P son difíciles de detectar en los cereales. En ciertas etapas del desarrollo la deficiencia de P puede dar al cultivo un colorido verde oscuro. Uno debe siempre estar alerta para observar las características típicas de atrofiamiento, y cuando sea posible, confirmar lo que se ve a simple vista mediante análisis de suelo y tejidos.

#### **2.4.1.2.3 Fuentes y cantidades de fosforo en los suelos**

El fosforo elemental es químicamente muy activo. Debido a ello no se le encuentra en estado puro en la naturaleza. Se le encuentra solo en combinación con otros elementos. El P del suelo proviene en su mayor parte de intemperización de la apatita,

un mineral que contiene P Y Ca, junto con otros elementos como flúor y cloro.

A medida que la apatita se descompone y desprende P en el suelo, se forman numerosos compuestos de P incluyendo los dos ortofosfatos que las raíces de las plantas absorben. Estos son generalmente solubles y se les puede encontrar disueltos en pequeñas cantidades en la solución del suelo.

Una parte del P formara compuestos con el Ca, Fe y Al, ya sea su origen la apatita, fertilizante, estiércol, o materia orgánica. La mayoría de estos compuestos no serán utilizados por las plantas debido a que son insolubles. Se dice que se encuentran en forma invertida "o fija", sin embargo, los fosfatos dicalcicos u octacalcicos son relativamente utilizables. Otra fuente de P incluye la materia orgánica, el humus, microorganismos y los cuerpos de insectos u otras formas de vida en descomposición. La capa arable de la mayoría de los suelos contiene entre 800 y 1.600 kg de P por hectárea, combinada con otros elementos, la mayoría en forma no disponible para las plantas. Solo una cantidad muy pequeña del P total del suelo se encuentra en solución en un momento dado por lo general menos de 4 kg por hectárea .. Por lo tanto, a medida que las raíces penetran el perfil del suelo para usar el P disponible, este debe ser reemplazado en forma continua.

El P en la solución del suelo es reemplazado unas dos veces al día, o alrededor de 250 veces durante la estación de crecimiento de cultivos tales como maíz y las sojas. Para que un suelo produzca altos rendimientos debe reabastecer o mantener un nivel de P adecuado en solución.

#### **2.4.1.2.4      *Movimiento del fósforo en el suelo.***

El P se mueve muy poco en la mayoría de los suelos por lo general se queda en el lugar en que es puesto ya sea por la intemperización de los minerales o por la fertilización. De modo que el P que se pierde por lixiviación es muy poco, si bien es cierto que este se mueve con mayor facilidad en los suelos arenosos que en los arcillosos. La erosión superficial (escurrimiento) puede promover las partículas de

suelo que contienen P. las pérdidas importantes de P ocurren únicamente por escurrimiento o por la remoción efectuada por las plantas.

Parcialmente el P del suelo se mueve por difusión, un proceso lento y de corto alcance, que depende de la humedad del suelo. La difusión en los suelos secos es extremadamente baja. El K también se mueve por difusión, pero este es más soluble que el P, de modo que tiende a moverse a distancias mayores. Si comparamos las distancias a que se mueve el N, p, K Y Ca desde su punto de ubicación, vemos cuan libremente se mueve el N (como NO<sub>3</sub>) en el suelo recuerde que esta comparación es solo relativa, no absoluta.

Si el P en un suelo franco (migajón) se encuentra a más de 0,6 cm de una raíz, nunca se acercará lo suficiente para ser absorbida por la raíz. Las raíces de un cultivo en crecimiento, de acuerdo con estimaciones solo entran en contacto con el 1% al 3% del suelo la capa arable.

En términos prácticos, esto significa que el suelo debe tener un suministro adecuado de P para mantener un crecimiento óptimo del cultivo. El nivel de P del suelo en todas las zonas donde crecen las raíces debería ser lo suficientemente alto para asegurar P disponible durante cada etapa del crecimiento.

### **2.4.1.3 Potasio.**

El potasio es un nutriente vital para las plantas. No puede ser remplazado por ningún otro nutriente. Los cultivos agronómicos contienen más o menos la misma cantidad de K que de N, pero no mucho más K que P. y en muchos cultivos de alto rendimiento el contenido de K excede al de N.

#### **2.4.1.3.1 *El potasio desarrolla muchas funciones en las plantas.***

El K es absorbido (desde el suelo) por las plantas en su forma iónica (K<sup>+</sup>). Es esencial para el crecimiento de las plantas, pero sus funciones exactas en la planta no son totalmente conocidas. A diferencia del N y P, el K no forma compuestos orgánicos en la planta. Su función primaria parece estar ligada al metabolismo de la planta.

El K es vital para la fotosíntesis. Cuando hay deficiencia de K la fotosíntesis disminuye. A medida que el K se hace deficiente, la respiración de la planta aumenta. Estas dos condiciones producidas por la deficiencia de K, "fotosíntesis reducida y aumento de la respiración" reducen los carbohidratos de la planta. El K es esencial en la síntesis de proteínas, ayuda a la planta a hacer un uso más eficiente del agua, promoviendo la turgencia (rigidez producida por un suministro adecuado de agua en las células de las hojas) para mantener la presión interna de la planta.

El K es importante en la formación de frutos, en la translocación de metales pesados tales como el Fe y en el balance iónico, activa enzimas y controla su velocidad de reacción, mejora la calidad del cultivo y por lo tanto su valor de mercado. El encamado o vuelco puede producir pérdidas después que se ha producido el cultivo. Puede transformar una cosecha récord en un desastre. El K ayuda a reducir este problema.

El K mejora la tolerancia a heladas de los cultivos, aumenta la resistencia a enfermedades de las plantas, una de sus funciones más importantes en el manejo de los cultivos. El K y los pesticidas juntos pueden ayudar a la obtención de rendimientos mucho mejores que cuando están separados, una fertilidad adecuada con K también puede reducir el

estrés producido por nematodos. El K fortalece los tallos contra la invasión de los organismos invasores y el encamado; espesa la cutícula de los cereales contra el ataque de la cenicienta (mildíu) y otras infecciones, haciendo a las células más turgentes, menos adecuada para ciertas enfermedades que las invaden después de las lluvias.

A medida que la planta explora el perfil del suelo, puede encontrarse con un sinnúmero de condiciones desfavorables o precisiones, estrés hídrico, barreras físicas y químicas, insectos, enfermedades, etc. Todos estos factores contribuyen a reducir el rendimiento potencial.

#### **2.4.1.3.2      *Síntomas de deficiencias en las plantas.***

Los síntomas de deficiencia de K se expresan en formas diversas. Uno de los síntomas de deficiencia más comunes es el quemado o fogueo en los bordes de las hojas. En la mayoría de las plantas el chamusco aparece primero en las hojas más viejas, especialmente en las gramíneas. Las hojas más nuevas primero mostrarán síntomas de carencia en algunas plantas y bajo ciertas condiciones.

La deficiencia de K hace que las plantas crezcan lentamente. Estas presentan un sistema radicular con desarrollo pobre. Los tallos son débiles, y el vuelco de las plantas es común. Las semillas y los frutos son pequeños, arrugados, y las plantas presentan una resistencia baja a las enfermedades.

Las plantas bajo estrés debido al K son muy susceptibles al mal tiempo. Si bien es cierto que esto no puede detectarse cuando está sucediendo, la pérdida de población de los pastos forrajeros y las leguminosas es un efecto directo de la deficiencia de K. en las praderas de pastos y leguminosas, el pasto desaloja a las leguminosas si falta

K. El pasto tiene una capacidad mayor para absorber K y por lo tanto las leguminosas son eliminadas por desnutrición.



#### **2.4.1.3.3 Formas de potasio en el suelo.**

Si bien es cierto que la mayoría de los suelos contienen miles de kilos de K, solo una pequeña parte está disponible para las plantas en la estación de crecimiento, probablemente menos del 2%.

El potasio en el suelo se presenta en tres formas:

Potasio no disponible este se encuentra en los minerales (rocas). El K es liberado a medida que los minerales se intemperizan, pero este sucede en forma lenta que no se hace disponible para las plantas en crecimiento.

Potasio disponible en forma lenta: El K disponible en forma lenta está fijado o atrapado entre las capas de ciertas arcillas del suelo. Estas arcillas se encogen y se expanden con los suelos secos y húmedos respectivamente. los iones  $K^+$  pueden ser atrapados entre estas capas haciéndose no disponible o dispensable lentamente

Potasio disponible en forma inmediata del suelo: está constituido por el K que se encuentra en la solución del suelo más el K retenido en forma intercambiable de las arcillas y la materia orgánica.

La mayoría de los suelos contiene 10 Kg/Ha o menos de K en solución. Este va a servir a una planta en crecimiento para uno o dos días. A medida que el cultivo remueve el K de la solución, parte K intercambiable se mueve a la solución. Este es remplazado en el coloide del suelo por otro catión. Este movimiento, continua hasta que se establece un nuevo equilibrio.

De modo que, mediante el proceso de intercambio catiónico, el K se encuentra disponible en forma continua para las plantas, siempre que el suelo al comienzo de la estación de crecimiento contenga una cantidad suficiente de K para abastecer las necesidades del cultivo. ( p.3-9)

#### **2.4.1.3.4 Como se mueve el potasio en el suelo.**

Según Meléndez (2003) asegura que debido a que el K no se mueve mucho en el suelo es vital mantener una fertilidad de K adecuada en el mismo. A diferencia del N y otros

nutrientes, el K tiende a permanecer en el lugar en que se coloca el fertilizante. Si el K llegue a moverse, lo hace por difusión en un movimiento lento y a corta distancia en las películas de agua que rodean las partículas del suelo. Las condiciones de sequía hacen a este movimiento a un más lento. Altos niveles de K en el suelo lo aceleran.

Las raíces de los cultivos por lo general entran en contacto con menos del 3% del suelo en el cual crean. De modo que el suelo debe estar bien suplido con K para asegurar la disponibilidad de K en cada etapa de su desarrollo hasta la cosecha.

#### **2.4.2 Los nutrientes secundarios.**

El calcio (Ca), el magnesio (Mg) son llamados nutrientes secundarios, esto no significa que tengan un papel secundario en el crecimiento de las plantas. Ellos son tan importantes para la nutrición de las plantas como los nutrientes principales, aunque las plantas normalmente no requieren tanto de ellos.

La deficiencia de un nutriente secundario puede deprimir el crecimiento el crecimiento de las plantas tanto como la deficiencia de un macronutriente. (p. 2-3)

##### **2.4.2.1 Calcio.**

###### **2.4.2.1.1 Funciones en la planta.**

Según Nuprec (2012) el calcio estimula el desarrollo de las raíces y hojas. Forma compuestos que son parte de las paredes celulares. Esto fortalece la estructura de la planta. Además, ayuda a reducir los nitratos en el tejido de las plantas, activa numerosos sistemas enzimáticos, neutraliza los ácidos orgánicos en las plantas.

El Ca influye en los rendimientos en forma indirecta al reducir la acides de los suelos, esto reduce la solubilidad y toxicidad del Mn, Cu y Al. Y es requerido en cantidades altas por las bacterias nitrificantes. (p. 1)

###### **2.4.2.1.2 Síntomas de deficiencia.**

Según Nuprec, (2012) Un crecimiento radicular pobre es un síntoma común de la deficiencia de Ca. En casos severos, el punto de crecimiento muere. Las raíces deficientes en

Ca a menudo se ponen negras y se pudren. Las hojas jóvenes y otros tejidos desarrollan síntomas debido a que el Ca no se transporta dentro de la planta. Los tejidos nuevos necesitan pectato de Ca para la formación de la pared celular. De ahí que la deficiencia de Ca ocasiona que las puntas y el punto de crecimiento de las hojas sean gelatinosos. Es raro encontrar síntomas de deficiencia de Ca en el campo (excepto en maní) debido a que los efectos de deficiencia secundarios, tales como acidez alta, por lo general limitan primero el crecimiento.

#### **2.4.2.1.3 El calcio en el suelo.**

Las cantidades totales de Ca en el suelo fluctúan desde menos del 0.1% hasta el 25%. Los suelos orgánicos recién drenados, por lo general contienen muy poco Ca y además tienen valores de pH extremadamente bajos. Los suelos arcillosos por lo general contienen más Ca que los suelos arenosos.

El Ca al igual que el K, existen como catión ( $\text{Ca}^{++}$ ). Está gobernado por el fenómeno del intercambio catiónico tal como lo son otros cationes, es por lo general el catión más dominante en el suelo, aun con pH bajos. Como otros cationes, se encuentra presente en la solución del suelo y es retenido como un catión de intercambio,  $\text{Ca}^{++}$ , en las superficies cargadas negativamente de las arcillas y materia orgánica del suelo. Forma parte de la estructura de numerosos minerales del suelo. Los minerales del suelo como la dolomita, calcita, apatita y feldespatos de Ca constituyen las fuentes mayores de Ca para el suelo.

#### **2.4.2.2 Magnesio.**

##### **2.4.2.2.1 Funciones en la planta.**

El Mg es un mineral constituyente de la clorofila de las plantas, de modo que está involucrado activamente en la fotosíntesis. La mayor parte del Mg de las plantas se encuentra en la clorofila. Las semillas también tienen niveles relativamente altos de Mg, si bien es cierto que los granos de maíz tienen niveles relativamente bajos.

El Mg es esencial en todos los procesos de fosforilación de la planta, promoviendo la transferencia, conversión y acumulación de la energía. Esto es, en la fotosíntesis, síntesis de

carbohidratos, proteínas, ruptura de los carbohidratos en ácido pirúvico (respiración). y la activación de numerosos sistemas enzimáticos. (p. 1-5)

#### **2.4.2.2 Síntomas de deficiencia.**

Los síntomas de deficiencia de mg primero aparecen en las hojas bajas (más viejas), debido a que el mg se transloca dentro de la planta. Muestran una coloración amarillenta, bronceada o rojiza, quedando las venas de las hojas de color verde. Las hojas del maíz se presentan con rayas amarillas, con venas verdes. Cultivos como la

papa, tomate, sojas y repollo también muestran una coloración anaranjado-amarilla y venas verdes. (Red agrícola)

según Red agrícola, (2018) el desequilibrio entre el Ca y el Mg en el suelo acentúa la deficiencia de Mg. Cuando la relación Ca-Mg se hace muy alta, las plantas absorben menos mg. Esto puede ocurrir cuando un agricultor al encalar ha usado solo cal calcítica por varios años en suelos relativamente bajos en Mg. La deficiencia de Mg también puede provenir de altas dosis de potasio o nitrógeno en forma de  $\text{NH}_4$  cuando los suelos tienen niveles marginales de Mg.

#### **2.4.2.3 El magnesio en el suelo.**

El mg del suelo no proviene de los fertilizantes o materiales de encalado, proviene de la intemperización de rocas que contienen minerales como la biotita, hornablenda, dolomita y clorita.

En general los suelos contienen menos mg que Ca debido a que el mg es más soluble y por lo tanto es más lixiviable. También, los materiales madre del suelo contienen menos Mg que Ca. Aun cuando la mayoría de los suelos contienen suficiente Mg como para soportar el crecimiento de las plantas, las deficiencias de Mg ocurren con mayor frecuencia en suelos de textura gruesa y suelos ácidos desarrollados bajo alta pluviosidad. También pueden presentarse deficiencias en suelos calcáreos donde el agua de riego contiene altos niveles de bicarbonato o en suelos alcalinos.

Siendo un catión, el  $Mg^{++}$  está sujeto al intercambio catiónico. Se le encuentra en la solución del suelo y es absorbido en la superficie de las arcillas y de la materia orgánica.

### **2.4.3 Ventajas y desventajas del biol/biosol.**

#### **2.4.3.1 Ventajas.**

No es tóxico y no contamina el medio ambiente por ser un abono que se obtiene de productos sanos y saludables.

El tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de vectores.

Conserva mejor el N, P, K, Ca debido al proceso de descomposición anaeróbica lo cual nos permite aprovechar totalmente los nutrientes.

Se logran incrementos de hasta el 30% en la producción de los cultivos sin emplear fertilizantes químicos.

Es fácil de elaborar.

Mejora el vigor de los cultivos, y le permite soportar con mayor eficacia los ataques de plagas y enfermedades y los efectos adversos del clima (sequías, heladas, granizadas).

Es de rápida absorción para las plantas, por su alto contenido de hormonas de crecimiento vegetal, aminoácidos y vitaminas B.

#### **2.4.3.2 Desventajas.**

Tiene un extenso periodo de elaboración así que se tiene que planificar su producción en el año para encontrar follaje verde de los insumos y poder usarlo durante la campaña agrícola.

(p. 1-2)

## **2.5 Marco legal e institucional.**

En 2010, Canales menciona que en El Salvador como la gran mayoría de países del mundo cuenta con leyes que regulan las actividades y proyectos que se realizan en su territorio, y el caso de los sistemas biodigestores no es la excepción, por ello se deben conocer las leyes que los regulan antes de empezar con su implementación para evitar futuros percances y mal entendidos.

### **2.5.1 Leyes que intervienen en la gestión del proyecto.**

#### **2.5.1.1 Constitución de la república.**

Art.65: La Salud de los habitantes de la República constituye un bien público. El Estado y las personas están obligados a velar por su conservación y restablecimiento.

Art.69: El Estado proveerá los recursos necesarios e indispensables para el control permanente de la calidad de los productos químicos, farmacéuticos y veterinarios, por medio de organismos de vigilancia. así mismo el Estado controlará la calidad de los productos alimenticios y las condiciones ambientales que puedan afectar la salud y el bienestar.

Art.101: El Estado promoverá el desarrollo económico y social mediante el incremento de la producción, la productividad y la racional utilización de los recursos. Con igual finalidad, fomentará los diversos sectores de la producción y defenderá el interés de los consumidores.

Art.105: El Estado fomentará el establecimiento, financiación y desarrollo de la agroindustria, en los distintos departamentos de la República, a fin de garantizar el empleo de la mano de obra y la transformación de materias primas producidas para el sector agropecuario nacional.

#### **2.5.1.2 Ley del medio ambiente.**

Inicialmente la Ley del Medio Ambiente en relación a la problemática Cambio Climático, solamente consagraba en sus disposiciones la responsabilidad del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales de elaborar y coordinar la ejecución de Planes Nacionales para el Cambio Climático y la Protección de la Capa de Ozono.

Pero no se desarrollaba de forma profunda y concreta la mitigación y adaptación al fenómeno, razón por la cual, en el año 2012 se realizaron reformas a esta ley secundaria, con

las que se definió legalmente los conceptos referidos al Cambio Climático y se creó un Título completo dedicado a su adaptación; disposiciones que se analizarán a continuación:

Art. 1.- “La presente ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República, que se refiere a la protección, conservación y recuperación del medio ambiente; el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, pública y privada y la protección ambiental como obligación básica del Estado, los municipios y los habitantes en general; y asegurar la aplicación de los tratados o convenios internacionales celebrados por El Salvador en esta materia.” Es decir que si el ordenamiento jurídico ya lo regula es cuestión de que los tomadores de decisiones implementen políticas ambientales. (

Art.2: La política Nacional de Medio Ambiente, se fundamentará en los siguientes principios:

Todos los habitantes tienen derecho a un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Es obligación del Estado tutelar, promover, defender este derecho de forma activa y sistemática, como requisito para asegurar la armonía entre los seres humanos y la naturaleza.

El desarrollo económico y social debe ser compatible y equilibrado con el medio ambiente; tomando en consideración el interés social señalado en el Art.117 de la Constitución.

Se deberá asegurar el uso sostenible, disponibilidad y calidad de los recursos naturales, como base de un desarrollo sustentable y así mejorar la calidad de vida de la población.

Es responsabilidad de la sociedad en general, del Estado y de toda persona natural y jurídica, reponer o compensar los recursos naturales que utiliza para asegurar su existencia, satisfacer sus necesidades básicas, de crecimiento y desarrollo, así como de enmarcar sus acciones, para atenuar o mitigar su impacto en el medio ambiente.

En la gestión de protección del medio ambiente, prevalecerá el principio de prevención y precaución.

La contaminación del medio ambiente o alguno de sus elementos, que impida o deteriore sus procesos esenciales, conllevará como obligación la restauración o compensación del daño causado debiendo indemnizar al Estado o a cualquier persona natural o jurídica afectada en su caso, conforme a la presente ley.

En los procesos productivos o de importación de productos deberá incentivarse la eficiencia ecológica, estimulando el uso racional de los factores productivos y desincentivándose la producción innecesaria de desechos sólidos, el uso ineficiente de energía, del recurso hídrico, así como el desperdicio de materias primas o materiales que pueden reciclarse.

#### **2.5.1.3 Referente a la contaminación.**

Art.58: El Ministerio en coordinación con los Ministerios de Salud Pública y Asistencia Social, Economía y las municipalidades, de acuerdo a las leyes pertinentes y reglamentos de las mismas, regulará el manejo, almacenamiento y disposición final de desechos peligrosos producidos en el país.

#### **2.5.1.4 Prohibición de introducir desechos peligrosos.**

Art.59: Se prohíbe la introducción en el territorio nacional de desechos peligrosos, así como su tránsito, liberación y almacenamiento.

Art.60: Toda persona natural o jurídica que use, genere, recolecte, almacene, reutilice, recicle, comercialice, transporte, haga tratamiento o disposición final de sustancias, residuos y desechos peligrosos, deberá obtener el Permiso Ambiental correspondiente, de acuerdo a lo establecido en esta ley.

#### **2.5.1.5 Ley general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo.**

Art.8: Será responsabilidad del empleador formular y ejecutar el Programa de Gestión de Prevención de Riesgos Ocupacionales de su empresa, de acuerdo a su actividad y asignar los recursos necesarios para su ejecución. El empleador deberá garantizar la participación



efectiva de trabajadores y trabajadoras en la elaboración, puesta en práctica y evaluación del referido programa.

Art.20: Todo lugar de trabajo debe reunir condiciones estructurales que ofrezcan garantías de seguridad e higiene ocupacional frente a riesgos de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, según sea la naturaleza de las labores que se desarrollen dentro de las mismas; conforme a lo establecido en la presente ley sus reglamentos, en lo referente a sus equipos e instalaciones en general principalmente pasillos, paredes, techos, asientos, comedores, dormitorios, servicios sanitarios, instalaciones eléctricas, protecciones de maquinaria, aparatos de izar, entre otros.

Art.21 Todos los lugares de trabajo y en particular las vías de circulación, puertas, escaleras, servicios sanitarios y puestos de trabajo, deben estar acondicionados para personas con discapacidad de acuerdo a lo establecido en la Normativa técnica de accesibilidad urbana arquitectónica de transporte y comunicación, elaborada por el Consejo Nacional de Atención Integral para Personas con Discapacidad.

#### **2.5.1.6 Código de salud.**

Regulaciones de Funcionamiento: Saneamiento del Ambiente Urbano y Rural:

Art.81: Se prohíbe la crianza y explotación de animales domésticos dentro del radio urbano de las poblaciones, se permitirá únicamente en lugares especialmente designados para ellos, previo al informe favorable de la correspondiente autoridad de salud que vigilará el mantenimiento de las adecuadas condiciones higiénicas

Art .86: El Ministerio por sí o por medio de sus delegados tendrá a su cargo la supervisión del cumplimiento de las normas sobre alimentos y bebidas destinadas al consumo de la población dando preferencia a los aspectos siguientes:

La inspección y el control de todos los aspectos de la elaboración, almacenamiento refrigeración, envase, distribución y expendio de los artículos alimentarios y bebidas. De materias primas que se utilicen para su fabricación, de los locales.

**2.5.1.7 Referente a la contaminación sección siete, saneamiento del ambiente urbano y rural.**

Art.78 El Ministerio, directamente o por medio de los organismos competentes tomará las medidas que sean necesarias para proteger a la población de contaminantes tal como: humo, ruidos, vibraciones; olores desagradables. Gases tóxicos; pólvora u otros atmosféricos.

Referente a la Contaminación Sección siete Saneamiento del Ambiente Urbano y Rural.

Art.78 El Ministerio, directamente o por medio de los organismos competentes tomará las medidas que sean necesarias para proteger a la población de contaminantes tal como: humo, ruidos, vibraciones; olores desagradables. Gases tóxicos; pólvora u otros atmosféricos.

**2.5.1.8 Código municipal título III de la competencia municipal capítulo único.**

Art.4: Compete a los Municipios:

La promoción y desarrollo de programas como saneamiento ambiental, prevención y combate de enfermedades.

El impulso del turismo interno y externo y la regulación del uso y explotación turística y deportiva de lagos, ríos, islas, bahías, playas y demás sitios propios del Municipio.

La promoción del desarrollo industrial, comercial y agrícola, artesanal y de los servicios.

El incremento y protección de los recursos renovables y no renovables. (p. 185 )

**2.6 Estudios realizados**

**2.6.1 Evaluación de las concentraciones en nitrógeno, fosforo y potasio de biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuna en un biodigestor de geomembrana de PVC.**

Dicho estudio fue realizado en la Universidad Nacional de Trujillo en Perú, el cual trata sobre la comparación de las concentraciones de N, P y K del biol y biosol. Teniendo como

objetivo verificar si existen diferencias significativas en las concentraciones de N, P y k entre ambos componentes, del cual se tomarán 4 muestras de cada componente con diferencia de 15 días entre ellas.

Los valores obtenidos fueron procesados con el método estadístico T- student para así comparar las medias y ver si existe diferencia significativa entre ellas. Tomando como conclusión el resultado que arrojó la comparación de concentraciones promedio de N, P y K entre el biol y biosol, no existe diferencia significativa, lo que permite concluir que ambos efluentes presentan las mismas concentraciones de estos macronutrientes que son esenciales para las plantas. En lo cual se tomaron 4 muestras de 500 ml cada uno para ser llevadas al servicio de análisis y asesoría DELTAS S.R.L desde allí se determinaron las concentraciones totales de N, P y K. obteniendo los siguientes resultados en el cuadro 1.

*Tabla 1 Concentraciones totales de N, P Y K.*

| <b>PARAMETROS</b> | <b>BIOL</b>            | <b>BIOSOL</b>          |
|-------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Nitrógeno</b>  | 6,625 <sup>Ns</sup>    | 6,000 <sup>Ns</sup>    |
| <b>Fosforo</b>    | 250.92 <sup>Ns</sup>   | 256.78 <sup>Ns</sup>   |
| <b>Potasio</b>    | 1,152.37 <sup>Ns</sup> | 1,638.60 <sup>Ns</sup> |

### ***2.6.2 Evaluación de la calidad de biogas y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de pvc.***

El estudio se realizó en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) en las instalaciones del Centro Modelo de Tratamiento de Residuos – CEMTRAR. En este estudio se evaluó la calidad de biogás y biol producido en biodigestores tubulares de PVC con dos diferentes mezclas: uno con una relación estiércol y agua de 1/4 y otro con 1/5. El biol obtenido

en el estudio tiene una buena cantidad de N-P-K. Las cantidades de Ca, Mg y Na encontradas en los bioles de las mezclas se asemejan a la de los abonos orgánicos, por lo que puede ser usado como fertilizante en cultivos hidropónicos.

Los análisis de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Na), pH y conductividad eléctrica se realizaron en el Laboratorio de Suelos de la UNALM. Los análisis de parásitos (helmintos y protozoos) se realizaron en el Laboratorio de la Dirección General de Salud Ambiental-DIGESA, mencionados en el cuadro 2.

*Tabla 2 Resultados de la mezcla 1/4 Y 1/5.*

| <b>PARAMETROS</b>      | <b>Mezcla ¼ MEDIA</b> | <b>Mezcla 1/5 MEDIA</b> |
|------------------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>Ph</b>              | 7 <sup>ns</sup>       | 7 <sup>ns</sup>         |
| <b>CE (ds/m)</b>       | 15.4 <sup>ns</sup>    | 14.4 <sup>ns</sup>      |
| <b>N total (mg/L)</b>  | 1094.5 <sup>ns</sup>  | 996.6 <sup>ns</sup>     |
| <b>P total (mg/L)</b>  | 225.7 <sup>ns</sup>   | 224 <sup>ns</sup>       |
| <b>K total (mg/L)</b>  | 2930.8 <sup>ns</sup>  | 2692.4 <sup>ns</sup>    |
| <b>Ca total (mg/L)</b> | 1132.0 <sup>ns</sup>  | 1172.6 <sup>ns</sup>    |
| <b>Mg total(mg/L)</b>  | <sup>ns</sup>         | 500 <sup>ns</sup>       |

### **2.6.3 Efecto de biodigestor plástico de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales de establos bovino.**

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el efecto del biodigestor de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales y excreta (estiércol y orina) de establos bovino para inactivar su contaminación bacteriológica y transformarlas en biofertilizante. El análisis se estratifico por tipo de muestra (sólida y líquida) de cada variable se evaluó el efecto de origen de las muestras, mostrándose en el cuadro 3.

*Tabla 3 Parámetros en el afluente y efluente sólidos del biodigestor anaeróbico*

| <b>Componentes</b>      | <b>Represa<br/>(agua para el<br/>lavado del<br/>establo)</b> | <b>Entrada biodigestor<br/>(procedente del lavado del<br/>establo)</b> | <b>Salida de<br/>biodigestor</b> |
|-------------------------|--|--|----------------------------------|
| <b>Ph</b>               | <b>7.8</b>   | <b>6.78* b</b>   | <b>7.02* ab</b>                  |
| <b>Fosforo %</b>        | <b>0.04</b>  | <b>0.15 * a</b>  | <b>0.10 **ab</b>                 |
| <b>Calcio ppm</b>       | <b>40</b>  | <b>180 ** a</b>  | <b>110 ** b</b>                  |
| <b>Potasio ppm</b>      | <b>30</b>  | <b>450 ** a</b>  | <b>280 ** b</b>                  |
| <b>Magnesio<br/>pmm</b> | <b>20</b>  | <b>190 ** a</b>  | <b>80 ** b</b>                   |

**2.6.4 Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores.**

La presente investigación tuvo como objetivo la evaluación de la calidad de dos abonos orgánicos líquidos producidos a partir de estiércol de bovino, mediante dos procesos consecutivos la digestión anaerobia en biodigestores (Biol I-G) y la fermentación hemolítica sobre el biol obtenido (Biol II-G) simples y poco costosos, con el fin de identificar alternativas ante el indiscriminado uso de fertilizantes químicos en la agricultura. Por ello, los bioles fueron sometidos a un análisis de parámetros físico- químicos como pH, conductividad eléctrica, concentración de materia orgánica, N, P, K, Ca y Mg, mostrada en el cuadro 4.

*Tabla 4 Caracterización de la calidad de dos tipos de biodigestores.*

| <b>Componentes</b>                | <b>Biodigestor<br/>35% solido</b> | <b>Biodigestor<br/>65% solido</b> |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Ph</b>                         | <b>7.23 **a</b>                   | <b>3.66**b</b>                    |
| <b>Materia organica<br/>(g/L)</b> | <b>3.1**b</b>                     | <b>10.6**a</b>                    |
| <b>Nitrógeno (mg/L)</b>           | <b>321**b</b>                     | <b>1876**a</b>                    |
| <b>Fosforo (mg/L)</b>             | <b>55.4**b</b>                    | <b>203**a</b>                     |
| <b>Potasio (mg/L)</b>             | <b>1993**b</b>                    | <b>9006**a</b>                    |
| <b>Calcio (mg/L)</b>              | <b>601**b</b>                     | <b>1523**a</b>                    |
| <b>Magnesio (mg/L)</b>            | <b>2**b</b>                       | <b>1044**a</b>                    |

### **3 MATERIALES Y METODOS**

### **3.1 Características de la investigación**

#### **3.1.1 Ubicación**

Se llevó a cabo en la porqueriza del campo experimental, en la Unidad de Investigación Agropecuaria (UNIAGRO) de la Facultad Multidisciplinaria Oriental de La Universidad de El Salvador. Las coordenadas geográficas del lugar son: 13° 26´ longitud norte y 88° 09´ longitud oeste, cantón el Jute, Km. 144 de la carretera que conduce hacia el Cuco, a una elevación de 117 m.s.n.m. en el departamento de San Miguel.

#### **3.1.2 Duración del estudio**

El estudio se realizó en un tiempo de 120 días aproximadamente, tomando en cuenta: la construcción, recolección y análisis de muestra para las diferentes mezclas de agua y excreta bovina utilizadas

#### **3.1.3 Factores en estudio.**

Se midieron dos factores: la calidad y rendimiento de los biofertilizantes obtenidos, utilizando diferentes proporciones en la cantidad de agua y excreta bovina

#### **3.1.4 Variables.**

Las variables que se midieron en la investigación fueron:

- ✓ Análisis químico (nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y magnesio.).
- ✓ pH.
- ✓ Porcentaje de materia seca.
- ✓ Temperatura interna
- ✓ Tiempo de retención de carga.
- ✓ Análisis económico.

Tabla 5 Operacionalización de Variables.

| Variables                             | Unidades de<br>Análisis.  | Definición<br>conceptual.   | Operacionalización<br>de variables.   | Instrumentos/<br>materiales<br>utilizados.   |
|---------------------------------------|---|---|---|--|
| 1. El tiempo de retención hidráulica. | Se verifico los días en los cuales la materia prima estuvo sometida al proceso. | Tiempo medio que debe estar sometida la materia prima a actividades bacterianas para generar biofertilizante y transformarse en efluente. | Toma de tiempo desde el llenado de la primera carga hasta el momento de la primera muestras, se verifico el tiempo al extraer cada una de las muestras. | Barriles de polietileno. Tubos de PVC 2".<br>Tubos PVC 1/2".<br>Neumático.<br>Barómetro.<br>Mangueras para fluidos. Computadora portátil.<br>Botas de hule. Cubetas de plástico. Balanza |



|   |  |  |  |  |
|---|--|--|--|--|
| <p>2. El pH del material orgánico.</p>      | <p>Fueron presentada la neutralidad y acidificación que contenga la muestra.</p> | <p>Medida que nos indica el nivel de alcalinidad que posee el compuesto.</p> | <p>Se midió el pH de las muestras de excretas tomadas de la mezcla utilizando un análisis de laboratorio en CEDAF Morazán.</p> | <p>cedazo<br/>Balde<br/>termómetro<br/>madera manta<br/>blanca</p> |
| <p>3. Temperatura interna del tanque de</p> | <p>Unidad de grados</p>  | <p>Temperatura nivel térmico que existe en el interior del</p>               | <p>Se ubico termómetros de laboratorio en ambos barriles de polietileno.</p>   |  |

|            |          |   |  |  |
|------------|----------|---|--|--|
| retención. | Celsius. | biodigestor e<br>influye en el<br>crecimiento de los<br>organismos. |  |  |
|------------|----------|---|--|--|

|  |   |   |  |  |
|--|---|---|--|--|
| <p>4. Temperatura externa del ambiente contorno al tanque.</p> | <p>Unidad de grados Celsius del ambiente.</p>                   | <p>Temperatura que existe en el ambiente en contorno a los biodigestores.</p>   | <p>Informarse de la temperatura ambiente promedio departamental.</p>   |  |
| <p>5. Porcentaje de materia seca.</p>                          | <p>Porcentaje Total De materia seca que contenga cada unade</p> | <p>Es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a</p> | <p>Se peso la muestra liquida extraída del biodigestor para luego ubicarla al sol (5 días), en una zaranda que contendrá</p> |  |

|  |                          |                             |  |  |
|--|--------------------------|-----------------------------|--|--|
|  | las muestras en estudio. | través de un calentamiento. | una manta que funcionará como colador para evacuar el agua hasta estar completamente seca, pesar la base seca obtenida y poder conocer |  |
|--|--------------------------|-----------------------------|--|--|

### 3.1.5 *Diseño experimental*

En la fase de campo se utilizaron un total de 3 biodigestores, los cuales tuvieron diferente concentración de agua y excreta bovina.

Los resultados del experimento, fueron evaluados mediante el diseño estadístico bloques completamente al azar, los cuales se obtuvieron 8 muestras por cada uno de los biodigestores. Dicho diseño se realizó con las expresiones estadísticas siguientes

$$Y_{ij} = \mu + t_i +$$

$\beta_j + \varepsilon_{ij}$  Dónde:

$Y_{ij}$  = Son las observaciones obtenidas la j-ésima vez que se repite el experimento, con el tratamiento i-ésimo.

$\mu$  = Media general.

$\varepsilon_{ij}$  = Efecto del error experimental que se presenta al efectuar la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento. (Cuadro 6)

*Tabla 6 Distribución estadística del modelo.*

| Fuente de variación | Grados de libertad |
|---------------------|--------------------|
| Tratamiento (t-1)   | <b>2</b>           |
| Bloques (r-1)       | <b>7</b>           |
| Error (t-1) (r-1)   | <b>14</b>          |
| Total               | <b>23</b>          |

Donde:

t: número de tratamiento

r: número de bloques.

### **3.1.6 Descripción de los tratamientos.**

Los sustratos que se evaluaron son los siguientes

T1= estiércol (75%) y agua (25%)

T2= estiércol (50%) y agua (50%)

T3= estiércol (25%) y agua (75%) (Fig.1)

### **3.1.7 Unidades experimentales.**

Se utilizaron 8 muestras por biodigestor extrayendo la primera el día 1 y posterior a un periodo de 30 días se obtuvieron muestras cada 10 días después de la muestra 2.

## **3.2 Metodología experimental.**

### **3.2.1 Instalación y montaje de biodigestores.**

El ensayo se estableció en un área de 9.69 m<sup>2</sup>. En el lugar de la investigación, se contó con dos biodigestores ensamblados; por lo que se realizó la construcción de un tercer biodigestor. Para completar los biodigestores que se requirieron para el experimento y el procedimiento fue el siguiente:

1. Se utilizó un barril de polietileno de una capacidad de 210 litros como los biodigestores del sistema tradicional, al biodigestor se le adaptó en el extremo superior dos tubos 0.02m de diámetro, el primero que se ubicó en el centro de los barriles con una longitud de 0.15 m y el segundo a un lado con una longitud de 0.80 m, el segundo tubo con una válvula adaptada en la parte inferior.
2. Se ubicó un tubo de 0.05 m de diámetro con una longitud de 1.10 m en el cual se insertó en la parte superior de los barriles, quedando fuera del mismo una longitud

de 0.15m. En un lado del barril se adaptó un tubo en la parte inferior con una longitud de 0.10m, sellando las adaptaciones para evitar fugas en el sistema.

3. Se adaptó el filtro para evitar exceso de presión, formado por una botella llena con  $0.003\text{m}^3$  agua.
4. Se ubicó un tubo de 0.021m de diámetro que tiene en el interior, mascón de alambre, el cual sirve como filtro de gas metano.
5. Se instaló una manguera transparente de 0.013m de diámetro y 1.5m de largo, para conectar los biodigestores con el gasómetro (neumático de hule con un diámetro de 0.15m), y se adaptó un tubo de 0.013m de diámetro y de 2.0 m de longitud, que tiene la función de salida para el gas producido.

### **3.2.2 *Sustrato utilizado.***

Se utilizó estiércol de vacas en ordeño, con periodo de maduración de 1 día y agua obtenido del Departamento de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador Facultad Multidisciplinaria Oriental.

### **3.2.3 *Llenado de los biodigestores.***

En cada uno de los biodigestores se encontrará diferente porcentaje de carga ya sea agua y excremento bovino (cuadro 7)

*Tabla 7 Cantidades de agua y excreta bovino total por cada biodigestor.*

| <b>Biodigestores</b>    | <b>Porcentaje</b>                 | <b>Agua (libras)</b> | <b>Excremento bovino (libras)</b> | <b>Total (libras)</b> |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| <b>Biodigestor uno</b>  | 25% agua<br>75% excremento bovino | 86.62                | 259.87                            | 346.5                 |
| <b>Biodigestor dos</b>  | 50% agua<br>50% excremento bovino | 173.25               | 173.25                            | 346.5                 |
| <b>Biodigestor tres</b> | 75% agua<br>25% excremento bovino | 259.87               | 86.62                             | 346.5                 |

### **3.2.4 Plan de manejo.**

#### **Preparación del estiércol.**

Para la preparación del estiércol de los tratamientos, se utilizaron diferentes procesos, la recolección, el pesado y por último la mezcla con las diferentes cantidades de agua,



### Obtención de acidez, temperatura y humedad.

Para la obtención de estos parámetros ambientales se utilizó el siguiente equipo:

- **PH- metro o potenciómetro:** Es un instrumento que mide, en estrecha relación con la temperatura, acidez y/o la basicidad del producto que se desea analizar.
- **Termómetro:** Instrumento utilizado para medir la temperatura de un cuerpo o sustrato.
- **Materia seca:** Fórmula para conocer el porcentaje del extracto seco que es la parte que resta de un material tras extraer toda el agua posible a través de un calentamiento.

### Diseño de tratamientos.

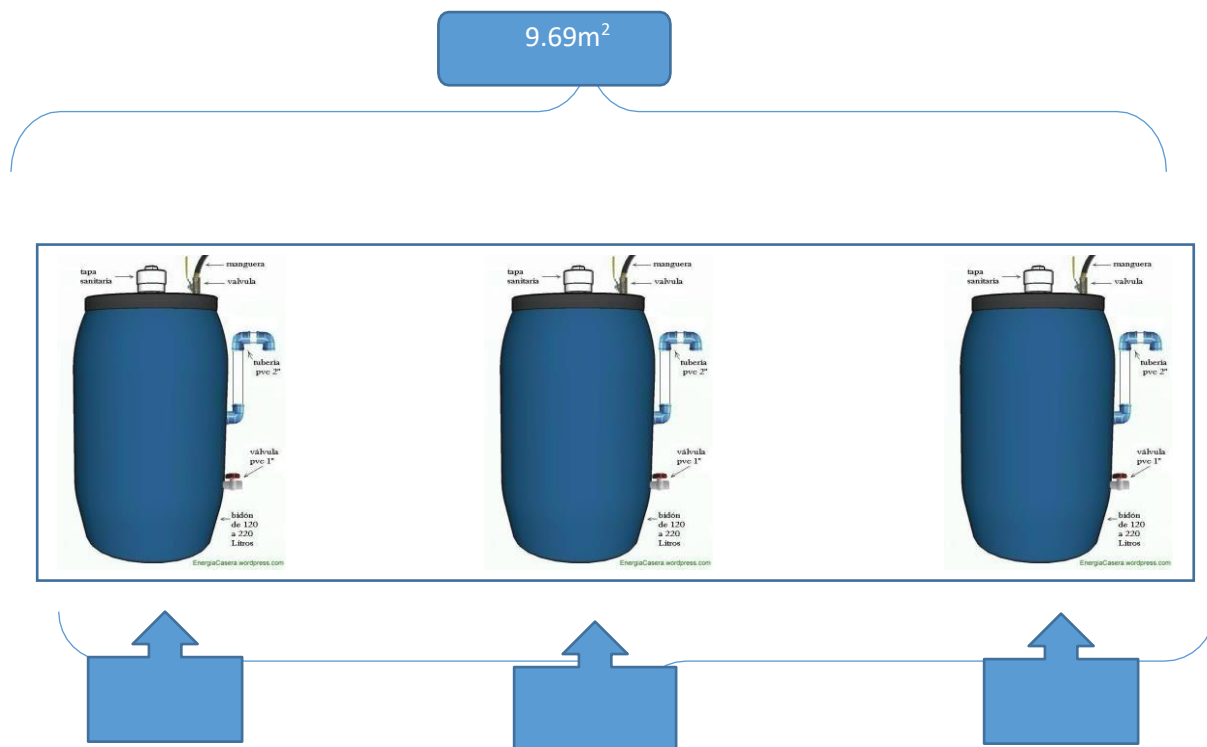


Ilustración 1 Diseño y distribución de los tratamientos.

### **3.2.5 Toma de datos.**

Las muestras que se obtuvieron de cada biodigestor previo a ser analizadas se colocaron al sol para obtener base seca (Biosol) por un periodo de 7 días. La primera muestra (B1) se extrajo el día 1 del llenado. Posterior al llenado inicial, los biodigestores se mantuvieron intactos durante 30 días (maduración) para tomar la segunda muestra dicho día.

#### **- Porcentaje de nutrientes:**

6. Muestra 1 se extrajo el día 1, posterior a él se esperó 30 días para extraer muestra 2 y luego se tomaron las muestras con diferencia de 10 días entre toma de cada muestra, teniendo un total de 24 muestras en el estudio.
7. Las muestras de cada biodigestor se ubicaron al sol hasta estar completamente secas, aproximadamente 7 días, al terminar el proceso de secado, fueron trasladadas a las instalaciones del campo experimental de CENTA san Andrés, donde se realizaron los análisis de macro-nutrientes primarios y secundarios.

#### **- Materia seca:**

Con respecto a esta variable se obtuvo pesando la muestra líquida extraída del biodigestor siendo ubicadas al sol (7 días), en una zaranda que tenía una manta que funcionara como colador, para evacuar el agua hasta estar completamente seca, pesar la base seca obtenida y poder conocer el porcentaje de la materia seca. El peso obtenido después de la desecación, y calculado su porcentaje, representa el extracto seco.

#### **- Temperatura:**

Se le incorporo 2 termómetros de mercurio (inferior y superior) a cada biodigestor. Tomando temperatura 3 veces al día (9:00am, 12:00pm y 3:00pm) durante 90 días.

Obteniendo además la temperatura exterior las cuales fueron brindadas por las instalaciones de la Universidad de El Salvador.

- **Acidez:**

Se midió el valor del pH con el instrumento PH-metro de cada una de las muestras, hasta completar las 8 por biodigestor.

- **Tiempo de retención de carga:**

Se tomaron las muestras bajo el mismo cronograma de las anteriores variables, teniendo un total de 24 muestras en el estudio.

**Análisis económico:**

Se realizó una comparación económica entre los 3 tratamientos evaluados, basándose en la relación beneficio costo.

**3.2.6 Equipo.**

- Balanza.
- Cedazo.
- Baldes.
- Termómetro.
- Madera.
- Manta blanca.

### 3.3 Materiales e instrumentos.

La utilización de instrumentos, equipo y materiales se detalla a continuación (cuadro 8)

*Tabla 8 Materiales para la Construcción del sistema biodigestor artesanal.*

|   |
|---|
| 1 codo PVC de 0.01M de 90 °.                |
| 1 codo PVC de 0.05M con ángulo de 45 °.     |
| 2 T de PVC de 0.01M.                        |
| 2 adaptadores macho con rosca PVC de 0.05M. |
| 5 adaptadores macho con rosca PVC de 0.01M. |
| 1 tapone hembra con rosca PVC de 0.05M.     |
| 1 tapón hembra con rosca PVC de 0.01M.      |
| 1 llave de paso PVC de 0.05M.               |
| 1 llave de paso de metal de 0.01M.          |
| 1 manómetro.                                |
| Manguera de 0.01m por 3 M (transparente).   |
| Manguera de gas propano 3 M.                |
| Pegamento para PVC.                         |
| 2 abrazaderas de 0.01M.                     |
| Reductor PVC de 0.01m a 0.006M.             |
| Viruta de hierro.                           |
| Bomba manual.                               |

## 4 RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Resultado de análisis de pH.

La toma de estos datos para evaluar el resultado de análisis de pH de cada una de las mezclas producidas se realizó la primera toma el día 1, la segunda el día 30 y respectivamente cada una de las tomas se realizó con 10 días de diferencia. Con una duración de 90 días se obtuvieron los siguientes resultados promedio por tratamiento; T1: 6.67, T2:6.57 y T3: 6.58.

(Cuadro 9, Fig. 2, Cuadro A-3)

*Tabla 9 Resultado de pH promedio por tratamiento*

| Tratamiento                | Promedio    |
|----------------------------|-------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>6.67</b> |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>6.57</b> |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>6.58</b> |
| <b>Promedio</b>            | 6.61        |
| <b>Total</b>               | 19.83       |

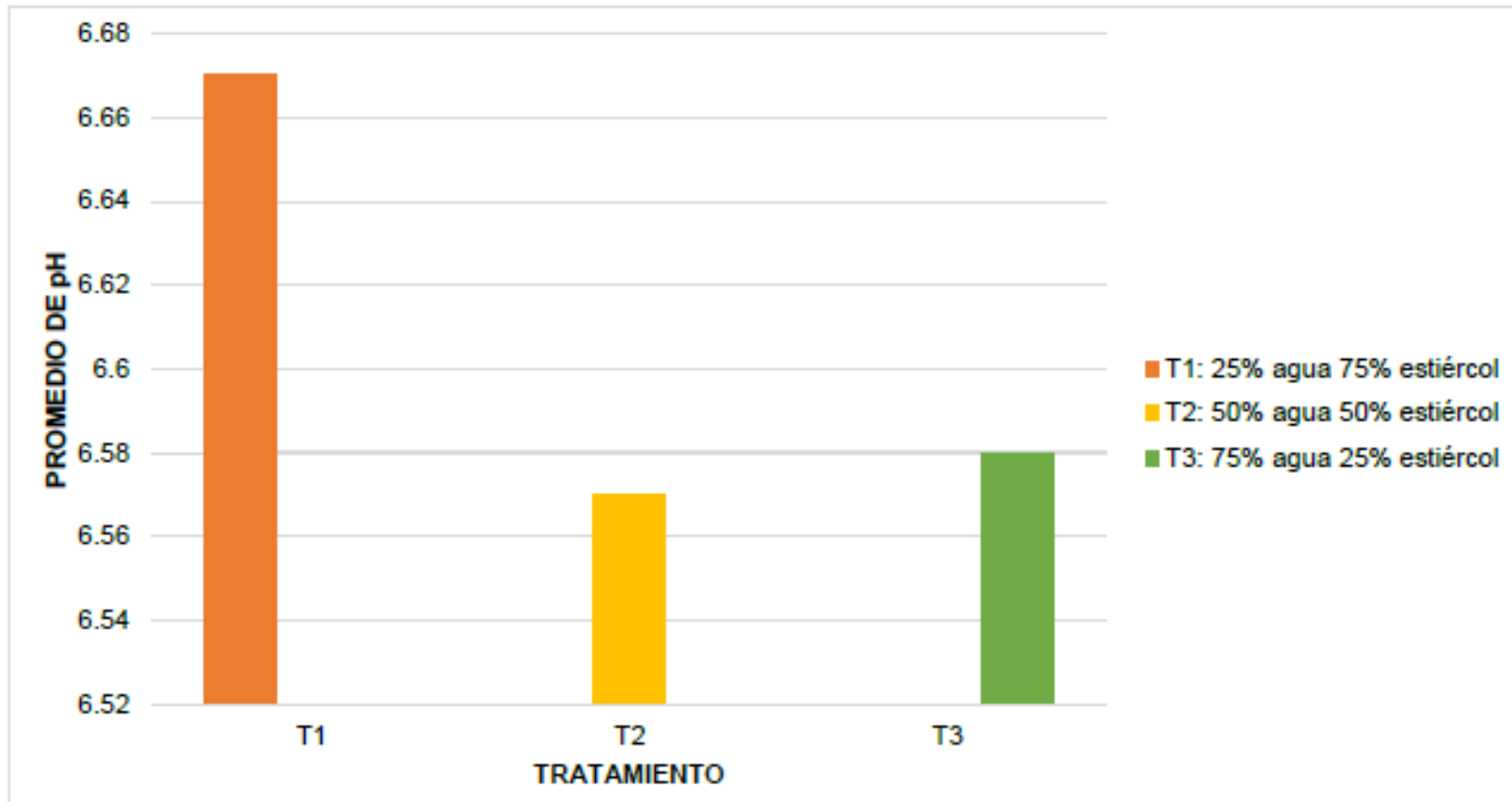
Analizando estadísticamente estos resultados en el análisis de varianza (cuadro A-4), se puede observar que no existe diferencia significativa entre los tratamientos ( $P>0.05$ ),

indicando de esta manera, que el comportamiento de los tratamientos en el proceso anaeróbico fue similar. Para el caso de los bloques que comprenden los días en los que estuvo sellado el biodigestor y los días de extracción de efluente, indica que es altamente significativo, de tal manera que existe un bloque mejor que los demás, siendo el pH promedio del BI (día 1): 7.43 resultando superior al resto. (Cuadro 10 y fig. 3)

(López, 2018) menciona que este resultado se estima fue afectado porque experimentalmente se ha comprobado que el efecto inhibitorio del amoníaco libre aumenta a pH alcalinos comprobando así el dato anterior estimado con un promedio de BI (día 1): 7.43. La cual fue obtenida el día 07 de diciembre del 2018. En caso contrario como el BVIII (día 90): 5.93 en este caso se explica según maría celeste (2010) que en su investigación de grado el primer signo de acidificación es el aumento en la concentración del ácido propiónico. (Canales, 2010).

(Aparcana, 2008) En un estudio sobre el valor fertilizante de cuatro tipos de biol producidos a partir de estiércol de vaca reportaron valores de pH de 7,96; 8,1 y de 6,7 a 7,9. Observando dichos resultados donde nuestros datos están por debajo de este estudio.

(De la Rosa, 2012) Reportó para tres tipos de bioles un pH medianamente básico y para otras cinco muestras de productos un pH neutro.



*Ilustración 2 Promedio de análisis de pH por tratamiento.*

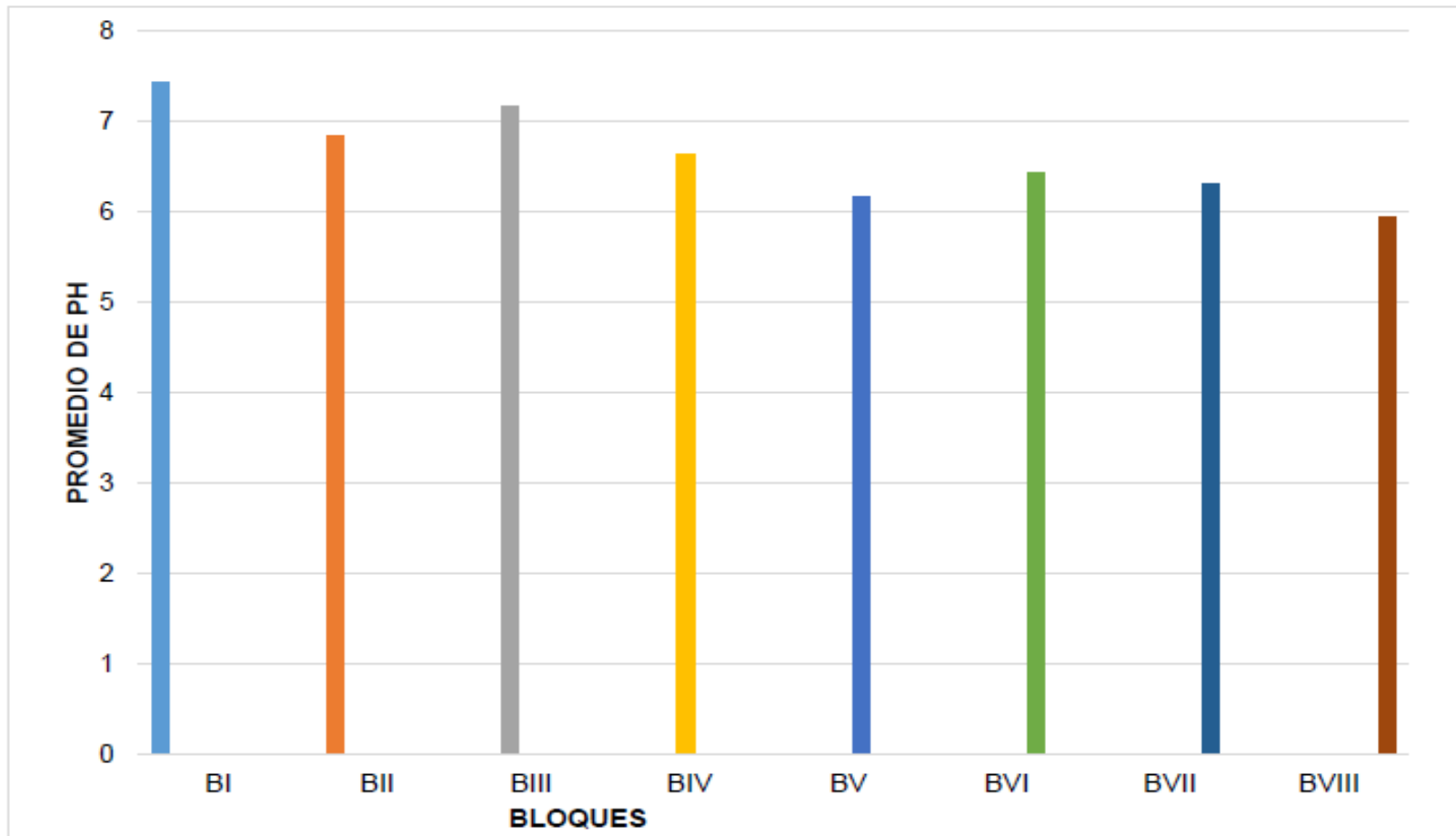
El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0- 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. (FAO, 2013)

Los valores de PH puede ser corregida para mantenerlo dentro del rango adecuado para el proceso de fermentación, cuando el pH es alto se puede sacar frecuentemente una pequeña cantidad de efluente y agregar materia orgánica fresca en la misma cantidad o bien, Cuando el pH es bajo se puede agregar fertilizante, cenizas, agua amoniacal diluida. (Reyes, 2017)

*Tabla 10 Resultado de pH promedio por bloques.*

| <b>Bloques</b>  | <b>Promedio</b> |
|-----------------|-----------------|
| BI              | <b>7.43</b>     |
| BII             | <b>6.83</b>     |
| BIII            | <b>7.17</b>     |
| BIV             | <b>6.63</b>     |
| BV              | <b>6.17</b>     |
| BVI             | <b>6.43</b>     |
| BVII            | <b>6.30</b>     |
| BVIII           | <b>5.93</b>     |
| <b>Promedio</b> | 6.61            |
| <b>Total</b>    | 52.90           |





*Ilustración 3 Promedio de pH por bloque.*

## 4.2 Porcentaje de Nitrógeno

Analizando los resultados del porcentaje de nitrógeno, en las muestras de biofertilizantes de los diferentes tratamientos obteniendo los siguientes datos promedios: T1: 2.37% T2:2.29% y T3:2.20%. (Cuadro 11, Figura. 4, Cuadro A-7)

*Tabla 11 Porcentaje de Nitrógeno promedio por tratamiento.*

| Tratamiento                | Promedio (%) |
|----------------------------|--------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>2.37</b>  |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>2.29</b>  |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>2.20</b>  |
| <b>Promedio</b>            | 2.28         |
| <b>Total</b>               | 6.86         |

Según el análisis de varianza (cuadro A-8), indica ( $P > 0.05$ ) que no existe diferencia significativa entre los tratamientos comportándose de la misma manera en el proceso, resultando así, que no existe un tratamiento mejor que el resto. Siendo caso contrario para los bloques de los cuales uno es mejor que el otro, siendo de mayor porcentaje el BV (día 60): 2.60% dicho dato se obtuvo de la muestra número 5, la cual fue tomada el día 06 de febrero del 2019 para ser enviada al CENTA - SAN ANDRES. Y con un bloque de menor porcentaje es el BIII (día 40): 2.09% que se obtuvo el día 17 de enero del 2019. (Cuadro 12 y fig. 5)

(Clark,1996) proponen como aceptable un porcentaje superior a 2% para N, como un ámbito óptimo.

Gran parte del nitrógeno contenido en el estiércol se halla en estado orgánico y se mineraliza con mucha lentitud, por lo tanto, se puede pensar en adicionar al suelo el compost, en el cual el nitrógeno está degradado en un gran porcentaje, y la actividad biológica hace asimilable el contenido total del nitrógeno presente en los estiércoles.

(Agronet) menciona que el nitrógeno es particularmente complejo y dinámico, ya que en él se dan una serie de cambios y transformaciones, de las cuales un gran número de ellas dependen netamente de procesos microbiales, que a su vez se ven afectados por diferentes factores como: temperatura, humedad, aireación y pH del suelo entre otro.

(Elizondo, 2006) Si esta relación C/N es muy alta, el Nitrógeno se va a consumir rápidamente por las bacterias metanogénicas para satisfacer sus necesidades proteicas y no reaccionará más con el contenido restante de Carbono. Como resultado, la producción de gas bajara.

Por otro lado, si la relación C/N es muy baja, el Nitrógeno será liberado y acumulado en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ). El amonio incrementa el PH del contenido del biodigestor. Un PH mayor a 8.5 empezará a mostrar un efecto tóxico en la población metanogénica.

(Elizondo, 2006) Si esta relación C/N es muy alta, el Nitrógeno se va a consumir rápidamente por las bacterias metanogénicas para satisfacer sus necesidades proteicas y no reaccionará más con el contenido restante de Carbono. Como resultado, la producción de gas bajara.

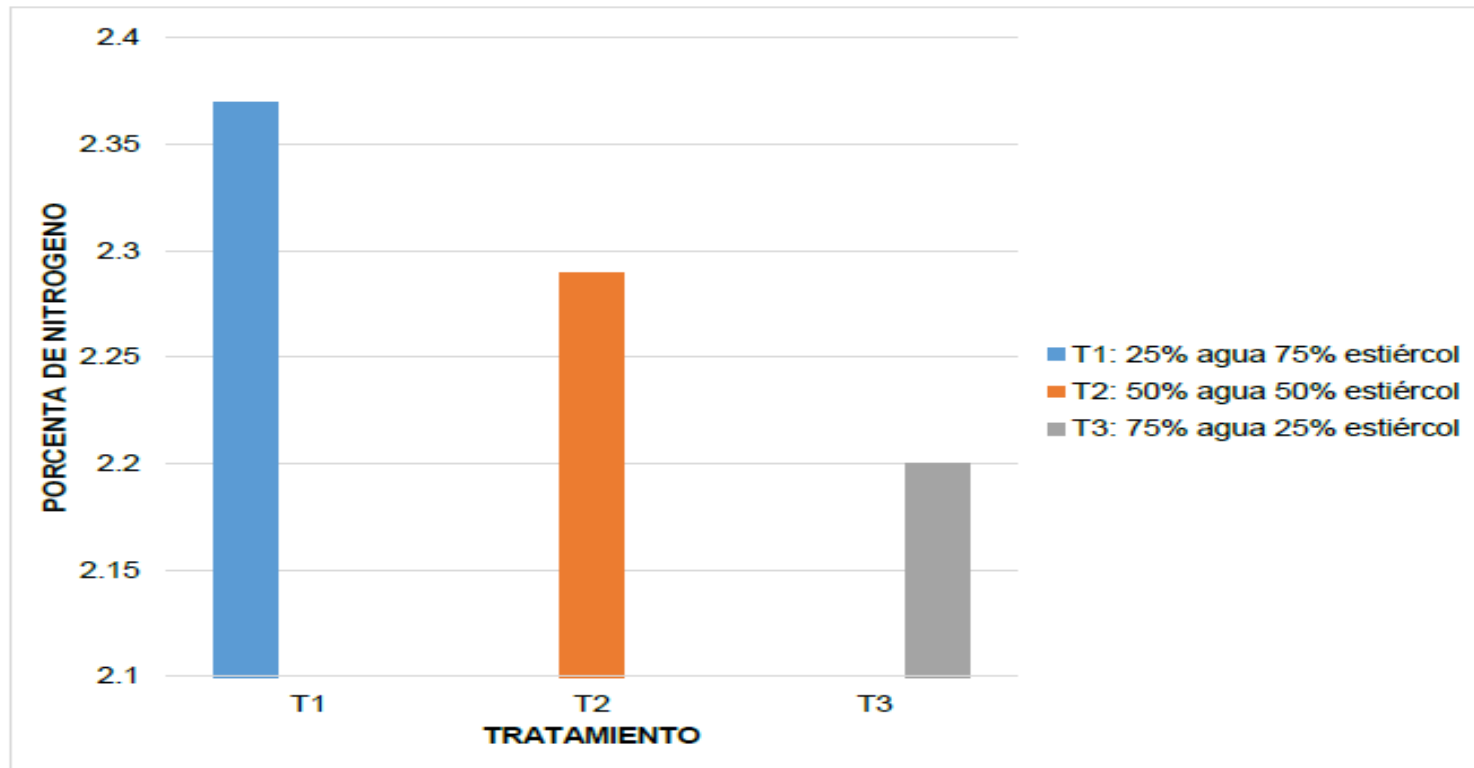
Por otro lado, si la relación C/N es muy baja, el Nitrógeno será liberado y acumulado en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ). El amonio incrementa el PH del contenido del biodigestor. Un PH mayor a 8.5 empezará a mostrar un efecto tóxico en la población metanogénica.

El porcentaje de Nitrógeno fue de 2.2%, comparando el dato anterior con el resultado de la presente investigación se observa que hay un aumento en el porcentaje de Nitrógeno del

biofertilizante lo cual presenta una cantidad bastante equilibrada de nutrientes.

La calidad de este mismo dependerá también de los días de retención que tenga el sistema, utilizando como base 30 días de retención, con los cual se asegura una excelente descomposición. (biol y biosol, 2014)

Según Barbaza la composición de nutrientes depende de la dieta del animal enlazado con la edad del animal, además con el manejo y tipo de almacenamiento del estiércol antes de la fermentación. De acuerdo a la función de la calidad de estos materiales digeridos se pueden establecer propuestas de uso, manejo y disposición adecuada.

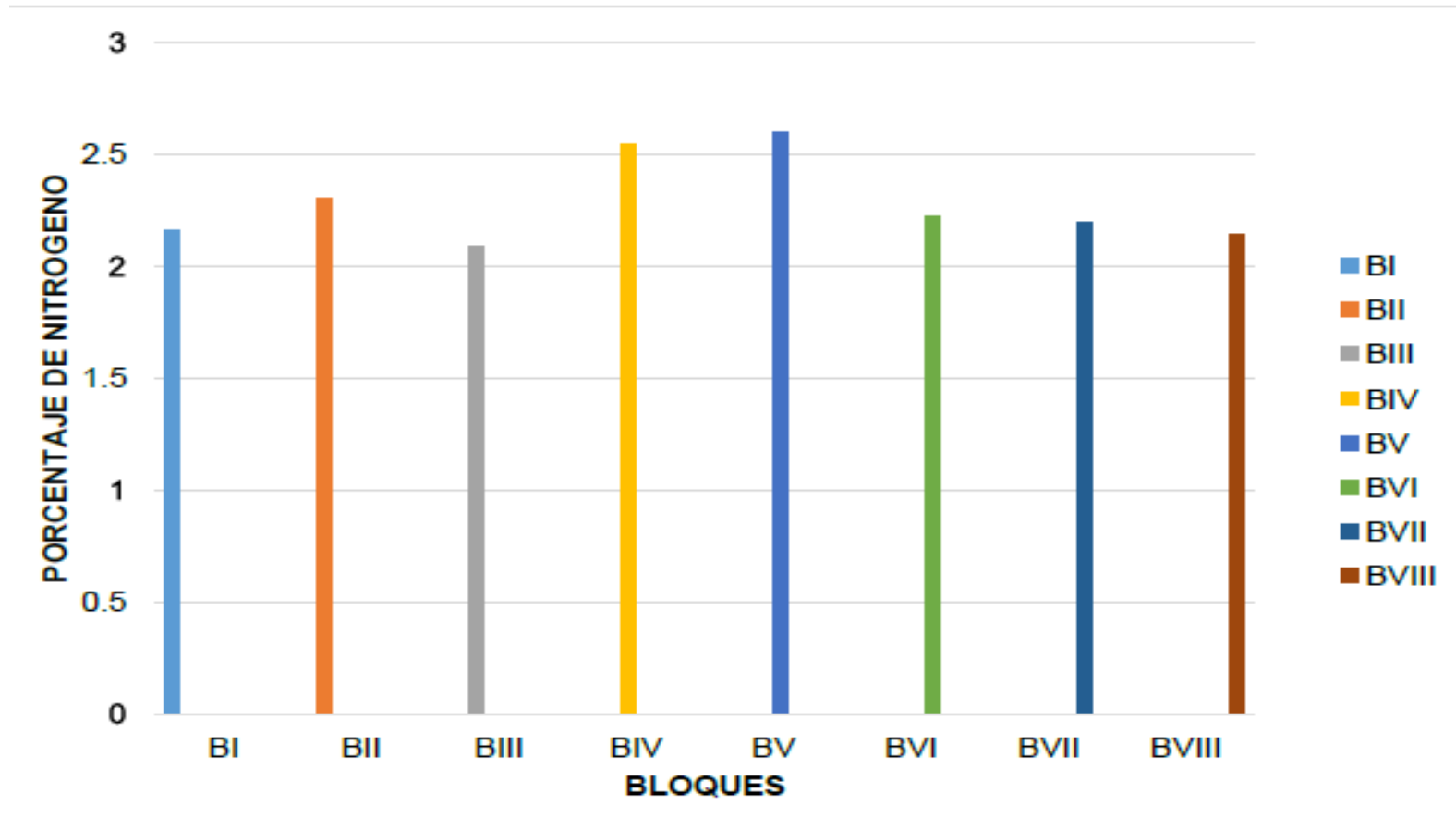


*Ilustración 4 Porcentaje promedio de nitrógeno por tratamiento*

El porcentaje de Nitrógeno fue de 2.2%, comparando el dato anterior con el resultado de la presente investigación se observa que hay un aumento en el porcentaje de Nitrógeno del biofertilizante lo cual presenta una cantidad bastante equilibrada de nutrientes. La calidad de este mismo dependerá también de los días de retención que tenga el sistema, utilizando como base 30 días de retención, con los cual se asegura una excelente descomposición. (biol y biosol, 2014)

*Tabla 12 Porcentaje de Nitrógeno promedio por bloques.*

| <b>Bloques</b>  | <b>Promedio en %</b> |
|-----------------|----------------------|
| BI              | <b>2.16</b>          |
| BII             | <b>2.31</b>          |
| BIII            | <b>2.09</b>          |
| BIV             | <b>2.55</b>          |
| BV              | <b>2.60</b>          |
| BVI             | <b>2.23</b>          |
| BVII            | <b>2.20</b>          |
| BVIII           | <b>2.15</b>          |
| <b>Promedio</b> | 2.28                 |
| <b>Total</b>    | 18.30                |



*Ilustración 5 Porcentaje promedio de Nitrógeno por bloques*

### 4.3 Porcentaje de fosforo

En el cuadro A-11 se presentan los resultados de porcentaje de fosforo para cada uno de los tratamientos, teniendo los promedios siguientes: T1:0.62% T2: 0.63% y T3: 0.53% (cuadro 13 y figura 6) y para los bloques los datos promedios se tienen en el cuadro 14 y figura 7, observándose en el análisis de varianza (cuadro A-12), que existe diferencia significativa entre los tratamientos.

*Tabla 13 Porcentaje de Fosforo promedio por tratamiento.*

| Tratamiento                | Promedio    |
|----------------------------|-------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>0.62</b> |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>0.63</b> |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>0.53</b> |
| <b>Promedio</b>            | 0.59        |
| <b>Total</b>               | 1.78        |

Para determinar cuál tratamiento fue mejor se realizó la prueba de Duncan, resultando el T1: 0.62% y T2: 0.63% superiores al T3: 0.53% mostrándose significación los tratamientos. Caso contrario al bloque que no existe una diferencia significativa entre ellos.

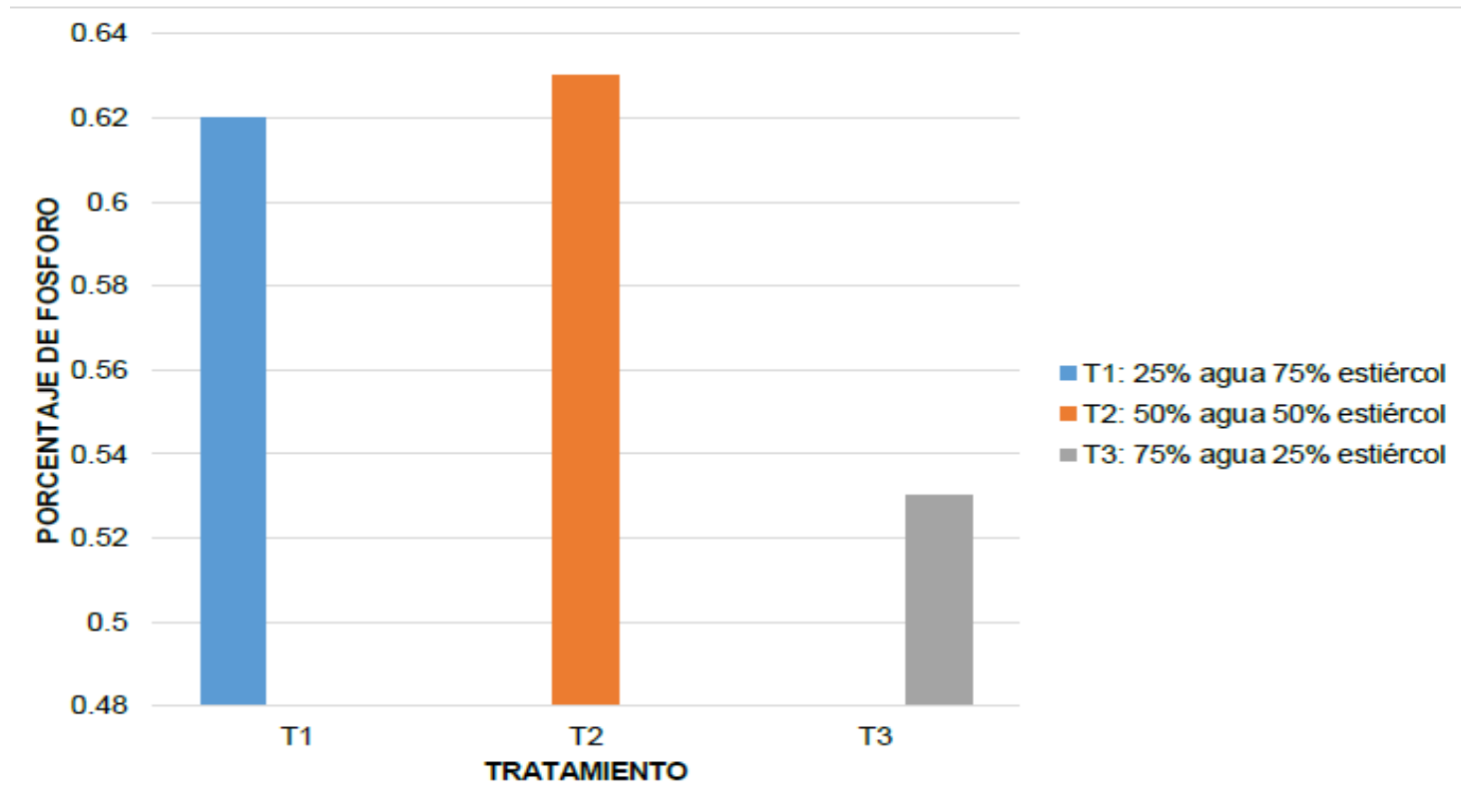
(Clark,1996) proponen como aceptable un porcentaje superior a 0.15-1.5% para P como un ámbito óptimo.



Con relación a nuestra investigación se presentaron porcentaje de T1:0.62 T2:0.63 y T3:0.53 el cual es mayor al de (Campos, 1997) que es de 0.22%; esto es debido a que no se sabe qué tipo de alimento se le estaba suministrando al ganado de igual manera en nuestro caso.

El biofertilizante presenta una cantidad bastante equilibrada de nutrientes los cuales influyen significativamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas, es un producto de uso orgánico que ayuda a fortalecer las plantas; un producto químico nos da mejor tamaño y cantidad, pero un producto orgánico es mejor en calidad y sobre todo un producto sano (Medina, 1992).

La fermentación anaerobia de la materia orgánica produce un residuo orgánico de excelentes propiedades el cual se estimó una composición de fósforo que fue de 1.5%. Se menciona además que cuando el pH oscila entre 7.9 y 8.4 disminuye la disponibilidad de fosforo (P).

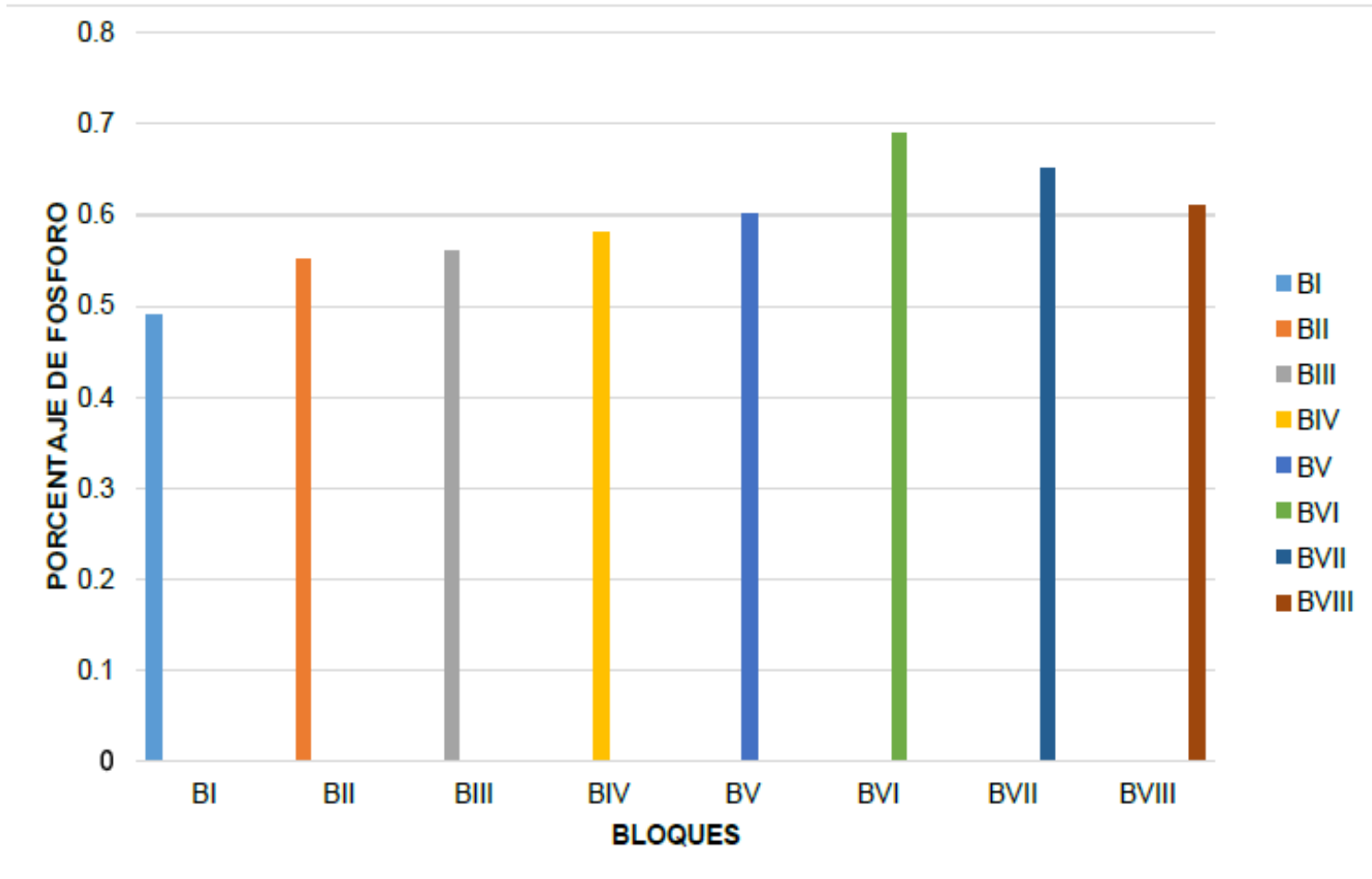


*Ilustración 6* Porcentaje promedio de fósforo por tratamiento.

Según estudios realizados explica que el fosforo se ve en mínimas cantidades por que al igual que al carbono y nitrógeno tiene la función de alimentar a los microorganismos para su crecimiento, presentes en la fermentación anaeróbica. de esta manera el fosforo se admite una relación con el Carbono. (Gómez, 2008)

*Tabla 14 Porcentaje de fosforo promedio por bloques*

| <b>Bloques</b>  | <b>Promedio en %</b> |
|-----------------|----------------------|
| BI              | <b>0.49</b>          |
| BII             | <b>0.55</b>          |
| BIII            | <b>0.56</b>          |
| BIV             | <b>0.58</b>          |
| BV              | <b>0.60</b>          |
| BVI             | <b>0.69</b>          |
| BVII            | <b>0.65</b>          |
| BVIII           | <b>0.61</b>          |
| <b>Promedio</b> | 0.59                 |
| <b>Total</b>    | 4.73                 |



*Ilustración 7 Porcentaje promedio de fosforo por bloque.*

#### 4.4 Porcentaje de Potasio.

En el cuadro A-15 se presentan los resultados e porcentaje de potasio, los cuales son el promedio 1: 1.66 T2: 1.30 y T3: 0.79 (cuadro 15 y figura 8) para los tratamientos y para los bloques (cuadro 16 y figura 9); al realizar el análisis de varianza (cuadro A-16), para los tratamientos en el porcentaje de potasio, se demuestra que para tratamiento y bloque no existe diferencia significativa ( $P>0.05$ ), lo cual indica que en el periodo comprendido del 07 de diciembre del 2018 al 07 de marzo del 2019 el potasio se comportó de manera constante indicando que no existe un tratamiento mejor que el otro.

*Tabla 15 Porcentaje de Potasio promedio por tratamiento.*

| Tratamiento                | Promedio    |
|----------------------------|-------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>1.66</b> |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>1.30</b> |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>0.79</b> |
| <b>Promedio</b>            | 1.25        |
| <b>Total</b>               | 3.75        |

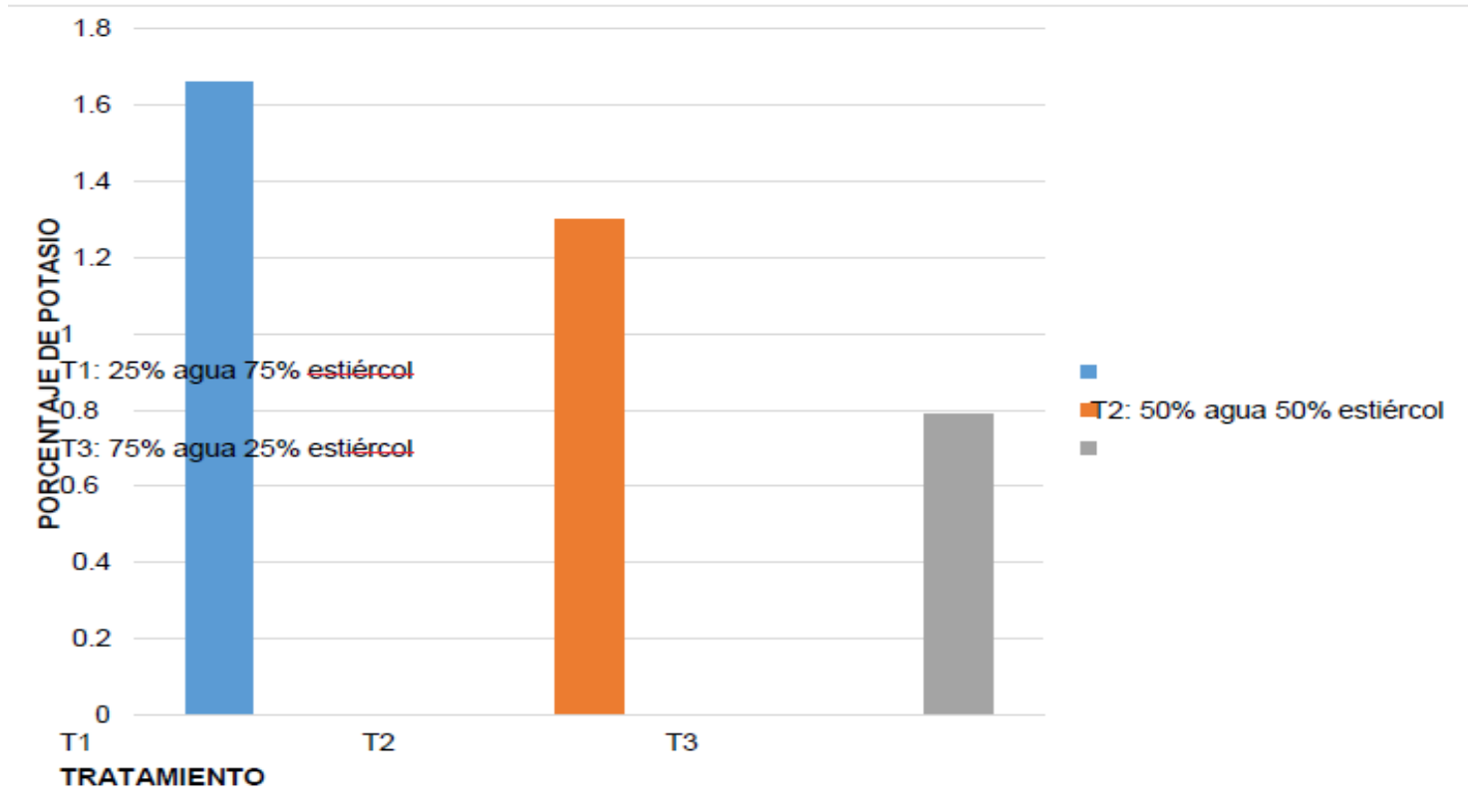


Ilustración 8 Porcentaje promedio de potasio por tratamiento.

(Quintero,1998).El potasio puede provenir en mayor proporción de la orina, más que del estiércol. Teóricamente se cree el bajo porcentaje de potasio se dio debido al tiempo de fermentación los microorganismos pasaron de su fase a crecimiento a una fase estacionaria o muerte.

(Flórez,2004) El potasio es vital para la fotosíntesis y síntesis de proteína, se asocia con más de 60 funciones enzimáticas, aumenta la resistencia a enfermedades, disminuye el efecto de vuelco y mejora la resistencia a sequía de la planta, mientras el nitrógeno tiene funciones en la formación de clorofila, aminoácidos, proteínas y vitaminas, es esencial para lograr altos rendimientos y frecuentemente se encuentra deficiente y limitante en los sistemas de producción. Por estas razones el resultado obtenido para ambos iones es importante pues indica que en los casos en que sus valores sean altos el producto tiene la capacidad de aportarle a la planta dos macronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de la planta

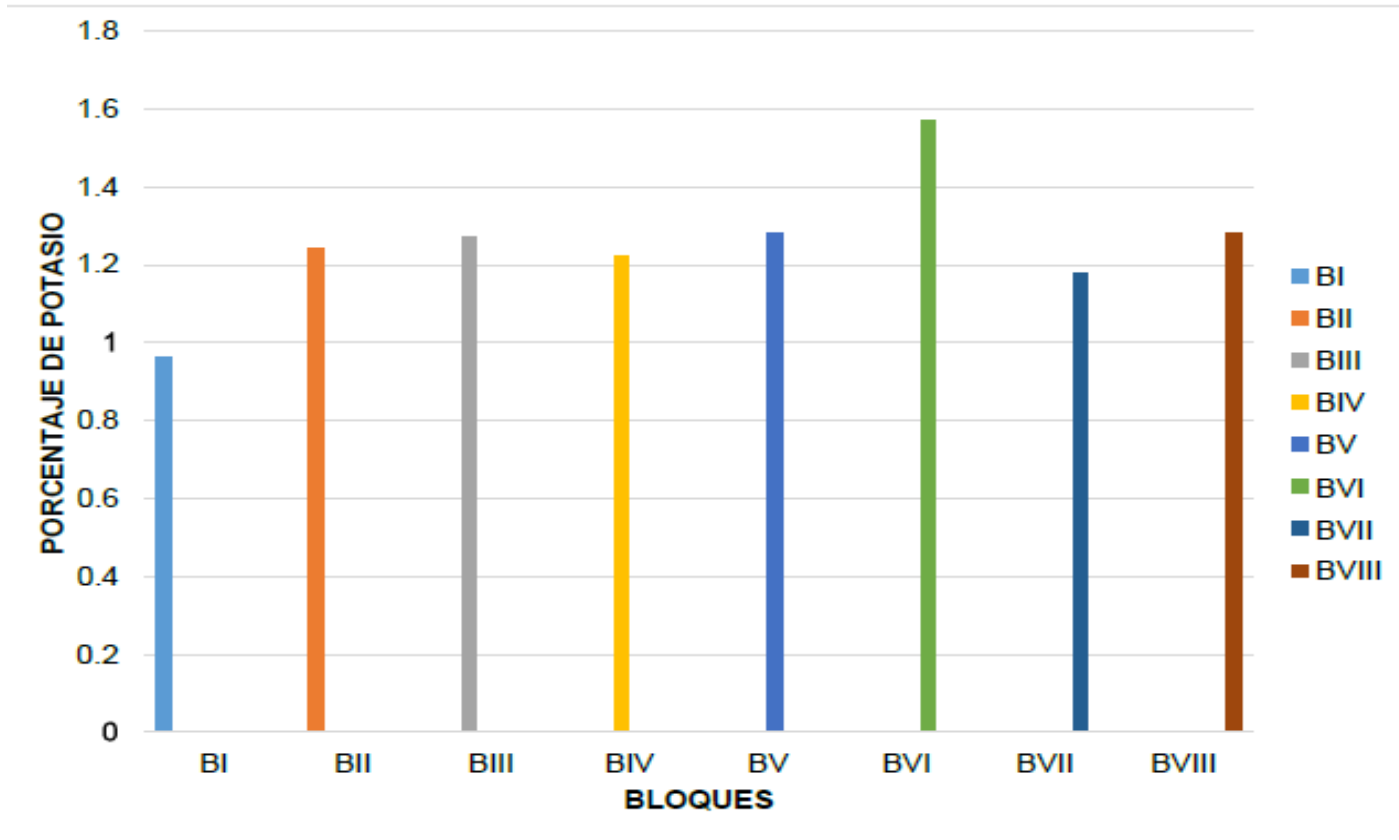
(Gómez,2007) Pero las altas temperaturas generadas en los montones de estiércol, más la exposición a la intemperie provoca la pérdida de nutrientes. Y que se dan procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano; esto tiene como consecuencia un significativo aumento en contenido de potasio resultando un producto de buena calidad.

(FAO, 2013) Recomendó la elaboración por los propios agricultores de biopreparados con propiedades bioestimulantes y biocidas con la utilización de insumos sencillos y procedimientos caseros.

Tabla 16. Porcentaje de Potasio promedio por bloques.

| <b>Bloques</b>  | <b>Promedio en %</b> |
|-----------------|----------------------|
| BI              | <b>0.96</b>          |
| BII             | <b>1.24</b>          |
| BIII            | <b>1.27</b>          |
| BIV             | <b>1.22</b>          |
| BV              | <b>1.28</b>          |
| BVI             | <b>1.57</b>          |
| BVII            | <b>1.18</b>          |
| BVIII           | <b>1.28</b>          |
| <b>Promedio</b> | 1.25                 |
| <b>Total</b>    | 10                   |





*Ilustración 9 Porcentaje promedio de potasio por bloque*

#### 4.5 Porcentaje de calcio.

Analizando los resultados de calcio (cuadro 17, fig. 10). Donde se detalla el dato del porcentaje de calcio en las muestras de biofertilizante de los diferentes tratamientos que se realizaron desde la fecha 07 de diciembre del 2018 hasta el 08 de marzo del 2019.

*Tabla 17 Porcentaje de calcio promedio por tratamiento.*

| Tratamiento                | Promedio    |
|----------------------------|-------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>1.69</b> |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>1.72</b> |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>1.41</b> |
| <b>Promedio</b>            | 1.60        |
| <b>Total</b>               | 4.82        |

Al efectuar el análisis de varianza (cuadro A-20), se observaron diferencias entre los tratamientos. Los promedios obtenidos se detallan en el cuadro 9, para determinar cuál de los tratamientos fue mejor, se realizó la prueba de Duncan (cuadro A-21). Lo cual demostraron que el tratamiento T1: 1.69% y T2: 1.72% estadísticamente tiene el mismo comportamiento siendo mayores que el T3:1.41.

En el caso de los bloques estadísticamente no existe diferencia significativa entre ellos, siendo así su comportamiento igual entre ellos. (cuadro 18 y fig. 11)

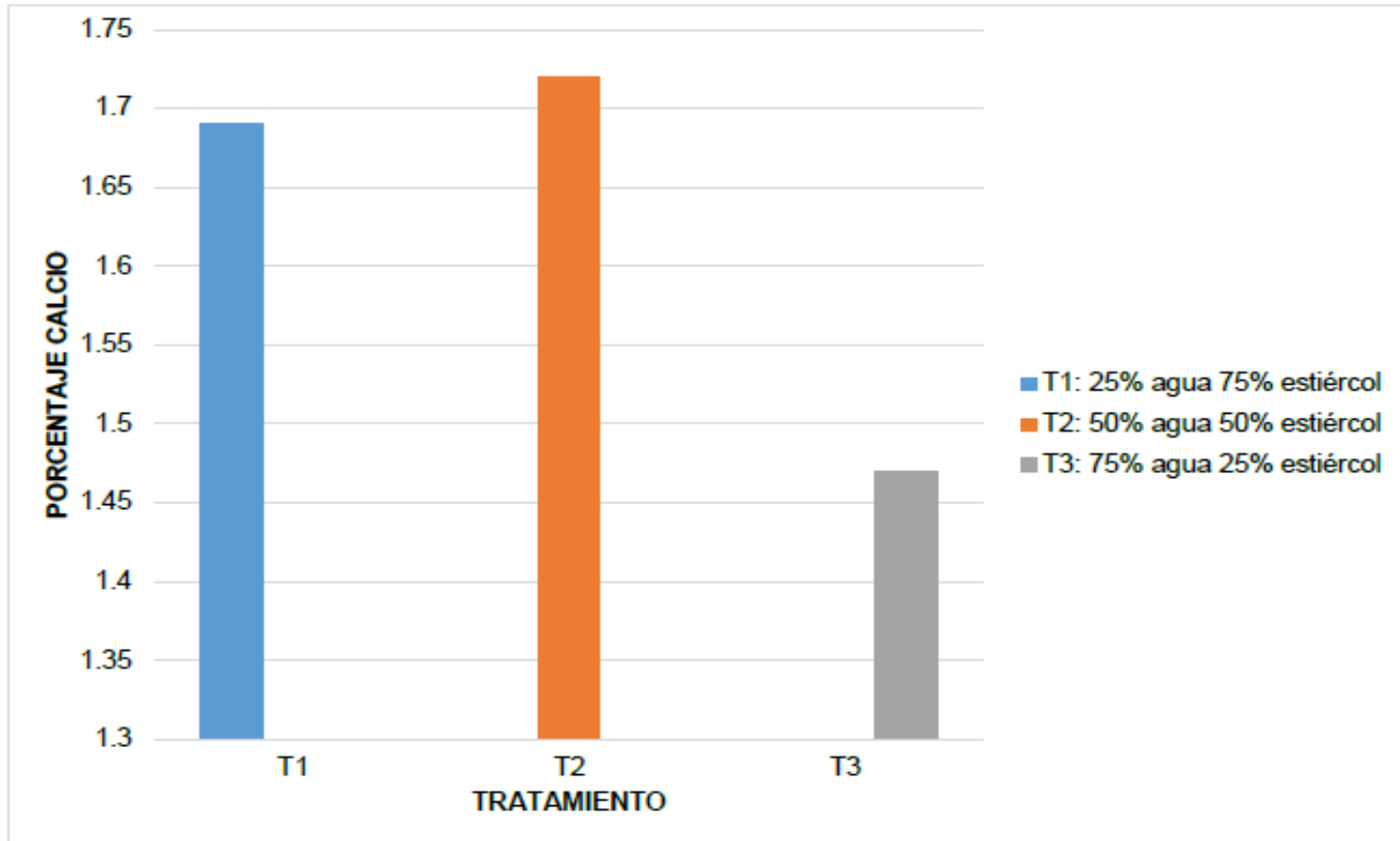


Ilustración 10 Porcentaje promedio de calcio por tratamiento

(Miller, 2003) las variaciones del porcentaje de calcio pudieron deberse a la dieta y a la digestión y no tanto al proceso de fermentación anaeróbica que tuvo lugar en los biodigestores. La variación también depende de la proporción de agua y excremento en la alimentación de los biodigestores y de la cual dependen las solubilidades de los macro y micro elementos, que a la vez están relacionadas directamente con el pH (López, 1994).

*Tabla 18 Porcentaje de calcio promedio por bloques.*

| <b>Bloques</b>  | <b>Promedio en %</b> |
|-----------------|----------------------|
| BI              | <b>1.42</b>          |
| BII             | <b>1.53</b>          |
| BIII            | <b>1.52</b>          |
| BIV             | <b>1.64</b>          |
| BV              | <b>1.63</b>          |
| BVI             | <b>1.83</b>          |
| BVII            | <b>1.58</b>          |
| BVIII           | <b>1.69</b>          |
| <b>Promedio</b> | 1.60                 |
| <b>Total</b>    | 12.84                |

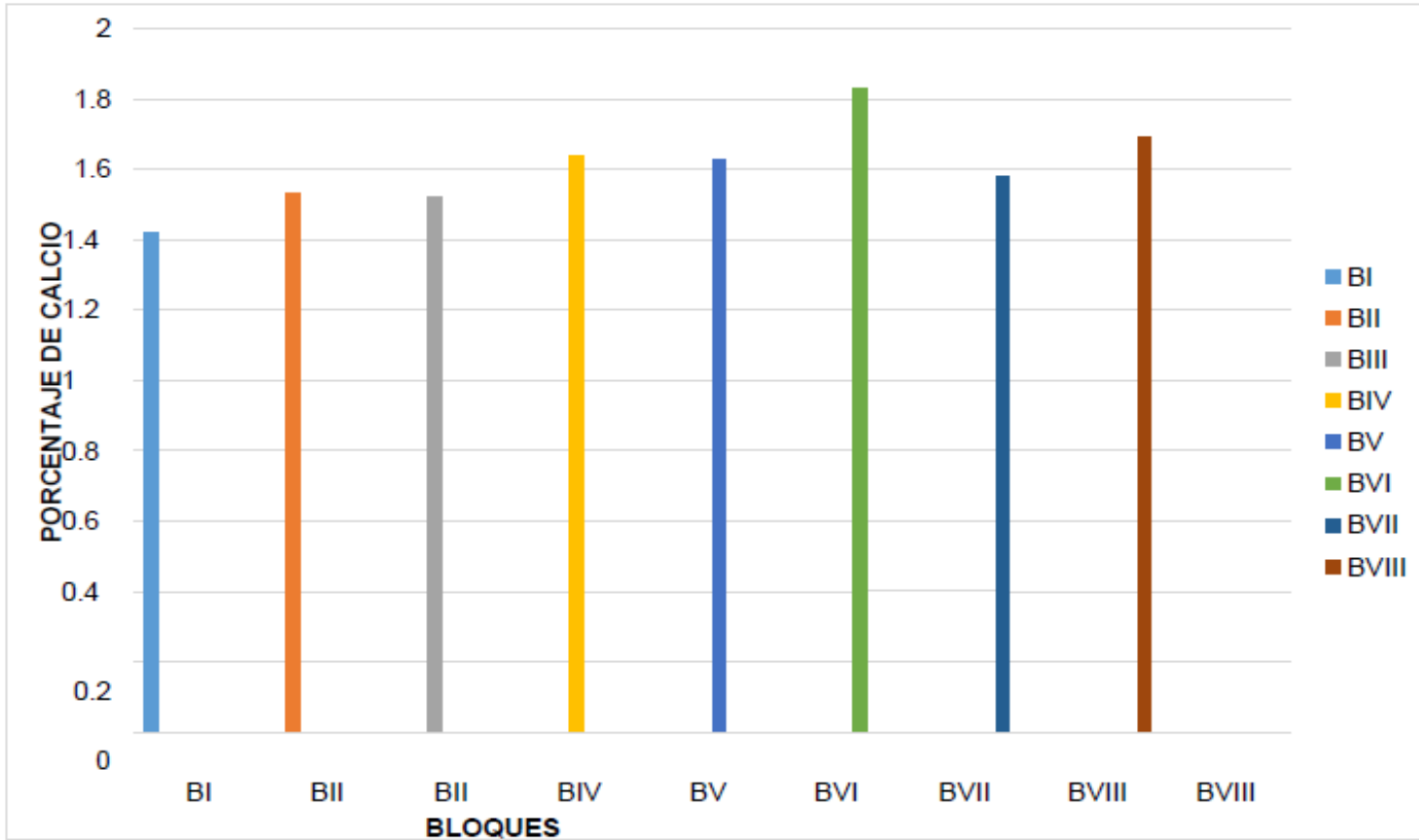


Ilustración 11 Porcentaje de calcio por bloques

#### 4.6 porcentaje de Magnesio

En el cuadro A-23. Se presentan los resultados obtenidos del porcentaje de magnesio los cuales son en promedio T1: 0.76, T2: 0.64 y T3: 0.49 (cuadro 19, figura 12.) para los tratamientos y para los bloques (cuadro 20 y figura 13)

*Tabla 19 Porcentaje de magnesio promedio por tratamiento.*

| Tratamiento                | Promedi<br>o |
|----------------------------|--------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>0.76</b>  |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>0.64</b>  |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>0.49</b>  |
| <b>Promedio</b>            | 0.63         |
| <b>Total</b>               | 1.89         |

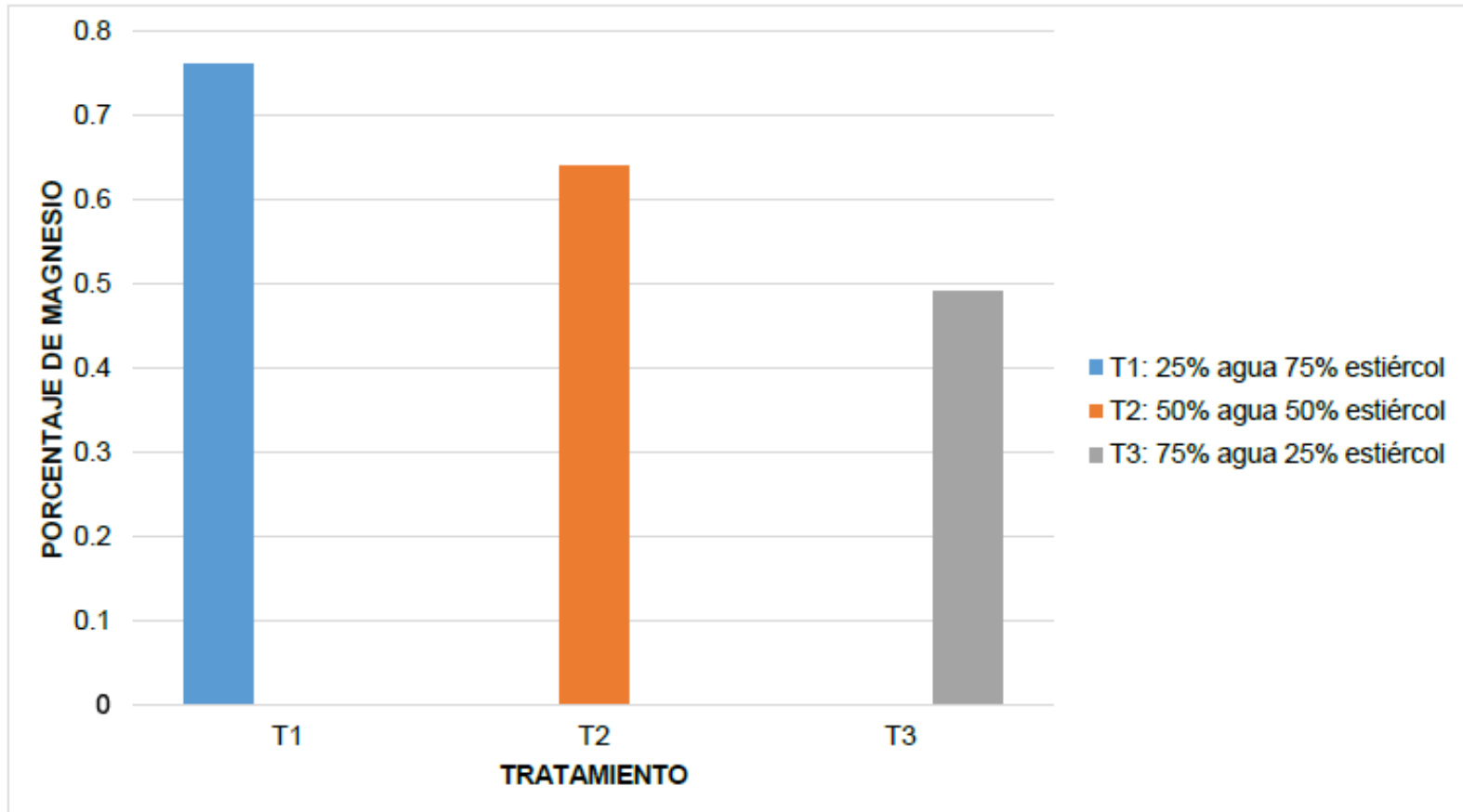
Según el análisis de varianza (cuadro A-24), existe diferencia significativa entre los tratamientos aplicados. El porcentaje de magnesio, muestra los resultados de significancia con la prueba de Duncan para los tratamientos. Sin embargo, se muestra que para el tratamiento 1 el cual tenía mayor cantidad de estiércol bovino presento mayor porcentaje de magnesio (T1:0.76%), mientras el menor promedio lo presento el tratamiento 3 con mayor

cantidad de agua (T3: 0.49). esto pudo ser debido a que las condiciones como pH y materia orgánica no fueron favorables para los microorganismos en la descomposición de polímeros.

Este abono no produce malos olores ni atrae a las moscas, su forma líquida facilita su aplicación directa al campo, eleva la calidad de éste y no deja residuos tóxicos. El magnesio liberado en la meteorización de los silicatos representa para la nutrición de la planta una fuente que puede suministrar Magnesio, pero en forma muy lenta.

El magnesio cumple una importante función en la preservación de la estructura del suelo. Junto con otros cationes multivalentes, sobre todo el calcio, el magnesio forma puentes entre los minerales arcillosos con carga negativa. De este modo, se propicia una estructura del suelo estable y grumoso que impide el apelmazamiento. Esto facilita la función del suelo de acumular una gran cantidad de agua disponible para las plantas, las que pueden formar allí un buen entramado de raíces para aprovechar el agua y los nutrientes. (Miller, 2003)

La fracción de magnesio en el suelo importante para la nutrición de la planta es aquella que se encuentra inmediatamente disponible en la solución del suelo. Por medio del análisis de suelo se puede determinar la cantidad de K disponible e intercámbiale para así calcular la cantidad necesaria de fertilizante (Mantilla, 2007)

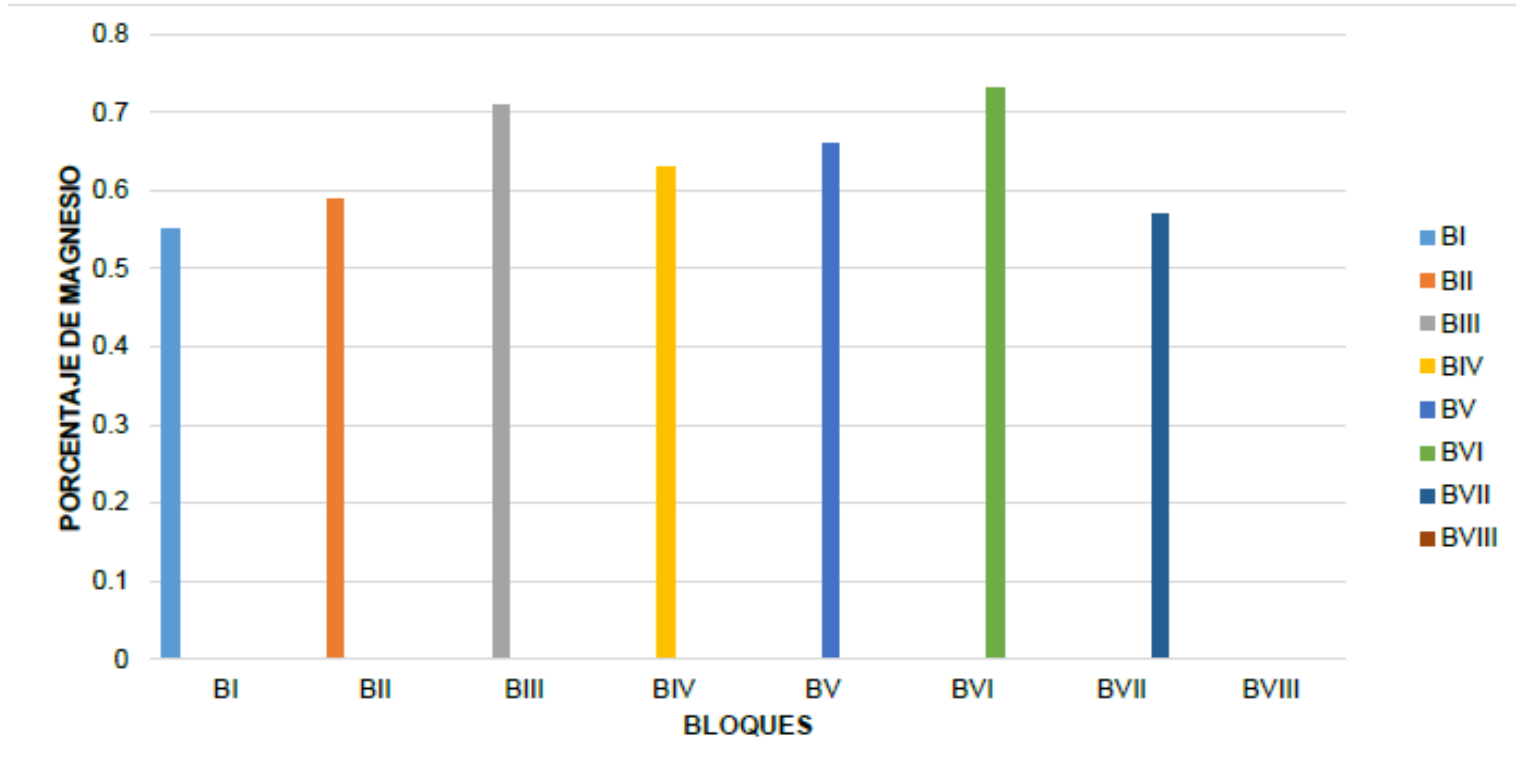


*Ilustración 12 Porcentaje de magnesio promedio por tratamiento.*



*Tabla 20 Porcentaje de magnesio promedio por bloques.*

| <b>Bloques</b>  | <b>Promedio en %</b> |
|-----------------|----------------------|
| BI              | <b>0.55</b>          |
| BII             | <b>0.59</b>          |
| BIII            | <b>0.71</b>          |
| BIV             | <b>0.63</b>          |
| BV              | <b>0.66</b>          |
| BVI             | <b>0.73</b>          |
| BVII            | <b>0.57</b>          |
| BVIII           | <b>0.61</b>          |
| <b>Promedio</b> | 0.63                 |
| <b>Total</b>    | 5.05                 |



*Ilustración 13 Porcentaje de magnesio promedio por bloque*

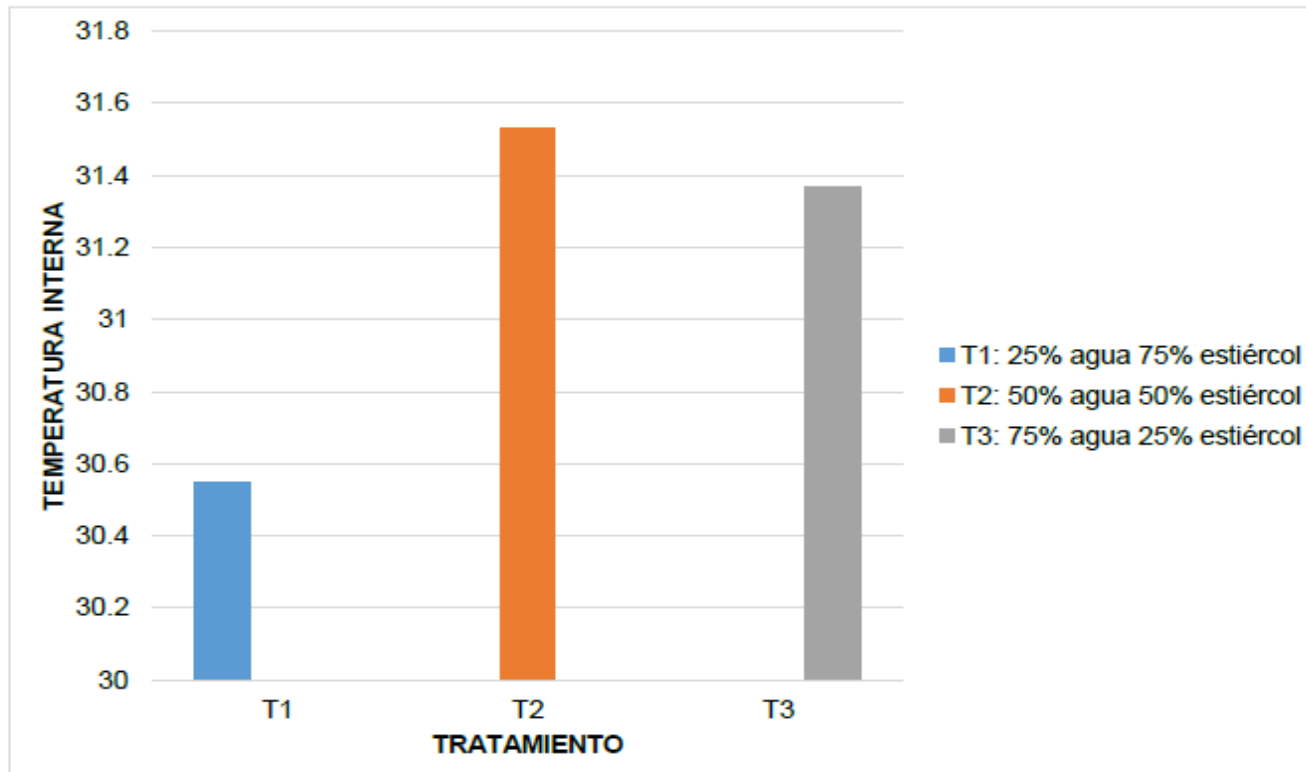
#### 4.7 Temperatura interna promedio

El comportamiento de la temperatura durante el proceso de fermentación anaeróbica comprendida del 07 de diciembre del 2018 hasta el 08 de marzo del 2019 desde ese lapso de tiempo la temperatura promedio por bloque aumento desde 29.39°C hasta 32.71°C. (Cuadro 21, fig. 14). Según el análisis de varianza (cuadro A-36), indica que existe diferencia significativa entre los tratamientos siendo así el T2:31.53°C y T3: 31.37°C. Mejores que el tratamiento T1 la temperatura fue de 30.55°C. Siendo el de mayor concentración de estiércol bovino del cual no se alcanzaron altastemperaturas y de las cuales operaron dentro de los intervalos de las condiciones óptimas de crecimiento de las bacterias metalogénicas.

Todos estos resultados tienen factores como el tipo de tecnología del biodigestor, los materiales usados en su construcción, la región y el clima en donde se encuentre, y la temperatura de la mezcla utilizada para su alimentación.

*Tabla 21 Temperatura interna promedio del estudio por tratamiento.*

| Tratamiento                | Promedio °C  |
|----------------------------|--------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>30.55</b> |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>31.53</b> |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>31.37</b> |
| <b>Promedio</b>            | 31.15        |
| <b>Total</b>               | 93.45        |



*Ilustración 14 Temperatura interna promedio del estudio por tratamiento*

(Stentiford,1996) encontró que el proceso de elaboración de biofertilizante, la temperatura es importante ya que su valor determina la velocidad a la que muchas de las reacciones biológicas tienen lugar como la capacidad de saneamiento, en este caso la temperatura presente en esta investigación determina que surge para aumentar la actividad y diversidad microbiana.

Gómez, 2008) Es uno de los factores que tiene mayor relevancia en el proceso anaeróbico, ya que define las zonas en donde el proceso puede llevarse a cabo ya sea por la latitud y/o la altura. También es vista como el factor en potencia para aumentar la eficiencia de los sistemas, principalmente cuando de saneamiento se trata. La temperatura afecta el tiempo de retención para la digestión y degradación del material dentro del digestor.

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de Retención Hidráulica, TRH).

A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia, se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa.

La correcta medición y registro de los valores de temperatura interna de un digestor, juega un papel importante a la hora de determinar el correcto funcionamiento del sistema de calefacción, así como para determinar la eficiencia del aislamiento térmico instalado en el mismo.

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros procesos biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que,

a su vez, dependen de la temperatura. (Santana, 1985)

*Tabla 22 Temperatura interna promedio por bloques.*

| <b>Bloque</b>   | <b>Promed en %</b> |
|-----------------|--------------------|
| BI              | <b>29.39</b>       |
| BII             | <b>30.13</b>       |
| BIII            | <b>30.32</b>       |
| BIV             | <b>31.16</b>       |
| BV              | <b>31.53</b>       |
| BVI             | <b>32.11</b>       |
| BVII            | <b>31.85</b>       |
| BVIII           | <b>32.71</b>       |
| <b>Promedio</b> | 31.15              |
| <b>Total</b>    | 249.2              |

(Infoagro,2008) menciona que la temperatura es importante porque determina la especie bacteriana que puede vivir en el biodigestor, y su producción de biogás. La temperatura es un parámetro importante para el desarrollo de la digestión anaeróbica, regular la eficiencia, ayudar en la eliminación de patógenos, afectar el tiempo de retención de la materia e incrementar la producción de biogás (Santana, 1985)

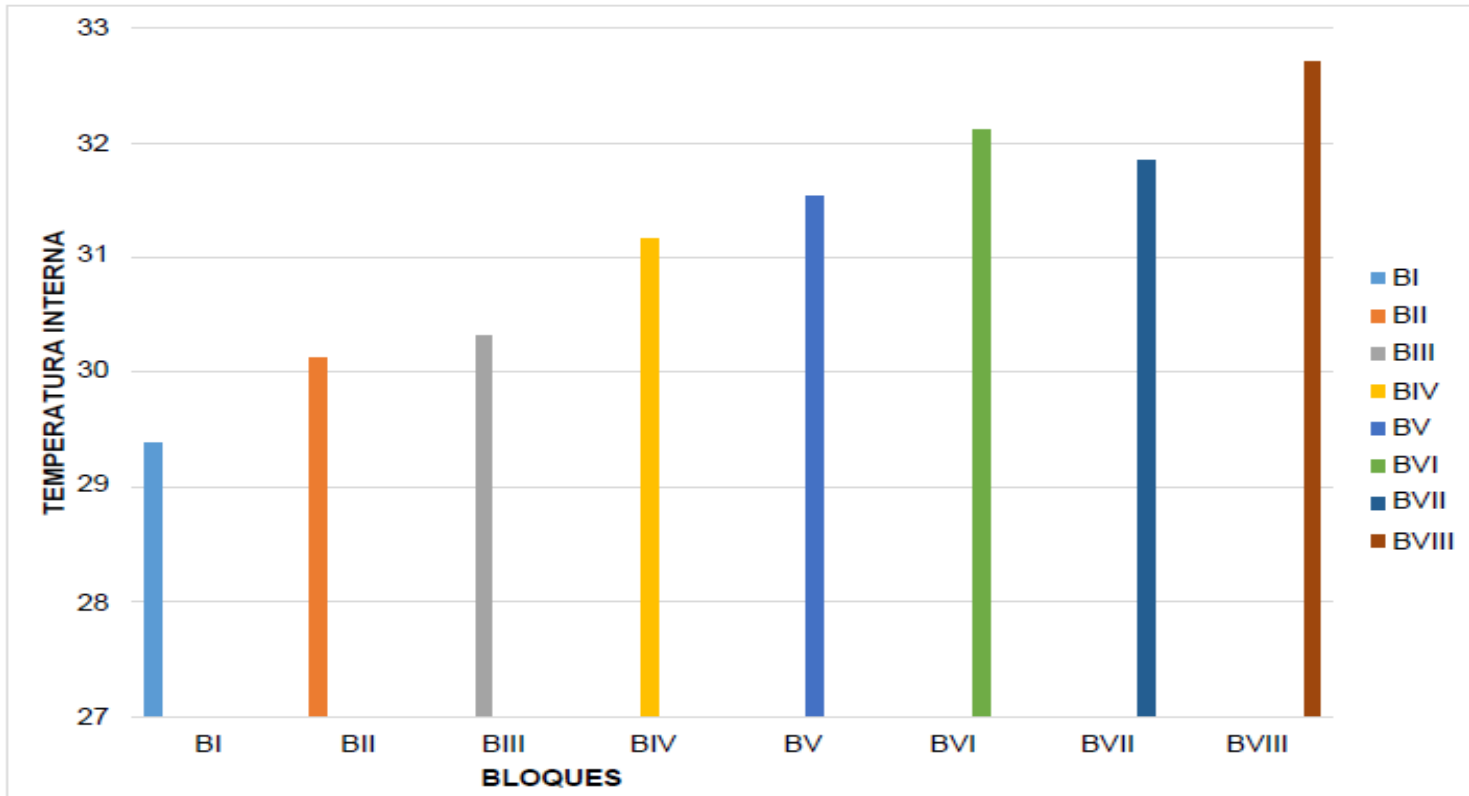


Ilustración 15 Temperatura interna promedio por bloques

#### 4.8 Porcentaje de materia seca.

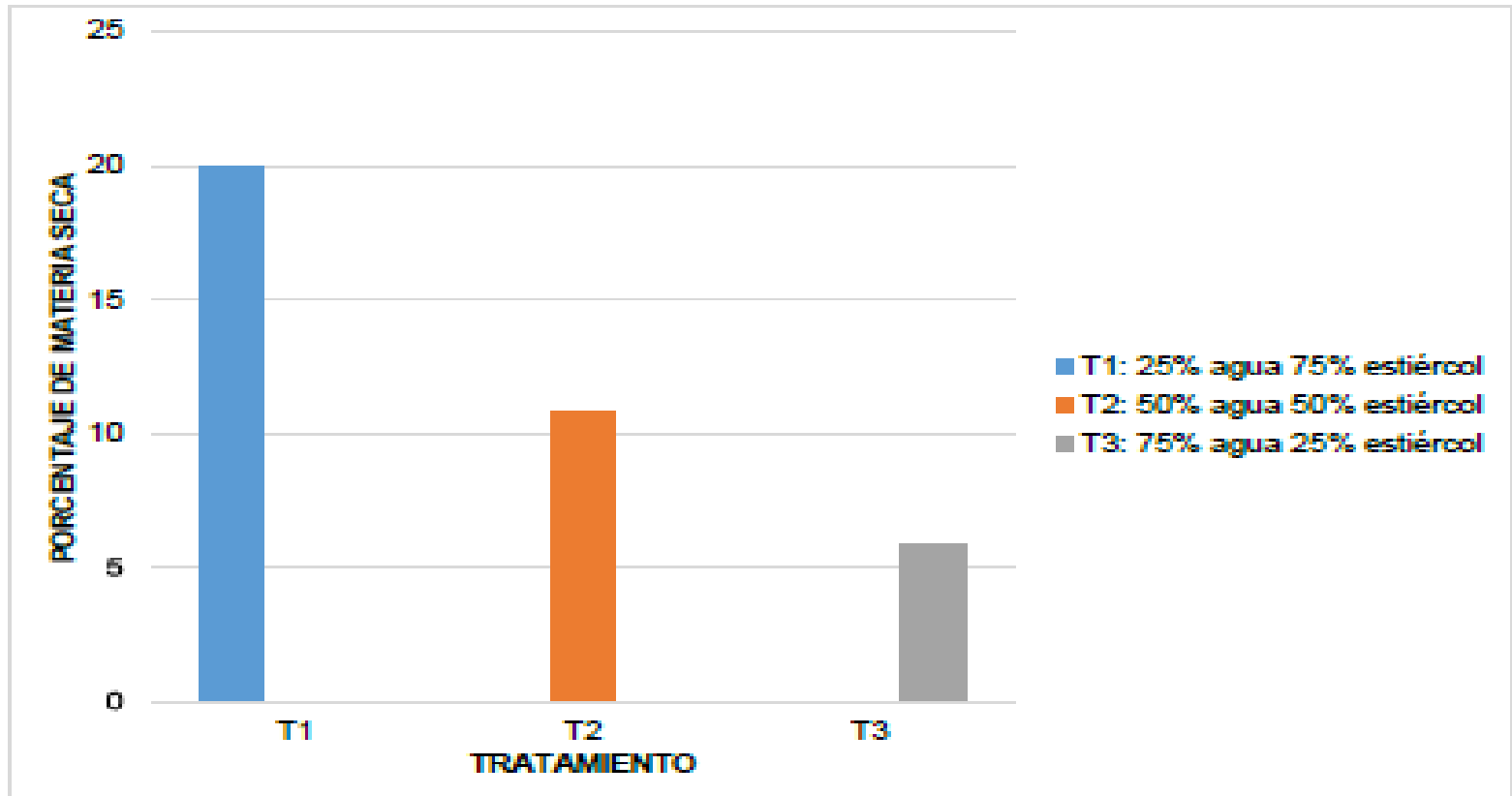
Para la adquisición de esta variable en cada muestra extraída del biodigestor se pesaba y se colocaba al sol por 10 días, luego se procedía a la pesa de la materia seca y mediante una formula se obtenía el porcentaje de cada uno de las muestras del cada biodigestor, del cual se obtuvieron 24 datos de porcentaje de MS. (cuadro A-31). Según resultado de varianza (cuadro A-32), y las pruebas de Duncan indicaron que entre tratamiento ( $P \leq 0.05$ ), es altamente significativa por lo tanto uno de los tratamientos arrojo ser mejor que el resto el cual es el T1: 19.92% siendo mejor que el T2: 10.82% y que T3: 5.86%. (Cuadro 23, figura 16). Caso contrario para bloque que su resultado fue no significativo. (cuadro A-).

*Tabla 23 Porcentaje de materia seca promedio del estudio por tratamiento.*

| Tratamiento                | Promedio     |
|----------------------------|--------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>19.93</b> |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>10.82</b> |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>5.86</b>  |
| <b>Promedio</b>            | 2.20         |
| <b>Total</b>               | 36.61        |

La composición del biofertilizante tiene en promedio 8,5% de materia orgánica en los cuales se puede observar que está en el rango aceptable de nuestra investigación de los cuales el mayor promedio oscilo entre T1: 19.93% hasta el más menor T3: 5.86%.





*Ilustración 16 Porcentaje de materia seca promedio del estudio por tratamiento.*

La eficiencia de remoción de sólidos totales para un estiércol de ganado vacuno reporta un rango entre 15 a 18 % (Mantilla, 2007)

*Tabla 24 Porcentaje de materia seca promedio por bloques.*

| <b>Bloques</b>  | <b>Promedio en %</b> |
|-----------------|----------------------|
| BI              | <b>14.16</b>         |
| BII             | <b>15.43</b>         |
| BIII            | <b>15.96</b>         |
| BIV             | <b>15.14</b>         |
| BV              | <b>9.28</b>          |
| BVI             | <b>8.31</b>          |
| BVII            | <b>10.52</b>         |
| BVIII           | <b>8.86</b>          |
| <b>Promedio</b> | 12.20                |
| <b>Total</b>    | 97.66                |

Normalmente el porcentaje de sólidos del estiércol vacuno es de 18% y el de la cerdaza de 22%, por lo tanto, se debe agregar agua para llevar el porcentaje de sólidos al ideal (8% a 12%) observando así que el resultado de nuestra investigación se encuentra en el rango óptimo establecido por otras investigaciones. El porcentaje de materia seca contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. La concentración de sólidos totales está dentro de un intervalo alrededor del 4 al 16 %. Un mayor valor puede influenciar la digestión.

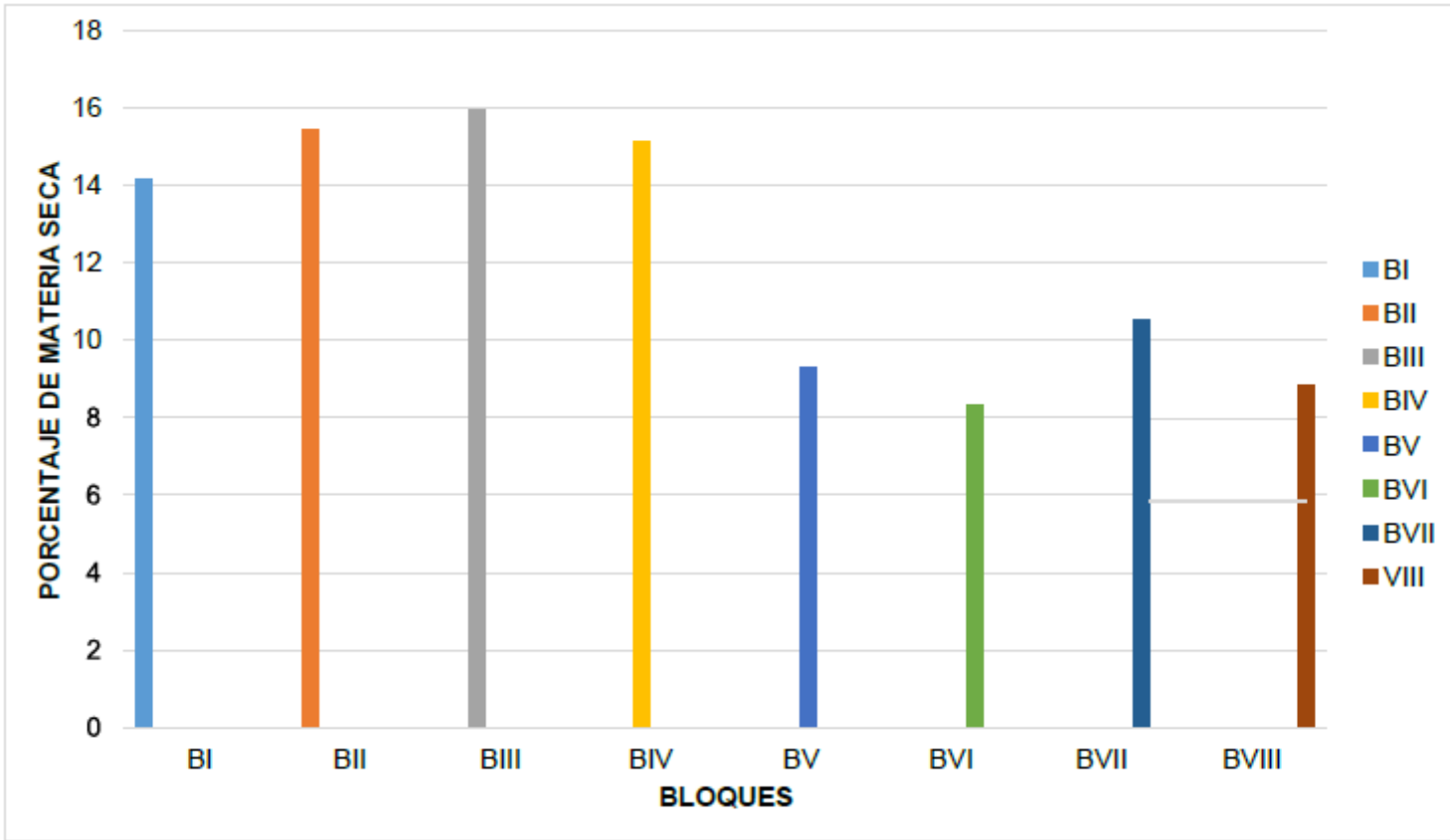


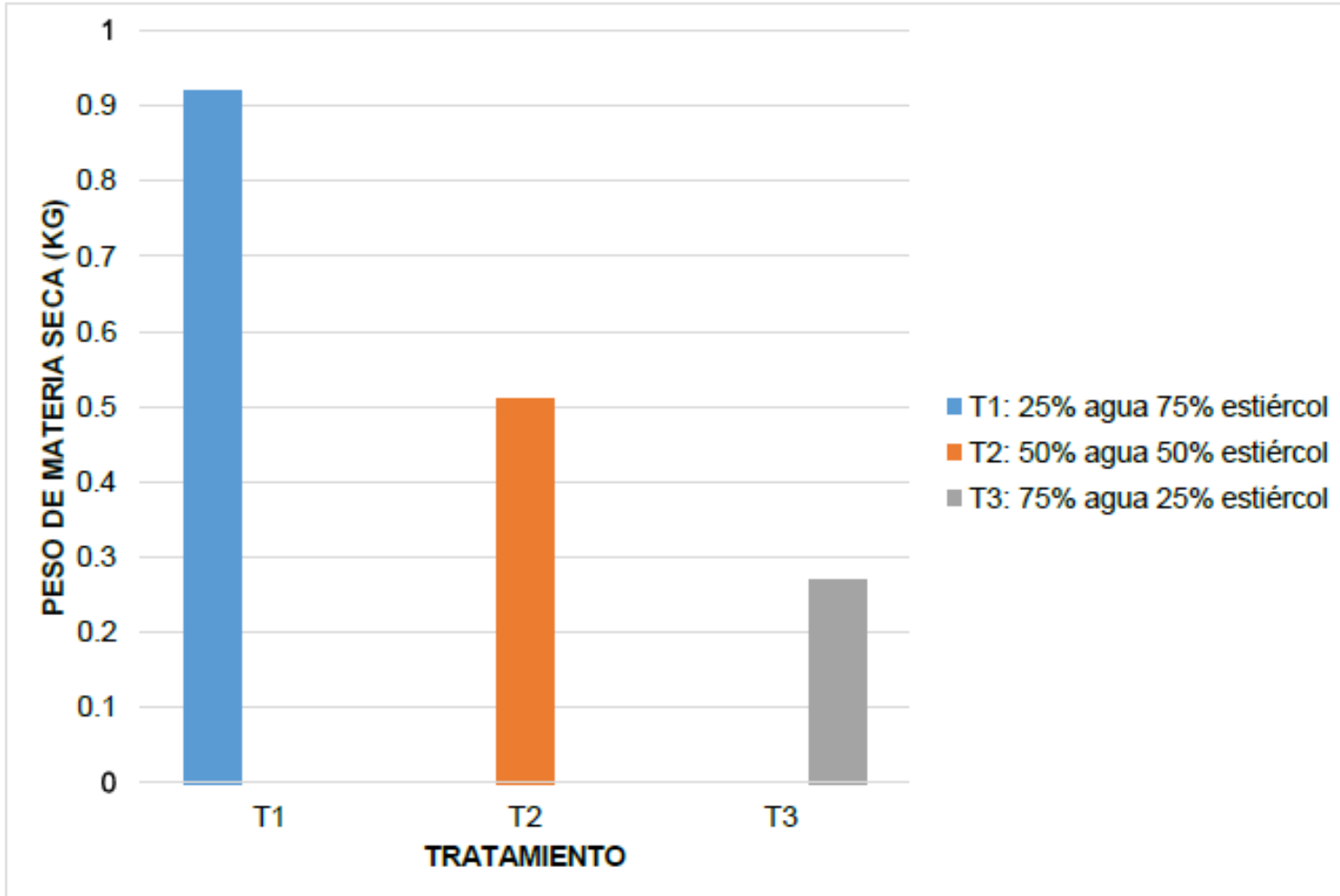
Ilustración 17 Porcentaje de materia seca promedio por bloques.

#### 4.9 Peso de materia seca en kilogramos

Analizando los resultados de peso de materia seca obtuvimos el siguiente promedio T1:0.92kg, T2: 0.51kg y T3: 0.27kg (cuadro 25, fig. 18). Se realizó el análisis de varianza (cuadro A-28), el cual estableció ( $P \leq 0.05$ ), que existe diferencia significativa entre tratamiento. Caso contrario para el bloque el cual arrojo que no existe diferencia significativa entre ellos, de este modo se realizó la prueba de Duncan para saber con exactitud cuál tratamiento fue mejor y dio como resultado que el tratamiento uno (0.92kg) fue superior al tratamiento dos (0.51kg) y tratamiento tres (0.27kg).

*Tabla 25 Peso de materia seca por tratamiento.*

| Tratamiento                | Promedio    |
|----------------------------|-------------|
| T1: 25% agua 75% estiércol | <b>0.92</b> |
| T2: 50% agua 50% estiércol | <b>0.51</b> |
| T3: 75% agua 25% estiércol | <b>0.27</b> |
| <b>Promedio</b>            | 0.56        |
| <b>Total</b>               | 1.7         |



*Ilustración 18* Peso de materia seca por tratamiento

Esta clase de abonos no sólo aporta al suelo materiales nutritivos, sino que además influye favorablemente en la estructura del suelo. Asimismo, aportan nutrientes y modifican la población de microorganismos en general, de esta manera se asegura la formación de agregados que permiten una mayor retención de agua

*Tabla 26 Peso de materia seca por bloque.*

| <b>Bloques</b>  | <b>Promedio en libras</b> |
|-----------------|---------------------------|
| BI              | <b>0.66</b>               |
| BII             | <b>0.72</b>               |
| BIII            | <b>0.74</b>               |
| BIV             | <b>0.70</b>               |
| BV              | <b>0.43</b>               |
| BVI             | <b>0.38</b>               |
| BVII            | <b>0.49</b>               |
| BVIII           | <b>0.41</b>               |
| <b>Promedio</b> | 0.56                      |
| <b>Total</b>    | 4.53                      |

Esta materia orgánica incorporada y mezclada con el suelo, en presencia de aire y agua, empieza a descomponerse, en un proceso en el que participan activamente una serie de microorganismos del suelo y que depende además de la temperatura.

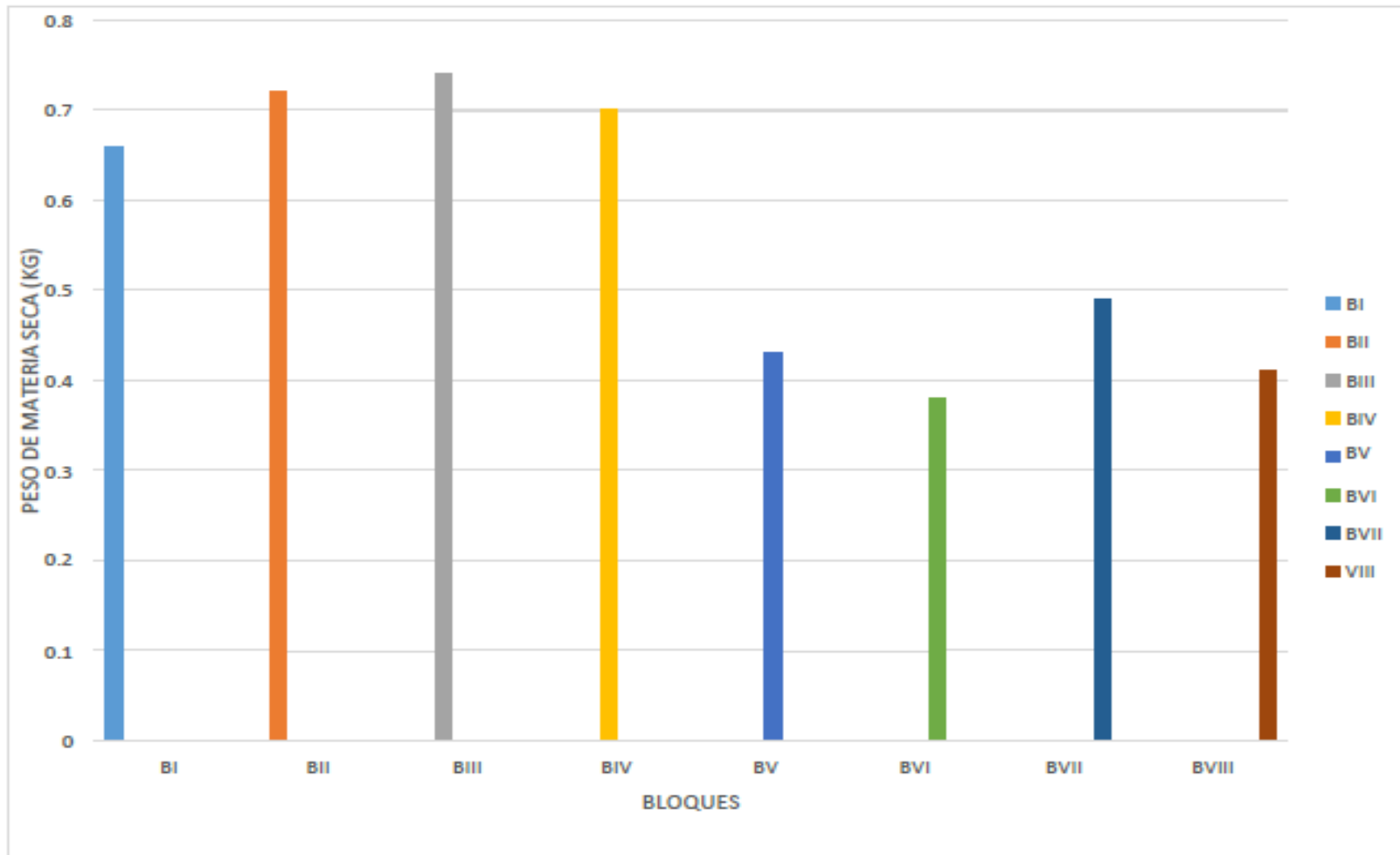


Ilustración 19 Peso promedio de materia seca por bloques.

#### 4.10 Análisis económico

Dentro de la presente investigación se puede mencionar también los resultados de costos para cada uno de los tratamientos establecidos (Cuadro 27). Observando los parámetros económicos de costo totales del tratamiento 1 con mayor porcentaje de excremento (\$159.47), para el tratamiento 2 (\$159.47) y el tratamiento 3 (159.47), cabe mencionar que el mayor costo que se realizó fue el pago de las muestras (\$120/tratamiento) y compra de reactivos (ácido sulfúrico y éter de petróleo) \$13.29 y \$67.8 respectivamente.

Con relación al beneficio costo por tratamiento no se observa ningún beneficio al contrario existen pérdida en los tres tratamientos esto debido que el estudio fue de menor volumen por lo tanto los ingresos son bajos. Siendo el de menor pérdida el tratamiento 1 (\$-107.96) seguido de los tratamientos 2 (\$-131.05) y tratamiento 3 (\$ -144.47). Los datos antes mencionados coinciden en orden con la relación beneficio-costo siendo para el tratamiento 1 (-\$0.32) seguido de tratamiento 2 (\$ 0.18) y tratamiento 3 (\$ -0.09). obteniendo la siguiente cantidad de biofertilizante: tratamiento 1 (68.68lb), tratamiento 2 (38.00lb), tratamiento 3 (20.11lb), con un precio de \$0.75/libras.



Tabla 27 Análisis Económico para cada uno de los tratamientos de la investigación (fase de campo)

| <b>Años</b>                       | <b>T1<br/>75 % excreta.<br/>25 % agua.</b> | <b>T2<br/>50 % excreta.<br/>50 % agua.</b> | <b>T3<br/>25 % excreta.<br/>75 % agua.</b> |
|-----------------------------------|--|--|--|
| <b>INGRESOS TOTALES</b>           | <b>\$51.51</b>                             | <b>\$28.50</b>                             | <b>\$15.08</b>                             |
| venta de Abono Organico           | \$51.51                                    | \$28.50                                    | \$15.08                                    |
| <b>EGRESOS TOTALES</b>            | <b>\$159.47</b>                            | <b>\$159.55</b>                            | <b>\$159.55</b>                            |
| <b>Costos variables</b>           | <b>\$150.79</b>                            | <b>\$150.79</b>                            | <b>\$150.79</b>                            |
| Agua potable                      | \$3.76                                     | \$3.76                                     | \$3.76                                     |
| Exámenes de laboratorio           | \$120.00                                   | \$120.00                                   | \$120.00                                   |
| Eter de petroleo                  | \$4.43                                     | \$4.43                                     | \$4.43                                     |
| Acido sulfurico                   | \$22.60                                    | \$22.60                                    | \$22.60                                    |
| <b>Costos fijos</b>               | <b>\$8.68</b>                              | <b>\$8.76</b>                              | <b>\$8.76</b>                              |
| CAD                               | \$3.68                                     | \$3.76                                     | \$3.76                                     |
| Mano de Obra                      | \$5.00                                     | \$5.00                                     | \$5.00                                     |
| <b>DISPONIBILIDAD DE EFECTIVO</b> | <b>(\$107.96)</b>                          | <b>(\$131.05)</b>                          | <b>(\$144.47)</b>                          |
| <b>B/C</b>                        | <b>\$0.32</b>                              | <b>\$0.18</b>                              | <b>\$0.09</b>                              |

Para una proyección de 12 barriles de excreta bovina con 4 ventas de abono orgánico al año sacando cada 90 días, se mencionan los resultados de costos para cada uno de los tratamientos establecidos (Cuadro 28). Observando los costos totales para el primer año de (\$378.69/tratamiento),

Obteniendo una disponibilidad de efectivo para el primer año del tratamiento 1 de (\$2,093.79) disminuyendo en el tratamiento 2 (\$989.31) y para el tratamiento 3 con menos cantidad de excremento (\$345.15). En cuanto a la relación beneficio costo en el año 1 del tratamiento 1 (\$6.53), tratamiento 2 (\$3.61) y para el tratamiento 3 (\$1.91) por cada dolar invertido.

*Tabla 28 Análisis Económico para cada uno de los tratamientos considerando volúmenes mayores de producción.*

| <b>Años</b>                       | <b>T1</b><br>75 % excreta.<br>25 % agua. | <b>T2</b><br>50 % excreta.<br>50 % agua. | <b>T3</b><br>25 % excreta.<br>75 % agua. |
|-----------------------------------|--|--|--|
| <b>INGRESOS TOTALES</b>           | <b>\$2,472.48</b>                        | <b>\$1,368.00</b>                        | <b>\$723.84</b>                          |
| venta de Abono Orgánico           | \$2,472.48                               | \$1,368.00                               | \$723.84                                 |
| <b>EGRESOS TOTALES</b>            | <b>\$378.69</b>                          | <b>\$378.69</b>                          | <b>\$378.69</b>                          |
| <b>Costos variables</b>           | <b>\$327.51</b>                          | <b>\$327.51</b>                          | <b>\$327.51</b>                          |
| Agua potable                      | \$180.48                                 | \$180.48                                 | \$180.48                                 |
| Exámenes de laboratorio           | \$120.00                                 | \$120.00                                 | \$120.00                                 |
| Éter de petróleo                  | \$4.43                                   | \$4.43                                   | \$4.43                                   |
| Acido sulfúrico                   | \$22.60                                  | \$22.60                                  | \$22.60                                  |
| <b>Costos fijos</b>               | <b>\$51.18</b>                           | <b>\$51.18</b>                           | <b>\$51.18</b>                           |
| CAD                               | \$21.18                                  | \$21.18                                  | \$21.18                                  |
| Mano de Obra                      | \$30.00                                  | \$30.00                                  | \$30.00                                  |
| <b>DISPONIBILIDAD DE EFECTIVO</b> | <b>\$2,093.79</b>                        | <b>\$989.31</b>                          | <b>\$345.15</b>                          |
| <b>B/C</b>                        | <b>\$6.53</b>                            | <b>\$3.61</b>                            | <b>\$1.91</b>                            |

## 5 CONCLUSIONES

1. Las diferentes concentraciones de excremento bovino no afectan significativamente los resultados de Análisis de pH. ( $P > 0.05$ ) con promedios de tratamientos (T1; 6.67, T2: 6.87 y T3: 6.58) ns. Aunque a mayor tiempo de retención hidráulica los niveles de pH bajaron notoriamente de los cuales es altamente significativo en los bloques. ( $P < 0.1$ ).
2. La cantidad de agua en cada tratamiento no afecta estadísticamente en los resultados del porcentaje de Nitrógeno ( $P > 0.05$ ) con porcentaje global de cada biodigestor (T1: 2.37%, T2: 2.29% y T3: 2.20%) ns.
3. Existió un efecto estadísticamente significativo ( $P > 0.05$ ) sobre los tratamientos de la media del porcentaje del fósforo, según la prueba de Duncan el T1: 0.62 % y T2: 0.63 % fueron superior al T3: 0.53 % en el cual existe menor porcentaje de contenido de excremento bovino.
4. No existió un efecto estadísticamente significativo ( $P > 0.05$ ) sobre el promedio del porcentaje de potasio, siendo así que se comportó de manera constante, indicando que no existe un tratamiento o bloque mejor que otro
5. Las concentraciones mayores de excremento bovino en los biodigestores, afectan estadísticamente ( $P < 0.05$ ), el porcentaje de calcio y magnesio. Los tratamientos T1 y T2 cumplen con el enunciado antes mencionado, y obtuvieron mayor porcentaje de nutrientes que T3.

6. En el factor físico-químico: Temperatura interna promedio se indica que hay diferencias significativas entre cada uno de los tratamientos ( $P < 0.05$ ). La temperatura de los biodigestores se mantuvo en condiciones óptimas de crecimiento para las bacterias metalogénicas.
7. Las diferentes concentraciones de estiércol y agua afectan significativamente ( $P > 0.05$ ) en el promedio del porcentaje de materia seca obtenido durante el proceso de investigación y el peso de materia seca en kilogramos.
8. Según los resultados obtenidos de la investigación de barriles de 210 litros de volumen, no se obtuvieron valores económicos positivos, debido al alto costo de los exámenes de laboratorios practicados en el CENTA- san Andrés. Sin embargo, la proyección de ventas de un Rotoplas con capacidad de 12 barriles los resultados son favorablemente en su disponibilidad económica.

## 6 RECOMENDACIONES

Después de analizar y discutir los resultados obtenidos en la presente investigación se recomienda:

- 1) Según el análisis de datos, se estima conveniente la utilización de la proporción 75% excreta bovina y 25% agua, siendo el tratamiento 1 del estudio, del cual se adquirió mayor cantidad en peso de materia seca para ser comercializada.
- 2) En investigaciones futuras investigar y analizar la variable de relación carbono-nitrógeno, en el día 1, ya que el carbono favorece a la rápida fermentación microbiana.
- 3) En caso que el pH sea ácido se recomienda la incorporación de cal en fase líquida del biofertilizante (biol).
- 4) Realizar estudios similares donde se le incorpore cal, melaza y suero de queso en diferentes proporciones a la mezcla a fermentar.
- 5) A los ganaderos, propietarios de granja y a todos los agricultores que dispongan de materiales orgánicos como excreta de bovinos, se les recomienda la implementación de biodigestores, ya que además de proporcionar nutrientes a la planta, a largo plazo ayudan a mejorar las condiciones del suelo.
- 6) Hacer nuevas investigaciones con otros tipos de excreta animal (cerdos, aves, peces.)
- 7) Realizar investigaciones en las que se estudie y analice la producción de biogás.
- 8) Extraer el material orgánico a los 70 días de retención hidráulica.
- 9) No se recomienda la producción de abono orgánico en volumen de un barril, debido a sus ingresos económicos muy bajos, caso contrario para la producción de gran escala como Rotoplas de 12 barriles para la producción de abono orgánico procedente de estiércol de ganado bovino.

7 CRONOGRAMA

| Actividad 2018/mes  | ABR. |   |   |   | MAY. |   |   |   | JUN. |   |   |   | JUL. |   |   |   | AGO. |   |   |   | SEP. |   |   |   | OCT. |   |   |   | NOV. |   |   |   | DIC. |   |   |   |
|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|------|---|---|---|
| semana  | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 | 1    | 2 | 3 | 4 |
| lluvia de ideas   | ■    |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Discusión y selección del tema                              |      | ■ | ■ |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Revisión de bibliografía                                    |      |   |   |   | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ |      |   |   |   |
| Planteamiento del problema                                  |      |   |   |   | ■    |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Objetivos   |      |   |   |   | ■    |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Metodología   |      |   |   |   |      | ■ |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Revisión de Protocolo                                       |      |   |   |   | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ |      |   |   |   |
| Revisión de Protocolo final                                 |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Defensa de Protocolo  |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Compra de Eter de petroleo y H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   | ■    | ■ | ■ | ■ | ■    | ■ | ■ | ■ |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Montaje de biodigestores                                    |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   | ■    | ■ |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |
| Recoleccion de excreta                                      |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   | ■    |   |   |   |      |   |   |   |
| Llenado de Biodigestores                                    |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   | ■    |   |   |   |      |   |   |   |
| Extracion de muestra 1                                      |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   | ■    |   |   |   |      |   |   |   |
| Toma de datos de temperatura                                |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   |      |   |   |   | ■    | ■ | ■ | ■ |      |   |   |   |







## 8 PRESUPUESTO

| Descripcion               | Cantidad | Presio unitario | total       |
|---------------------------|----------|-----------------|-------------|
| Clavos de 7 pulgdas       | 4        | \$ 0.50         | \$ 2.00     |
| Juego de brocas           | 1        | \$ 12.00        | \$ 12.00    |
| Barriles                  | 3        | \$ 25.00        | \$ 75.00    |
| Termometros               | 8        | \$ 5.65         | \$ 45.20    |
| Eter de petroleo lt       | 4        | \$ 203.40       | \$ 203.40   |
| Acido sulfurico lt        | 2.5      | \$ 39.55        | \$ 39.55    |
| Transporte Urbano expres  | 1        | \$ 5.65         | \$ 5.65     |
| Exámenes de laboratorio   | 24       | \$ 15.00        | \$ 360.00   |
| Tubo PVC 1\2p M           | 6        | \$ 0.50         | \$ 3.00     |
| Tubo PVC 2 p M            | 4        | \$ 1.00         | \$ 4.00     |
| valvula de 1\2 p          | 3        | \$ 2.50         | \$ 7.50     |
| valvula de 2p             | 3        | \$ 8.75         | \$ 26.25    |
| Adaptador macho pvc b 2 p | 6        | \$ 0.70         | \$ 4.20     |
| Embudo plástico           | 1        | \$ 1.50         | \$ 1.50     |
| Bascula de colgar de 40lb | 1        | \$ 25.00        | \$ 25.00    |
| Costaneda ( madera )      | 1        | \$ 29.90        | \$ 30.00    |
| Zaranda de 6x6x36x33.33 y | 1        | \$ 7.00         | \$ 7.00     |
| Tapón hembra de pvc 2 p   | 3        | \$ 3.00         | \$ 9.00     |
| Silicon                   | 1        | \$ 3.25         | \$ 3.25     |
| Pegamento epoximil        | 5        | \$ 2.99         | \$ 14.95    |
| Transporte                | 1        | \$ 280.85       | \$ 280.85   |
| Comida                    | 3        | \$ 100.00       | \$ 300.00   |
| Cartuchos de tinta        | 1        | \$ 50.00        | \$ 50.00    |
| TOTAL                     |          |                 | \$ 1,509.30 |

## 9 BIBLIOGRAFIA

1. Agrowaste. 2012. Digestión anaerobia. (En línea). Citado el 24 d mayo de 2018.  
Disponble en: <http://www.agrowaste.eu/wpcontent/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>
2. Agronet. Composición de los estiércoles. (En línea). 22 pág. Consultado el 14 de octubre de 2019. Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6633/7/053.7.pdf>
3. Amaya. 2013. Diseño de planta de tratamiento de desechos orgánicos para la generación y aprovechamiento de biogás. (En línea). Consultado el 21 de marzo de 2018. Disponible en: <https://www.itca.edu.sv/wp-content/themes/elaniin-itca/docs/2013-Diseno-de-planta-de-tratamiento-de-desechos.pdf>
4. Ardón. 1992. Diseño y construcción de un sistema para la obtención y utilización de biogás, a través de desechos orgánicos diversos, para uso del campo experimental de la facultad de ciencias agronómicas de la U.E.S. tesis Ing. San Salvador. Universidad de El Salvador.
5. Aviporto. 2016. Que es un fertilizante y como deberías usarlo. (En línea). Consultado el 21 de septiembre de 2017. Disponible en: <http://aviporto.com/blog/2016/05/06/que-es-un-biofertilizante-y-por-que-deberias-usarlo-biof/>
6. Bautista. 2010. Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. (En línea). Consultado el 23 de mayo de 2017. Disponible en: <https://e->

[archivo.uc3m.es/bitstream/id/45617/PFC/](http://archivo.uc3m.es/bitstream/id/45617/PFC/)

7. Bavera, A. Penafort, H. 2006. Lectura de la bosta del bovino y su relación con la alimentación. (En línea). Consultado el 12 de mayo de 2018. Disponible en:
8. Brakel J. 1980. Small-scale anaerobic digesters (Biogas Plants): A critical review of the pre-1970 literature” Softbank, Ex-Library Delfy University Press. Pag. :3-7.
9. Cajamarca. 2012. Procedimientos para la elaboración de abonos orgánicos. En línea). Consultado el 24 de marzo de 2017. Disponible en:  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3277/1/TESIS.pdf>
10. Campos, C. Meléndez, O. Canjura, M. 1997. Uso de sustratos alimenticios en el desarrollo reproductivo y Cantidad proteica de la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*). Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador. 24 p.
11. Canales, 2010. 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. Tesis Ing. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador.
12. Canales, M. Rivas, L. Sorto, R. 2010. 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. Tesis, Ing. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador. 185 pág.
13. CECADE. Construcción y evaluación de un biodigestor modelo chino mejorado para zonas andinas. (En Línea). Citado el 12 de mayo de 2018. Disponible en:  
[http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/cusco\\_cedepac/construccion\\_evaluacion-fredy\\_almanza.pdf](http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/bioenergia/cusco_cedepac/construccion_evaluacion-fredy_almanza.pdf)

14. Cnice. Proyecto biosfera. (En línea). Consultado el 24 de junio de 2018.

Disponible

en:

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/micro/contenidos4.htm#capsula>

15. Construmática. 2010. Biomasa en la construcción. Consultado el 23 de marzo de

2017. Disponible en:

[http://www.construmatica.com/construpedia/Biomasa\\_en\\_la\\_Construcci%C3](http://www.construmatica.com/construpedia/Biomasa_en_la_Construcci%C3)

%B3n

16. Corona, I. 2007. Biodigestores. Tesis Ing. México. Universidad Autónoma de Hidalgo.

69 pág.

17. Deublein D. Y Steinhäuser A. 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources:

An introduction. 5 ed. 447 pág.

18. Elizondo, J. El nitrógeno en sistemas ganaderos de leche. 2006. (En línea). pág. 69-

77. Consultado el 10 de octubre de 2018. disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/26507736\\_El\\_nitrogeno\\_en\\_los\\_sistemas\\_ganaderos\\_de\\_leche](https://www.researchgate.net/publication/26507736_El_nitrogeno_en_los_sistemas_ganaderos_de_leche)

19. Energía casera. 2010. Biodigestor de bidón: pautas para uso. (En

línea). Consultado el 24 de mayo de 2018.

Disponible en:

<https://energiascasera.wordpress.com/2010/01/23/biodigestor-de-bidon-pautas-de-uso/#more-987>

20. EPEC. Energía renovable. La biomasa. (En línea). Consultado el 12 de junio de 2018.

Disponible

en:

<https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/biomasa.pdf> 6

21. FAO. 2011. MANUAL DE BIOGAS. (En línea). Consultado el 23 de mayo de 2018.

Disponible en: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

22. FAO. Manual de compostaje del agricultor. 2013. (En línea). 112 pág. Consultado el

23 de enero de 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

23. Fuentes, B. 2018. Construcción y caracterización de un biodigestor artesanal,

ubicado en la facultad multidisciplinaria oriental. Tesis Lic. San Miguel. El

Salvador. Universidad de El Salvador. 76 pág.

24. Fundación Hábitat. Una alternativa a la autosuficiencia energética y de

Biofertilizantes. 2005. (En Línea). 6 de enero de 2018. Disponible en:

[http://www.academia.edu/8184562/Biodigestores\\_Una\\_alternativa\\_a\\_la\\_autosuficiencia\\_energ%C3%A9tica\\_y\\_de\\_biofertilizantes](http://www.academia.edu/8184562/Biodigestores_Una_alternativa_a_la_autosuficiencia_energ%C3%A9tica_y_de_biofertilizantes)

25. FUNDESYRAM. Los biodigestores, importancia y beneficios. (En línea). Consultado

el 30 de mayo de 2017.

Disponible en:

<http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=6181>

26. García, J. 2017. Biofertilizantes, ventajas y desventajas. (En línea). Consultado el

23 de septiembre de 2017.

Disponible en:

<https://mx.blastingnews.com/tecnologia/2017/06/biofertilizantes-ventajas-y-desventajas-001806021.html>

27. García. 2012. Centrales termoeléctricas de biomasa. (En línea). Consultado el

12 de junio de 2018. Disponible en:

<http://santiagogarciarriado.com/index.php/65-centrales-termoelectricas-de->

biomasa

28. Georgetown. Constitución de la república de El Salvador. (en línea). Citado el 24 de marzo de 2018. Disponible en: <http://pdba.georgetown.edu/Constitutions/ElSal/constitucion.pdf>
29. Gómez, A. Pilar, X. 2008. Elaboración de abono orgánico fermentado a partir de residuos de flores (pétalos de rosas) y su caracterización para uso en la producción de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Tesis Lic. Bogotá. Colombia. Pontificia Universidad Javeriana. 113 pág.
30. Gómez, M. Porcentaje de materia seca en biosol. (En línea). 14 pág. Consultado el 10 de enero de 2019. disponible en:  
[https://books.google.com.sv/books?id=bffuDAAAQBAJ&pg=PA378&lpg=PA378&dq=porcentaje+de+materia+seca+en+biosol&source=bl&ots=hBuEIVphtr&sig=ACfU3U2Mt3Ho3p8yCgr-ROwPoYjMdh4mHg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiFweDnmoDoAhXDVt8KHVHmDwiQ6AEwDHoEC\\_AoQAQ#v=onepage&q&f=true](https://books.google.com.sv/books?id=bffuDAAAQBAJ&pg=PA378&lpg=PA378&dq=porcentaje+de+materia+seca+en+biosol&source=bl&ots=hBuEIVphtr&sig=ACfU3U2Mt3Ho3p8yCgr-ROwPoYjMdh4mHg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiFweDnmoDoAhXDVt8KHVHmDwiQ6AEwDHoEC_AoQAQ#v=onepage&q&f=true)
31. Gómez, P. J., 2007. Servicio de información agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador; Bioabono de la cachaza; Proyecto SICA, disponible en: <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/biblioteca/ingrizzo/agricultura/principal.htm>.
32. Guevara, M. Leones, I. Parada, K. 2016. Anteproyecto de modelo arquitectónico de complejo alimentario, por medio de granjas agrícolas de La Geo. Tesis Arq. San Salvador. El Salvador. Universidad de El Salvador. 172 Pág.

33. ICA. Composición de los estiércoles. 1972. (en línea). Citado 23 de marzo de 2018.

Disponible

en:

<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6633/7/053.7.pdf>

34. ILC. 2016. Reporte de desarrollo sostenible. (En línea). Consultado el 06 de junio de 2018. Disponible en: <https://www.laconstancia.com/reporte-de-desarrollo-sostenible>}

35. InfoAgro. Diseño de biodigestores y producción de electricidad. (En línea).

Consultado el 20 de octubre de 2018. disponible en:

<http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/produccion%20sostenible/Curso%20biodigestores.pdf>

36. Linares, W. López, F. merino, F. 2017. Fundamentos teóricos y propuesta de un proceso para la práctica del envasado de biogás libre de CO<sub>2</sub> Y H<sub>2</sub>S En EL Salvador. San Salvador. El Salvador. Tesis Ing. Universidad de El Salvador. 158 pág.

37. López, A. 2018. Análisis de la dinámica del nitrógeno en un sistema continuo acoplado contactor de membrana hidrofóbica/ reactor anaerobio. Tesis Ing. Barcelona. España. Universidad Politécnica de Catalunya. 64 pág.

38. López, A. 1994. El biocompostaje de los residuos agroindustriales y el mejoramiento de la agricultura. Serie: Biocenosis. S ed. Costa Rica. pág. 20- 25.

39. Lopez, O., Foidl, G., Foidl, N. 2008. Proyecto Biomasa. Universidad Nacional de Ingeniería, Departamento de Biomasa, Managua, Nicaragua. Sucher & Holzer, Austria. 51 p.

40. MAG. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. 2009. (En línea). 14 pág. Consultado el 23 de enero de 2019. disponible en:  
[https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v33n01-031.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v33n01-031.pdf)
41. MAG. Biodigestores, que son y cómo se construyen. (En línea). 10 de enero de 2018.  
Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/prog-cerdos-biodigestor1.pdf>
42. Mantilla, G. Duque, D. Galeano U. 2007. Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogás utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. Ingeniería e Investigación, 27 (003), 133- 142.
43. Mejía. 2005. Estudio de factibilidad técnico económico para la implantación de una planta productora de biogás a partir de desechos orgánicos. (En línea). Consultado el 20 de marzo de 2018. Disponible en:  
[http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1970/1/Estudio\\_de\\_factibilidad\\_t%C3%A9cnico\\_econ%C3%B3mico\\_para\\_la\\_implantaci%C3%B3n\\_de\\_una\\_planta\\_productora\\_de\\_biogas\\_a\\_partir\\_de\\_desechos\\_org%C3%A1nicos.pdf](http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/1970/1/Estudio_de_factibilidad_t%C3%A9cnico_econ%C3%B3mico_para_la_implantaci%C3%B3n_de_una_planta_productora_de_biogas_a_partir_de_desechos_org%C3%A1nicos.pdf)
44. Meléndez, G. Molina, E. 2003. Fertilizantes, características y manejos. (En línea). Citado el 23 de mayo de 2018. Disponible en:  
<http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/Memoria%20Curso%20Fertilizantes.pdf>
45. Morales, J. En buenas manos. Ventajas y desventajas del estiércol. (En línea). Citado el 12 de mayo de 2018. Disponible en:  
<https://www.enbuenasmanos.com/el-estiercol>
46. Nuprec. 2012. Calcio en las plantas. (En línea). Consultado el 12 de junio de 2018. Disponible en:



[http://www.nuprec.com/Nuprec\\_Sp\\_archivos/Literatura/Calcio/Calcio%20en%20Plantas.pdf](http://www.nuprec.com/Nuprec_Sp_archivos/Literatura/Calcio/Calcio%20en%20Plantas.pdf)

47. OAS. Ley de medio ambiente de El Salvador. 1998. (en línea). Citado el 23 de marzo

de 2018. Disponible

en:

[www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/el\\_salvador/el\\_salvador\\_233.doc](http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/el_salvador/el_salvador_233.doc)

48. ONU. 2008. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. (En línea).

Consultado el 20 de junio de 2018. Disponible en:

<http://www.fao.org/3/i0100s/i0100s00.htm>

49. Pérez. 2010. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños

ganaderos y lecheros. (En línea). Consultado el 20 de junio de 2018. Disponible

en: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez_jm.pdf?sequence=3)

[perez\\_jm.pdf?sequence=3](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103926/cf-perez_jm.pdf?sequence=3)

50. Pinos, J. García, J. 2012. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América.

(En línea). Consultado el 24 de mayo

de 2018. Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004)

[31952012000400004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004)

51. Planta de biomasa. Tipos de biomasa. 2013. (En línea). Consultado el 20 de junio

de 2018. Disponible en: <https://www.plantasdebiomasa.net/tipos-de-biomasa.html>

52. Plantas y hortalizas. 2009. Nitrógeno(N), Fósforo (P), Potasio (K). Como influyen en el desarrollo de la planta, su función y síntomas de deficiencia y exceso. (En línea).

Consultado el 23 de mayo de 2018. Disponible

en: <http://plantasyhortalizas.blogspot.com/2009/08/nitrogenon-fosforoppotasiok-como.html>

53. PROBIOMASA. 2012. Biomasa. (En línea). Consultado el 24 de marzo de 2017.

Disponible en: <http://www.probiomasa.gob.ar/es/biomasa.php>

54. Quipuzco, L., Baldeón, W. 2014. Evaluación de la calidad de biogás y biol a partir de dos mezclas de estiércol de vaca en biodigestores tubulares de pvc. (En línea).

Consultado el 20 de mayo de 2018. Disponible en:

<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/690>

55. Red agrícola. El Magnesio: Nutriente Esencial en la Producción de Frutales y Cultivos.

(En línea). Consultado el 23 de mayo de 2018. Disponible en: [http://www.compo-expert.com/fileadmin/user\\_upload/compo\\_expert/cl/documents/Art%C3%ADculo\\_Compo\\_RA58\\_final.pdf](http://www.compo-expert.com/fileadmin/user_upload/compo_expert/cl/documents/Art%C3%ADculo_Compo_RA58_final.pdf)

56. Red agrícola. El Magnesio: Nutriente Esencial en la Producción de Frutales y Cultivos.

(En línea). Consultado el 23 de mayo de 2018. Disponible

en: [http://www.compo-expert.com/fileadmin/user\\_upload/compo\\_expert/cl/documents/Art%C3%ADculo\\_Compo\\_RA58\\_final.pdf](http://www.compo-expert.com/fileadmin/user_upload/compo_expert/cl/documents/Art%C3%ADculo_Compo_RA58_final.pdf)

57. Redel, L. Historia de los biodigestores. (En línea). Consultado el 11 de junio de 2018.

Disponible en: <http://infodigestor.blogspot.com/2014/06/historia-de-los-biodigestores.html>

58. Researchgate. Relación entre la temperatura y la velocidad de crecimiento de algunas

bacterias. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Relacion-entre-la-temperatura-y-la-velocidad-de-crecimiento-de-algunos\\_fig4\\_264442301](https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Relacion-entre-la-temperatura-y-la-velocidad-de-crecimiento-de-algunos_fig4_264442301)

59. Reyes, E. 2017. Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. Ed 24. Nicaragua. 61 pág.
60. SAGARPA. Utilización del estiércol. 2005. (en línea). 24 de marzo de 2018.  
Disponibile en:<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Utilizaci%C3n%20de%20esti%C9rcoles.pdf>
61. Sierra. 2019. Efectos de la aplicación de distintos tipos de estiércoles sobre las propiedades físicas del suelo. (En línea). Consultado el 30 de marzo de 2017.  
Disponibile  
  
en:  
<https://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2019/11/28/Efectos-de-la-aplicacion-de-distintos-tipos-de-estiercoles-sobre-las-propiedades-fisicas-del-suelo.aspx?disp=1>
62. Taiganides, P.E. 1994. Reciclaje y manejo de excretas de ganado porcino: una perspectiva global y colombiana. S. ed. Cali. Colombia. P. 20-52.
63. Tóala. E. 2013. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado. Tesis Ing. Riobamaba. Ecuador. 138 Pág.
64. UDEA. Microbiología ambiental. 2004. (En línea). Consultado el 24 de marzo de 2017.  
Disponibile en:  
[http://docencia.udea.edu.co/bacteriologia/MicrobiologiaAmbiental/microbiologia\\_2.pdf](http://docencia.udea.edu.co/bacteriologia/MicrobiologiaAmbiental/microbiologia_2.pdf)
65. Valladares. 2017. Modelamiento del proceso de digestión anaeróbica de estiércol vacuno y cáscara de cacao. Tesis Ing. San Salvador. El Salvador.
66. Wikipedia. Biodigestor. 2009. (En Línea). 10 de enero de 2018. Disponibile en:  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>

67. Wikipedia. Biosoles. (En línea). Consultado el 23 de septiembre de 2017.  
Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Bioles>
68. Wikipedia. PH del suelo. (En línea). Consultado el 30 de mayo de 2017.  
Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/PH\\_del\\_suelo](https://es.wikipedia.org/wiki/PH_del_suelo)
69. Yasukawa, K., y M. Quintero. 1998. Las hortalizas más seguras y sabrosas. S ed.  
Panamá. Panamá. pág. 26-37.

## 10 . ANEXOS

*Tabla 29 Experiencias documentadas relacionadas con la obtención de biogás en El Salvador. (Canales, 2010)*

| AÑO. | DESCRIPCIÓN.   |
|------|--|
| 1960 | Black reportó un estudio realizado por el Dr. Víctor H. Ortiz con digestores metálicos utilizando como materia prima aguas negras no tratadas y pulpa de café.   |
| 1965 | A. García Prieto realizó experimentos durante dos cosechas de café sin tener éxito, pero se redujo los sólidos volátiles.  |
| 1978 | Hay un despertar del tema de producción de biogás por la crisis energética de 1973.  |
| 1981 | Lardé realizó un estudio de biogás tomando como materia prima pulpa de café y estiércol bovino.  |
| 1982 | El instituto salvadoreño de investigación de café (ISCI) experimento con aguas residuales de pulpa, ya que representa un potencial de biogás equivalente a 9274 m <sup>3</sup> en condiciones estándar.  |
| 1983 | La Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL) y la Dirección de Desarrollo Comunal (DIDECO) realizan investigaciones preliminares relacionadas con sistemas de biodigestión y este mismo año se realiza el primer seminario Nacional de Biogás. |

|      |   |
|------|---|
| 1992 | Diseño y construcción de un sistema para la obtención y utilización de biogás, a través de desechos orgánicos diversos, para uso del campo experimental de la facultad de ciencias agronómicas de la U.E.S. |
| 2005 | Estudio de factibilidad técnico económico para la Implantación de una planta productora de biogás a Partir de desechos orgánicos”.  |
| 2010 | 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         |
| 2018 | Balmore Fuentes.  |

Tabla 30. Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica. (FAO, 2011)

| Fermentación  | Mínimo   | Optimo   | Máximo   | Tiempo de retención |
|---------------|----------|----------|----------|---------------------|
| Psicrófilica. | 4-10 °C  | 15-18 °C | 20-25 °C | Sobre 100 días.     |
| Mesófilica.   | 15-20 °C | 25-35 °C | 35-45 °C | 30 – 60 días.       |
| Termófilica.  | 25-45 °C | 50-60 °C | 75-80 °C | 10-15 días.         |

Tabla 31 Resultado de PH en cada tratamiento.

|    | BI          | BII         | BIII        | BIV         | BV          | BVI         | BVII        | BVIII       | X             | ΣX          |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|-------------|
| T1 | 7.5         | 7           | 7           | 6.7         | 6.1         | 6.5         | 6.5         | 6.1         | <b>6.675</b>  | <b>53.4</b> |
| T2 | 7.3         | 6.9         | 7.4         | 6.7         | 5.9         | 6.2         | 6.3         | 5.9         | <b>6.575</b>  | <b>52.6</b> |
| T3 | 7.5         | 6.6         | 7.1         | 6.5         | 6.5         | 6.6         | 6.1         | 5.8         | <b>6.5875</b> | <b>52.7</b> |
| X  | <b>7.43</b> | <b>6.83</b> | <b>7.17</b> | <b>6.63</b> | <b>6.17</b> | <b>6.43</b> | <b>6.3</b>  | <b>5.93</b> |               |             |
| ΣX | <b>22.3</b> | <b>20.5</b> | <b>21.5</b> | <b>19.9</b> | <b>18.5</b> | <b>19.3</b> | <b>18.9</b> | <b>17.8</b> |               |             |

Tabla 32. Análisis de varianza para variable pH

| Origen           | Suma de cuadrados | Gl | Media cuadrática | F     | Sig.               |
|------------------|-------------------|----|------------------|-------|--------------------|
| BIODIGESTOR      | .083              | 2  | .042             | .304  | .742 <sup>ns</sup> |
| BLOQUE           | 7.833             | 7  | 1.119            | 8.174 | .000**             |
| Error            | 1.917             | 14 | .137             |       |                    |
| Total, corregida | 9.833             | 23 |                  |       |                    |

Tabla 33 Prueba de Duncan del pH en los tratamientos.

| BIODIGESTOR | N |                    |
|-------------|---|--------------------|
| 2           | 8 | 6.50 <sup>ns</sup> |
| 1           | 8 | 6.63 <sup>ns</sup> |
| 3           | 8 | 6.63 <sup>ns</sup> |
| Sig.        |   | .532               |



Tabla 34 Prueba de Duncan de pH para los bloques.

| BLOQUE | N | Subconjunto       |                    |                    |
|--------|---|-------------------|--------------------|--------------------|
|        |   | 1                 | 2                  | 3                  |
| 5      | 3 | 6.00 <sup>c</sup> |                    |                    |
| 7      | 3 | 6.00 <sup>c</sup> |                    |                    |
| 8      | 3 | 6.00 <sup>c</sup> |                    |                    |
| 6      | 3 | 6.33              | 6.33 <sup>bc</sup> |                    |
| 4      | 3 | 6.67              | 6.67 <sup>bc</sup> |                    |
| 2      | 3 |                   | 7.00               | 7.00 <sup>ab</sup> |
| 3      | 3 |                   | 7.00               | 7.00 <sup>ab</sup> |
| 1      | 3 |                   |                    | 7.67 <sup>a</sup>  |
| Sig.   |   | .064              | .060               | .054               |

Tabla 35 Resultados de porcentaje de Nitrógeno.

|    | BI          | BII         | BIII        | BIV         | BV          | BVI         | BVII        | BVIII       | X           | ΣX           |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| T1 | 2.18        | 2.45        | 2.13        | 2.73        | 2.59        | 2.43        | 2.1         | 2.35        | <b>2.37</b> | <b>18.96</b> |
| T2 | 2.23        | 2.43        | 2.09        | 2.45        | 2.6         | 2.18        | 2.32        | 2.03        | <b>2.29</b> | <b>18.33</b> |
| T3 | 2.08        | 2.05        | 2.06        | 2.48        | 2.61        | 2.09        | 2.17        | 2.07        | <b>2.20</b> | <b>17.61</b> |
| X  | <b>2.16</b> | <b>2.31</b> | <b>2.09</b> | <b>2.55</b> | <b>2.60</b> | <b>2.23</b> | <b>2.20</b> | <b>2.15</b> |             |              |
| ΣX | <b>6.49</b> | <b>6.93</b> | <b>6.28</b> | <b>7.66</b> | <b>7.8</b>  | <b>6.7</b>  | <b>6.59</b> | <b>6.45</b> |             |              |

Tabla 36 Análisis de varianza para la variable de Nitrógeno.

| Origen          | Suma de cuadrados tipo III | Gl | Media cuadrática | F     | Sig.               |
|-----------------|----------------------------|----|------------------|-------|--------------------|
| BIODIGESTOR     | .083                       | 2  | .042             | 1.000 | .393 <sup>ns</sup> |
| BLOQUE          | 2.667                      | 7  | .381             | 9.143 | .000 **            |
| Error           | .583                       | 14 | .042             |       |                    |
| Total corregida | 3.333                      | 23 |                  |       |                    |

Tabla 37 Prueba de Duncan de Nitrógeno por tratamiento.

| BIODIGESTOR | N | Subconjunto        |
|-------------|---|--------------------|
|             |   | 1                  |
| 2           | 8 | 2.13 <sup>ns</sup> |
| 3           | 8 | 2.13 <sup>ns</sup> |
| 1           | 8 | 2.25 <sup>ns</sup> |
| Sig.        |   | .264               |

Tabla 38. Prueba de Duncan de Nitrógeno por bloque.

| BLOQUE | N | Subconjunto       |                   |
|--------|---|-------------------|-------------------|
|        |   | 1                 | 2                 |
| 1      | 3 | 2.00 <sup>b</sup> |                   |
| 2      | 3 | 2.00 <sup>b</sup> |                   |
| 3      | 3 | 2.00 <sup>b</sup> |                   |
| 6      | 3 | 2.00 <sup>b</sup> |                   |
| 7      | 3 | 2.00 <sup>b</sup> |                   |
| 8      | 3 | 2.00 <sup>b</sup> |                   |
| 4      | 3 | 2.33 <sup>b</sup> |                   |
| 5      | 3 |                   | 3.00 <sup>a</sup> |
| Sig.   |   | .096              | 1.000             |

Tabla 39 . Resultados de porcentaje de fosforo.

|    | BI          | BII         | BIII        | BIV         | BV          | BVI         | BVII        | BVIII       | X           | ΣX          |
|----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T1 | 0.53        | 0.59        | 0.61        | 0.61        | 0.65        | 0.7         | 0.67        | 0.56        | <b>0.62</b> | <b>4.92</b> |
| T2 | 0.45        | 0.62        | 0.62        | 0.64        | 0.65        | 0.68        | 0.69        | 0.69        | <b>0.63</b> | <b>5.04</b> |
| T3 | 0.49        | 0.43        | 0.46        | 0.48        | 0.51        | 0.69        | 0.58        | 0.58        | <b>0.53</b> | <b>4.22</b> |
| X  | <b>0.49</b> | <b>0.55</b> | <b>0.56</b> | <b>0.58</b> | <b>0.60</b> | <b>0.69</b> | <b>0.65</b> | <b>0.61</b> |             |             |
| ΣX | <b>1.47</b> | <b>1.64</b> | <b>1.69</b> | <b>1.73</b> | <b>1.81</b> | <b>2.07</b> | <b>1.94</b> | <b>1.83</b> |             |             |

Tabla 40 .Análisis de varianza de Fosforo.

| Origen          | Suma de cuadrados tipo III | Gl | Media cuadrática | F     | Sig.               |
|-----------------|----------------------------|----|------------------|-------|--------------------|
| BIODIGESTOR     | 1.083                      | 2  | .542             | 4.789 | .026 *             |
| BLOQUE          | 1.292                      | 7  | .185             | 1.632 | .206 <sup>ns</sup> |
| Error           | 1.583                      | 14 | .113             |       |                    |
| Total corregida | 3.958                      | 23 |                  |       |                    |

Tabla 41 Prueba de Duncan de Fosforo por tratamiento.

| BIODIGESTOR | N | Subconjunto      |                   |
|-------------|---|------------------|-------------------|
|             |   | 1                | 2                 |
| 3           | 8 | .50 <sup>b</sup> |                   |
| 2           | 8 |                  | .88 <sup>a</sup>  |
| 1           | 8 |                  | 1.00 <sup>a</sup> |
| Sig.        |   | 1.000            | .470              |

Tabla 42. Prueba de Duncan de fosforo por bloque.

|            | BI          | BII         | BIII        | BIV         | BV          | BVI         | BVII        | BVIII       | X           | $\Sigma X$   |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| T1         | 1.02        | 1.78        | 1.86        | 1.82        | 1.87        | 1.85        | 1.59        | 1.48        | <b>1.66</b> | <b>13.27</b> |
| T2         | 0.79        | 1.32        | 1.26        | 1.24        | 1.26        | 1.82        | 1.17        | 1.51        | <b>1.30</b> | <b>10.37</b> |
| T3         | 1.08        | 0.61        | 0.69        | 0.6         | 0.7         | 1.04        | 0.77        | 0.84        | <b>0.79</b> | <b>6.33</b>  |
| X          | <b>0.96</b> | <b>1.24</b> | <b>1.27</b> | <b>1.22</b> | <b>1.28</b> | <b>1.57</b> | <b>1.18</b> | <b>1.28</b> |             |              |
| $\Sigma X$ | <b>2.89</b> | <b>3.71</b> | <b>3.81</b> | <b>3.66</b> | <b>3.83</b> | <b>4.71</b> | <b>3.53</b> | <b>3.83</b> |             |              |

Tabla 43 Resultados de porcentaje de potasio.

| BLOQUE | N | Subconjunto       |                   |
|--------|---|-------------------|-------------------|
|        |   | 1                 | 2                 |
| 1      | 3 | .33 <sup>b</sup>  |                   |
| 2      | 3 | .67 <sup>ab</sup> | .67               |
| 3      | 3 | .67 <sup>ab</sup> | .67               |
| 4      | 3 | .67 <sup>ab</sup> | .67               |
| 5      | 3 |                   | 1.00 <sup>a</sup> |
| 6      | 3 |                   | 1.00 <sup>a</sup> |
| 7      | 3 |                   | 1.00 <sup>a</sup> |
| 8      | 3 |                   | 1.00 <sup>a</sup> |
| Sig.   |   | .281              | .295              |

Tabla 44 Análisis de varianza de potasio.

| Origen          | Suma de cuadrados tipo III | Gl | Media cuadrática | F     | Sig.               |
|-----------------|----------------------------|----|------------------|-------|--------------------|
| BIODIGESTOR     | 2.333                      | 2  | 1.167            | 7.000 | .008 <sup>ns</sup> |
| BLOQUE          | .667                       | 7  | .095             | .571  | .768 <sup>ns</sup> |
| Error           | 2.333                      | 14 | .167             |       |                    |
| Total corregida | 5.333                      | 23 |                  |       |                    |

Tabla 45 Prueba de Duncan de potasio por tratamiento.

| BIODIGESTOR | N | Subconjunto       |                   |
|-------------|---|-------------------|-------------------|
|             |   | 1                 | 2                 |
| 3           | 8 | 1.00 <sup>b</sup> |                   |
| 2           | 8 | 1.25 <sup>b</sup> |                   |
| 1           | 8 |                   | 1.75 <sup>a</sup> |
| Sig.        |   | .241              | 1.000             |

Tabla 46 Prueba de Duncan de potasio por bloque.

| BLOQUE | N | Subconjunto |
|--------|---|-------------|
|        |   | 1           |
| 1      | 3 | 1.00        |
| 2      | 3 | 1.33        |
| 3      | 3 | 1.33        |
| 4      | 3 | 1.33        |
| 5      | 3 | 1.33        |
| 7      | 3 | 1.33        |
| 8      | 3 | 1.33        |
| 6      | 3 | 1.67        |
| Sig.   |   | .098        |

Tabla 47 Resultados de porcentaje de calcio.

|            | BI          | BII         | BIII        | BIV         | BV          | BVI         | BVII        | BVIII       | X           | $\Sigma X$   |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| T1         | 1.6         | 1.58        | 1.58        | 1.81        | 1.71        | 1.76        | 1.67        | 1.78        | <b>1.69</b> | <b>13.49</b> |
| T2         | 1.26        | 1.75        | 1.64        | 1.73        | 1.74        | 2.14        | 1.79        | 1.67        | <b>1.72</b> | <b>13.72</b> |
| T3         | 1.4         | 1.26        | 1.34        | 1.38        | 1.43        | 1.6         | 1.28        | 1.61        | <b>1.41</b> | <b>11.3</b>  |
| X          | <b>1.42</b> | <b>1.53</b> | <b>1.52</b> | <b>1.64</b> | <b>1.63</b> | <b>1.83</b> | <b>1.58</b> | <b>1.69</b> |             |              |
| $\Sigma X$ | <b>4.26</b> | <b>4.59</b> | <b>4.56</b> | <b>4.92</b> | <b>4.88</b> | <b>5.5</b>  | <b>4.74</b> | <b>5.06</b> |             |              |

Tabla 48 Análisis de varianza de calcio.

| Origen          | Suma de cuadrados tipo III | Gl | Media cuadrática | F      | Sig.               |
|-----------------|----------------------------|----|------------------|--------|--------------------|
| BIODIGESTOR     | 2.583                      | 2  | 1.292            | 12.765 | .001 *             |
| BLOQUE          | .958                       | 7  | .137             | 1.353  | .298 <sup>ns</sup> |
| Error           | 1.417                      | 14 | .101             |        |                    |
| Total corregida | 4.958                      | 23 |                  |        |                    |

Tabla 49 . Prueba de Duncan de calcio por tratamiento.

| BIODIGESTOR | N | Subconjunto       |                   |
|-------------|---|-------------------|-------------------|
|             |   | 1                 | 2                 |
| 3           | 8 | 1.25 <sup>b</sup> |                   |
| 2           | 8 |                   | 1.88 <sup>a</sup> |
| 1           | 8 |                   | 2.00 <sup>a</sup> |
| Sig.        |   | 1.000             | .445              |



Tabla 50 . Prueba de Duncan de calcio por bloque.

| BLOQUE | N | Subconjunto |      |
|--------|---|-------------|------|
|        |   | 1           | 2    |
| 1      | 3 | 1.33        |      |
| 2      | 3 | 1.67        | 1.67 |
| 3      | 3 | 1.67        | 1.67 |
| 4      | 3 | 1.67        | 1.67 |
| 5      | 3 | 1.67        | 1.67 |
| 7      | 3 | 1.67        | 1.67 |
| 6      | 3 |             | 2.00 |
| 8      | 3 |             | 2.00 |
| Sig.   |   | .267        | .270 |

Tabla 51. Resultados de porcentaje de magnesio.

|            | BI          | BII         | BIII        | BIV         | BV          | BVI         | BVII        | BVIII       | X           | $\Sigma X$  |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| T1         | 0.57        | 0.7         | 0.84        | 0.76        | 0.81        | 0.8         | 0.7         | 0.88        | <b>0.76</b> | <b>6.06</b> |
| T2         | 0.56        | 0.67        | 0.75        | 0.67        | 0.69        | 0.62        | 0.59        | 0.57        | <b>0.64</b> | <b>5.12</b> |
| T3         | 0.53        | 0.4         | 0.53        | 0.45        | 0.47        | 0.77        | 0.41        | 0.38        | <b>0.49</b> | <b>3.94</b> |
| X          | <b>0.55</b> | <b>0.59</b> | <b>0.71</b> | <b>0.63</b> | <b>0.66</b> | <b>0.73</b> | <b>0.57</b> | <b>0.61</b> |             |             |
| $\Sigma X$ | <b>1.66</b> | <b>1.77</b> | <b>2.12</b> | <b>1.88</b> | <b>1.97</b> | <b>2.19</b> | <b>1.7</b>  | <b>1.83</b> |             |             |

Tabla 52 Análisis de varianza de magnesio.

| Origen          | Suma de cuadrados tipo III | Gl | Media cuadrática | F      | Sig.    |
|-----------------|----------------------------|----|------------------|--------|---------|
| BIODIGESTOR     | 2.083                      | 2  | 1.042            | 11.667 | .001 *  |
| BLOQUE          | .625                       | 7  | .089             | 1.000  | .471 ns |
| Error           | 1.250                      | 14 | .089             |        |         |
| Total corregida | 3.958                      | 23 |                  |        |         |

Tabla 53 Prueba de Duncan de magnesio por tratamiento.

| BIODIGESTOR | N | Subconjunto      |                   |
|-------------|---|------------------|-------------------|
|             |   | 1                | 2                 |
| 3           | 8 | .38 <sup>b</sup> |                   |
| 1           | 8 |                  | 1.00 <sup>a</sup> |
| 2           | 8 |                  | 1.00 <sup>a</sup> |
| Sig.        |   | 1.000            | 1.000             |

Tabla 54. Prueba de Duncan de magnesio por bloque

| BLOQUE | N | Subconjunto |
|--------|---|-------------|
|        |   | 1           |
| 2      | 3 | .67         |
| 4      | 3 | .67         |
| 5      | 3 | .67         |
| 7      | 3 | .67         |
| 8      | 3 | .67         |
| 1      | 3 | 1.00        |
| 3      | 3 | 1.00        |
| 6      | 3 | 1.00        |
| Sig.   |   | .243        |

Tabla 55 Resultados de materia seca en kilogramos.

|            | BI   | BII  | BIII | BIV  | BV   | BVI  | BVII | BVIII | X    | $\Sigma X$ |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------------|
| T1         | 1.25 | 1.35 | 1.4  | 1.24 | 0.51 | 0.46 | 0.6  | 0.56  | 0.92 | 7.37       |
| T2         | 0.47 | 0.52 | 0.56 | 0.63 | 0.49 | 0.44 | 0.5  | 0.44  | 0.51 | 4.05       |
| T3         | 0.26 | 0.28 | 0.25 | 0.23 | 0.3  | 0.24 | 0.36 | 0.23  | 0.27 | 2.15       |
| X          | 0.66 | 0.72 | 0.74 | 0.70 | 0.43 | 0.38 | 0.49 | 0.41  |      |            |
| $\Sigma X$ | 1.98 | 2.15 | 2.21 | 2.1  | 1.3  | 1.14 | 1.46 | 1.23  |      |            |

Tabla 56. Análisis de varianza de materia seca en kilogramos.

| Origen          | Suma de cuadrados tipo III | GI | Media cuadrática | F      | Sig.               |
|-----------------|----------------------------|----|------------------|--------|--------------------|
| BIODIGESTOR     | 3.083                      | 2  | 1.542            | 13.632 | .001 *             |
| BLOQUE          | 1.167                      | 7  | .167             | 1.474  | .254 <sup>ns</sup> |
| Error           | 1.583                      | 14 | .113             |        |                    |
| Total corregida | 5.833                      | 23 |                  |        |                    |

Tabla 57 Prueba de Duncan de materia seca por tratamiento.

| BIODIGESTOR | N | Subconjunto      |                  |                  |
|-------------|---|------------------|------------------|------------------|
|             |   | 1                | 2                | 3                |
| 3           | 8 | .00 <sup>c</sup> |                  |                  |
| 2           | 8 |                  | .38 <sup>b</sup> |                  |
| 1           | 8 |                  |                  | .88 <sup>a</sup> |
| Sig.        |   | 1.000            | 1.000            | 1.000            |

Tabla 58 . Prueba de Duncan de materia seca por bloque

| BLOQUE | N | Subconjunto |      |
|--------|---|-------------|------|
|        |   | 1           | 2    |
| 6      | 3 | .00         |      |
| 1      | 3 | .33         | .33  |
| 5      | 3 | .33         | .33  |
| 7      | 3 | .33         | .33  |
| 8      | 3 | .33         | .33  |
| 2      | 3 |             | .67  |
| 3      | 3 |             | .67  |
| 4      | 3 |             | .67  |
| Sig.   |   | .289        | .295 |

Tabla 59 . Resultados de porcentaje en materia seca.

|            | BI    | BII   | BIII  | BIV   | BV    | BVI   | BVII  | BVIII | X      | $\Sigma X$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|
| T1         | 26.8  | 29.24 | 30.41 | 26.57 | 11.19 | 10.1  | 12.97 | 12.16 | 19.93  | 159.44     |
| T2         | 9.98  | 10.95 | 11.92 | 13.6  | 10.39 | 9.68  | 10.77 | 9.31  | 10.825 | 86.6       |
| T3         | 5.69  | 6.09  | 5.55  | 5.25  | 6.26  | 5.15  | 7.83  | 5.1   | 5.865  | 46.92      |
| X          | 14.16 | 15.43 | 15.96 | 15.14 | 9.28  | 8.31  | 10.52 | 8.86  |        |            |
| $\Sigma X$ | 42.47 | 46.28 | 47.88 | 45.42 | 27.84 | 24.93 | 31.57 | 26.57 |        |            |

Tabla 60 Análisis de varianza de porcentaje de materia seca.

| Origen          | Suma de cuadrados tipo III | Gl | Media cuadrática | F      | Sig.     |
|-----------------|----------------------------|----|------------------|--------|----------|
| BIODIGESTOR     | 814.189                    | 2  | 407.094          | 15.622 | .000 * * |
| BLOQUE          | 224.135                    | 7  | 32.019           | 1.229  | .351 ns  |
| Error           | 364.832                    | 14 | 26.059           |        |          |
| Total corregida | 1403.156                   | 23 |                  |        |          |

Tabla 61 .Prueba de Duncan de porcentaje materia seca por tratamiento.

| BIODIGESTOR | N | Subconjunto            |                        |
|-------------|---|------------------------|------------------------|
|             |   | 1                      | 2                      |
| 3           | 8 | 5.864140 <sup>b</sup>  |                        |
| 2           | 8 | 10.825762 <sup>b</sup> |                        |
| 1           | 8 |                        | 19.929300 <sup>a</sup> |
| Sig.        |   | .072                   | 1.000                  |

Tabla 62. Prueba de Duncan de porcentaje materia seca por bloque.

| BLOQUE | N | Subconjunto |
|--------|---|-------------|
|        |   | 1           |
| 6      | 3 | 8.308394    |
| 8      | 3 | 8.857084    |
| 5      | 3 | 9.277213    |
| 7      | 3 | 10.523296   |
| 1      | 3 | 14.154648   |
| 4      | 3 | 15.140949   |
| 2      | 3 | 15.429304   |
| 3      | 3 | 15.960317   |
| Sig.   |   | .126        |

Tabla 63 . Resultados de temperatura interna.

|            | BI    | BII   | BIII  | BIV   | BV    | BVI   | BVII  | BVIII | X     | $\Sigma X$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| T1         | 28    | 28.8  | 30.32 | 30.76 | 31.21 | 31.75 | 32.07 | 31.5  | 30.55 | 244.41     |
| T2         | 29.83 | 31.18 | 29.68 | 31.38 | 31.9  | 32.28 | 32.65 | 33.36 | 31.53 | 252.26     |
| T3         | 30.33 | 30.42 | 30.97 | 31.35 | 31.48 | 32.31 | 30.83 | 33.26 | 31.37 | 250.95     |
| X          | 29.39 | 30.13 | 30.32 | 31.16 | 31.53 | 32.11 | 31.85 | 32.71 |       |            |
| $\Sigma X$ | 88.16 | 90.40 | 90.97 | 93.49 | 94.59 | 96.34 | 95.55 | 98.12 |       |            |

Tabla 64 . Análisis de varianza temperatura interna.

| Origen          | Suma de cuadrados tipo III | Gl | Media cuadrática | F     | Sig.    |
|-----------------|----------------------------|----|------------------|-------|---------|
| BIODIGESTOR     | 3.083                      | 2  | 1.542            | 3.866 | .046 *  |
| BLOQUE          | 27.167                     | 7  | 3.881            | 9.731 | .000 ** |
| Error           | 5.583                      | 14 | .399             |       |         |
| Total corregida | 35.833                     | 23 |                  |       |         |

Tabla 65 . Prueba de Duncan de temperatura interna por tratamiento.

| BIODIGESTOR | N | Subconjunto        |                     |
|-------------|---|--------------------|---------------------|
|             |   | 1                  | 2                   |
| 1           | 8 | 30.63 <sup>b</sup> |                     |
| 3           | 8 | 31.13              | 31.13 <sup>ab</sup> |
| 2           | 8 |                    | 31.50 <sup>a</sup>  |
| Sig.        |   | .136               | .255                |



Tabla 66 Prueba de Duncan de temperatura interna por bloque

| BLOQUE | N | Subconjunto |       |       |       |       |
|--------|---|-------------|-------|-------|-------|-------|
|        |   | 1           | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1      | 3 | 29.33       |       |       |       |       |
| 2      | 3 | 30.00       | 30.00 |       |       |       |
| 3      | 3 | 30.33       | 30.33 | 30.33 |       |       |
| 4      | 3 |             | 31.00 | 31.00 | 31.00 |       |
| 5      | 3 |             |       | 31.33 | 31.33 |       |
| 6      | 3 |             |       |       | 32.00 | 32.00 |
| 7      | 3 |             |       |       | 32.00 | 32.00 |
| 8      | 3 |             |       |       |       | 32.67 |
| Sig.   |   | .086        | .086  | .086  | .094  | .240  |



*Ilustración 20 Charla previa al proyecto.*



*Ilustración 21 Pesado de excreta bovina.*



*Ilustración 22 Verificación de uniones.*



*Ilustración 23 Mezcla del material orgánico*





*Ilustración 24 mezcla de material*



*Ilustración 25 Distribución del área del experimento.*



*Ilustración 26 Prueba de secado de tamices.*

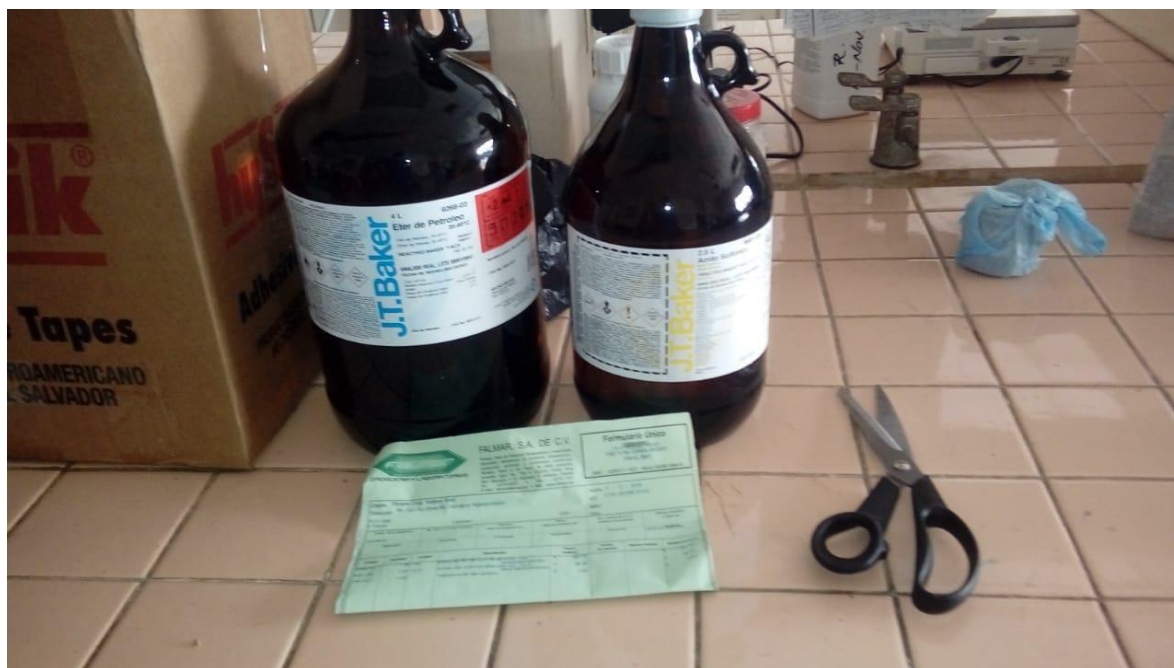


*Ilustración 27 Colección de material seco.*





*Ilustración 28 Entrega de muestras en CENTA San Andrés.*



*Ilustración 29 Éter de petróleo y ácido sulfúrico*

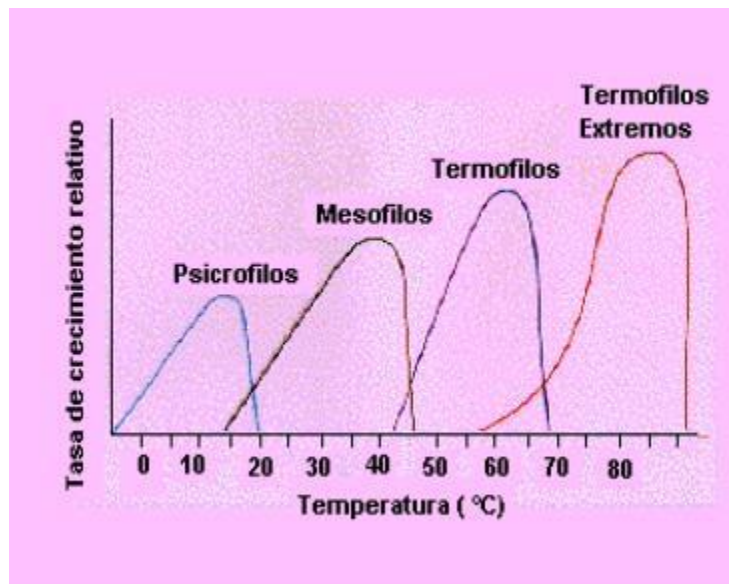


Ilustración 30 Relación de la temperatura y la tasa de crecimiento para un psicrófilo, mesófilo, termófilo y termófilo extremo. (Aguilar, 2014)

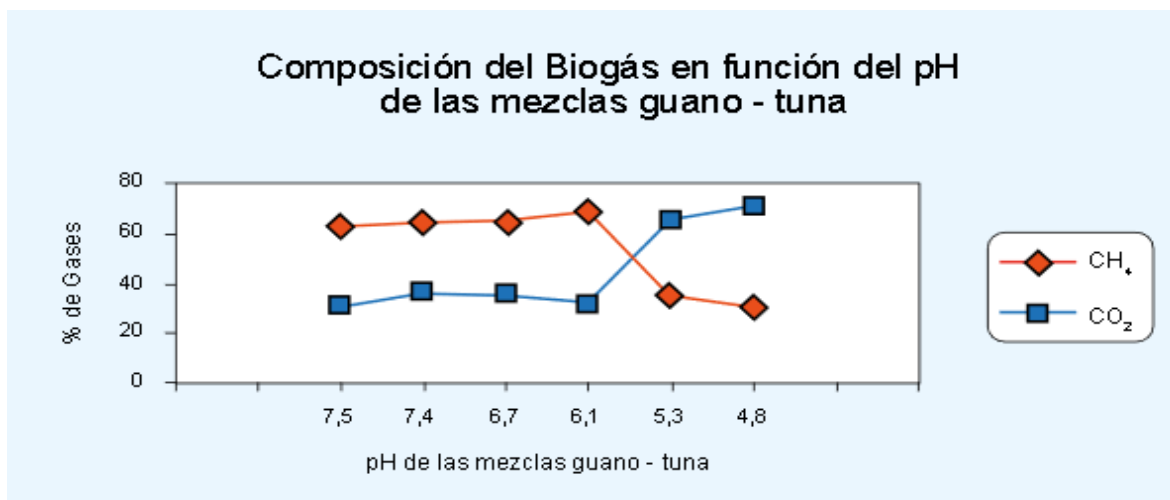


Ilustración 31 Composición del biogás en función del pH de la mezcla de materias primas. (FAO, 2011)

Gerencia de Investigación <ginvestigacion@centa.gob.sv> 22 jun. ☆ ↶ ↷

para mí ▾

Estimados

En referencia a la solicitud análisis químico base seca consistente en 21 muestras, les informo que se ha sacado el monto y en total sería \$1,092.00

El costo total sería de \$1,092.00  
Según detalle


| Análisis requerido | Cantidad | Costo unit. | Costo total \$ |
|--------------------|----------|-------------|----------------|
| Nitrógeno (N)      | 21       | \$ 15.00    | \$ 315.00      |
| Fósforo (P)        | 21       | 7.00        | 147.00         |
| Potasio (K)        | 21       | 6.00        | 126.00         |
| Calcio (Cal)       | 21       | 12.00       | 252.00         |
| Magnesio (Mg)      | 21       | 12.00       | 252.00         |
| TOTAL              |          |             | \$ 1,092.00    |

PERO PARA PODER COLABORARLES PODEMOS HACER LO SIGUIENTE:

Pagar los 21 análisis de Nitrógeno (N) costo unitario es de \$15.00 en total 315.00  
1 frasco de 2.5 litros de ácido sulfúrico calidad reactivo que cuesta \$40.00 aproximadamente  
1 frasco de 4 Litros de éter de petróleo calidad reactivo que cuesta \$100.00 aproximadamente, que en total pagarían la cantidad de \$455.00 se estarían ahorrando \$637.00

USTEDES DECIDEN, PARA CUALQUIER CONSULTA ESTAMOS A LA ORDEN.

Ing. Manuel Osorio  
Gerente de Investigación



*Ilustración 32 Respuesta de análisis químicos del CENITA SAN ANDRES*





F.F. SAN MIGUEL

NRC : 41-8 - NIT: 0614-010858-001-7

Giro : Venta Art. Ferrería, Materiales Construcción, Pinturas Y Arts. Conexos

2a. calle oriente, y 4a. av. norte san miguel

e-mail: smcentro@freundsa.com

TEL : 26611100

FAX: 26612949

Página 1 de 1 02/07/2018 08:52 AM  
COTIZACION\* 14082217 \*  
14082217Fecha : 25/JUN/2018  
Cliente : 0 - MOISES NOEL  
Vendedor : 11160 - \*\*\*\*\*

0

Facturar : TIENDA  
Registro :  
Pago : CONTADO

Documento : FACTURA CONSUMIDOR

Impuesto : GRAVADO

No. Carnet :

No. Nit :

No. Dui :

|                   |              |
|-------------------|--------------|
| DATOS COMPLEMENTO | SIN DESPACHO |
| Dirección :       | ND           |

| Línea | Código   | Unidad | Descripción artículo                     | Cantidad | Precio Cotizado | Total    |
|-------|----------|--------|--|----------|-----------------|----------|
| 01    | 13071811 | 1M     | TUBO PVC C/CAMPANA 315PSI 1/2p           | 2.00     | \$ 0.3700       | \$ 0.74  |
| 02    | 754601   | C/U    | ADAPTADOR MACHO PVC a 1/2p               | 6.00     | \$ 0.1100       | \$ 0.66  |
| 03    | 10677501 | C/U    | VALVULA BOLA NIQ c 1/2p IDEAL            | 3.00     | \$ 5.7500       | \$ 17.25 |
| 04    | 2720701  | C/U    | VALVULA BOLA PVC LISA 2 PLG              | 3.00     | \$ 13.3000      | \$ 39.90 |
| 05    | 13070511 | 1M     | TUBO PVC C/CAMPANA 250PSI A 3/4P         | 2.00     | \$ 0.4800       | \$ 0.96  |
| 06    | 45514101 | 470ML  | PEGAMENTO PVC 470ML (1/8) AMANCO         | 1.00     | \$ 6.5000       | \$ 6.50  |
| 07    | 757301   | C/U    | TAPON HEMBRA PVC b 3/4p                  | 3.00     | \$ 0.1600       | \$ 0.48  |
| 08    | 738901   | C/U    | ADAPTADOR MACHO PVC c 3/4p               | 3.00     | \$ 0.1600       | \$ 0.48  |
| 09    | 551326   | C/U    | EMBUDO PLASTICO S/TUBO                   | 1.00     | \$ 1.7500       | \$ 1.75  |
| 10    | 26355913 | C/U    | BASCULA COLGAR BAICO 40LB                | 1.00     | \$ 29.9000      | \$ 29.90 |
| 11    | 9085005  | YDA    | ZARANDA GALV. 6 x 6 x 36 x 33.33 yds     | 2.00     | \$ 3.0000       | \$ 6.00  |
| 12    | 1266736  | YDA    | TELA MOSQUIT FIBRA VDO NEGRO 36PX33.33YD | 1.00     | \$ 0.7000       | \$ 0.70  |
| 13    | 548532   | C/U    | CUBETA PLASTICA AZUL 5GLN FREUND S/T     | 1.00     | \$ 3.9900       | \$ 3.99  |
| 14    | 555232   | C/U    | TAPADERA CUBETA PLASTICO                 | 1.00     | \$ 1.5500       | \$ 1.55  |
| 15    | 737101   | C/U    | ADAPTADOR MACHO PVC c 1p                 | 3.00     | \$ 0.3500       | \$ 1.05  |
| 16    | 1618101  | C/U    | TAPON HEMBRA PVC CON ROSCA c 1p          | 3.00     | \$ 0.6900       | \$ 2.07  |
| 17    | 519669   | C/U    | MANOMETRO DE 0-90 PSI 1/4P SECO 2P       | 3.00     | \$ 4.9000       | \$ 14.70 |
| 18    | 736101   | C/U    | CODO PVC 90gdo a 1/2p                    | 3.00     | \$ 0.1200       | \$ 0.36  |
| 19    | 735201   | C/U    | UNION PVC a 1/2p                         | 1.00     | \$ 0.1300       | \$ 0.13  |
| 20    | 3403814  | YDA    | MANGUERA PLST COLOR 1/2X100YD TYPSA      | 2.00     | \$ 0.4500       | \$ 0.90  |

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Sub-Total :         | \$ 130.07 |
| IVA :               | \$ 0.00   |
| IVA Retención 1% :  | \$ 0.00   |
| IVA Percepción 1% : | \$ 0.00   |
| TOTAL :             | \$ 130.07 |

Autorizado \_\_\_\_\_ Aceptado cliente \_\_\_\_\_  
 \*\*\*\* PRECIOS EN DOLARES INCLUYEN IVA \*\*\*\*  
 \*\*\*\* COTIZACION VALIDA POR UN DIA \*\*\*\*  
 \*\*\*\* PRECIOS SUJETOS A CAMBIOS SIN PREVIO AVISO \*\*\*\*  
 \*\*\*\* EMITIR CHEQUE A NOMBRE DE: FREUND S.A. DE C.V.

Ilustración 33 Cotización Freud.