

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis previa a la obtención del Título
de Ingeniero Ambiental

**“APROVECHAMIENTO DEL LECHUGUÍN (“*EICHHORNIA CRASSIPES*”)
PARA LA GENERACIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE LA
UTILIZACIÓN DE TRES DISEÑOS DIFERENTES DE BIODIGESTORES”**

AUTORA: Daniela Nataly López Jerves

DIRECTOR

Ing. José Ulloa

CUENCA-ECUADOR

2012

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad de la autora.

Cuenca, Marzo del 2012

Daniela Nataly López Jerves

010444247-0

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Daniela Nataly López Jerves bajo mi supervisión

Ing. José Ulloa

Director del Trabajo de Grado

AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud y consideración a un excelente docente y persona, ejemplo de perseverancia y dedicación, Ing. José Ulloa, Director de Tesis, ya que su amable colaboración ha sido un aporte muy importante para el desarrollo de éste trabajo.

Un agradecimiento especial a CELEC E.P. quien con su apoyo y confianza colaboraron para que este proyecto de tesis se lleve a cabo, de manera especial al Ing. Pablo Guzmán y al Ing. Pedro Alvarado que con su esfuerzo y dedicación, aportaron de gran manera en el desarrollo de la misma.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios, a mis padres y hermanos. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres y hermanos, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. Es por ellos que soy lo que soy ahora. Los amo con mi vida.

Daniela López Jerves

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
OBJETIVO GENERAL:.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	3
HIPÓTESIS.....	4
HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO 1: BIODIGESTORES Y PRODUCTOS DE LA BIODIGESTIÓN.....	5
1.1 BIODIGESTIÓN.....	5
1.1.1 ¿Qué es un Biodigestor?.....	5
1.1.2 Tipos de Biodigestores.....	8
1.1.3 Procesos de Digestión.....	10
1.2 ABONOS ORGÁNICOS.....	14
1.2.1 Concepto.....	14
1.2.2 Importancia y Propiedades de los Abonos Orgánicos.....	15
1.2.3 Producción y Calidad de Abonos Orgánicos.....	17
1.3 CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS.....	20
1.3.1 Concepto.....	20
1.3.2 Características del Biogás.....	21
1.3.3 Usos del Biogás.....	23
1.3.4 Ventajas del Uso del Biogás.....	23
1.4 LOS BIOLES.....	24
1.4.1 Concepto.....	24
1.4.2 Producción del Biol.....	26
1.4.3 Principales Funciones Del Biol.....	27

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
2.1 CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTORES.....	28
2.1.1 Implementación del Diseño y Construcción de los Biodigestores.....	28
2.1.2 Características de los Biodigestores Utilizados.....	31
2.1.3 Ubicación de los Biodigestores.....	35
2.2 ESPECIE EMPLEADA EN EL PROCESO DE DIGESTIÓN.....	36
2.2.1 Taxonomía de la Especie.....	36
2.2.2 Obtención y Características del Lechuguín del Embalse de Amaluza.....	50
Acondicionamiento del Lechuguín.....	54
2.3 PROCESOS DE DIGESTIÓN.....	55
2.3.1 Tiempo de Digestión Anaeróbica.....	55
2.3.2 Obtención del Abono Orgánico.....	57
CAPÍTULO 3: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	59
3.1 PROCESO DE DESARROLLO Y DATOS.....	59
3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS.....	86
3.2.1 Resultados de los Análisis de las Muestras.....	86
3.3 CUMPLIMIENTO CON LA NORMA CHILENA OFICIAL NCH2880.OF2004.....	152
3.4 ANÁLISIS FINAL.....	163
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES.....	169
4.1 CONCLUSIONES.....	169
4.2 RECOMENDACIONES.....	170
4.3 BIBLIOGRAFÍA.....	171

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO No. 1: BIODIGESTOR DE BIDÓN.....	174
ANEXO No. 2: BIODIGESTOR DE CAJA.....	175
ANEXO No. 3: BIODIGESTOR DE BOLSA.....	176
ANEXO No. 4: UBICACIÓN.....	177
ANEXO No. 5: UBICACIÓN DE LA PLANTA.....	178
ANEXO No. 6: REGISTRO FOTOGRÁFICO.....	179
ANEXO No. 7: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS ENTREGADOS POR LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY.....	187

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: Composición Química del Biogás.....	22
TABLA 2: Composición Química del Biol.....	26
TABLA 3: Clasificación Científica del Lechuguín.....	40
TABLA 4: Tamaño de la Planta de Lechuguín Completa y Solo Raíz.....	52
TABLA 5: Concentración de Macro y Micronutrientes en mg/l Presentes en Muestras de Lechuguín.....	53
TABLA 6: Concentración de Metales Pesados (ppm) en Muestras de Lechuguín.....	53
TABLA 7: Valores de pH Obtenidos del Biodigestor de Bidón.....	60
TABLA 8: Valores de pH Obtenidos del Biodigestor de Caja.....	60
TABLA 9: Valores de pH Obtenidos del Biodigestor de Bolsa.....	61
TABLA 10: Resultados de la Toma de Muestra Inicial de los Lechuguines.....	62
TABLA 11: Resultados de Nitrógeno del Biodigestor de Bidón.....	62
TABLA 12: Resultados de Nitrógeno del Biodigestor de Caja.....	63
TABLA 13: Resultados de Nitrógeno del Biodigestor de Bolsa.....	63
TABLA 14: Resultados de la Relación Carbono/Nitrógeno del Biodigestor de Bidón.....	64
TABLA 15: Resultados de la Relación Carbono/Nitrógeno del Biodigestor de Caja.....	64
TABLA 16: Resultados de la Relación Carbono/Nitrógeno del Biodigestor de Bolsa.....	65
TABLA 17: Resultados de Arsénico del Biodigestor de Bidón.....	65
TABLA 18: Resultados de Arsénico del Biodigestor de Caja.....	66
TABLA 19: Resultados de Arsénico del Biodigestor de Bolsa.....	66
TABLA 20: Resultados de Cadmio del Biodigestor de Bidón.....	67
TABLA 21: Resultados de Cadmio del Biodigestor de Caja.....	67
TABLA 22: Resultados de Cadmio del Biodigestor de Bolsa.....	68
TABLA 23: Resultados de Cobre del Biodigestor de Bidón.....	68
TABLA 24: Resultados de Cobre del Biodigestor de Caja.....	69
TABLA 25: Resultados de Cobre del Biodigestor de Bolsa.....	69

TABLA 26: Resultados de Cromo del Biodigestor de Bidón.....	70
TABLA 27: Resultados de Cromo del Biodigestor de Caja.....	70
TABLA 28: Resultados de Cromo del Biodigestor de Bolsa.....	71
TABLA 29: Resultados de Mercurio del Biodigestor de Bidón.....	71
TABLA 30: Resultados de Mercurio del Biodigestor de Caja.....	72
TABLA 31: Resultados de Mercurio del Biodigestor de Bolsa.....	72
TABLA 32: Resultados de Níquel del Biodigestor de Bidón.....	73
TABLA 33: Resultados de Níquel del Biodigestor de Caja.....	73
TABLA 34: Resultados de Níquel del Biodigestor de Bolsa.....	74
TABLA 35: Resultados de Plomo del Biodigestor de Bidón.....	74
TABLA 36: Resultados de Plomo del Biodigestor de Caja.....	75
TABLA 37: Resultados de Plomo del Biodigestor de Bolsa.....	75
TABLA 38: Resultados de Zinc del Biodigestor de Bidón.....	76
TABLA 39: Resultados de Zinc del Biodigestor de Caja.....	76
TABLA 40: Resultados de Zinc del Biodigestor de Bolsa.....	77
TABLA 41: Resultados del Amonio del Biodigestor de Bidón.....	77
TABLA 42: Resultados del Amonio del Biodigestor de Caja.....	78
TABLA 43: Resultados del Amonio del Biodigestor de Bolsa.....	78
TABLA 44: Resultados de La Conductividad Eléctrica del Biodigestor de Bidón.....	79
TABLA 45: Resultados de La Conductividad Eléctrica del Biodigestor de Caja.....	79
TABLA 46: Resultados de La Conductividad Eléctrica del Biodigestor de Bolsa.....	80
TABLA 47: Resultados de los Análisis Microbiológicos del Producto Final.....	80
TABLA 48: Anova de Dos Factores: Nitrógeno vs. Tipo y Días.....	88
TABLA 49: Anova de Dos Factores: Arsénico vs. Tipo y Días.....	96
Tabla 50: Anova de Dos Factores: Cadmio vs. Tipo y Días.....	102
Tabla 51: Anova de Dos Factores: Cobre vs. Tipo y Días.....	109

Tabla 52: Anova de Dos Factores: Cromo vs. Tipo y Días.....	115
Tabla 53: Anova de Dos Factores: Mercurio vs. Tipo y Días.....	121
Tabla 54: Anova de Dos Factores: Níquel vs. Tipo y Días.....	127
Tabla 55: Anova de Dos Factores: Plomo vs. Tipo y Días.....	133
Tabla 56: Anova de Dos Factores: Zinc vs. Tipo y Días.....	139
TABLA 57: Anova de Dos Factores: Amonio vs. Tipo y Días.....	145
TABLA 58: Valores Iniciales de Metales Pesados en las Muestras de Lechuguín.....	153
TABLA 59: Valores del Arsénico Comparados con la Norma Chilena.....	153
TABLA 60: Valores del Cadmio Comparados con la Norma Chilena.....	154
TABLA 61: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.....	155
TABLA 62: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.....	155
TABLA 63: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.....	156
TABLA 64: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.....	157
TABLA 65: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.....	157
TABLA 66: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.....	158
TABLA 67: Valores del Amonio Comparados con la Norma Chilena.....	160
TABLA 68: Valores de la Conductividad Eléctrica Comparados con la Norma Chilena.....	161
TABLA 69: Valores del pH Comparados con la Norma Chilena.....	162
TABLA 70: Valores del Análisis Microbiológico Comparados con la Norma Chilena.....	162
TABLA 71: Capacidad de Degradación con Respecto al Tipo de Biodigestor.....	163
TABLA 72: Capacidad de Degradación con Respecto al Tiempo de Retención.....	164
TABLA 73: Cumplimiento Con la Normativa Chilena.....	165

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRAFICA 1: Capacidad de Proceso del pH.....	86
GRAFICA 2: Gráfica de Caja de los Valores del Nitrógeno.....	89
GRAFICA 3: Gráfica de Residuos de los Valores del Nitrógeno.....	90
GRAFICA 4: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	92
GRAFICA 5: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	93
GRAFICA 6: Capacidad de Proceso del pH.....	94
GRAFICA 7: Gráfica de Caja de los Valores del Arsénico.....	97
GRAFICA 8: Gráfica de Residuos de los Valores del Arsénico.....	98
GRAFICA 9: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	100
GRAFICA 10: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	101
GRAFICA 11: Gráfica de Caja de los Valores del Cadmio.....	104
GRAFICA 12: Gráfica de Residuos de los Valores del Cadmio.....	104
GRAFICA 13: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	107
GRAFICA 14: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	107
GRAFICA 15: Gráfica de Caja de los Valores del Cobre.....	110
GRAFICA 16: Gráfica de Residuos de los Valores del Cobre.....	110
GRAFICA 17: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	113
GRAFICA 18: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	113
GRAFICA 19: Gráfica de Caja de los Valores del Cromo.....	116
GRAFICA 20: Gráfica de Residuos de los Valores del Cromo.....	116

GRAFICA 21: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	119
GRAFICA 22: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	119
GRAFICA 23: Gráfica de Caja de los Valores del Mercurio.....	122
GRAFICA 24: Gráfica de Residuos de los Valores del Mercurio.....	122
GRAFICA 25: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	125
GRAFICA 26: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	125
GRAFICA 27: Gráfica de Caja de los Valores del Níquel.....	128
GRAFICA 28: Gráfica de Residuos de los Valores del Níquel.....	128
GRAFICA 29: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	131
GRAFICA 30: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	131
GRAFICA 31: Gráfica de Caja de los Valores del Plomo.....	134
GRAFICA 32: Gráfica de Residuos de los Valores del Plomo.....	134
GRAFICA 33: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	137
GRAFICA 34: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	137
GRAFICA 35: Gráfica de Caja de los Valores del Zinc.....	140
GRAFICA 36: Gráfica de Residuos de los Valores del Zinc.....	140
GRAFICA 37: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	143
GRAFICA 38: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	143
GRAFICA 39: Gráfica de Caja de los Valores del Amonio.....	146
GRAFICA 40: Gráfica de Residuos de los Valores del Amonio.....	146

GRAFICA 41: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	149
GRAFICA 42: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles.....	149
GRAFICA 43: Capacidad de Proceso de Conductividad Eléctrica	150

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: Esquema de un Biodigestor.....	6
ILUSTRACIÓN 2: Esquema de un Biodigestor de Cúpula Fija.....	9
ILUSTRACIÓN 3: Esquema de un Biodigestor de Cúpula Móvil.....	9
ILUSTRACIÓN 4: Biodigestor de Salchicha.....	10
ILUSTRACIÓN 5: Insumos mínimos para la obtención de Biol en campo abierto.....	25
ILUSTRACIÓN 6: Acción del Biol Sobre las Plantas.....	27
ILUSTRACIÓN 7: Biodigestor de Bidón.....	32
ILUSTRACIÓN 8: Biodigestor de Caja.....	33
ILUSTRACIÓN 9: Biodigestor de Bolsa.....	34
ILUSTRACIÓN 10: Localización Cantón Guachapala.....	35
ILUSTRACIÓN 11: Lechuguín o Jacinto de Agua Florecido.....	37
ILUSTRACIÓN 12: Eichhornia Crassipes (C. Martius) Solms-Laub. A. Aspecto General de la planta; B. Flor desprovistas de una parte del perianto; C. Corte transversal del ovario.....	38
ILUSTRACIÓN 13: Presa Daniel Palacios.....	51
ILUSTRACIÓN 14: Planta de Lechuguín Procesada para el Biodigestor.....	55
ILUSTRACIÓN 15: Toma de Muestra del pH de uno de los Biodigestores.....	59

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el Lechuguín, *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach, causa problemas más serios y amplios que ninguna otra maleza acuática flotante. Esto es el resultado de su alta intensidad de crecimiento y reproducción, alta habilidad competitiva con relación a otras plantas acuáticas flotantes, el movimiento de las plantas por el viento y las corrientes de agua.

Por lo cual se han intentado varios métodos de eliminación de la planta sin que se provoque ningún impacto ambiental severo, muchos de los cuales han resultado muy satisfactorios ya que la planta responde de manera positiva.

Es así que mediante una investigación profunda del tema, se llegó a determinar que la especie es capaz de generar bio-productos; es decir abono orgánico, bioles y biogás, por lo cual se ha determinado el uso de la misma para la formación de dichos productos mediante la implementación de biodigestores.

Los biodigestores son contenedores herméticos que tienen la capacidad de degradar restos animales y vegetales, ya que son contruidos de tal manera que no se permite el ingreso del oxígeno, lo que produce que las bacterias encargadas de la degradación puedan actuar de la mejor manera y poder producir los bio-productos.

De esta manera no solo se elimina el exceso de la planta en las riberas de los ríos sino que también se aprovecha la misma para la generación de material orgánico, lo cual otorga una solución con la problemática de la planta, sin generar impacto alguno.

JUSTIFICACIÓN

El “Eichhornia Crassipes” en una planta acuática de raíces sumergidas muy extensas, es conocida más comúnmente con el nombre de “Lechuguín”. Esta planta se ha desarrollado de una manera abundante en la cuenca del río Paute, creando una serie de inconvenientes para la represa Daniel Palacios, ubicada en este sector.

La planta tiene la capacidad de reproducirse de una manera muy acelerada y abundante, por este motivo se ha visto la posibilidad de utilizar la misma para la producción de abono orgánico, mediante la fermentación de la planta utilizando las hojas trituradas y colocándolas en biodigestores adecuados para que se produzca un abono de buena calidad y que sea utilizable.

Además de la producción de abono orgánico, se da la generación de gas metano, también conocido como biogás, el mismo que se lo puede utilizar para la generación de energía, aprovechando así su poder calorífico.

De esta manera con la colaboración de CELEC E.P.(Corporación Eléctrica del Ecuador) y los estudios respectivos del comportamiento del “Lechuguín” podremos aprovechar las cualidades que presenta esta especie, eliminar gran porcentaje de la población que se encuentra cerca de la Represa Daniel Palacios, facilitando sus actividades en la misma, a la vez se obtendría abono orgánico rico en nutrientes y gas metano que pueden ser utilizados y comercializados, generando así una oportunidad para utilizar la especie y obtener productos que serán útiles para el hombre.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Aprovechar el Lechuguín (“Eichhornia Crassipes”) para la generación de abono orgánico, mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar las condiciones necesarias para la producción del abono orgánico.
- Conocer el diseño más apto de biodigestores para la generación de abono orgánico.
- Conocer el tiempo en el que se produce el abono.
- Determinar si el abono producido cumplen con las normas establecidas para su utilización.

HIPÓTESIS

HIPÓTESIS

La especie "*Eichhornia Crassipes*" luego de un proceso de digestión anaerobia en los tres diseños de biodigestores cumple con los requisitos establecidos para ser usado como un abono orgánico.

“APROVECHAMIENTO DEL LECHUGUÍN (“*EICHHORNIA CRASSIPES*”) PARA LA GENERACIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TRES DISEÑOS DIFERENTES DE BIODIGESTORES”

CAPÍTULO 1: BIODIGESTORES Y PRODUCTOS DE LA BIODIGESTIÓN

1.1 BIODIGESTIÓN

1.1.1 ¿Qué es un Biodigestor?

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales) en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor.

El fenómeno de Biodigestión ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH₄) llamado biogás, que es utilizado como combustible. Como resultado de este proceso genera residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y

materia orgánica (ideales como fertilizantes) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas.

Una de las características más importantes de la Biodigestión es que disminuye el potencial contaminante de los excrementos de origen animal y humano, disminuyendo la demanda química de oxígeno DQO y a demanda biológica de oxígeno DBO hasta en un 90% (dependiendo de las condiciones de diseño y operación).

Se debe controlar ciertas condiciones de pH, presión y temperatura a fin de que se pueda obtener un óptimo rendimiento. El abono obtenido del proceso de digestión puede ser utilizado para sembríos ya que es rico en nutrientes, además de producir abono orgánico, puede obtener el gas metano el cual puede implementarse en los hogares para labores domésticas.

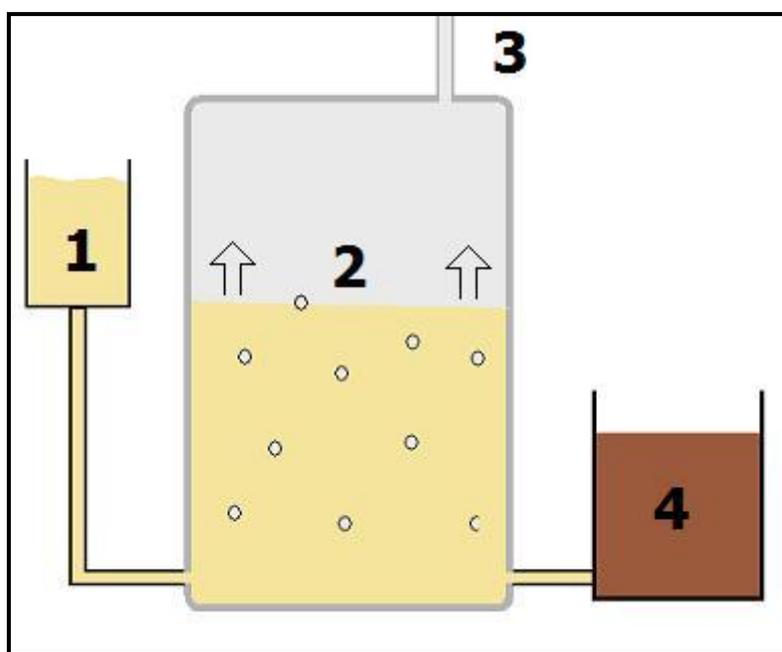


ILUSTRACIÓN 1: Esquema de un Biodigestor.

FUENTE: <http://www.sitiosolar.com/biomasa%20y%20biogas.htm>

(1) Depósito de aprovisionamiento- donde se introduce la materia orgánica (2) Cámara donde se lleva a cabo el proceso de la Biodigestión (3) Salida del biogás (4) Depósito donde se almacena los restos de la materia que ya ha producido biogás.

Condiciones para la Biodigestión

Las condiciones para la obtención de metano y abono orgánico en el digestor son las siguientes:

- Temperatura entre los 20 °C y 60 °C.
- pH (nivel de acidez/alcalinidad) alrededor de siete.
- Ausencia de oxígeno.
- Gran nivel de humedad.
- Materia orgánica.
- Que la materia prima se encuentre en trozos más pequeños posibles.
- Equilibrio de carbono/nitrógeno.

Temperatura

Factor importante en la producción de biogás, dado que debemos simular las condiciones óptimas para minimizar los tiempos de producción. La temperatura óptima es de 30 a 35 °C aproximadamente.

Acidez

Este factor indica cómo se desenvuelve la fermentación. Se mide con un valor numérico llamado pH, que en este el valor es 7.0 o sea es neutro. Por encima de este número significa alcalinidad; por debajo, acidez.

Cuando los valores superan el pH 8.0, esto indica una acumulación excesiva de compuesto alcalino. Y la carga corre riesgo de putrefacción. Los valores inferiores a 6.0 indican una descompensación entre las fases Ácida y Metanogénica, pudiendo bloquearse esta última.

1.1.2 Tipos de Biodigestores.

Los biodigestores se clasifican en dos grandes tipos: los de Flujo Discontinuo y de Flujo Continuo.

Biodigestores de Flujo Discontinuo

La carga de la totalidad del material a fermentar se hace al inicio del proceso y la descarga del efluente se hace al finalizar el proceso; por lo general se requieren de mayor mano de obra y de un espacio para almacenar la materia prima si esta se produce continuamente y de un depósito de gas (debido a la gran variación en la cantidad de gas producido durante el proceso, teniendo su pico en la fase media de este) o fuentes alternativas para suplirlo.

Biodigestores de Flujo Continuo

La carga del material a fermentar y la descarga del efluente se realizan de manera continua o por pequeños baches (ej. una vez al día, cada 12 horas) durante el proceso, que se extiende indefinidamente a través del tiempo; por lo general requieren de menos mano de obra, pero de una mezcla más fluida o movilizadora de manera mecánica y de un depósito de gas (si este no se utiliza en su totalidad de manera continua). Existen tres clases de biodigestores de flujo continuo que son:

- De cúpula fija.
- De cúpula móvil.
- De salchicha, Taiwán, CIPAV o biodigestores familiares de bajo costo.

Biodigestor de Cúpula Fija

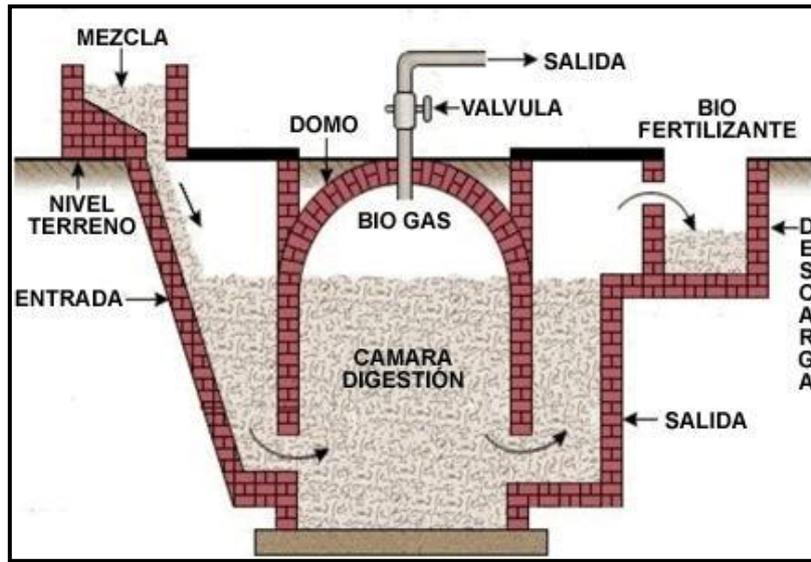


ILUSTRACIÓN 2: Esquema de un Biodigestor de Cúpula Fija.

FUENTE: <http://zamora-elduro.blogspot.com>

Biodigestor de Cúpula Móvil

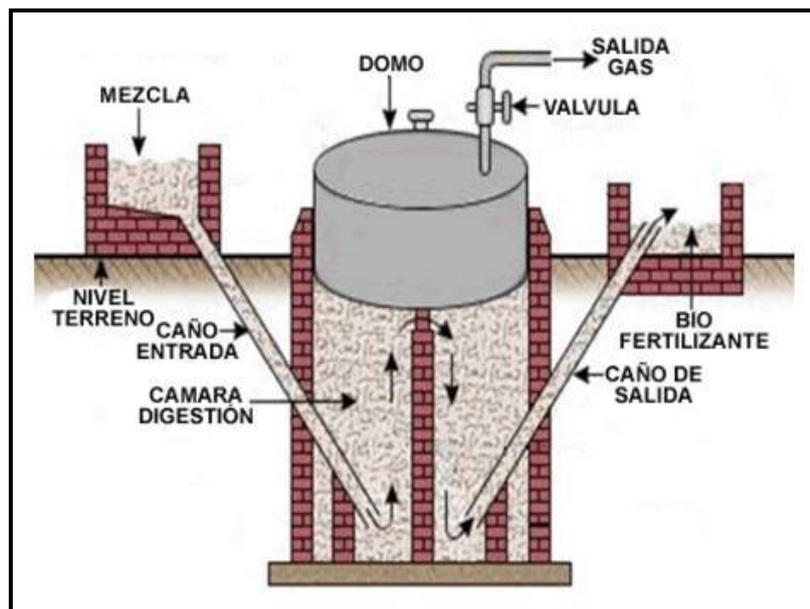


ILUSTRACIÓN 3: Esquema de un Biodigestor de Cúpula Móvil.

FUENTE: <http://comuni.ning.com/forum/topics>

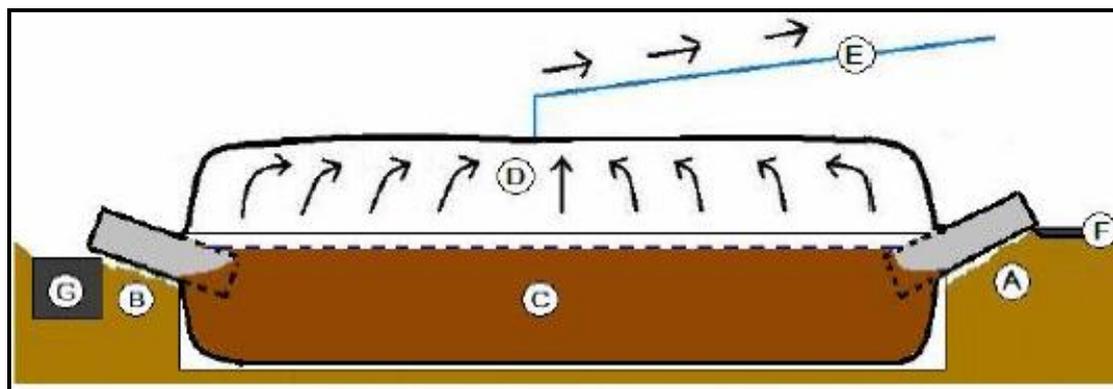


ILUSTRACIÓN 4: Biodigestor de Salchicha.

FUENTE: <http://quisqueyaverde.webs.com/biodigester-sketch-2.jpg>

Los biodigestores familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático, pero en Sudamérica, solo países como Cuba, Colombia, Brasil y Costa Rica tienen desarrollada esta tecnología. Estos modelos de biodigestores familiares, contruidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Por ello se consideran una ‘tecnología apropiada’.

1.1.3 Procesos de Digestión.

Digestión Anaeróbica

Según (Jiménez, 2002)¹ la digestión o biofermentación es un proceso por el que un grupo de microorganismos (que mantienen una relación de orden trófico) y en ausencia de oxígeno son capaces de degradar la materia orgánica en una serie de reacciones complejas que dan lugar a que una parte de la materia se oxide a CO₂ y otra se reduzca

¹JIMENEZ, *Diccionario de la Biodiversidad*, 2002.

a CH₄, produciendo biogás (una mezcla de CO, CH₄ y N₂), que puede aprovecharse como combustible. Los microorganismos capaces de realizar dicha transformación son tres familias de bacterias que actúan en una serie cada una de ellas sobre materia producida.

El proceso de digestión anaeróbica abarca una serie sumamente compleja de reacciones bioquímicas provocadas por el cultivo de una mezcla de bacterias (Taiganides, 1980)².

Este proceso de fermentación anaeróbica puede lograrse mediante la utilización de un sistema herméticamente cerrado, dentro del cual se coloca el material orgánico a fermentar, mezclado con agua (Banquedano, et al, 1983)³.

El tratamiento de la materia orgánica mediante la digestión anaeróbica cumple así con tres funciones: a) producir un gas combustible, b) producir mejoradores de suelo, complementos de alimentos forrajeros y c) la reducción de la contaminación ambiental producida por la disposición de desechos no tratados (Alonso & Rodríguez, 1985)⁴.

Microorganismos Inmersos en el Proceso de Digestión Anaeróbica.

Existe un grupo de microorganismos metanobacterianos (familia Metanobacteriaceae) que al actuar sobre la materia orgánica, sea vegetal o animal, producen una mezcla de gases que en conjunto han recibido el nombre de biogás. Dichos organismos son anaerobios estrictos, es decir, solamente pueden vivir y proliferar en un medio exento de aire y, por lo tanto de oxígeno (fermentación anaeróbica) (Banquedano, et al, 1983)³.

² TAIGANIDES, *Diseño De Un Biodigestor Para Obtener Gas Metano Y Fertilizantes A Partir De La Fermentación De Excrementos De Vacas Lecheras En La Facultad De Agronomía De La Universidad Nacional De La Pampa...*,1980.

³ BANQUEDANO, et al, *Procesos de Biodigestión Anaeróbica*.1983.

⁴ ALONSO & RODRÍGUEZ, *Los Microorganismos Dentro de los Procesos de Digestión*. 1985

(Alonso & Rodríguez, 1985)⁴ Sostienen que las bacterias productoras de metano, llamadas metanogénicas, usualmente no son móviles, crecen con lentitud (unos tres días) y se encuentran en forma natural en el estiércol, pantanos y aguas negras.

Las bacterias acidificantes obsequian los ácidos acéticos y propiónicos, las bacterias metanogénicas evitan que el medio se torne muy ácido, además ambas eliminan el oxígeno del medio.

(Alonso & Rodríguez, 1985)⁴ Afirman que las bacterias productoras de gas metano, llamadas por ello metanogénicas, se encuentran entre los organismos más estrictamente anaeróbicos que se conocen e incluyen los siguientes géneros: *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanosarcina* y *Methanospirillum*.

Biología de los Microorganismos del Proceso de Biodigestión

(Alonso & Rodríguez, 1985)⁴ Aseveran que muchas de las bacterias metanógenas pueden vivir en medios que son básicamente fuentes de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre; sin embargo, la presencia adicional de moléculas orgánicas complejas estimula su crecimiento, y algunas cepas pueden depender de estas como fuentes orgánicas para crecer. Los factores que influyen en la velocidad de crecimiento de las bacterias metanógenas son: la relación C/N (20:1 a 60:1 dependiendo del material utilizado), temperatura (sicrofílica 10 – 25 °C, mesofílica 35 – 42 °C, termofílica 45 – 65 °C), pH (6 – 8) y la concentración de sólidos totales (5 – 15%).

⁴ ALONSO & RODRÍGUEZ, *Los Microorganismos Dentro de los Procesos de Digestión*. 1985

Etapas de la Biodigestión Anaeróbica

(Banquedano, et al, 1983)³, afirma que durante las fases de la digestión anaerobia: hidrólisis y ácido génesis, acetogénesis y metanogénesis, actúan diferentes grupos bacterianos, en la fase de hidrólisis y ácido génesis las bacterias encargadas de llevar a cabo el proceso son las hidrolíticas, proteolíticas, celulolíticas y las glucolíticas (género *Eubacterium*, *Bitiribacterium*) y en la fase final denominada Metanogénica las bacterias presentes son las Metanogénica (género *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanococcus*, *Methanomicrobium*, *Methanogenium* y *Methanospirillum*).

(Banquedano, et al, 1983)³, señala que dentro del proceso de fermentación se presentan tres etapas fundamentales: licuación, formación de ácidos y formación de metano. Por su parte, (Alonso & Rodríguez, 1985)⁴ enuncia que la biodigestión se realiza en tres procesos degenerativos: hidrólisis enzimática, acidulación y metanación. (Taiganides, 1980)², menciona que durante la digestión se producen dos fases de descomposición: la fase de licuación, seguida de la fase de gasificación.

- a) La primera fase la producen principalmente saprófitos, la mayoría de los cuales son bacterias facultativas capaces de reproducirse rápidamente y no son tan sensibles a los cambios de las condiciones ambientales como las bacterias responsables de la fase de gasificación, las bacterias que forman ácidos con la ayuda de enzimas extracelulares transforman toda la materia carbonácea en ácidos volátiles y agua.
- b) En la segunda fase las bacterias que forman metano, con la ayuda de enzimas intracelulares, transforman estos ácidos en metano y en dióxido de carbono. Las bacterias que el metano son estrictamente anaeróbicas, tiene un bajo porcentaje de reproducción, y son sumamente sensibles a los cambios de pH y temperatura.

² TAIGANIDES, *Diseño De Un Biodigestor Para Obtener Gas Metano Y Fertilizantes A Partir De La Fermentación De Excrementos De Vacas Lecheras En La Facultad De Agronomía De La Universidad Nacional De La Pampa...*,1980.

³ BANQUEDANO, et al, *Procesos de Biodigestión Anaeróbica*.1983.

⁴ ALONSO & RODRÍGUEZ, *Los Microorganismos Dentro de los Procesos de Digestión*. 1985

1.2 ABONOS ORGÁNICOS

1.2.1 Concepto.

Se denomina abono orgánico a todo material vegetal o animal que sufre una biotransformación a través del tiempo por acción de los microorganismos. Se puede elaborar a partir de cualquier tipo de materiales vegetales o animales, dependiendo su utilización final. La calidad nutricional de un abono orgánico no se mide solamente por su capacidad de aportar nutrientes directamente sino en la medida en que pueda promover los nutrientes del suelo.

Los abonos orgánicos tienen las siguientes ventajas:

- Permiten aprovechar residuos orgánicos.
- Recuperan la materia orgánica del suelo y permiten la fijación de carbono en el suelo, así como la mejoran la capacidad de absorber agua.
- Suelen necesitar menos energía. No la necesitan para su fabricación y suelen utilizarse cerca de su lugar de origen.

Pero también tienen algunas desventajas:

- Pueden ser fuentes de patógenos si no están adecuadamente tratados.
- También pueden provocar eutrofización. Por ejemplo, granjas con gran contracción de animales o por las aguas residuales humanas. Pero es más fácil que con fertilizantes inorgánicos.
- Pueden ser más caros, aunque puede salir gratis si es un residuo propio de la granja o es un problema para otra explotación. Es fácil que una explotación agrícola necesite fertilizantes y otra de animales tenga problemas para desprenderse de los desechos que produce.

Actualmente el consumo de abonos orgánicos está aumentando debido a la demanda de alimentos orgánicos y la concienciación en el cuidado del medio ambiente.

1.2.2 Importancia y Propiedades de los Abonos Orgánicos.

Importancia

La necesidad de disminuir la dependencia de productos químicos artificiales en los distintos cultivos, está obligando a la búsqueda de alternativas fiables y sostenibles. En la agricultura ecológica, se le da gran importancia a este tipo de abonos, y cada vez más, se están utilizando en cultivos intensivos.

No podemos olvidarnos la importancia que tiene mejorar diversas características físicas, químicas y biológicas del suelo, y en este sentido, este tipo de abonos juega un papel fundamental.

La importancia fundamental de su necesidad en las tierras obedece a que los abonos orgánicos son fuente de vida bacteriana del suelo sin la cual no se puede dar la nutrición de las plantas. Para aprovechar la aplicación de los minerales contenidos en los fertilizantes, las plantas requieren que se los den “listos” para asimilarlos y esto solo es posible con la intervención de los millones de microorganismos contenidos en los abonos orgánicos que transforman los minerales en elementos “comestibles” para las plantas, de ahí la importancia de utilizarlos conjuntamente. Dicho de manera correcta, sin abonos orgánicos no hay proceso alimenticio aunque se apliquen fertilizantes, y lo que es peor aún, si no son aprovechados los minerales adicionados de los fertilizantes éstos se convierten en sales insolubles y lejos de ayudar al desarrollo de las plantas las deprime, abate y mata.

Los abonos de origen orgánico actúan aumentando las condiciones nutritivas de la tierra pero también mejoran su condición física (estructura) y aportan materia orgánica, bacterias beneficiosas y (en ocasiones) hormonas y por su efecto es más duradero y pueden aplicarse más frecuentemente pues no tienen secuelas perjudiciales, por el contrario. Los abonos también calientan la tierra; en tierras donde no hay presencia orgánica suficiente, estas son frías y las plantas crecen poco y mal; por el contrario, en

tierras porosas por la aplicación constante de abonos orgánicos, se tornan calientes y favorecen el desarrollo de las raíces, principal vía de nutrientes de plantas y pastos.

Propiedades

Los abonos orgánicos tienen unas propiedades, que ejercen unos determinados efectos sobre el suelo, que hacen aumentar la fertilidad de este. Básicamente, actúan en el suelo sobre tres tipos de propiedades.

Propiedades Físicas

- El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se puede absorber con mayor facilidad los nutrientes.
- El abono orgánico mejora la estructura y textura del suelo, haciendo más ligero a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos.
- Mejoran la permeabilidad del suelo, ya que influyen en el drenaje y aireación de éste.
- Disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua como de viento.
- Aumentan la retención de agua en el suelo, por lo que se absorbe más el agua cuando llueve o se riega, y retienen durante mucho tiempo, el agua en el suelo durante el verano.

Propiedades Químicas

- Los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste.
- Aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que aumentamos la fertilidad.

Propiedades Biológicas

- Los abonos orgánicos favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y mayor actividad de los microorganismos aerobios.
- Los abonos orgánicos constituyen una fuente de energía para los microorganismos, por lo que se multiplican rápidamente.

1.2.3 Producción y Calidad de Abonos Orgánicos.

Abonos Orgánicos Aeróbicos

Se utilizan materiales combinados de bajo y alto contenido de humedad; estiércoles, tamo de madera o de arroz, pasto picado, banano. Su proceso es totalmente aeróbico en pilas, que permitan evacuación de lixiviados. Rico en materia orgánica y minerales. Los porcentajes de materiales mezclados dependen de la disponibilidad del medio. Relación C/N <20.

Las temperaturas pueden superar los 70°C, por eso hay que adicionar microorganismos benéficos continuamente durante los primeros 15-21 días de proceso.

Ejemplos de Elaboración de Abonos Orgánicos Aeróbicos

- Rechazo de banano fresco, más residuo de planta industrial que elabora puré de banano, aserrín de madera. Relación C/N muy alta (>35), proceso demorado.
- La gallinaza, excretas de gallinas ponedoras, material que permanece aproximadamente 15-22 meses, dependiendo manejo de la granja.
- Elaborado a partir de desecho de mataderos municipales; contenido de líquido ruminal más estiércol recolectado de los corrales, más aserrín. Tiempo de proceso <45 días.
- A base de material de desecho de la tala de árboles de madera blanda, más estiércol de ganado vacuno. Tiempo de proceso >150 días

Características Nutritivas

- Nitrógeno Total 2,8 a 3,0 %
- Fósforo (P_2O_5) 2,6 a 3,0 %
- Potasio (K_2O) 2,3 a 2,5 %
- Calcio (CaO) 2,5 a 3,0 %
- Magnesio (MgO) 0,6 a 0,8 %
- Manganeso (MnO) 405 ppm
- Zinc (Zn) 265 ppm
- Hierro (Fe) 64 ppm
- Borro 48 ppm
- Materia Orgánica 50%

Abonos Orgánicos Anaeróbicos

Este tipo de abono se elabora a partir de materiales con bajo contenido de humedad, como por ejemplo harinas de maíz, banano, hueso y yuca, pasta de palmiste y pasta de soya, etc. Se mezclan los materiales según intereses del productor. Su proceso es totalmente anaeróbico. Mantiene proteínas y minerales. Se adiciona microorganismos benéficos. Tiempo de proceso 15-21 días.

Para provocar anaerobiosis la mezcla se la coloca en envases plásticos que no permitan la entrada de oxígeno. Pueden ser tanques plásticos muy grandes, como por ejemplo cuando se hace un ensilaje.

Luego que la mezcla está fermentada, se empacan en sacos plastificados que sirven para conservar la anaerobiosis y el producto final no pierda calidad.

Características Nutritivas

Este tipo de abono orgánico no contiene estiércol.

- Nitrógeno Total 4,0 a 5,0 %
- Fósforo (P_2O_5) 2,0 a 3,0
- Potasio (K_2O) 1,5 a 2,0 %
- Materia Orgánica 37 a 40 %
- Humedad < 18 %
- Proteína Total 10 a 15%

Lombricompost ó Vermicompost

Es el resultado de la acción de las lombrices domésticas (roja californiana) sobre la materia orgánica. Lombriz roja californiana, *Eisenia foetida*, es la especie más utilizada para la elaboración del Lombricompost.

Para elaborar el lombricompost se hacen lechos o cajones, donde se adiciona la materia orgánica. Hay que colocar una capa de máximo 70 cm de espesor, una vez que se observa que la primera capa está lista se adiciona nuevamente una capa de 50 cm, y así paulatinamente hasta completar la cama, la misma que puede tener una altura máxima de 1,75 cm.

La lombriz californiana es fotofóbica, por eso es importante mantener siempre con comida fresca la cama y mantener una humedad adecuada (75%). Como se está aplicando materia orgánica ésta se calienta y puede llegar a 70°C, por lo que hay que airear y humedecer. Es muy prolifera y puede duplicar su población durante los primeros 45 - 60 días. Estas lombrices son verdaderas máquinas de hacer compost humus.

Características Nutritivas

El lombricompost es muy rico en microorganismos benéficos.

- Nitrógeno (N) 1,0 a 2,6 %
- Fósforo (P₂O₅) 2,0 a 8,0 %
- Potasio (K₂O) 1,0 a 2,5%
- Calcio (CaO) 2,0 a 8,0%
- Magnesio (MgO) 1,0 a 1,3 %
- Materia Orgánica 30 a 50 %
- Carbono Orgánico 14 a 30 %
- Ácidos Fúlvicos 14 a 30 %
- Ácidos Húmicos 2,8 a 5,8 %
- Relación C:N 10 a 11

1.3 CARACTERÍSTICAS DEL BIOGÁS

1.3.1 Concepto

El término "Biogás" se refiere a los tanques construidos para producir gas metano, mediante la digestión anaeróbica de los desperdicios de granja u otros tipos de biomasa, tales como estiércoles, abonos humanos, residuos de cosecha, etc. (Taiganides, 1980)².

²TAIGANIDES, *Diseño De Un Biodigestor Para Obtener Gas Metano Y Fertilizantes A Partir De La Fermentación De Excrementos De Vacas Lecheras En La Facultad De Agronomía De La Universidad Nacional De La Pampa...*,1980.

Por otra parte, (Casillas & Mendieta, 2003)⁵ definen al biogás como una mezcla gaseosa producida por la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias.

El biogás es una mezcla de diferentes gases y es uno de los productos finales de una larga cadena de digestión enzimática de la materia orgánica (Pasztor & Kristoferson, 1990)⁶.

(Taiganides, 1980)², define al biogás como la mezcla de gases generada a partir de los desechos orgánicos (biogás) recibe diferentes nombres en distintos países por ejemplo: en Alemania es llamado biogas, en la India gobar gas, en China gas marjal y en México biogás. El biogás no es sino carbono e hidrógeno. Por consiguiente, todo el nitrógeno, el fósforo, el potasio y otros minerales permanecen en el líquido. Además, como se produce una cierta mineralización, el valor fertilizante de los sólidos residuales es mayor que en el estiércol fresco. (FAO, 1983)⁷.

1.3.2 Características del Biogás

El biogás tiene como principales componentes el metano y el dióxido de carbono. El metano es un gas combustible, incoloro e inodoro cuya combustión produce fuego de color azul y no contamina. El biogás, por su alto contenido de metano, es una magnífica fuente de energía (Deffis, 1994)⁸.

² TAIGANIDES, *Diseño De Un Biodigestor Para Obtener Gas Metano Y Fertilizantes A Partir De La Fermentación De Excrementos De Vacas Lecheras En La Facultad De Agronomía De La Universidad Nacional De La Pampa...*,1980.

⁵ CASILLAS & MENDIETA, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*, 2003.

⁶ PASZTOR & KRISTOFERSON, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1990.

⁷ FAO, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1983.

⁸ DEFFIS, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1994.

El metano está constituido solamente de carbono e hidrógeno; es un alcano, el más sencillo de los hidrocarburos (Scriban, 1985)⁹.

Según (Banquedano, et al, 1983)³, el biogás es la mezcla de gases que se producen durante la fermentación anaerobia y está compuesto por metano, hidrógeno, nitrógeno, bióxido de carbono, monóxido de carbono, oxígeno y trazas de ácido sulfhídrico; de estos el metano se presenta en una concentración que va desde un 55 a un 70 %. Estos porcentajes son teóricamente los óptimos para el buen funcionamiento del biogás.

(Fry, 1973)¹⁰, citado por (Banquedano, 1979)¹¹, sostiene que los porcentajes de la mezcla del biogás óptima para su funcionamiento son los presentados en el cuadro 4 que se presenta a continuación.

COMPOSICIÓN	SÍMBOLO	PORCENTAJE %
Metano	CH ₄	70
Anhídrido carbónico	CO ₂	27
Nitrógeno	N ₂	0,5
Hidrógeno	H ₂	1,0
Monóxido de carbono	CO	0,1
Oxígeno	O ₂	0,1
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	Trazas
Vapor De Agua	H ₂ O	Trazas

TABLA 1: Composición Química del Biogás.

FUENTE: (Banquedano, et al, 1983)³

³ BANQUEDANO, et al, *Procesos de Biodigestión Anaeróbica*.1983.

⁹ SCRIBAN, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1985.

¹⁰ FRY, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1973.

¹¹ BANQUEDANO, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1979.

1.3.3 Usos del Biogás

El poder calorífico que presenta el biogás permite ser utilizado en diversas actividades donde se requiere energía.

- a) Para cocinar: Una parrilla con el surtidor bien ajustado, nos da una flama azul, exenta de humo, que no ensucia los trastos y que alcanza temperaturas de hasta de 800 - 850 °C.
- b) Iluminación: Una lámpara que normalmente utiliza gas butano, puede ser adaptada a biogás y dar un buen rendimiento. La luz que produce este tipo de lámparas adaptadas es de menor intensidad y brillantes, sin embargo es una iluminación aceptable.
- c) Calor: La obtención de calor, se puede hacer directamente a partir de una flama de biogás incandescente.
- d) Fuerza motriz: Mueve un motor diesel de 13 HP mediante una conversión a funcionamiento base biogás. (Fry, 1973)¹⁰, citado por (Banquedado, et al, 1983)³.

1.3.4 Ventajas del Uso del Biogás

Si se llegase a un uso generalizado de este combustible (biogás) se lograría un ahorro en el consumo de otros energéticos tales como petróleo, carbón o leña. La producción de biogás es una de las fuentes alternativas de energía que puede tener éxito en las comunidades rurales, ya que en la mayoría de ellas se encuentra la materia prima para obtenerlo (estiércol) (Almanza & Muñoz, 2003)¹².

³ BANQUEDANO, et al, *Procesos de Biodigestión Anaeróbica*.1983.

¹⁰ FRY, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1973.

¹² ALMANZA & MUÑOZ, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 2003.

Ahorra mano de obra (usada normalmente en la recolección de leña y producción de carbón) y se ahorra leña y hierba que están desapareciendo rápidamente en las zonas muy pobladas, además de aliviar el trabajo de las mujeres. (Millar, 1976)¹³, citado por (Banquedano, et al, 1983)³.

Es un combustible que arde bien y no desprende humo como el carbón o la leña, ensucia menos la cocina y los alimentos, la combustión del biogás no contamina la atmósfera, su valor calorífico es mayor al de varios combustibles de uso tradicional, disminuye la repulsividad del estiércol fresco debido a la estabilización de la materia orgánica biodegradable y esto también hace que disminuya el potencial de contaminación por estiércol, casi todas las bacterias patógenas quedan eliminadas cuando el tiempo en el digestor es lo bastante prolongado y tratándose de excrementos de animales alimentados con hierba, durante la digestión, quedan destruidas las semillas de malas hierbas. La digestión aumenta el valor del estiércol como fuente de nutrientes de las plantas (FAO, 1983)⁷.

1.4 LOS BIOLES

1.4.1 Concepto

Los bioles son una alternativa de fertilización natural para las plantas en vez de usar productos químicos. Además tiene un efecto bioestimulante para éstas. Se puede hacer de distintas maneras y uno mismo los puede preparar. Las fórmulas más comunes contienen agua, estiércol de animales como de vaca, melaza, leche y leguminosas picadas. Todo esto se junta en un tanque cerrado herméticamente pero con una válvula de escape de gases y se deja fermentar en ausencia de oxígeno por el tiempo que sea necesario para su producción.

³ BANQUEDANO, et al, *Procesos de Biodigestión Anaeróbica*.1983.

⁷ FAO, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1983.

¹³ MILLAR, *Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión*. 1976.

Es una fuente de fitoreguladores que se obtiene como producto del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos en mangas de plástico (biodigestores), actúa como bioestimulante orgánico en pequeñas cantidades y es capaz de promover el crecimiento y desarrollo de las plantas. La Producción de Abono Foliar (Biol) es una técnica utilizada con el objetivo de incrementar la cantidad y calidad de las cosechas. Es fácil y barato de preparar, ya que se usa insumos de la zona y se obtiene en un tiempo corto (1 - 4 meses).

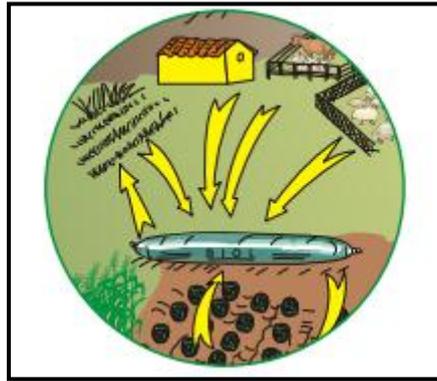


ILUSTRACIÓN 5: Insumos mínimos para la obtención de Biol en campo abierto.

FUENTE: <http://www.quinoa.life.ku.dk/~media/Quinoa/docs/pdf/Outreach/ManualBiolfinal.ashx>

Ventajas

- Acelera el crecimiento y desarrollo de la plantas.
- Mejora producción y productividad de las cosechas.
- Aumenta la resistencia a plagas y enfermedades (mejora la actividad de los microorganismos benéficos del suelo y ocasiona un mejor desarrollo de raíces, en hojas y en los frutos).
- Aumenta la tolerancia a condiciones climáticas adversas (heladas, granizadas, otros)
- Es ecológico, compatible con el medio ambiente y no contamina el suelo.
- Es económico.
- Acelera la floración
- En trasplante, se adapta mejor la planta en el campo.

- Conserva mejor el NPK, Ca, debido al proceso de descomposición anaeróbica lo cual nos permite aprovechar totalmente los nutrientes.
- El N que contiene se encuentra en forma amoniacal que es fácilmente asimilable.

Desventajas

- El tiempo desde la preparación hasta la utilización es largo.
- En extensiones grandes se requiere de una mochila para aplicar.

1.4.2 Producción del Biol

El Biol puede prepararse en diferentes envases, tales como mangas de plástico y cilindros o bidones.

Composición Química Del Biol

COMPUESTO	CANTIDAD
N	4 %
P Disponible	68 ppm
K Disponible	480 ppm
H	6,10 %
C.E.	2 mmhos/cm

TABLA 2: Composición Química del Biol.

FUENTE: <http://www.quinoa.life.ku.dk/~media/Quinoa/docs/pdf/Outreach/ManualBiolfinal.ashx>

Está compuesto por hormonas que activan e inhiben el crecimiento y desarrollo.

Dentro de los fitorreguladores los hay de:

- Los que estimulan la formación de nuevas raíces o enraizamiento de esquejes.
- Los que inducen a la floración.

- Los que inducen a la acción fructificante.
- Los que estimulan al crecimiento o deteniendo el mismo.
- Otros aceleran la maduración.

1.4.3 Principales Funciones Del Biol

Promueve las actividades fisiológicas y estimula el desarrollo de plantas, sirve para las siguientes actividades agronómicas.

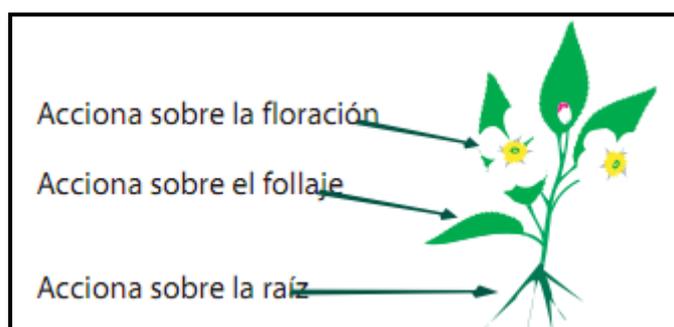


ILUSTRACIÓN 6: Acción del Biol Sobre las Plantas.

FUENTE: <http://www.quinoa.life.ku.dk/~media/Quinoa/docs/pdf/Outreach/ManualBiolfinal.ashx>

Uso del Biol

El abono foliar (Biol), puede ser utilizado para múltiples cultivos, sean de ciclo corto (algunas hortalizas), anuales (quinua, papa, cañihua, etc.), bianuales (maca) o perennes (alfalfa), cultivados, plantas ornamentales, etc.), gramíneas (trigo, cebada, avena), raíces (nabo, zanahoria), forrajeras (asociación de pastos cultivados), leguminosas (habas, fréjol, tarwi), frutales (cítricos, piña, palto), hortalizas (acelga, zanahoria, lechuga, apio), tubérculos (papa, oca, camote), con aplicación dirigidas al follaje.

Se emplea Biol para la recuperación pronta de las plantas dañadas después de las heladas y granizadas.

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 CONSTRUCCIÓN DE BIODIGESTORES

2.1.1 Implementación del Diseño y Construcción de los Biodigestores.

Para la elaboración del abono orgánico mediante procesos de digestión se tomó en cuenta tres diseños diferentes de biodigestores, los cuales han sido empleados anteriormente en dichos procesos, dando muy buenos resultados y productos que han sido aprovechados de la mejor manera, ya que si recordamos que mediante el uso de biodigestores no solo obtenemos abonos orgánicos, sino también se produce bioles y gas metano conocido como biogás.

Construcción de Biodigestores

Se seleccionaron tres diseños diferentes de biodigestores, los cuales fueron contruidos según las características que se necesitan para la implementación de los mismos, ya que cada uno de los diseños tiene que cumplir con condiciones adecuadas para su correcto funcionamiento; además que deben tener un volumen similar para que todos los diseños se encuentren bajo las mismas condiciones.

Los tres diseños empleados fueron:

1. Biodigestor de Bidón.

El Biodigestor de Bidón es de material plástico, su forma en la mayoría de los casos es cilíndrica con una tapa plástica que sella al recipiente para evitar el ingreso de oxígeno al interior. Puede presentarse en varios tamaños (30, 55 y 90 galones), el más recomendable es el de capacidad de 55 galones.

La capacidad del biodigestor con el que se trabajó fue de 55 galones o $0,21 \text{ m}^3$, tiene un diámetro de 59 cm por una altura de 98 cm; el peso del tambor plástico es de 10 kg.

Para la implementación del diseño de biodigestor en este modelo se necesitó de la adecuación de válvulas tanto para agua como para gas, ya que no puede existir ningún tipo de fugas, debido a que es un proceso controlado hasta la obtención final del producto que en este caso es el abono orgánico.

Se colocaron válvulas de una pulgada para el almacenamiento del biogás, las mismas que están conectados mediante mangueras a boyas de caucho; es aquí donde se encuentra el gas metano almacenado. La localización de dichas válvulas se realizó en el centro de la tapa del recipiente, debido a que el gas generado se expande hacia la parte superior del mismo.

Otra válvula se colocó en la parte lateral del recipiente plástico, ubicada a 10 cm desde la base del mismo. Esta es una válvula de una pulgada y media, por la cual se realiza la descarga de los lixiviados más conocidos como los bioles, que resultan del proceso de digestión anaerobia del Lechuguín.

* Ver Anexo 1.

2. Biodigestor de Caja.

Como su nombre lo especifica, el diseño de este Biodigestor es una caja rectangular, cuya materia prima es el cemento, en su parte superior contiene una tapa removible, fabricada igualmente de cemento. Las medidas para este diseño pueden ser diferentes, según sea la necesidad en donde va a ser empleado. Para este caso las medidas empleadas fueron:

- Base 50 x 50 cm.
- Alto 100 cm.
- Tapa 50 x 50 cm.

Se realizó el encofrado (forma del recipiente, mediante la utilización de malla, grava y madera) para cada uno de los biodigestores, ya que se construyeron tres en total de este diseño, las paredes tienen un espesor de 3 cm y la base tiene 5 cm de espesor, la tapa es construida del mismo material con un espesor de 3 cm; cada biodigestor tiene un volumen de 0,25 m³.

En el centro de las tapas se colocaron las válvulas de una pulgada para la salida del biogás, las que están conectadas mediante mangueras a las boyas que van a almacenar al gas metano.

En una pared lateral exterior se colocó la válvula de una pulgada y media, la misma que está ubicada en el centro a 10 cm de la base del biodigestor, es por aquí que se realizará la descarga de los bioles generados. Cada uno de los tanques fue cubierto con impermeabilizante para evitar cualquier tipo de fugas y por lo tanto la entrada de oxígeno en su interior. Todos los tanques fueron sellados herméticamente para evitar el ingreso de oxígeno dentro del biodigestor.

* Ver Anexo 2.

3. Biodigestor de Bolsa.

Los biodigestores de bolsa, como su nombre mismo lo dice son bolsas elaboradas mediante la utilización de Geomembrana. Geomembrana es el nombre genérico que recibe la lámina impermeable hecha a partir de diferentes resinas plásticas, que se emplean para controlar o detener la migración de fluidos, es flexible y tiene la capacidad de expandirse, además de que puede aguantar altas temperaturas, lo cual es ideal para la elaboración de este tipo de biodigestores. La Geomembrana que utilizamos para la elaboración de ese diseño es de PVC con un espesor de 300 micras.

Las medidas de las bolsas pueden variar según la necesidad del proyecto. Las medidas tomadas para este biodigestor fueron:

- Base 50 x 50 cm.
- Alto 100 cm.

Una vez construidas las tres bolsas con la Geomembrana, se procede a colocar las válvulas que serán puestas en posiciones diferentes a los otros diseños, ya que estos biodigestores se deben colocar en el suelo de manera horizontal. Cada biodigestor tiene un volumen de 0,25 m³.

La válvula de salida de gas se la coloca en una de las caras de la bolsa de su parte longitudinal a la mitad de la misma, conectada con una manguera que tiene su salida a las boyas de caucho para su almacenamiento. Las válvulas para la descarga de los bioles se la colocaron en una de las tapas de la bolsa en la parte central de la misma.

* Ver Anexo 3.

2.1.2 Características de los Biodigestores Utilizados.

En general todos los diseños de biodigestores que se han implementado han sido creados para la elaboración de bio-productos, (es decir el abono orgánico, bioles y el biogás), pero en esta investigación nos centraremos no solo en cuanto al diseño que se ha implementado en cada uno de los biodigestores, sino en el material utilizado y las propiedades que cada uno presenta, ya que para todos los diseños se han considerado las mismas variables y condiciones, para de esta manera determinar el mejor rendimiento de los tres diseños implementados.

1. Biodigestor de Bidón.

El biodigestor de bidón está elaborado de plástico, es un barril de 220 litros de capacidad, este diseño tiene la capacidad de conservar mejor la temperatura para el proceso digestivo, favoreciendo dicho proceso.

Es capaz de generar abono orgánico, bioles y biogás.

Al contar con una tapa completamente hermética, favorece a que el ingreso del oxígeno no sea posible; además que es más fácil su utilización en el momento de obtener los productos. La ventaja de este biodigestor es su fácil acondicionamiento y manipulación, ya que al ser un recipiente de plástico su peso es muy ligero y su volumen no ocupa un espacio mayor.



ILUSTRACIÓN 7: Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

2. Biodigestor de Caja

Este es un biodigestor que se debe construir en el lugar donde se vaya a realizar la obtención del abono orgánico, ya que al ser construido de un material como el cemento hace muy difícil su transporte y manipulación.

Tiene la capacidad de producir abono orgánico, bioles y biogás.

La ventaja principal de este biodigestor es su durabilidad, debido a que el cemento es un material permanente y no es fácil que este se descomponga o sufra de daños. Además cuenta con una tapa construida de cemento lo que permite que sea difícil de remover y así evitar el ingreso de oxígeno, para mejorar el proceso de digestión es recomendable colocar un plástico grueso antes de sellar el biodigestor para así evitar cualquier ingreso de aire al recipiente.



ILUSTRACIÓN 8: Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

3. Biodigestor de Bolsa

Este es un biodigestor que favorece ampliamente con el proceso de putrefacción, ya que la bolsa de geomembrana se encuentra en contacto directo con el suelo en donde se realiza el estudio, ayudando a que este se encuentre a una temperatura mayor que los otros diseños de biodigestores, lo que puede favorecer a que acelere el proceso.

Está diseñado para la producción de abono orgánico, bioles y biogás al igual que los otros biodigestores.

Son bolsas de fácil manejo, ya que pueden ser transportadas sin ningún inconveniente, pero de igual manera hay que tener mayor cuidado con las mismas ya que se pueden crear fisuras, lo que produciría el ingreso de aire a su interior. Como su material es diseñado para evitar filtraciones, es muy recomendado para la elaboración de abono mediante procesos de digestión. Las bolsas son selladas herméticamente mediante prensas industriales que ayudan a evitar las fugas.



ILUSTRACIÓN 9: Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

2.1.3 Ubicación de los Biodigestores.

Los biodigestores una vez ya construidos fueron trasladados a la Comunidad de Don Julo en el Cantón de Guachapala.

Ubicación Geográfica

El Cantón de Guachapala, que está ubicado al Nor-Este de la provincia del Azuay, está localizado a una distancia de 49 km desde Cuenca, a una altitud de 2200 m.s.n.m. Se crea como parroquia del cantón Paute el 14 de diciembre de 1786 y a partir del 31 de enero de 1995 se conforma como Cantón.

Su territorio cubre una superficie de 41,07 kilómetros cuadrados. Tiene una población aproximada de 3.125 habitantes, y un clima templado, con una temperatura media de 17°C. El centro cantonal se levanta sobre una pequeña meseta, en la margen derecha del río Paute. El centro cantonal de Guachapala tiene un conjunto urbano vernáculo caracterizado por una traza irregular, con casas dispuestas en hilera y en línea de fábrica.

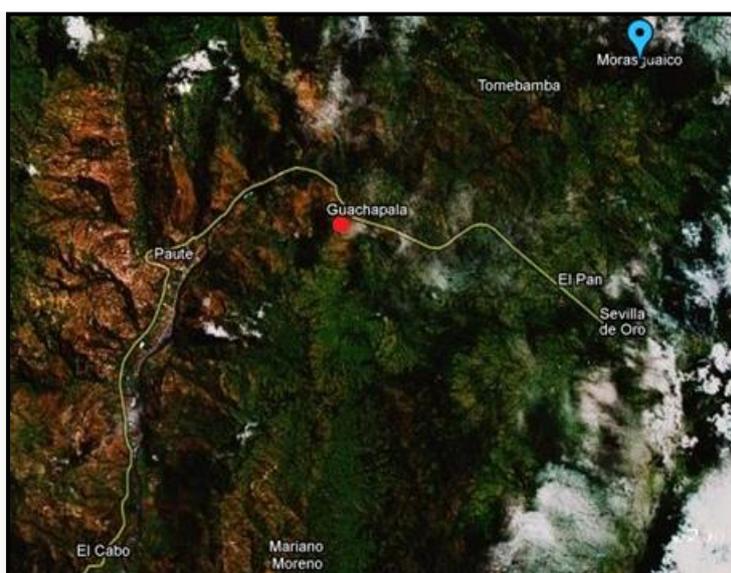


ILUSTRACIÓN 10: Localización Cantón Guachapala.

FUENTE: Google Earth.

Comunidad de Don Julio

La Comunidad de Don Julio recibe su nombre por la existencia de una planta de flor amarilla típica del lugar llamada Don Julio. Esta comunidad limita con el Río Paute y el Collay, tiene una superficie aproximada de 15 km². Comprende los sectores de Las Juntas, Tablahuayco y Musarya. Hay alrededor de 150 familias, con un promedio de 6 hijos por familia.

En cuanto a su organización existen juntas Promejoras, Seguro Social, Comité de Agua, comité de Parroquialización, Club Deportivo de Hombres y Mujeres, Organización Pastoral. La minga se mantiene como una forma tradicional de participación esta comunidad se caracteriza porque el 90 % de la población se dedica a la agricultura. Existe una escuela denominada Luis Vargas Torres. Sus fiestas patronales se celebran el 15 de Octubre.

La comunidad de Don Julio está ubicada geográficamente con las siguientes coordenadas 2° 44' 0" SUR, 78° 39' 0" OESTE.

2.2 ESPECIE EMPLEADA EN EL PROCESO DE DIGESTIÓN

2.2.1 Taxonomía de la Especie.

Descripción y Origen

Especie flotante de raíces sumergidas, con hojas y flores aéreas perteneciente a la familia de las Pontederiaceas, que carece de tallo aparente, provista de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática, el limbo se estrecha en la zona media, terminando en una especie de lengüeta plana y redondeada.



ILUSTRACIÓN 11: Lechuguín o Jacinto de Agua Florecido

FUENTE: www.plantaverde.com.ec

El color, verde brillante oscuro y lustroso de esta planta de hojas acorazonadas, contrasta durante la época de floración con el tallo espigado que porta las bellísimas flores malva claro, que sólo duran dos o tres días. La masa radicular, espesa, de color marrón azulado, presenta un espectacular desarrollo en anchura y longitud superior en muchos casos los 30 cm.

Originarias de los cursos de agua de la cuenca del Amazonas, en América de Sur, se han distribuido prácticamente por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental originó su exportación a estanques y láminas acuáticas de jardines atemperados. Son consideradas malas hierbas, que pueden 'taponar' en poco tiempo una vía fluvial o lacustre.

Descripción Técnica

Basado en (Correll & Johnston, 1970)¹⁴ (Gleason & Croquist, 1991)¹⁵ (Novelo & Ramos, 1998)¹⁶ (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷ y observaciones propias de (Hanan).

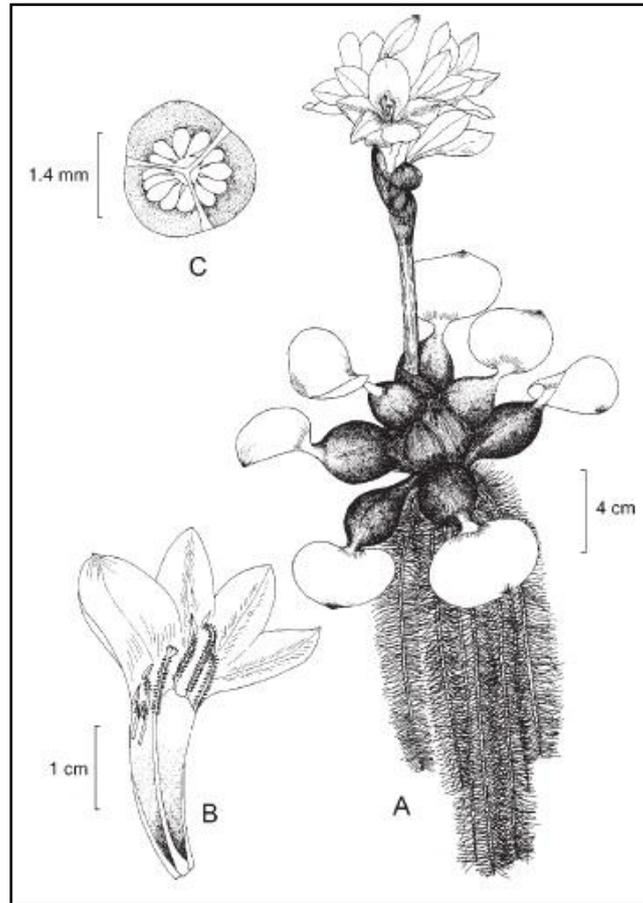


ILUSTRACIÓN 12: *Eichhornia Crassipes* (C. Martius) Solms-Laub. A. Aspecto General de la planta; B. Flor desprovistas de una parte del perianto; C. Corte transversal del ovario.

FUENTE: (Novelo & Ramos, 1998)

¹⁴ CORRELL & JOHNSTON, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1970.

¹⁵ GLEASON & CROQUIST, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1991.

¹⁶ NOVELO & RAMOS, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1998.

¹⁷ RZEDOWSKI & RZEDOWSKI, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 2001, 2004.

Hábito y Forma de Vida: Planta acuática libremente flotadora o fija la sustrato, perenne.

Tamaño: Muy variable en tamaño, normalmente alrededor de 30 cm. puede formar matas flotantes grandes.

Tallo: Reducido, estolonífero, aunque un tallo horizontal (rizoma) alargado conecta a diferentes individuos.

Hojas: Formando una roseta basal, los pecíolos largos y cilíndricos en las plantas fijas al sustrato (de 3 a 60 cm de largo), y cortos y globosos en las plantas flotantes, las láminas de las hojas casi circulares o más anchas que largas, de 2,5 a 16 cm de largo y de 3 a 12 cm de ancho, ápice truncado, redondeado a ligeramente obtuso, base truncada a algo cordada.

Inflorescencia: Espiciforme, con 4 a 16 flores solitarias y alternar a lo largo del pedúnculo, sésiles, pedúnculo de 6 a 26 (33) cm de largo, grueso, glabro a ligeramente pubescente.

Flores: Grandes (hasta de 5 cm de largo) de color lila, variando del azul a morado, rara vez blanca, con pelillos, con la base tubulosa y hacia el ápice dividida en 6 segmentos desiguales, 3 externos y 3 internos, uno de éstos más ancho y con una mancha amarilla; 6 estambres con pelos glandulares en los filamentos, 3 de ellos más largos, las anteras aflechadas, de un tono azul.

Frutos y Semillas: El fruto es una cápsula elíptica, de más o menos 1,5 cm de largo, con 3 ángulos. Las semillas numerosas, de poco más de 1 mm de largo, con 10 costillas longitudinales, de color negruzco.

Raíz: Fibrosas, comúnmente coloreadas.

<u>CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA</u>	
<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>División:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Clase:</u>	<u>Liliopsida</u>
<u>Orden:</u>	<u>Commelinales</u>
<u>Familia:</u>	<u>Pontederiaceae</u>
<u>Género:</u>	<u><i>Eichhornia</i></u>
<u>Especie:</u>	<i>E. Crassipes</i>
<u>Nombre Binomial</u>	
<i>Eichhornia Crassipes</i> (Mart.) Solms 1883	
<u>Sinonimia</u>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Pontederia Crassipes</i> Mart. 1823 	

TABLA 3: Clasificación Científica del Lechuguín.

FUENTE: http://es.wikipedia.org/wiki/Eichhornia_crassipes

Nombres

Otros Nombres Comunes en Español

Cucharilla, camalote, flor de agua, flor de huauchinango, Jacinto de agua, Jacinto, lagunera, lechuguilla, lirio acuático, lirio de agua, carolina, papalacate, pico de pato, reina, tamborcillo, violeta de agua, ninfa. (Martinez, 1979)¹⁸ (Novelo & Ramos, 1998)¹⁶ (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷.

Nombres Comunes en Inglés

Wáter-hyacinth (Correll & Johnston, 1970)¹⁴, water lily.

Distribución Geográfica

Área de Origen

Sudamérica (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷.

El centro de origen del Lechuguín parece ser la Amazonia, Brasil, con propagación natural a otras áreas del continente sud-americano (Barrett & Forno, 1982)¹⁹. En sus áreas nativas en los neo-trópicos la *E. crassipes* se ha convertido ocasionalmente en una maleza en las presas o cuerpos de agua naturales donde el régimen hidrológico se ha alterado por las actividades del hombre y/o el nivel de nutrientes en el agua se ha incrementado. El Lechuguín se ha introducido por el hombre en muchos países en los trópicos y subtropicos donde se ha propagado hasta convertirse en una maleza acuática extremadamente grave desde los 40°N hasta los 45°S (Holm, 1977)²⁰.

¹⁴ CORRELL & JOHNSTON, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1970.

¹⁶ NOVELO & RAMOS, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1998.

¹⁷ RZEDOWSKI & RZEDOWSKI, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 2001, 2004.

¹⁸ MARTINEZ, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1979.

¹⁹ BARRET & FORNO, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1982.

²⁰ HOLM, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1977.

Distribución Secundaria

Estados Unidos, México, Centro América, Las Antillas y partes más cálidas del hemisferio occidental (Novelo & Ramos, 1998)¹⁶; los trópicos del Viejo Mundo. En la flora de Norte América se encuentra un mapa de distribución.

Se han desarrollado infestaciones extensas en el sur de los EE.UU. (especialmente en Lousiana y la Florida), en México, Panamá y muchas regiones de África (especialmente los sistemas de los ríos Nilo y Congo), el sub-continente Indio, el sudeste Asiático, Indonesia y Australia (Sculthorpe, 1971)²¹ (Holm, 1977)²⁰ (Pieterse, 1978)²² (Gopal & Sharma, 1981)²³.

Distribución en Ecuador

Se encuentra en la rivera de los ríos principalmente en la provincia del Azuay, especialmente a lo largo del Río Paute; en el Oriente Ecuatoriano y en varias partes de lagos y aguas estancadas de la costa.

Hábitat

En aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerada como la maleza acuática (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷.

¹⁶ NOVELO & RAMOS, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1998.

¹⁷ RZEDOWSKI & RZEDOWSKI, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 2001, 2004.

²⁰ HOLM, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1977.

²¹ SCULTHORPE, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1971.

²² PIETERSE, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1978.

²³ GOPAL & SHARMA, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1981.

Distribución por Tipo de Zonas Bioclimáticas

Ambientes acuáticos en todo el país, hasta las partes bajas de los valles.

Distribución por Tipo de Clima

En la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷.

Biología y Ecología

Ciclo de Vida

Perenne (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷.

Fenología

Dependiendo del lugar de ubicación; en Centro América florece de agosto a octubre (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷ y en el sur de Estados Unidos de abril a julio (Correll & Johnston, 1970)¹⁴ y en Sudamérica florece todo el año.

Plagas, Enfermedades y Enemigos Naturales

Existen varios enemigos naturales que se están aprovechando para el control biológico.

¹⁴ CORRELL & JOHNSTON, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1970.

¹⁷ RZEDOWSKI & RZEDOWSKI, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 2001, 2004.

Frecuencia y Tamaño de las Poblaciones

La población presente en el Ecuador es muy extensa lo que ha causado una serie de problemas en especial en las riveras del Río Paute.

Reproducción

Al ser una planta con flores que se reproducen sexualmente originando frutos en forma de cápsula, puede multiplicarse por este procedimiento, pero su prodigiosa proliferación y la reproducción artificial más sencilla se efectúa por división de los estolones que los plantones emiten durante la estación favorable, originando, naturalmente, una tupida red vegetal capaz de colonizar en poco tiempo una gran superficie acuática, formando un tapiz que puede impedir la navegación.

Cuando se utiliza en acuicultura debe colocarse en estanques exteriores al aire libre durante el verano, de forma que se produzca rápidamente el 'ahijamiento'.

Condiciones de Mantenimiento

Necesita superficies lo más extensas posibles y agua neutra, cuyo pH se sitúe entre 6,8 y 7,5, preferentemente de dureza media alrededor de 12-18 DH y con temperaturas extremas comprendidas entre 17 y 28 °C, aunque el óptimo sea de 22-24 °C. Requiere iluminación intensa, que, si es artificial, deberá ser proporcionada por una rampa luminosa completa. Prefiere suelos areno-limosos, en los que apenas tocan los extremos de las raíces, muy bien provistos de principios nutritivos y abonos complejos.

Impacto e Importancia

Efectos Sobre la Biodiversidad y Ecosistema

Cubre extensas superficies en presas, lagunas y canales, impidiendo el libre paso del agua o la navegación, además afecta la supervivencia de las plantas y los animales nativos. (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷.

Cultivos Afectados y Efectos Sobre los Cultivos

Se afecta la acuicultura, ya que el agua abajo del lirio acuático puede perder su oxigenación.

Usos

Es usada normalmente como planta ornamental y comestible, como abono verde, fertilizante y forraje. (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷. Sirve como alimento de carpas, para elaborar artesanías, producir biogás, depurar aguas residuales. (Novelo & Ramos, 1998)¹⁶.

Impacto Sobre la Salud Humana

Favorece el desarrollo de mosquitos que producen daños a la salud humana y del ganado. (Novelo & Ramos, 1998)¹⁶.

¹⁶ NOVELO & RAMOS, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1998.

¹⁷ RZEDOWSKI & RZEDOWSKI, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 2001, 2004.

Impacto Económico y Social

Crea problemas a la pesca, la navegación y al mantenimiento apropiado de áreas recreativas (Rzedowski & Rzedowski, 2001, 2004)¹⁷.

Estatus de Naturalización de Exóticas

Naturalizada.

Situación Legal en Otros Países

Es una especie regulada o prohibida en varios estados de E.UA.

Control

Prevención

Controlar la dispersión por introducción a propósitos como ornamental.

Control Natural

El lirio acuático sólo prospera en aguas con altos contenidos de nutrientes, o sea, contaminados. Controlar los contaminantes también controla al lirio.

Control Biológico

Existen numerosos trabajos sobre el control biológico, y algunos éxitos, pero parece que no existe un método que funcione bajo diferentes condiciones.

¹⁷ RZEDOWSKI & RZEDOWSKI, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 2001, 2004.

Control Químico

Se puede controlar con 2,4-dichlorofenoxiacético (2,4-D), pero su uso es restringido en muchos cuerpos de agua.

Ventajas y Desventajas del Lechuguín

Ventajas

- Se han distribuido prácticamente por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental originó su exportación a estanques y láminas acuáticas de jardines en climas templados y cálidos.
- Son consideradas malas hierbas, que pueden "taponar" en poco tiempo una vía fluvial o lacustre.
- Especie flotante de raíces sumergidas.
- Carece de tallo aparente, provisto de un rizoma, muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas que tienen una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo que forma una vejiga llena de aire, mediante la que el vegetal puede mantenerse sobre la superficie acuática.
- Hojas sumergidas lineares, y las emergidas, entre obovadas y redondeadas, provistas de pequeñas hinchazones que facilitan la flotación.
- En verano produce espigas de flores lilas y azuladas que recuerda vagamente a la del Jacinto.
- Las raíces son muy características, negras con las extremidades bancas cuando son jóvenes, negro violáceas cuando son adultas.
- Usos: para adornar pequeños lagos, embalses, pero sobre todo para estanques y también acuarios.
- Ofrece un excelente refugio para los peces protegiéndolos del sol excesivo, de las heladas y a los alevines del embate de los benteveos (*Pitangus sulphuratus*).
- Las raíces constituyen un excelente soporte para el desove de las especies ovíparas (carasisus, carpas, etc.), incluso aquellos aficionados que críen a sus

peces en acuario, en época de fresa les sería muy útil hacerse de algún ejemplar joven de esta planta para el acuario de cría donde desovaran sus peces.

- Las raíces del camalote no sólo le servirán de soporte para los huevos, si no que son un refugio para los alevines, e incluso en ellas se desarrolla una microflora que sirve como alimento inicial para los mismos.
- Luz: sol o semisombra. Requiere iluminación intensa, que, si es artificial, deberá ser proporcionada por una rampa luminosa completa.
- Temperaturas: en invierno la planta debe ser protegida en invernadero frío en climas con heladas, manteniéndola siempre en agua.
- Se cultiva a una temperatura entre 20-30°C. No resiste los inviernos fríos (hay que mantenerla entre 15-18°C en contenedores con una profundidad de al menos 20cm. y una capa delgada de turba en el fondo). Puede rebrotar en primavera si se hiela.
- Necesita aguas estancadas o con poca corriente e intensa iluminación.
- Multiplicación: mediante división de los rizomas.
- Durante el verano se reproduce fácilmente por medio de estolones que produce la planta madre, llegan formarse verdaderas "islas" de gran porte.

Desventajas

- Esta especie está considerada entre las 100 especies más invasoras del mundo por la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza).
- Como consecuencia de su proliferación está creando en ríos y lagos importantes problemas en canales de riego agrícolas y afecciones a los ecosistemas ribereños, ya que cubre como una manta toda la superficie del río, por su fácil reproducción vegetativa y sexual. Esto se debe a que es una especie autóctona sin predadores, ni competidores en muchos sitios, por ejemplo, en la península ibérica.
- Como es invasora, puede que al retirar el exceso de un estanque o acuario particular, vaya a parar a entornos naturales y cause estos daños ecológicos.
- En países africanos, sudamericanos, EEUU, etc. está causando pérdidas millonarias.

- Es por ello que hoy en día se desaconseja su utilización por particulares, para evitar que se siga extendiendo esta plaga a los ríos por imprudencia en su uso.

Aprovechamiento del Lechuguín

Se emplea como criadora de pulgas de agua y otros crustáceos, pues su utilización en acuarios decorativos resulta imposible por la altura que tiene el vegetal, que exige una gran separación entre la superficie del agua y la rampa luminosa. En estanques es muy apreciada y los aficionados sofisticados la emplean para 'cebar' acuarios de cría, conservándola durante el invierno en recipientes de buena superficie a temperatura fresca, 16-17 °C y en lugares con tenue iluminación.

También es utilizada como planta purificadora de aguas contaminadas, ya que tiene la capacidad de absorber metales pesados y otros contaminantes, proporcionando una mejor calidad de agua, la misma que puede ser utilizada para el riego de sembríos.

Es una planta decorativa, ya que se puede tener en estanques, siempre y cuando su reproducción sea controlada.

Debe cuidarse el 'escape' a las alcantarillas o ríos de ninguna parte de la planta, que podría ocasionar una auténtica 'plaga' como mala hierba lacustre.

2.2.2 Obtención y Características del Lechuguín del Embalse de Amaluza.

Problemática de la Especie

Aún dentro de las áreas nativas del Lechuguín los cambios en el régimen hidrológico debidos, por ejemplo, a la construcción de presas y a incrementos en los niveles de nutrientes, han producido un crecimiento excesivo (Donselaar, 1968)²⁴ (Harley, 1992)²⁵. El Lechuguín no tolera agua salobre (Holm, 1977)²⁰ y la salinidad puede limitar o modificar su distribución. El medio ambiente ha sufrido a través de la eutrofización o pérdida de oxígeno del agua fresca debido a la descarga de efluentes de áreas urbanas e industriales, al incremento de la agricultura, la deforestación y la degradación general de las cuencas de agua. La velocidad actual de propagación del Lechuguín está afectando seriamente el manejo de los recursos hídricos, la ecología, la conservación de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades humanas rivereñas.

“El sistema fluvial del embalse está obstaculizado por la presa Daniel Palacios por consiguiente los sistemas acuáticos de la cuenca están alterados debido al uso de las partes alta y media de esta” (CELEC, 2008)²⁶

La Represa de Paute, en la Presa Daniel Palacios está ubicada al noreste del cantón Sevilla de Oro, en donde colindan geográficamente cuatro provincias de nuestro País. Limita: al norte, con las parroquias Rivera del Cañar, Achupallas del Chimborazo y la periferia cantonal de Santiago de Méndez; al sur y al este, con la parroquia Copal del cantón Santiago de la provincia de Morona; y al oeste, con la parroquia Palmas y las parroquias Taday y Pindilig del cantón Azogues.

²⁰ HOLM, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1977.

²⁴ DONSELAAR, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1968.

²⁵ HARLEY, *Flora del Bajío y Regiones Adyacentes*. 1992.

²⁶ CELEC, www.celec.com.ec, 2008.



ILUSTRACIÓN 13: Presa Daniel Palacios

FUENTE: La Autora.

Ya que el embalse se encuentra en la zona más plana del área de la cuenca en donde disminuye la pendiente del río y la velocidad de sus aguas ocurren en éste proceso de sedimentación y acumulación de materia orgánica formándose un medio propicio para la existencia y producción de macrófitas acuáticas.

La macrófita habitual en el embalse es la *Eichhornia Crassipes* conocida comúnmente como Lechuguín, dicha especie incide en el área del embalse por su biomasa y consecuentemente en el proyecto hidroeléctrico Paute-Molino.

Características del Lechuguín del Embalse Amaluza

La especie cubre alrededor de 7 a 8 km aproximadamente de la superficie del embalse, naciendo antes de la zona de Cola de San Pablo y extendiéndose hasta 1000 m aguas arriba de la presa, manteniéndose la mayoría del tiempo en esa magnitud.

El tamaño de la planta es diverso, depende mucho de dónde esté ubicada y las condiciones en el que ésta se encuentra. En el siguiente cuadro podemos determinar el tamaño promedio del Lechuguín presente en el embalse.

Tamaño de la Planta	Completa	Raíz	Número de Plantas								
	(m)	(cm)									
	1,3	59	0,93	43	0,7	11	0,85	46	0,97	54	1
	1,29	58,3	1,46	45	1,1	70	1,1	65	1,5	57	2
	1,26	54,3	1,11	53	0,87	41	0,72	43	1,8	68	3
	1,16	63,4	1,14	61	1,18	49	0,32	10	0,45	20	4

TABLA 4: Tamaño de la Planta de Lechuguín Completa y Solo Raíz.

FUENTE: (Torres, 2008)²⁷

“De acuerdo con la tabla, se determina que el tamaño de la raíz del Lechuguín que se encuentra en el embalse Amaluza varía de acuerdo a la edad de la planta y nutrientes del agua ya que se encontraron plantas jóvenes con raíces completas, voluminosas y pequeñas de coloración café medio a negras, y plantas ya maduras con hojas verdes oscuras, raíces cortas por la degradación con coloración café oscuro a negras violáceas, resultando un rango de tamaño medio de raíz entre 10 a 70 cm del total de la biomasa de la planta. Además se encontró que la planta de mayor tamaño alcanza 1,80 m completa” (Torres, 2008)²⁷

Composición Química del Lechuguín

El Lechuguín está compuesto químicamente por sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el medio acuático del embalse. Está constituida básicamente de agua, ya que se determinó el porcentaje de humedad contenido dándonos un resultado de un 90,4% de humedad quedando sólo un 9,6% de materia seca. Según análisis realizados por la Comisión de Energía Atómica en el año 2002, la planta es rica en nutrientes pero de igual manera contiene metales pesados en su composición. En la siguiente tabla se puede observar los macro-micro nutrientes y metales traza presentes en el Lechuguín.

²⁷ TORRES, *Estudio de Aprovechamiento del Lechuguín Eichhornia Crassipes del Embalse de la Represa Daniel Palacios como Biosorbente de Metales Pesados en el Tratamiento de Aguas Residuales*. 2008.

Porción	% de peso seco					Concentración (mg/l)			
	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Ma
Tallos	1,44	0,04	2,57	1,44	0,47	121	30,5	1004,5	83
Finos	1,4	0,09	6,35	1,93	0,49	35	22,75	67	61,8

TABLA 5: Concentración de Macro y Micronutrientes en mg/l Presentes en Muestras de Lechuguín.

FUENTE: Proyecto Industrial del Lirio Acuático para la Producción de Base de Compost Orgánico, 2002.

Referencia de la Muestra	Concentración de las Muestras (ppm)		
	Hg	Cd	Pb
Raíz	< 0,50	3,0	< 0,50
Tallos	< 0,50	< 2,0	< 0,50
Hojas	< 0,50	< 2,0	< 0,50

TABLA 6: Concentración de Metales Pesados (ppm) en Muestras de Lechuguín.

FUENTE: Proyecto Industrial del Lirio Acuático para la Producción de Base de Compost Orgánico, 2002.

Crecimiento Poblacional del Lechuguín

En el embalse de Amaluzza el Lechuguín es considerada como una plaga por su rápido crecimiento y expansión. Según estudios previos realizados por (Torres, 2008)²⁷ se determinó que existe alrededor de 75 plantas enteras en un área de 0,81 m².

Por lo tanto teniendo el embalse un área total de 331.248,07 m² y que teóricamente el 67% del mismo está cubierto por la planta se estima que la cantidad de Lechuguín existente en ésta área sería 14'492.365,5.

²⁷ TORRES, *Estudio de Aprovechamiento del Lechuguín Eichhornia Crassipes del Embalse de la Represa Daniel Palacios como Biosorbente de Metales Pesados en el Tratamiento de Aguas Residuales*. 2008.

Al ser una planta con un alto índice reproductivo presenta un serio problema para el embalse ya que es un obstáculo en muchos de los casos para el dragado de la misma. Se ha determinado que al tratar de extraer el Lechuguín de una manera no óptima, los pedazos que quedan sobre las aguas tienen la capacidad de germinar nuevas plantas en pocos días. Es decir, el crecimiento y producción de esta flora es inmediata consecuentemente de que el medio es propicio y rico en nutrientes.

Acondicionamiento del Lechuguín

Como ya hemos expuesto anteriormente el Lechuguín es una planta flotante que se encuentra en los ríos, lagos o estanques; es así que la especie que utilizaremos para el desarrollo de este tema es la que se encuentra en las riveras del Río Paute.

La planta es sacada por medio de una retroexcavadora del lugar y colocada en el camión para su transporte. La planta se deposita en el invernadero de la Comunidad de Don Julo-Guachapala (Ubicación: Ver Anexo 4), para que aquí pueda ser procesada en la trituradora, la cual es una máquina que disminuye el volumen de la planta para mejorar su rendimiento.

Una vez que la planta sea reducida al tamaño que se necesita, se procede a colocarla en los biodigestores que se encuentran en dicho invernadero, para así poder iniciar el proceso de Biodigestión.

Debido a que los biodigestores tienen la misma capacidad, todos serán llenados en su 75%, ya que se debe dejar un espacio para la generación del biogás. De este volumen disponible se procede a colocar un 75% de la especie que ya ha sido procesada, debido a que la planta tiene un gran porcentaje de agua por lo que solamente se utiliza un 25% de agua, para así dar inicio al proceso de digestión.



ILUSTRACIÓN 14: Planta de Lechuguín Procesada para el Biodigestor.

FUENTE: La Autora

Una vez que la planta se haya colocado en los biodigestores, se procede a sellar los mismos para poder empezar con el proceso de putrefacción y obtener los productos resultantes de la misma (abono orgánico, bioles y biogás).

2.3 PROCESOS DE DIGESTIÓN

2.3.1 Tiempo de Digestión Anaeróbica.

Para poder obtener los tiempos de digestión anaeróbica, hemos considerado un periodo de muestreo de 15 días para la obtención de las muestras, en total se realizarán tres muestreos, el primero a los 15 días una vez colocada la planta, el segundo se realizará a los 30 días de haber colocado la especie y el último se realizará a los 45 días.

Una vez obtenidas las muestras se llevaran a ser analizadas, para así determinar en qué periodo se obtiene un abono de buena calidad y que sobre todo cumpla con las normativas establecidas. Con los resultados de los análisis, se determinará el tiempo óptimo de digestión anaeróbica en el cual podemos obtener un abono de excelente calidad, ya sea en el periodo de 15, 30 ó 45 días.

Tiempo de Retención

El tiempo de retención de acuerdo con (Taiganides, 1980)² es el periodo de tiempo que debe permanecer el material orgánico a fermentar en el biodigestor antes de extraerlo como efluente.

El tiempo de retención es calculado de la siguiente manera:

$$TR = \frac{VND}{VME}$$

Dónde:

- TR = Tiempo de Retención. (meses)
- VND = Volumen neto del digestor.
- VME = Volumen de mezcla entrante.

Biodigestor de Bidón

Para este diseño se aplicaron los mismos volúmenes netos del digestor y la misma cantidad de mezcla entrante, entonces tenemos que:

$$TR = \frac{0,208 \text{ m}^3}{0,156 \text{ m}^3}$$

$$TR = 1,33 \text{ meses } \text{ó} \text{ 1 mes y 9,9 días.}$$

² TAIGANIDES, *Diseño De Un Biodigestor Para Obtener Gas Metano Y Fertilizantes A Partir De La Fermentación De Excrementos De Vacas Lecheras En La Facultad De Agronomía De La Universidad Nacional De La Pampa...*,1980.

Biodigestor de Caja

Para este diseño se aplicaron los mismos volúmenes netos del digestor y la misma cantidad de mezcla entrante, entonces tenemos que:

$$TR = \frac{0,250 \text{ m}^3}{0,188 \text{ m}^3}$$

$$TR = 1,329 \text{ meses ó 1 mes y 9,87 días.}$$

Biodigestor de Bolsa

Para este diseño se aplicaron los mismos volúmenes netos del digestor y la misma cantidad de mezcla entrante, entonces tenemos que:

$$TR = \frac{0,250 \text{ m}^3}{0,188 \text{ m}^3}$$

$$TR = 1,329 \text{ meses ó 1 mes y 9,87 días.}$$

Por lo que podemos observar para cada uno de los diseños se recomienda un periodo aproximado de 1 mes y 10 días y teniendo en cuenta los periodos de muestreo planteados anteriormente que es de 1 mes y 15 días estamos cumpliendo con lo establecido.

2.3.2 Obtención del Abono Orgánico.

Una vez colocada la especie en los tres diseños diferentes de los biodigestores, se procede a efectuarse el proceso de digestión anaeróbica, donde las bacterias descomponen la materia orgánica que en este caso sería el Lechuguín.

Una vez determinado el periodo de muestreo, se puede obtener el producto de mejor calidad dependiendo del diseño empleado y el tiempo óptimo de digestión.

Se procede a sacar el abono de los biodigestores y a colocarlo en recipientes donde tenga la capacidad de mantener sus características nutritivas que se generaron durante la digestión.

Es así que luego del proceso de digestión obtenemos el producto final que es el abono orgánico producido a partir de la especie en estudio, que se podrá utilizar normalmente para preparar el terreno para cultivos.

Para conocer las características de este abono producido es necesario medir los niveles de carbono, nitrógeno, relación carbono/nitrógeno, metales pesados, concentración de amonio, conductividad eléctrica, coliformes fecales, salmonella sp, humedad y pH, por lo que cada una de las muestras debe ser llevada a analizarlas, determinando así que abono fue el que cumple con las mejores condiciones físico-químicas y por lo tanto el diseño que mejor rendimiento cumple.

Aparte de la producción del abono orgánico, como ya habíamos mencionado los biodigestores tienen la capacidad de producir otros productos como los bioles y el biogás.

Dentro de este estudio se almacenaron muestras del biogás las mismas que tienen que ser sometidas a análisis para poder determinar si el gas puede usarse como combustible.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1 PROCESO DE DESARROLLO Y DATOS

Construidos los tres diseños diferentes de biodigestores propuestos, procedemos a colocar la especie que va a producir el abono orgánico, la especie empleada en este caso es la “*Eichhornia Crassipes*” conocida comúnmente como Lechuguín, la misma fue introducida en una trituradora donde se redujo el tamaño de la planta para una mejor degradación de la misma.

Una vez triturada la especie se procedió a colocarla en los biodigestores, se colocaron 0,19 m³ en cada uno de ellos conjuntamente con el agua que se puso una relación de 3 a 1, es decir del 100% se colocó un 75% de la planta y un 25% de agua en cada uno de los casos. Es de esta manera que el proceso de digestión dio inicio para así obtener el producto que son los abonos orgánicos y cumplir con los objetivos de este experimento.

Concluido con los periodos de muestreo, obtuvimos las muestras de abono cada 15, 30 y 45 días, de estos se tomaron los datos IN-SITU de pH utilizando las bandas de pH que proporcionan los valores de los mismos.



ILUSTRACIÓN 15: Toma de Muestra del pH de uno de los Biodigestores.

FUENTE: La Autora.

Los valores de pH en cada uno de los casos fueron los siguientes:

pH

Biodigestor de Bidón

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	pH
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	6,77
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	6,8
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	6,79
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	6,74
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	6,71
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	6,7
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	6,73
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	6,73
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	6,71

TABLA 7: Valores de pH Obtenidos del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	pH
B. CAJA 1	13/08/2011	15	7,01
B. CAJA 2	13/08/2011	15	6,99
B. CAJA 3	13/08/2011	15	7,02
B. CAJA 1	27/08/2011	30	6,99
B. CAJA 2	27/08/2011	30	6,98
B. CAJA 3	27/08/2011	30	6,97
B. CAJA 1	10/09/2011	45	7,01
B. CAJA 2	10/09/2011	45	7,02
B. CAJA 3	10/09/2011	45	7,00

TABLA 8: Valores de pH Obtenidos del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	pH
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	6,85
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	6,80
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	6,83
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	6,84
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	6,81
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	6,82
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	6,85
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	6,83
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	6,81

TABLA 9: Valores de pH Obtenidos del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

HUMEDAD

Para los resultados del contenido de humedad del producto final, se realizó el análisis en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, por parte de la autora, cuyo resultado fue el siguiente:

PARÁMETRO	PORCENTAJE %
Humedad	42,458

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Biología-Suelos en la Universidad del Azuay (UDA) (Ver Anexo No.7), aquí se analizaron parámetros como carbono, nitrógeno, relación carbono/nitrógeno, metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc), coliformes fecales, salmonella sp., maduración (relación carbono/nitrógeno, absorción del O² y concentración de amonio) y conductividad eléctrica, los resultados obtenidos en laboratorio fueron ordenados de acuerdo a las fechas de muestreo y de los cuales se obtuvo el porcentaje de degradación para cada uno de los casos, con excepción de la conductividad eléctrica, relación carbono/nitrógeno y la presencia de oxígeno. Los valores obtenidos fueron los siguientes:

RESULTADOS DEL MUESTREO INICIAL

ELEMENTO	VALOR INICIAL
NITRÓGENO	8953,61 ppm
RELACIÓN C/N	7,427
ARSÉNICO	17,56 mg/kg
CADMIO	4,67 mg/kg
COBRE	87,54 mg/kg
CROMO	121,62 mg/kg
MERCURIO	4,57 mg/kg
NÍQUEL	63,78 mg/kg
PLOMO	187,56 mg/kg
ZINC	112,67 mg/kg
AMONIO	613, 259 mg/kg
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	3,22 ds/m

TABLA 10: Resultados de la Toma de Muestra Inicial de los Lechuguines.

FUENTE: La Autora.

NITRÓGENO

Valor de la Muestra Inicial del Nitrógeno = 8953,61 ppm

Biodigestor de Bidón

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	NITRÓGENO Ppm	DEGRADACIÓN Ppm	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	7080,88	1872,73	20,894%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	7117,88	1875,73	20,559%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	7297,4	1656,21	18,547%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	6621,01	3232,60	26,034%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	6767,73	2185,88	24,469%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	6816,4	2137,21	23,911%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	5922,69	3030,92	33,855%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	6143,94	2809,67	31,397%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	5677,73	3275,88	36,648%

TABLA 11: Resultados de Nitrógeno del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial del Nitrógeno = 8953,61 ppm

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	NITRÓGENO ppm	DEGRADACIÓN Ppm	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	7980,61	973,00	10,838%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	7656,86	1296,75	14,525%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	7527,22	1426,39	15,978%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	7123,45	1830,16	20,447%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	6995,95	1957,66	21,899%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	6911,7	2041,91	22,793%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	6441,49	2512,12	28,045%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	6034,62	2918,99	32,626%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	6584,8	2368,81	26,480%

TABLA 12: Resultados de Nitrógeno del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial del Nitrógeno = 8953,61 ppm

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	NITRÓGENO ppm	DEGRADACIÓN Ppm	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	6945,65	2007,96	22,46%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	6665,58	2288,03	25,59%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	6580,47	2373,14	26,48%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	6485,5	2468,11	27,60%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	6053,73	2899,88	32,40%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	6046,69	2906,92	32,51%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	5036,43	3917,18	43,80%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	5727,13	3226,48	36,09%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	5429,01	3524,60	39,44%

TABLA 13: Resultados de Nitrógeno del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora

RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de la Relación Carbono/Nitrógeno = 7,427

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	RELACIÓN C/N
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	5,411
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	5,942
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	6,198
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	4,991
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	5,546
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	6,010
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	4,789
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	5,397
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	6,340

TABLA 14: Resultados de la Relación Carbono/Nitrógeno del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de la Relación Carbono/Nitrógeno = 7,427

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	RELACIÓN C/N
B. CAJA 1	13/08/2011	15	6,003
B. CAJA 2	13/08/2011	15	6,658
B. CAJA 3	13/08/2011	15	6,374
B. CAJA 1	27/08/2011	30	6,256
B. CAJA 2	27/08/2011	30	6,639
B. CAJA 3	27/08/2011	30	6,104
B. CAJA 1	10/09/2011	45	6,148
B. CAJA 2	10/09/2011	45	6,733
B. CAJA 3	10/09/2011	45	5,729

TABLA 15: Resultados de la Relación Carbono/Nitrógeno del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de la Relación Carbono/Nitrógeno = 7,427

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	RELACIÓN C/N
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	6,994
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	7,285
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	7,275
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	6,798
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	7,132
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	7,157
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	7,748
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	6,860
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	7,109

TABLA 16: Resultados de la Relación Carbono/Nitrógeno del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora

METALES PESADOS

ARSÉNICO

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Arsénico = 17,56 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	ARSÉNICO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	15,017	2,543	14,48%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	14,956	2,560	14,58%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	14,724	2,836	16,15%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	14,348	3,212	18,29%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	14,094	3,466	19,74%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	13,779	3,781	21,53%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	13,454	4,106	23,38%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	13,249	4,311	24,55%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	12,859	4,701	26,77%

TABLA 17: Resultados de Arsénico del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Arsénico = 17,56 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	ARSÉNICO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	14,889	2,671	15,21%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	14,835	2,725	15,52%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	14,993	2,567	14,62%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	14,113	3,447	19,63%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	14,317	3,243	18,47%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	14,134	3,426	19,51%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	13,318	4,242	24,16%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	13,477	4,083	23,25%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	13,288	4,272	24,33%

TABLA 18: Resultados de Arsénico del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Arsénico = 17,56 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	ARSÉNICO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	14,506	3,054	17,39%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	14,366	3,194	18,19%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	14,671	2,889	16,45%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	13,637	3,923	22,34%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	13,419	4,141	23,58%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	13,806	3,754	21,38%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	12,687	4,873	27,75%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	12,517	5,043	28,72%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	12,945	4,615	26,28%

TABLA 19: Resultados de Arsénico del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

CADMIO

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Cadmio = 4,67 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CADMIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	3,910	0,760	16,27%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	3,899	0,771	16,51%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	3,842	0,828	17,73%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	3,653	1,017	21,77%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	3,631	1,039	22,24%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	3,583	1,087	23,28%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	3,418	1,252	26,82%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	3,393	1,277	27,35%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	3,382	1,288	27,57%

TABLA 20: Resultados de Cadmio del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Cadmio = 4,67 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CADMIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	4,192	0,478	10,24%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	4,122	0,548	11,73%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	4,067	0,603	12,92%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	3,989	0,681	14,58%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	3,902	0,768	16,45%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	3,854	0,816	17,48%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	3,695	0,975	20,88%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	3,677	0,993	21,27%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	3,609	1,061	22,72%

TABLA 21: Resultados de Cadmio del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Cadmio = 4,67 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CADMIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	3,977	0,693	14,84%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	3,909	0,761	16,29%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	3,949	0,721	15,44%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	3,813	0,857	18,36%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	3,743	0,927	19,84%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	3,697	0,973	20,83%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	3,618	1,052	22,53%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	3,570	1,100	23,55%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	3,522	1,148	24,58%

TABLA 22: Resultados de Cadmio del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

COBRE

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Cobre = 87,54 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	COBRE mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	74,961	12,579	14,37%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	73,612	13,928	15,91%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	73,157	14,383	16,43%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	70,190	17,350	19,82%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	71,065	16,475	18,82%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	70,400	17,140	19,58%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	65,953	21,587	24,66%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	66,732	20,808	23,77%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	66,189	21,351	24,39%

TABLA 23: Resultados de Cobre del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Cobre = 87,54 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	COBRE mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	74,961	12,579	14,37%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	73,954	13,586	15,52%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	75,617	11,923	13,62%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	71,406	16,134	18,43%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	70,592	16,948	19,36%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	71,949	15,591	17,81%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	67,808	19,732	22,54%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	66,679	20,861	23,83%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	68,605	18,935	21,63%

TABLA 24: Resultados de Cobre del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Cobre = 87,54 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	COBRE mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	76,869	10,671	12,19%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	76,624	10,916	12,47%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	76,081	11,459	13,09%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	72,807	14,733	16,83%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	72,369	15,171	17,33%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	72,334	15,206	17,37%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	69,165	18,375	20,99%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	69,297	18,243	20,84%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	67,975	19,565	22,35%

TABLA 25: Resultados de Cobre del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

CROMO

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Cromo = 121,62 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CROMO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	102,951	18,669	15,35%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	103,474	18,146	14,92%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	102,489	19,131	15,73%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	100,057	21,563	17,73%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	101,346	20,274	16,67%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	99,534	22,086	18,16%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	96,822	24,798	20,39%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	98,208	23,412	19,25%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	96,700	24,920	20,49%

TABLA 26: Resultados de Cromo del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Cromo = 121,62 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CROMO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	109,786	11,834	9,73%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	108,996	12,624	10,38%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	110,893	10,727	8,82%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	108,193	13,427	11,04%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	106,612	15,008	12,34%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	106,734	14,886	12,24%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	104,873	16,747	13,77%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	104,119	17,501	14,39%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	101,334	20,286	16,68%

TABLA 27: Resultados de Cromo del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Cromo = 121,62 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CROMO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	106,150	15,470	12,72%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	105,104	16,516	13,58%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	104,496	17,124	14,08%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	104,496	17,124	14,08%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	101,127	20,493	16,85%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	101,273	20,347	16,73%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	101,492	20,128	16,55%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	98,987	22,633	18,61%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	97,855	23,765	19,54%

TABLA 28: Resultados de Cromo del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

MERCURIO

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Mercurio = 4,57 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	MERCURIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	3,819	0,751	16,43%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	3,782	0,788	17,25%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	3,855	0,715	15,64%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	3,718	0,852	18,65%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	3,684	0,886	19,39%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	3,753	0,817	17,87%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	3,608	0,962	21,05%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	3,582	0,988	21,61%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	3,638	0,932	20,40%

TABLA 29: Resultados de Mercurio del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Mercurio = 4,57 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	MERCURIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	4,062	0,508	11,12%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	4,043	0,527	11,53%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	4,098	0,472	10,32%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	3,974	0,596	13,04%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	3,950	0,620	13,57%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	3,991	0,579	12,67%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	3,854	0,716	15,67%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	3,846	0,724	15,84%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	3,891	0,679	14,85%

TABLA 30: Resultados de Mercurio del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Mercurio = 4,57 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	MERCURIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	4,001	0,569	12,45%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	4,014	0,556	12,17%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	3,984	0,586	12,82%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	3,927	0,643	14,07%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	3,810	0,760	16,63%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	3,803	0,767	16,78%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	3,824	0,746	16,32%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	3,703	0,867	18,97%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	3,700	0,870	19,04%

TABLA 31: Resultados de Mercurio del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

NÍQUEL

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Níquel = 63,78 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	NÍQUEL mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	54,640	9,140	14,33%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	54,972	8,808	13,81%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	54,691	9,089	14,25%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	52,249	11,531	18,08%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	51,553	12,227	19,17%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	52,185	11,595	18,18%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	49,123	14,657	22,98%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	48,932	14,848	23,28%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	50,252	13,528	21,21%

TABLA 32: Resultados de Níquel del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Níquel = 63,78 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	NÍQUEL mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	54,187	9,593	15,04%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	53,900	9,880	15,49%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	53,543	10,237	16,05%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	51,872	11,908	18,67%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	51,426	12,354	19,37%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	50,424	13,356	20,94%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	49,678	14,102	22,11%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	49,468	14,312	22,44%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	49,206	14,574	22,85%

TABLA 33: Resultados de Níquel del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Níquel = 63,78 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	NÍQUEL mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	56,873	6,907	10,83%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	57,007	6,773	10,62%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	57,447	6,333	9,93%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	56,018	7,762	12,17%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	55,827	7,953	12,47%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	56,535	7,245	11,36%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	55,151	8,629	13,53%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	54,762	9,018	14,14%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	55,182	8,598	13,48%

TABLA 34: Resultados de Níquel del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

PLOMO

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Plomo = 187,56 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	PLOMO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	171,392	16,168	8,62%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	165,709	21,851	11,65%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	163,627	23,933	12,76%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	163,384	24,176	12,89%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	162,746	24,814	13,23%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	162,539	25,021	13,34%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	158,244	29,316	15,63%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	156,631	30,929	16,49%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	157,775	29,785	15,88%

TABLA 35: Resultados de Plomo del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Plomo = 187,56 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	PLOMO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	159,764	27,796	14,82%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	158,638	28,922	15,42%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	161,827	25,733	13,72%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	154,249	33,311	17,76%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	154,287	33,273	17,74%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	156,688	30,872	16,46%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	148,022	39,538	21,08%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	144,665	42,895	22,87%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	148,529	39,031	20,81%

TABLA 36: Resultados de Plomo del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Plomo = 187,56 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	PLOMO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	166,872	20,688	11,03%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	164,993	22,567	12,03%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	167,060	20,500	10,93%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	162,127	25,433	13,56%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	158,901	28,659	15,28%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	163,646	23,914	12,75%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	157,700	29,860	15,92%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	156,219	31,341	16,71%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	160,308	27,252	14,53%

TABLA 37: Resultados de Plomo del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

ZINC

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Zinc = 112,67 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	ZINC mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	99,105	13,565	12,04%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	99,341	13,329	11,83%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	98,789	13,881	12,32%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	93,561	19,109	16,96%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	94,350	18,320	16,26%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	92,085	20,585	18,27%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	91,466	21,204	18,82%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	90,722	21,948	19,48%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	89,088	23,582	20,93%

TABLA 38: Resultados de Zinc del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Zinc = 112,67 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	ZINC mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	98,113	14,557	12,92%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	96,310	16,360	14,52%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	97,437	15,233	13,52%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	91,781	20,889	18,54%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	92,637	20,033	17,78%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	92,536	20,134	17,87%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	84,807	27,863	24,73%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	86,294	26,376	23,41%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	87,894	24,776	21,99%

TABLA 39: Resultados de Zinc del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Zinc = 112,67 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	ZINC mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	100,220	12,450	11,05%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	98,710	15,594	13,84%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	97,076	17,937	15,92%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	97,076	13,960	12,39%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	96,051	16,619	14,75%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	94,913	19,852	17,62%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	94,733	15,594	13,84%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	92,818	17,757	15,76%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	92,468	20,202	17,93%

TABLA 40: Resultados de Zinc del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

AMONIO

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de Amonio = 613, 259 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	AMONIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	529,071	84,187	13,73%
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	515,472	97,786	15,95%
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	528,349	84,909	13,85%
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	492,640	120,619	19,67%
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	493,921	119,337	19,46%
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	501,471	111,787	18,23%
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	456,288	156,970	25,60%
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	465,750	147,508	24,05%
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	484,650	128,609	20,97%

TABLA 41: Resultados del Amonio del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de Amonio = 613, 259 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	AMONIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. CAJA 1	13/08/2011	15	521,642	91,617	14,94%
B. CAJA 2	13/08/2011	15	538,499	74,760	12,19%
B. CAJA 3	13/08/2011	15	537,145	76,113	12,41%
B. CAJA 1	27/08/2011	30	479,653	133,606	21,79%
B. CAJA 2	27/08/2011	30	501,925	111,333	18,15%
B. CAJA 3	27/08/2011	30	502,605	110,654	18,04%
B. CAJA 1	10/09/2011	45	448,569	164,690	26,85%
B. CAJA 2	10/09/2011	45	471,638	141,621	23,09%
B. CAJA 3	10/09/2011	45	472,457	140,802	22,96%

TABLA 42: Resultados del Amonio del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de Amonio = 613, 259 mg/kg

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	AMONIO mg/kg	DEGRADACIÓN mg/kg	% DE DEGRADACIÓN
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	509,864	103,394	16,86%
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	518,215	95,043	15,50%
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	515,015	98,243	16,02%
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	479,641	133,617	21,79%
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	497,830	115,428	18,82%
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	499,915	113,344	18,48%
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	448,770	164,489	26,82%
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	466,432	146,826	23,94%
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	483,881	129,378	21,10%

TABLA 43: Resultados del Amonio del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Biodigestor de Bidón

Valor de la Muestra Inicial de la Conductividad Eléctrica = 3,22 ds/m

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ds/m
B. DE BIDÓN 1	13/08/2011	15	2,800
B. DE BIDÓN 2	13/08/2011	15	3,170
B. DE BIDÓN 3	13/08/2011	15	2,750
B. DE BIDÓN 1	27/08/2011	30	2,690
B. DE BIDÓN 2	27/08/2011	30	2,970
B. DE BIDÓN 3	27/08/2011	30	2,550
B. DE BIDÓN 1	10/09/2011	45	2,430
B. DE BIDÓN 2	10/09/2011	45	2,510
B. DE BIDÓN 3	10/09/2011	45	2,210

TABLA 44: Resultados de La Conductividad Eléctrica del Biodigestor de Bidón.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Caja

Valor de la Muestra Inicial de la Conductividad Eléctrica = 3,22 ds/m

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ds/m
B. CAJA 1	13/08/2011	15	1,060
B. CAJA 2	13/08/2011	15	1,070
B. CAJA 3	13/08/2011	15	0,960
B. CAJA 1	27/08/2011	30	1,030
B. CAJA 2	27/08/2011	30	1,040
B. CAJA 3	27/08/2011	30	0,930
B. CAJA 1	10/09/2011	45	1,030
B. CAJA 2	10/09/2011	45	1,040
B. CAJA 3	10/09/2011	45	0,930

TABLA 45: Resultados de La Conductividad Eléctrica del Biodigestor de Caja.

FUENTE: La Autora.

Biodigestor de Bolsa

Valor de la Muestra Inicial de la Conductividad Eléctrica = 3,22 ds/m

TIPO	FECHA	TIEMPO RETENCIÓN	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ds/m
B. DE BOLSA 1	13/08/2011	15	2,710
B. DE BOLSA 2	13/08/2011	15	3,120
B. DE BOLSA 3	13/08/2011	15	2,640
B. DE BOLSA 1	27/08/2011	30	2,530
B. DE BOLSA 2	27/08/2011	30	2,890
B. DE BOLSA 3	27/08/2011	30	2,330
B. DE BOLSA 1	10/09/2011	45	2,01
B. DE BOLSA 2	10/09/2011	45	2,34
B. DE BOLSA 3	10/09/2011	45	2,11

TABLA 46: Resultados de La Conductividad Eléctrica del Biodigestor de Bolsa.

FUENTE: La Autora.

DATOS MICROBIOLÓGICOS

	TIPO DE MICROORGANISMO	DATOS
PRODUCTO FINAL COMPOST DE LECHUGUÍN	Coliformes Fecales	834 NMP por gramo de compost.
	Salmonella sp	0,06473 NMP en 4g de compost.
NMP = Número más Probable.		
Materia Prima en base seca.		

TABLA 47: Resultados de los Análisis Microbiológicos del Producto Final.

FUENTE: La Autora.

3.1.1 Calidad de Abonos Orgánicos Según la Norma Chilena Oficial NCh2880.Of2004

Según los datos obtenidos luego de los análisis de cada una de las muestras de Lechuguín, tenemos que analizar los resultados y compararlos con normas que rigen la calidad de los abonos orgánicos, determinando así si cumplen o no los parámetros considerados dentro del experimento.

Para la cual citaremos los parámetros que hemos considerado dentro de nuestro estudio, los cuales son: nitrógeno, relación carbono/nitrógeno, metales pesados, conductividad eléctrica y maduración, los que están considerados dentro de la Norma Chilena para Compost.

*NORMA CHILENA OFICIAL (CHILE)

4 CLASIFICACIÓN

De acuerdo a su nivel de calidad, el compost se clasifica en las Clases siguientes:

- a) **Compost Clase A:** producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase A. Debe cumplir con las concentraciones máximas de metales pesados de Tabla 3. Su conductividad eléctrica debe ser menor a tres decisiemens por metro (3dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 25. Este producto no presenta restricciones de uso.
- b) **Compost Clase B:** producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase B. Debe cumplir con las concentraciones máximas de metales pesados de Tabla 4. Su conductibilidad eléctrica debe ser menor a ocho decisiemens por metro (8dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 30. Este producto puede presentar algunas restricciones de uso si su conductividad eléctrica es mayor de tres decisiemens por metro (3dS/m).

5.1 REQUISITOS GENERALES

5.1.3 Para certificar una partida de compost se debe presentar informes de resultados de laboratorios acreditados, de, a lo menos los ensayos siguientes: coliformes fecales, salmonella, humedad, relación carbono/nitrógeno, conductividad eléctrica, pH y madurez. La Autoridad Competente podrá exigir otros ensayos si lo estima conveniente.

5.2.4 Las materias primas para compostaje deben presentar un nivel de elementos traza, no mayor a los valores establecidos en Tabla 1 siguiente:

Tabla 1 - Concentración máxima de metales pesados en materias primas para compostaje

Elementos traza	Concentración máxima (mg/kg) base seca ¹⁾
Cadmio	10
Cobre	1 500
Cromo	1 000
Mercurio	10
Níquel	200
Plomo	800
Zinc	3 000

1) Concentraciones expresadas como contenidos totales.

5.3.2 Requisitos sanitarios

Todas las clases de compost deben cumplir con los requisitos de tolerancia de patógenos como se establece en Tabla 2 siguiente:

Tabla 2 - Requisitos microbiológicos

Tipo de microorganismo	Tolerancia
1. Coliformes fecales	< a 1 000 NMP por gramo de compost, en base seca
2. <i>Salmonella sp</i>	3 NMP en 4 g de compost, en base seca
3. Huevos de helmintos viables ¹⁾	1 en 4 g de compost, en base seca

NMP = Número Más Probable.

1) El análisis sólo será exigible a requerimiento expreso de la Autoridad Competente.

5.4 REQUISITOS FÍSICOS Y QUÍMICOS

5.4.1 Contenido de nutrientes

El compost debe tener contenidos de nitrógeno total mayor o igual a 0,5%, expresado sobre base seca.

5.4.3 Humedad

El compost debe presentar un contenido de humedad entre 30% y 45% de la masa del producto, en base húmeda.

5.4.4 Metales pesados

- a) El compost Clase A, proveniente de lodos estabilizados o tratados o de otras materias primas establecidas en la presente norma, debe cumplir con los requisitos de concentraciones máximas de metales pesados indicados en Tabla 3 siguiente:

Tabla 3 - Concentraciones máximas de metales pesados en compost

Metal pesado	Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca)¹
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Níquel	20
Plomo	100
Zinc	200

- b) El compost Clase B, proveniente de lodos estabilizados o tratados o de otras materias primas establecidas en la presente norma, que no cumpla con los requisitos establecidos en Tabla 3 debe, a lo menos, cumplir con los requisitos de concentraciones máximas permitidas de metales pesados indicados en Tabla 4 siguiente:

Tabla 4 - Concentraciones máximas de metales pesados en compost producidos en base a lodos

Metal pesado	Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca)¹⁾
Arsénico	20
Cadmio	8
Cobre	1 000
Cromo	600
Mercurio	4
Níquel	80
Plomo	300
Zinc	2 000

1) Concentraciones expresadas como contenidos totales.

5.4.5 Conductividad eléctrica

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de conductividad eléctrica, medida en base a una dilución 1:5, siguientes:

- a) Para el compost Clase A, la conductividad eléctrica debe ser menor a 3 dS/m.
- b) Para el compost Clase B, la conductividad eléctrica debe ser menor o igual a 8 dS/m.

5.4.6 Relación carbono/nitrógeno (C/N), expresada como el cociente entre carbono orgánico total y nitrógeno total

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de relación C/N siguientes:

- a) Para el compost Clase A, la relación C/N debe ser menor o igual a 25.

b) Para el compost Clase B, la relación C/N debe ser menor o igual a 30.

5.4.7 Madurez

El compost debe cumplir los requisitos de madurez que se establecen en los puntos a) y b) siguientes:

- a) La relación C/N debe ser menor o igual a 30. Si no cumple esta condición, el compost se considera inmaduro y no se le aplica otro ensayo.
- b) Presentar niveles dentro de los rangos establecidos para compost maduro en dos ensayos elegidos libremente, uno de entre los que componen el grupo 1 y otro de entre los que componen el grupo 2, como se indica en Tabla 5 siguiente:

Tabla 5 - Análisis complementarios para determinar madurez de compost

Test del Grupo 1	Rangos de aceptación para compost
Evolución de CO_2 (Respiración)	Menor o igual a 8 mg de $C-CO_2/g$ de materia orgánica por día
Absorción de O_2	Menor o igual a 3,5 mg de oxígeno/g de materia orgánica por día
Autocalentamiento	Menor o igual a 20°C
Test del Grupo 2	
Relación Amonio / Nitrato	Menor o igual a 3
Concentración de Amonio	Menor o igual a 500 mg/kg
Contenido de ácidos orgánicos	Menor o igual a 300 mg/kg
Germinación de rabanitos	Mayor o igual a 80%

5.4.8 pH

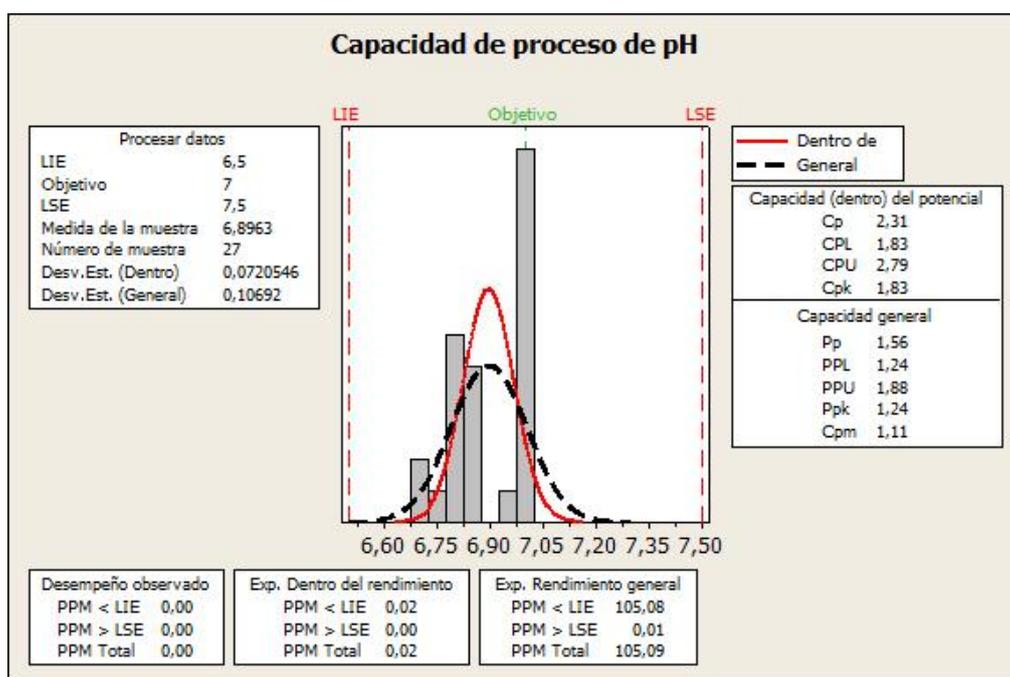
El pH del compost debe estar comprendido entre 5,0 y 8,5.

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Para la realización del análisis de los datos obtenidos utilizamos el programa MINITAB versión 15 en Español.

3.2.1 Resultados de los Análisis de las Muestras

ANÁLISIS DEL pH



GRAFICA 1: Capacidad de Proceso del pH.

FUENTE: La Autora.

Para realizar el análisis del pH utilizamos el Análisis de Capacidad Normal, en donde se plantea un límite inferior, límite superior y objetivo para el proceso, los mismos que nos ayudan a determinar si los valores se encuentran dentro o fuera de los rangos establecidos.

En la Gráfica 1 tenemos que el límite inferior es 6,5 y el superior es 7,5; límites tomados del “Manual para la Generación de Biogás y Bioabono en la Industria Agropecuaria” (FILMTEX, 2008)²⁸.

²⁸ FILMTEX, *Manual para la Generación de Biogás y Bioabono en la Industria Agropecuaria*. 2008

Observamos que los valores obtenidos del pH están dentro de los rangos establecidos, y que ninguno queda fuera de los límites planteados, lo que significa que no hay valores menores o mayores a los límites; y aunque los valores no sigan una distribución normal, el valor de la media que en este caso es 6,8963 está ligeramente por debajo del objetivo que es 7,00.

El índice Ppk indica si los valores se encuentran dentro de los límites de tolerancia, en este caso, el índice Ppk es 1,24, lo que significa que se debe mejorar el proceso al reducir la variabilidad y centrar los valores al objetivo.

En nuestro análisis tenemos que el índice $PPL < PPU$, lo que nos indica que el proceso no está centrado. Es más probable que existan valores que violen el límite de especificación inferior. Del mismo modo el PPM Total (Exp. Rendimiento General) es el número de partes por millón (105,09) cuya característica de interés está justo dentro de los límites de tolerancia, lo que significa que a pesar de estar dentro de los rangos puede que aproximadamente 105,09 de cada 1 millón de valores tomados no cumplan con los rangos establecidos.

Aunque los valores obtenidos del pH se encuentran dentro de los límites de la gráfica, podemos concluir que se debe dar un mejor control del mismo, para así de esta manera mejorar el proceso y tener mejores resultados.

ANÁLISIS DEL NITRÓGENO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Nitrógeno, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: NITRÓGENO vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,047880	0,0239399	38,73	0
DIAS	2	0,098304	0,0491522	79,52	0
INTERACCIÓN	4	0,000788	0,0001971	0,32	0,862
ERROR	18	0,011126	0,0006181		
TOTAL	26	0,158098			

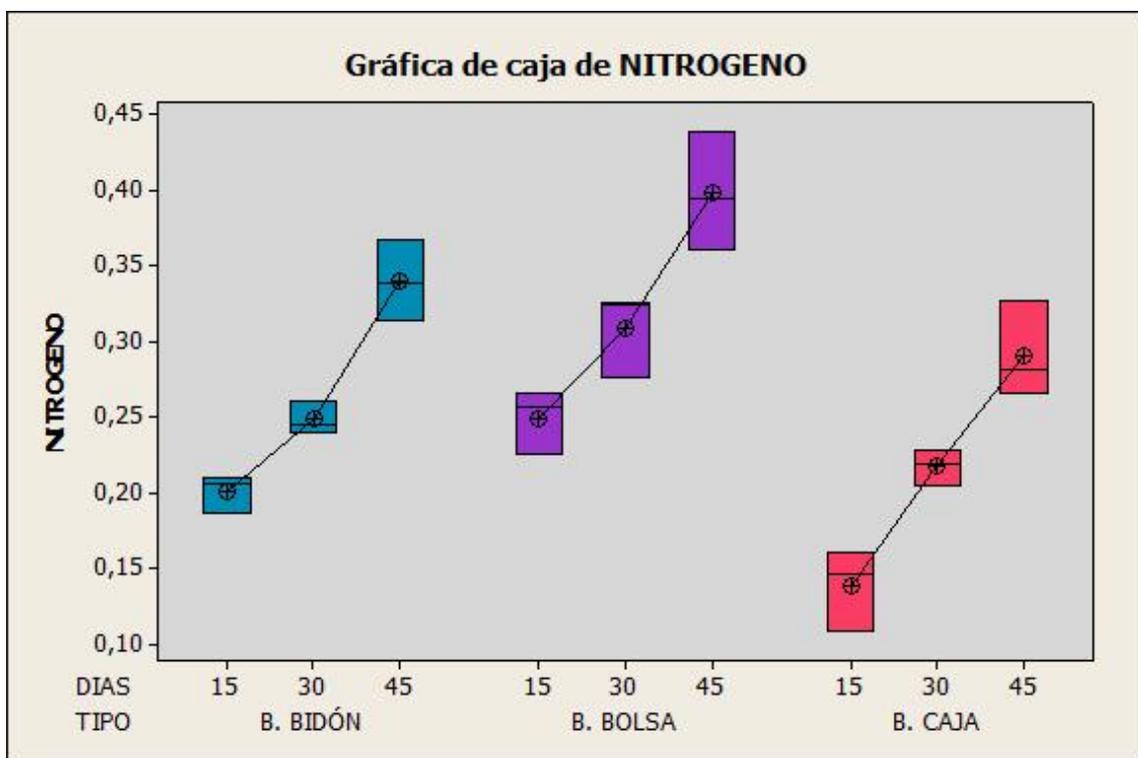
S = 0,02486 R-cuad. = 92,96 % R-cuad. (ajustado) = 89,84 %

TABLA 48: Anova de Dos Factores: Nitrógeno vs. Tipo y Días.

FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 48 tenemos que el nitrógeno tiene un R-cuadrado igual a 92,96% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 89,84% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que $P(0,00)$ es menor a $0,05$, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 2, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que no hay evidencia de significancia para la interrelación entre estos dos factores ya que $P(0,862)$ es mayor que el valor $0,05$; ya que si tomamos en la Gráfica 2 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que en este caso si existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

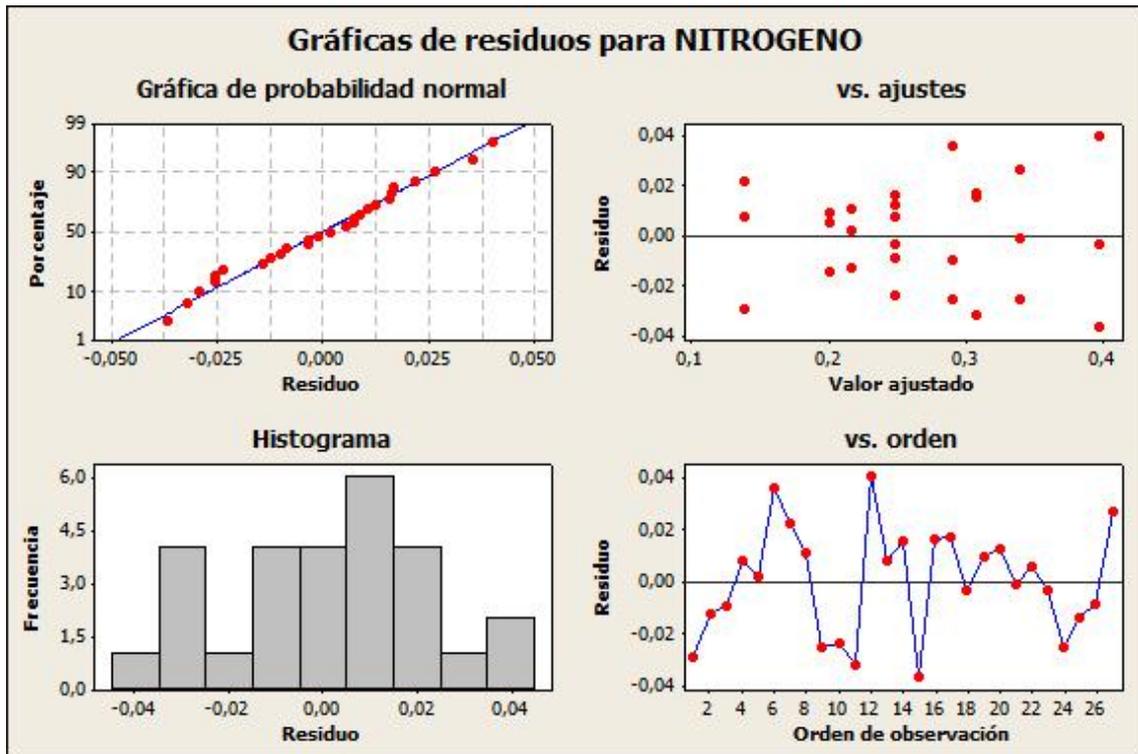


GRAFICA 2: Gráfica de Caja de los Valores del Nitrógeno.

FUENTE: La Autora.

²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York.. 1995*

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En I. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev. 1981*



GRAFICA 3: Gráfica de Residuos de los Valores del Nitrógeno.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,04 hasta 0,04 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,02486$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student,

empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

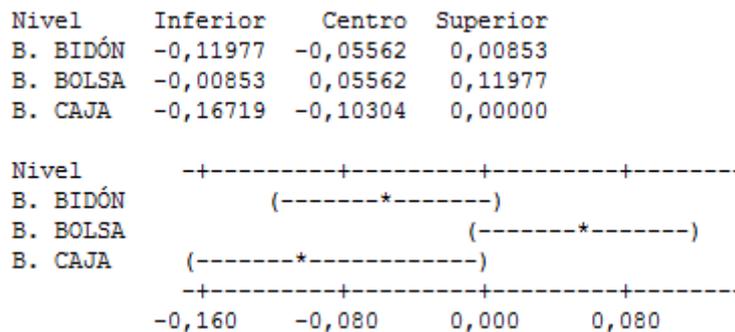
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

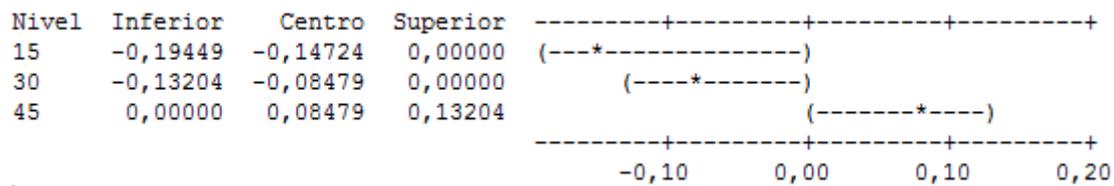
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 4: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del nitrógeno tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presento es el Biodigestor de bolsa, ya que los valores obtenidos la Gráfica 4 nos indican que el límite inferior es de -0,00853, la media es de 0,05562 y el límite superior es 0,11977 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros biodigestores es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bidón y por último el Biodigestor de caja.



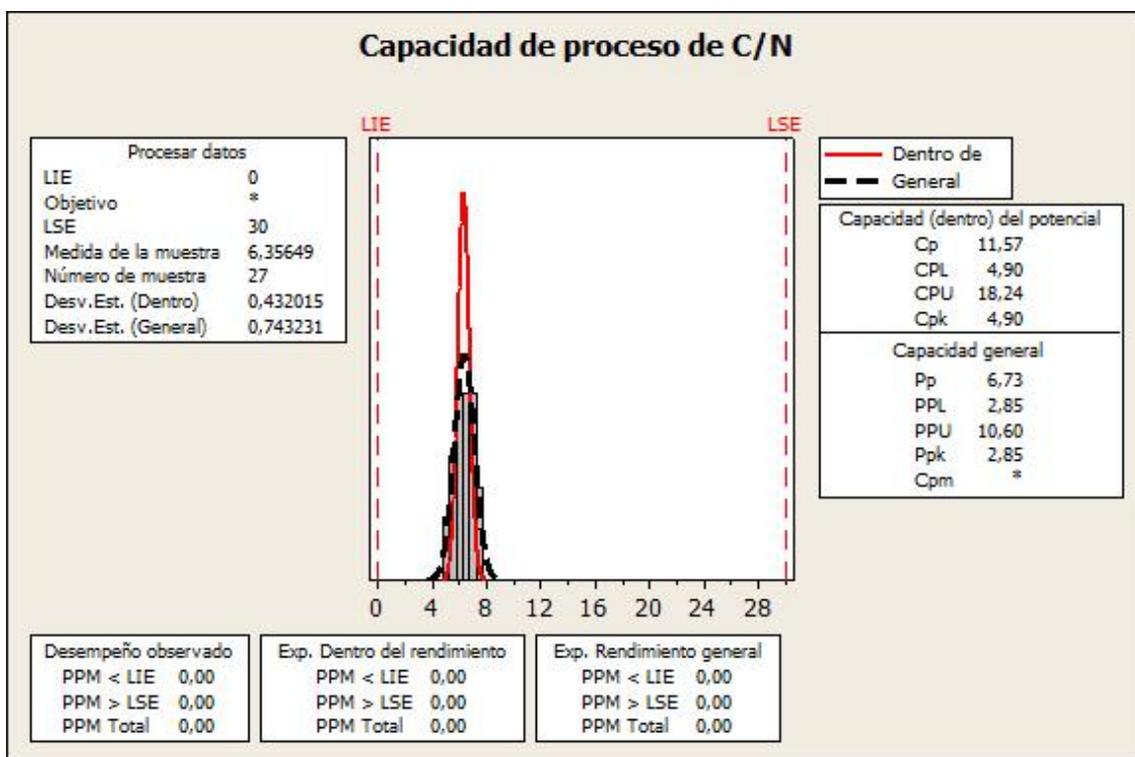
GRAFICA 5: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 5 tenemos que el mejor Tiempo de Retención es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior 0,00, la media es de 0,08479 y el límite superior de 0,13204 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros Tiempo de Retención presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0B_0} ya que el Biodigestor de bolsa es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T_3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia, por lo tanto es más significativo.

ANÁLISIS DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO



GRAFICA 6: Capacidad de Proceso del pH.

FUENTE: La Autora.

Para realizar el análisis del Relación Carbono/Nitrógeno utilizamos el Análisis de Capacidad Normal, en donde se plantea un límite inferior, límite superior y objetivo para el proceso, los mismos que nos ayudan a determinar si los valores se encuentran dentro o fuera de los rangos establecidos.

En la Gráfica 6 tenemos que el límite inferior es 0 y el superior es 30. Observamos que los valores obtenidos del Relación Carbono/Nitrógeno están dentro de los rangos establecidos, y que ninguno queda fuera de los límites planteados, lo que significa que no hay valores menores o mayores a los límites; y que los valores siguen una distribución normal, ya que sobre el histograma se sobrepone una curva normal, en donde los valores se ajustan a la misma.

El índice Ppk indica si los valores se encuentran dentro de los límites de tolerancia, en este caso, el índice Ppk es 2,85, lo que significa que se debe mejorar el proceso al reducir la variabilidad y centrar los valores.

En nuestro análisis tenemos que el índice $PPL < PPU$, lo que nos indica que el proceso no está centrado. Es más probable que existan valores que violen el límite de especificación inferior. Del mismo modo el PPM Total (Exp. Rendimiento General) es el número de partes por millón (0,00) cuya característica de interés está dentro de los límites de tolerancia, lo que significa 0,00 de cada un millón de valores tomados que no se encuentren dentro del rango del proceso, lo que significa que hay una nulidad de que esto suceda.

Aunque los valores obtenidos del Relación Carbono/Nitrógeno se encuentran dentro de los límites de la gráfica, podemos concluir que se debe dar un mejor control del mismo, para así de esta manera mejorar el proceso y tener mejores resultados.

ANÁLISIS DE METALES PESADOS

ARSÉNICO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Arsénico, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: ARSÉNICO vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,004754	0,0023772	19,6	0,00
DIAS	2	0,041681	0,0208403	171,85	0,00
INTERACCIÓN	4	0,000174	0,0000435	0,36	0,834
ERROR	18	0,002183	0,0001213		
TOTAL	26	0,048792			

S = 0,01101 R-cuad. = 95,53 % R-cuad. (ajustado) = 93,54 %

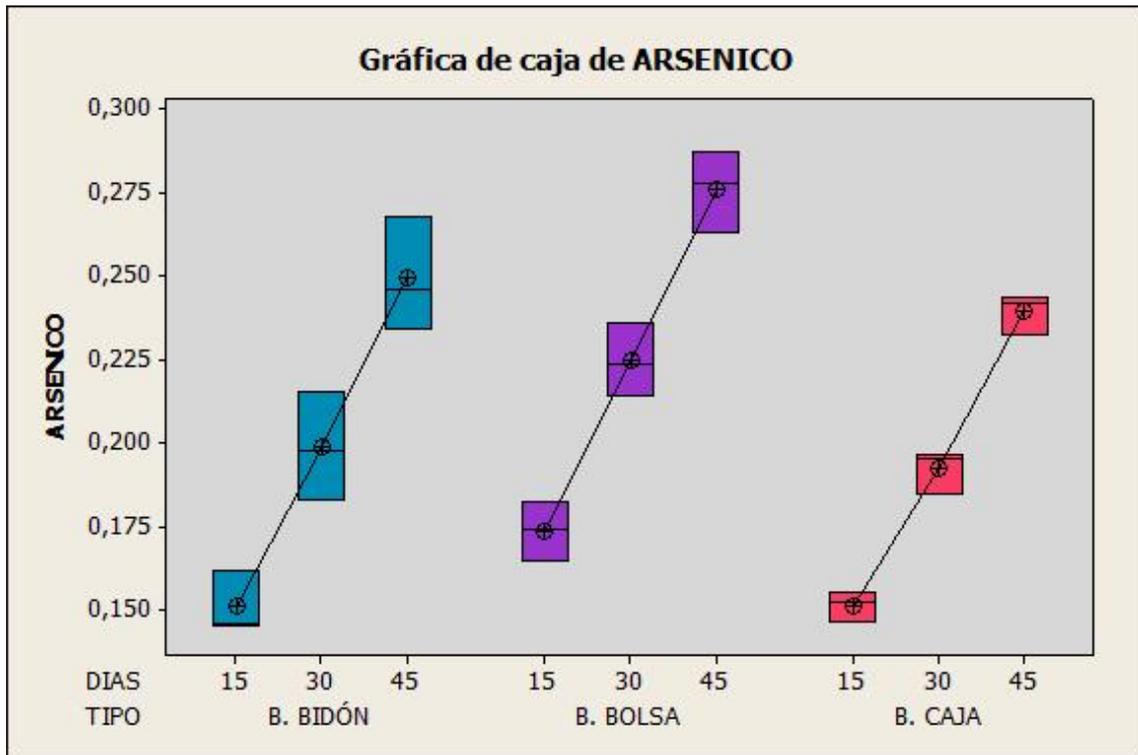
TABLA 49: Anova de Dos Factores: Arsénico vs. Tipo y Días.

FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 49 tenemos que el Arsénico tiene un R-cuadrado igual a 95,53% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 93,54% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que P (0,00) es menor a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 7, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en

el tiempo de retención. De igual manera observamos que no hay evidencia de significancia para la interrelación entre estos dos factores ya que $P(0,834)$ es mayor que el valor $0,05$; ya que si tomamos en la Gráfica 7 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que en este caso si existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

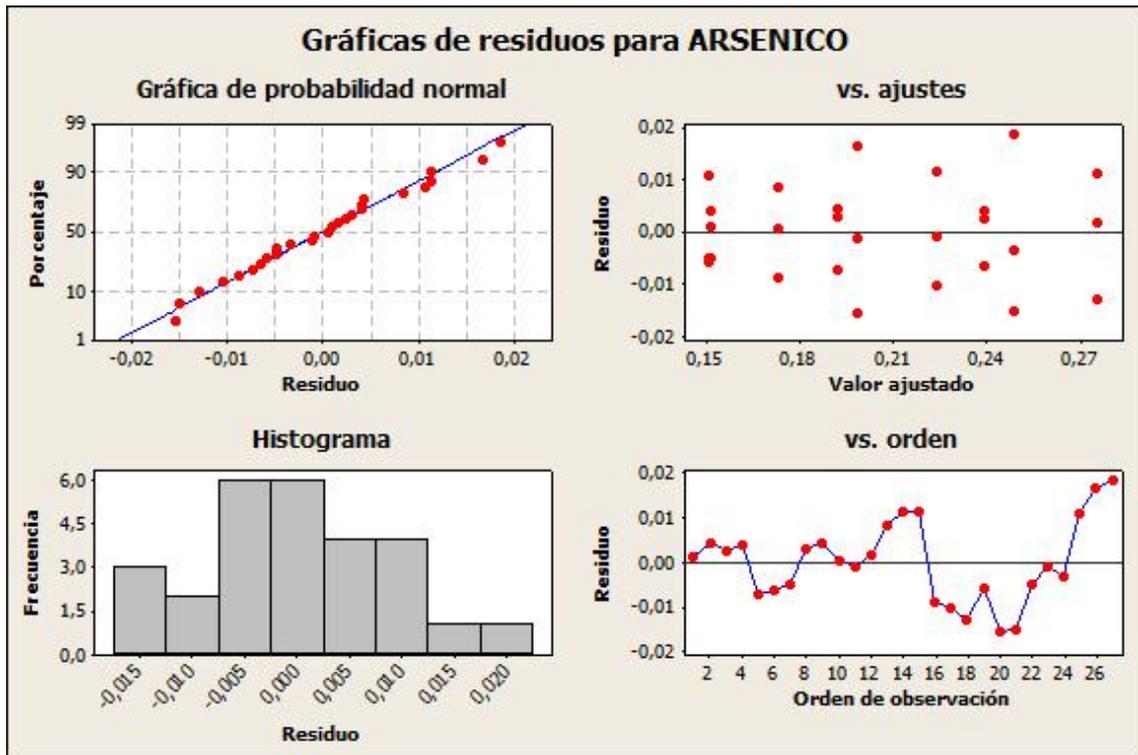


GRAFICA 7: Gráfica de Caja de los Valores del Arsénico.

FUENTE: La Autora.

²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry*. En F. a. co.. New York.. 1995

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology*. . En 1. 5.-6. *Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev.* 1981



GRAFICA 8: Gráfica de Residuos de los Valores del Arsénico.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos a analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,015 hasta 0,020 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,01101$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student,

empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

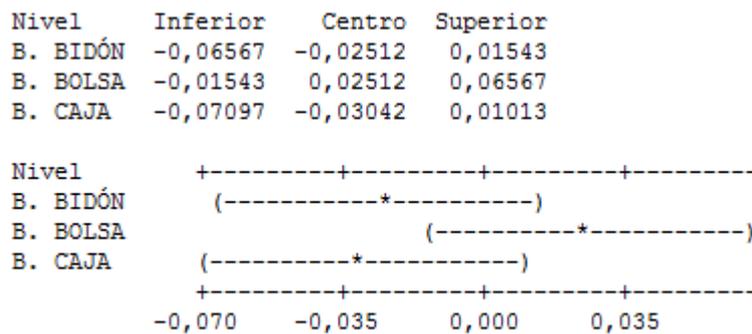
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

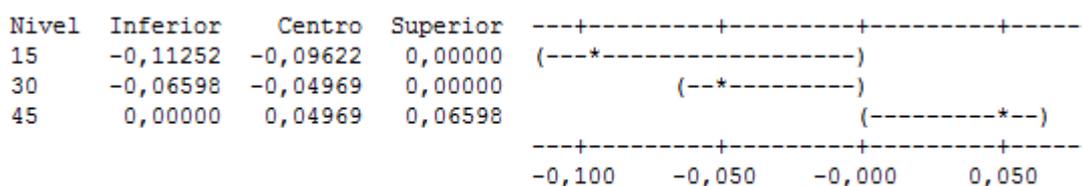
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 9: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Arsénico tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presento es el Biodigestor de bolsa, ya que los valores obtenidos la Gráfica 9 nos indican que el límite inferior es de -0,01543, la media es de 0,02512 y el límite superior es 0,06567 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bidón y por último el Biodigestor de caja.



GRAFICA 10: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 10 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior 0,00, la media es de 00,04969 y el límite superior de 0,06598 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0B_0} ya que el Biodigestor de bolsa es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T_3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia, por lo tanto es más significativo.

CADMIO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Cadmio, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: CADMIO vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,014650	0,0073248	70,2	0,00
DIAS	2	0,040427	0,0202134	193,73	0,00
INTERACCIÓN	4	0,000560	0,0001400	1,34	2,93
ERROR	18	0,001878	0,0001043		
TOTAL	26	0,057515			

$$S = 0,01021 \quad R\text{-cuad.} = 96,73 \% \quad R\text{-cuad. (ajustado)} = 95,28 \%$$

Tabla 50: Anova de Dos Factores: Cadmio vs. Tipo y Días.

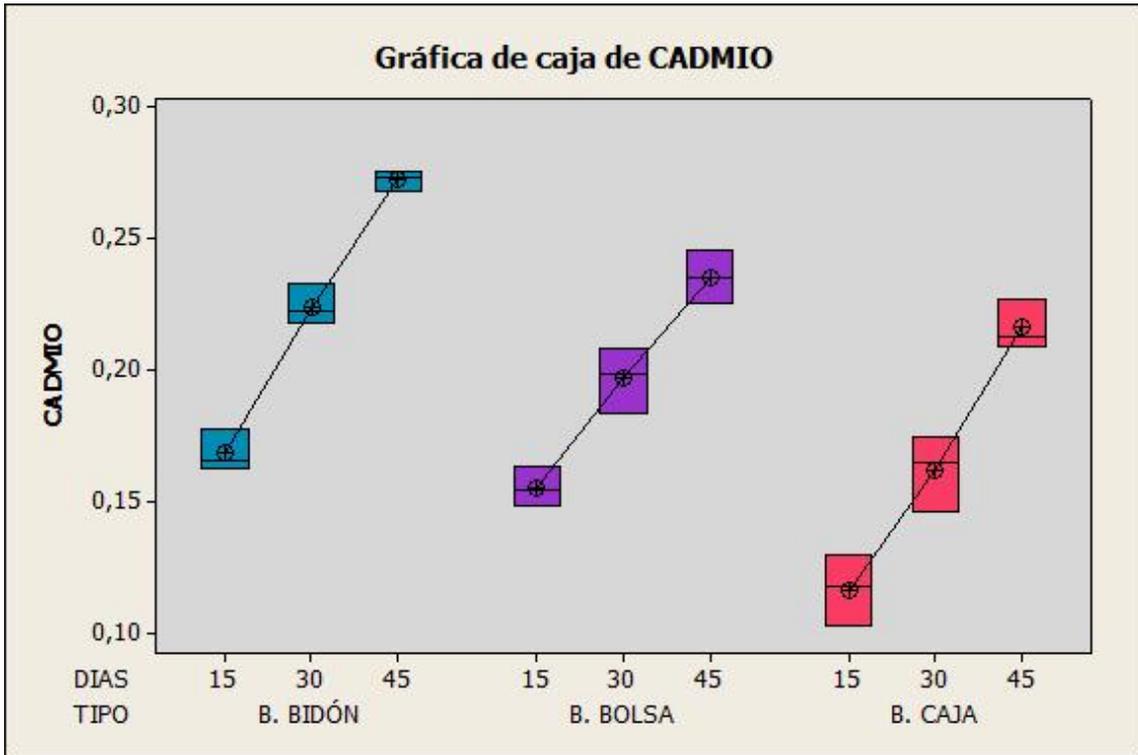
FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 50 tenemos que el Cadmio tiene un R-cuadrado igual a 92,73% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 95,28% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que $P(0,00)$ es menor a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 11, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que no hay evidencia de significancia para la interrelación entre estos dos factores ya que $P(2,93)$ es mayor que el valor 0,05; ya que si tomamos en la Gráfica 11 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que en este caso si existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

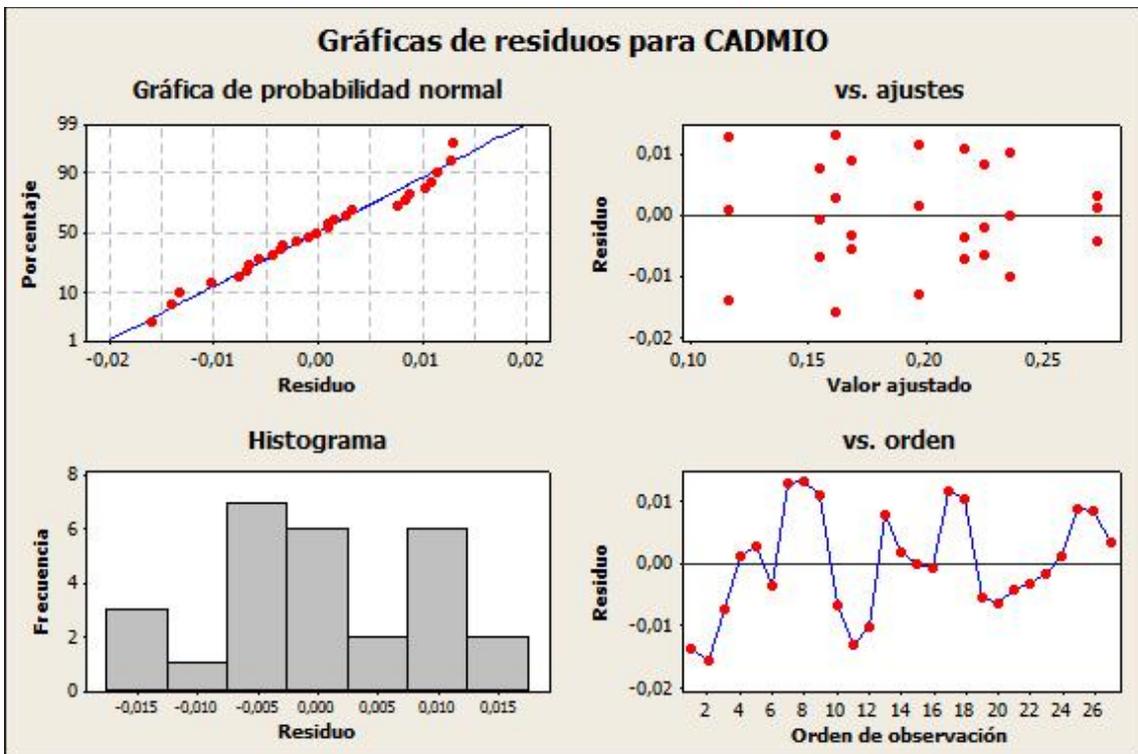
²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York..* 1995

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En 1. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev.* 1981



GRAFICA 11: Gráfica de Caja de los Valores del Cadmio.

FUENTE: La Autora.



GRAFICA 12: Gráfica de Residuos de los Valores del Cadmio.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,015 hasta 0,015 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,01021$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

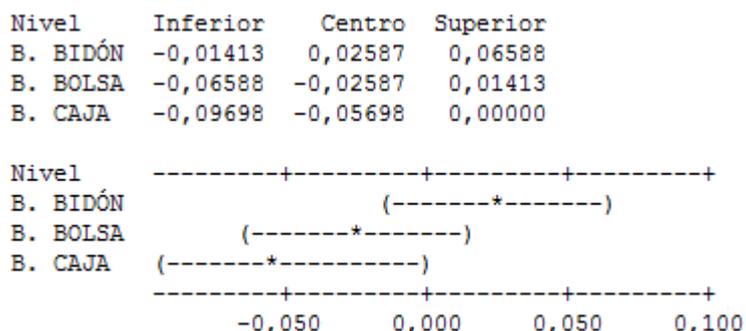
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

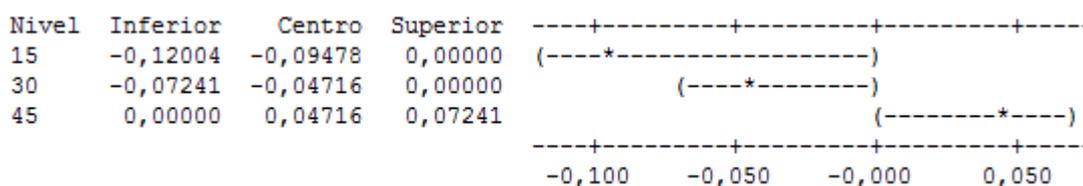
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 13: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Cadmio tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presento es el Biodigestor de bidón, ya que los valores obtenidos la Gráfica 13 nos indican que el límite inferior es de -0,01413, la media es de 0,02587 y el límite superior es 0,06588 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bolsa y por último el Biodigestor de caja.



GRAFICA 14: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 14 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior 0,00, la media es de 0,04716 y el límite superior de 0,07241 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{Bi} ya que el Biodigestor de bidón es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia.

COBRE

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Cobre, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: COBRE vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,003294	0,0016473	27,61	0,00
DIAS	2	0,032974	0,016871	276,34	0,00
INTERACCIÓN	4	0,000087	0,0000218	0,37	0,83
ERROR	18	0,001074	0,0000597		
TOTAL	26	0,037430			

S = 0,007724 R-cuad. = 97,13 % R-cuad. (ajustado) = 95,86 %

Tabla 51: Anova de Dos Factores: Cobre vs. Tipo y Días.

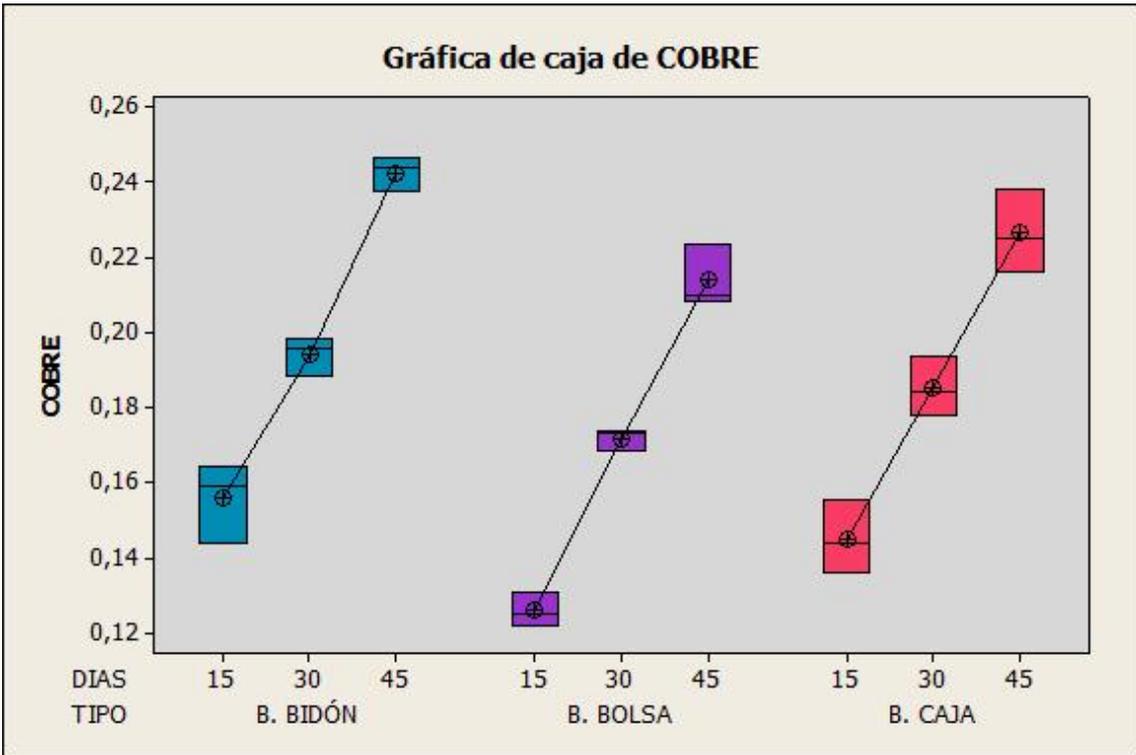
FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 51 tenemos que el Cobre tiene un R-cuadrado igual a 97,13% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 95,86% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que P (0,00) es menor a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 15, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que no hay evidencia de significancia para la interrelación entre estos dos factores ya que P (0,83) es mayor que el valor 0,05; ya que si tomamos en la Gráfica 15 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que en este caso si existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

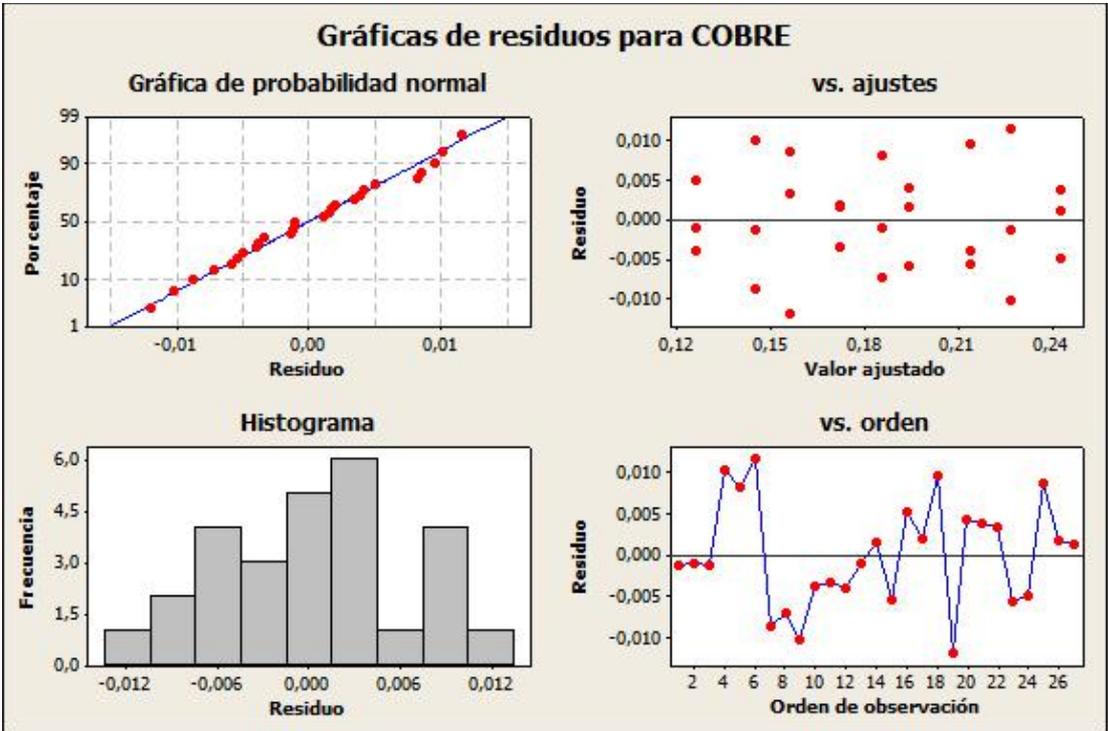
²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York..* 1995

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En 1. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev.* 1981



GRAFICA 15: Gráfica de Caja de los Valores del Cobre.

FUENTE: La Autora.



GRAFICA 16: Gráfica de Residuos de los Valores del Cobre.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,012 hasta 0,012 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,007724$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

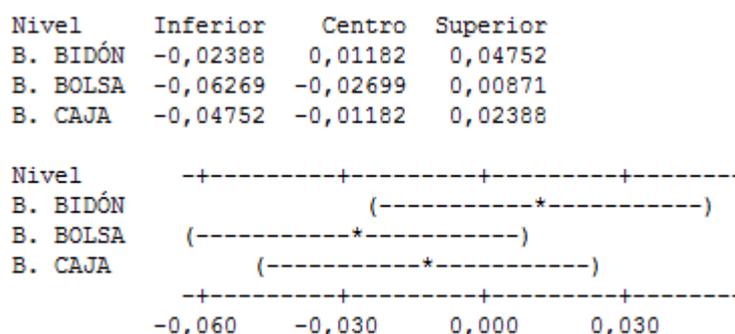
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

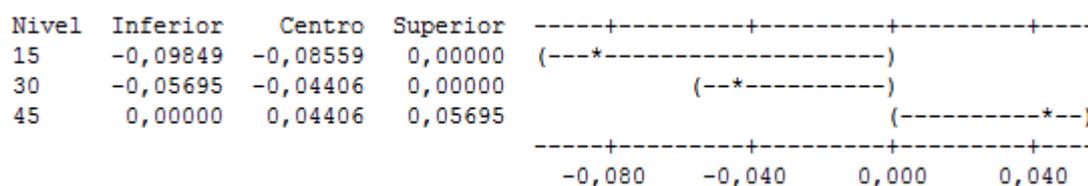
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 17: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Cobre tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presente es el Biodigestor de bidón, ya que los valores obtenidos la Gráfica 17 nos indican que el límite inferior es de -0,02388, la media es de 0,01182 y el límite superior es 0,04752 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de caja y por último el Biodigestor de bolsa.



GRAFICA 18: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 18 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior 0,00, la media es de 0,04406 y el límite superior de 0,05695 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0Bi} ya que el Biodigestor de bidón es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia.

CROMO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Cromo, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: CROMO vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,014063	0,0070317	63,41	0,00
DIAS	2	0,010952	0,054762	49,39	0,00
INTERACCIÓN	4	0,000053	0,0000133	0,12	0,974
ERROR	18	0,001996	0,0001109		
TOTAL	26	0,027065			

S = 0,01053 R-cuad. = 92,63 % R-cuad. (ajustado) = 89,35 %

Tabla 52: Anova de Dos Factores: Cromo vs. Tipo y Días.

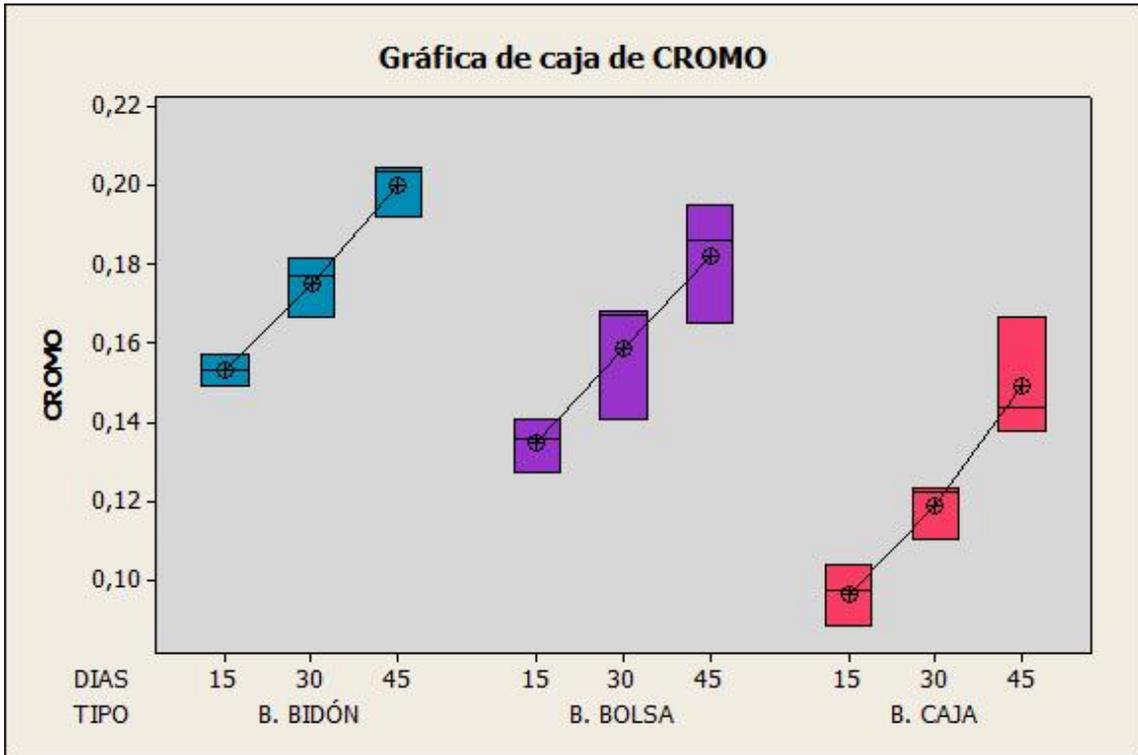
FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 52 tenemos que el Cromo tiene un R-cuadrado igual a 92,63% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 89,35% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que P (0,00) es menor a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 19, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que no hay evidencia de significancia para la interrelación entre estos dos factores ya que P (0,974) es mayor que el valor 0,05; ya que si tomamos en la Gráfica 19 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que en este caso si existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

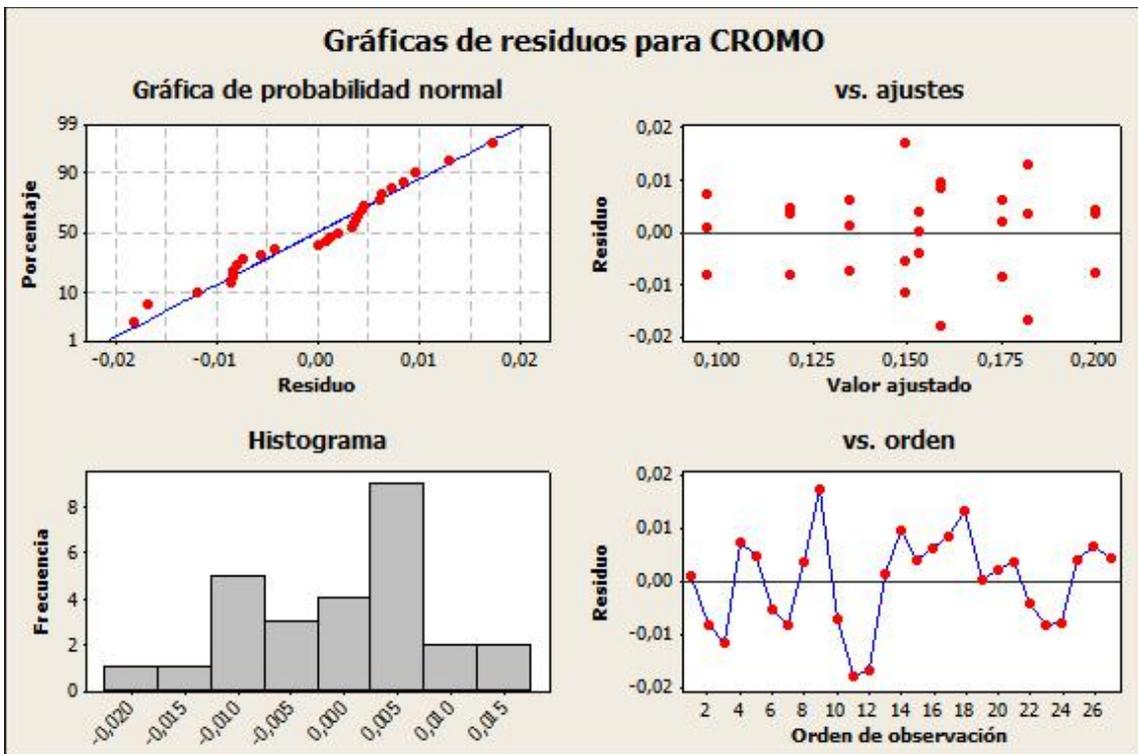
²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York..* 1995

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En 1. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev.* 1981



GRAFICA 19: Gráfica de Caja de los Valores del Cromo.

FUENTE: La Autora.



GRAFICA 20: Gráfica de Residuos de los Valores del Cromo.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,020 hasta 0,015 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,01053$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

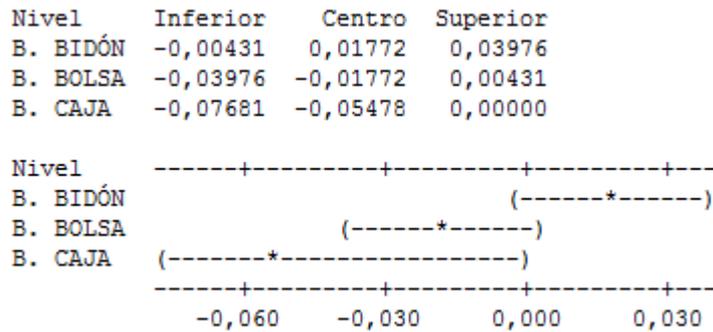
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

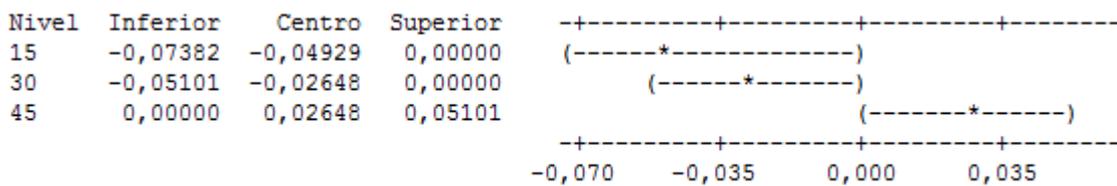
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 21: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Cromo tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presento es el Biodigestor de bidón, ya que los valores obtenidos la Gráfica 21 nos indican que el límite inferior es de -0,00431, la media es de 0,01772 y el límite superior es 0,03976 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bolsa y por último el Biodigestor de caja.



GRAFICA 22: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 22 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior 0,00, la media es de 0,02648 y el límite superior de 0,05101 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0Bi} ya que el Biodigestor de bidón es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia, por lo tanto es más significativo.

MERCURIO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Mercurio, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: MERCURIO vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,013842	0,0069212	85,48	0,00
DIAS	2	0,010772	0,0053859	66,52	0,00
INTERACCIÓN	4	0,000179	0,0000448	0,55	0,7
ERROR	18	0,001457	0,000081		
TOTAL	26	0,026505			

S = 0,008998 R-cuad. = 94,45 % R-cuad. (ajustado) = 91,98 %

Tabla 53: Anova de Dos Factores: Mercurio vs. Tipo y Días.

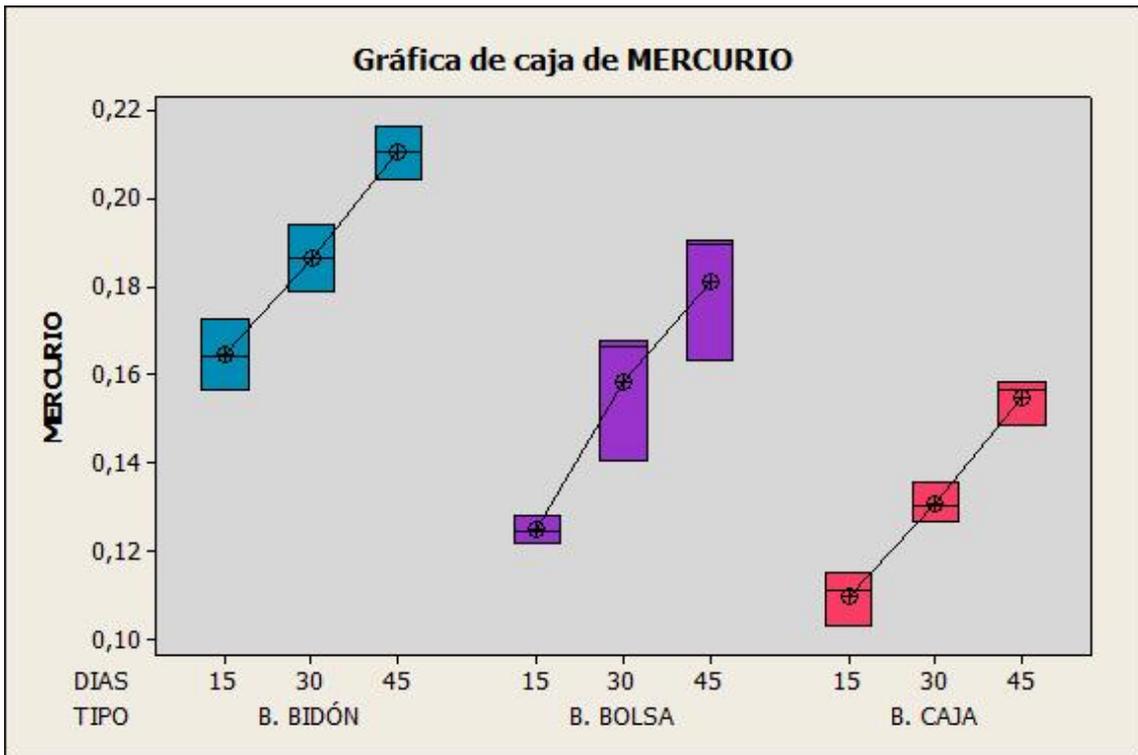
FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 53 tenemos que el Mercurio tiene un R-cuadrado igual a 94,45% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 91,98% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que P (0,00) es menor a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 23, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que no hay evidencia de significancia para la interrelación entre estos dos factores ya que P (0,70) es mayor que el valor 0,05; ya que si tomamos en la Gráfica 23 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que en este caso si existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

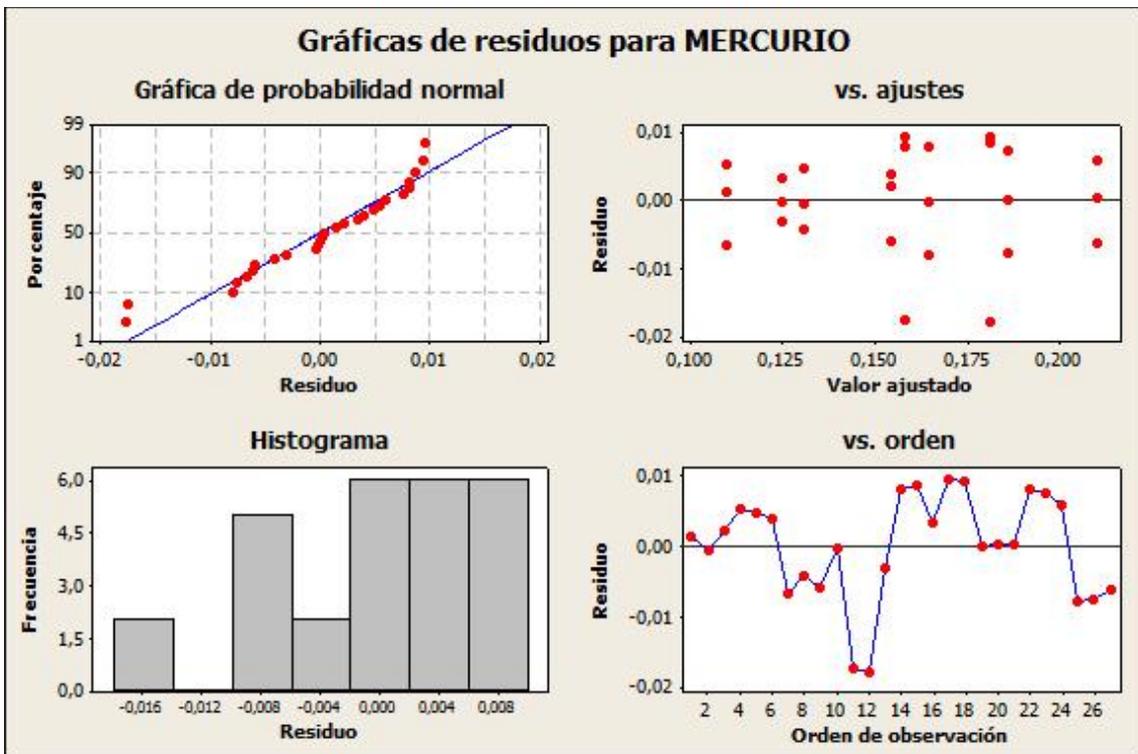
²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York..* 1995

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En 1. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev.* 1981



GRAFICA 23: Gráfica de Caja de los Valores del Mercurio.

FUENTE: La Autora.



GRAFICA 24: Gráfica de Residuos de los Valores del Mercurio.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,016 hasta 0,008 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,008998$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

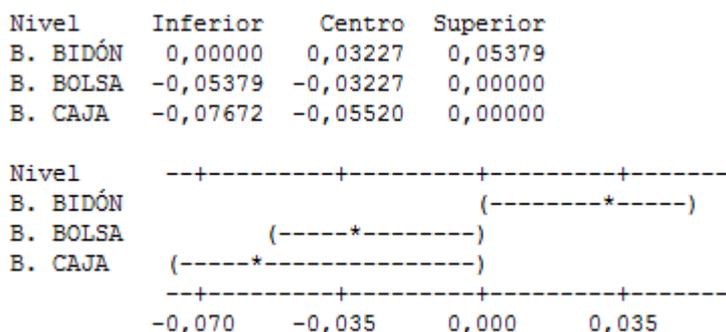
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

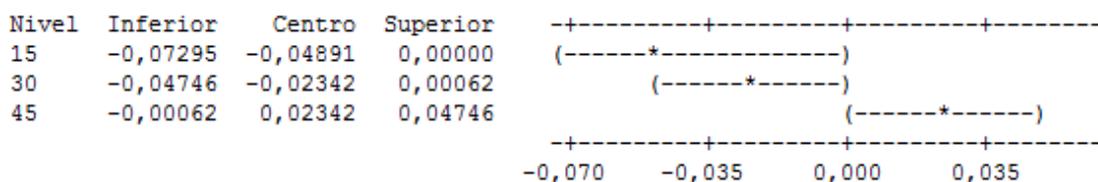
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 25: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Mercurio tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presento es el Biodigestor de bidón, ya que los valores obtenidos la Gráfica 25 nos indican que el límite inferior es de 0,00, la media es de 0,03227 y el límite superior es 0,05379 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bolsa y por último el Biodigestor de caja.



GRAFICA 26: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 26 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior -0,00062, la media es de 0,02342 y el límite superior de 0,04746 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0Bi} ya que el Biodigestor de bidón es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia.

NÍQUEL

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Níquel, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: NÍQUEL vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,027525	0,0137625	300,35	0,00
DIAS	2	0,017254	0,008671	188,28	0,00
INTERACCIÓN	4	0,002140	0,0005350	11,67	0,00
ERROR	18	0,000825	0,0000458		
TOTAL	26	0,047744			

S = 0,006769 R-cuad. = 98,27 % R-cuad. (ajustado) = 97,50 %

Tabla 54: Anova de Dos Factores: Níquel vs. Tipo y Días.

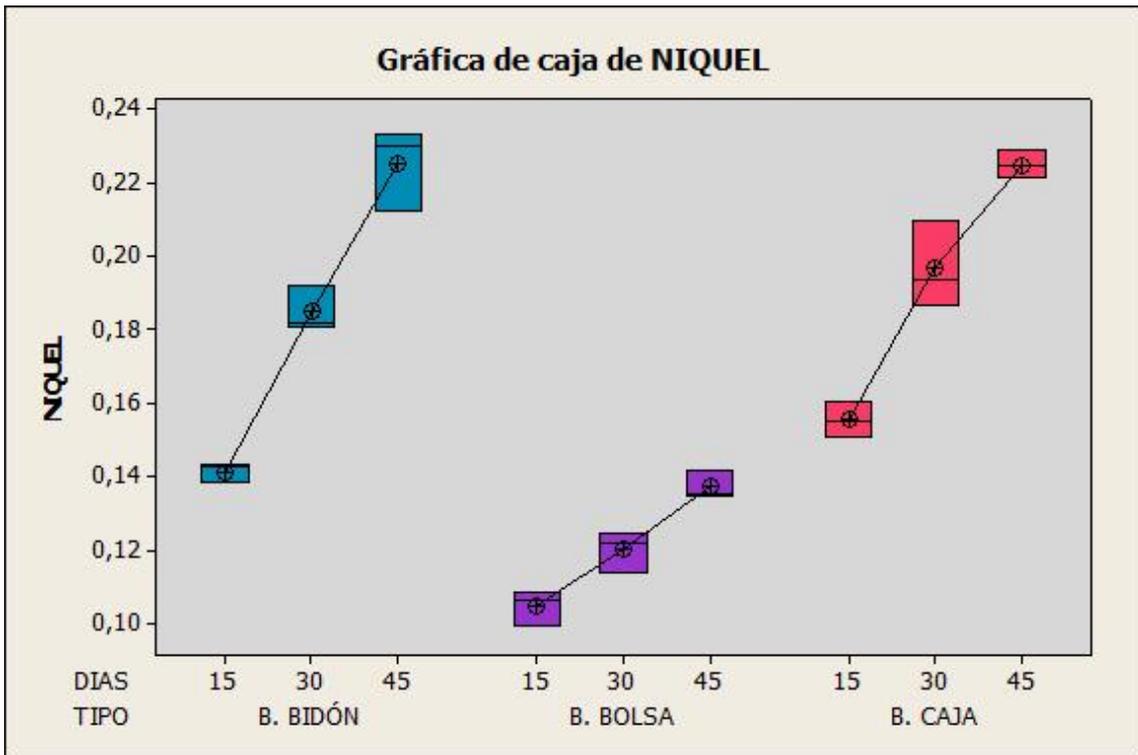
FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 54 tenemos que el Níquel tiene un R-cuadrado igual a 98,27% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 97,50% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que P (0,00) es menor a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 27, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que para la interrelación entre estos dos factores P (0,00) es menor que el valor 0,05 determinándonos que existe significancia; ya que si tomamos en la Gráfica 27 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que no existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

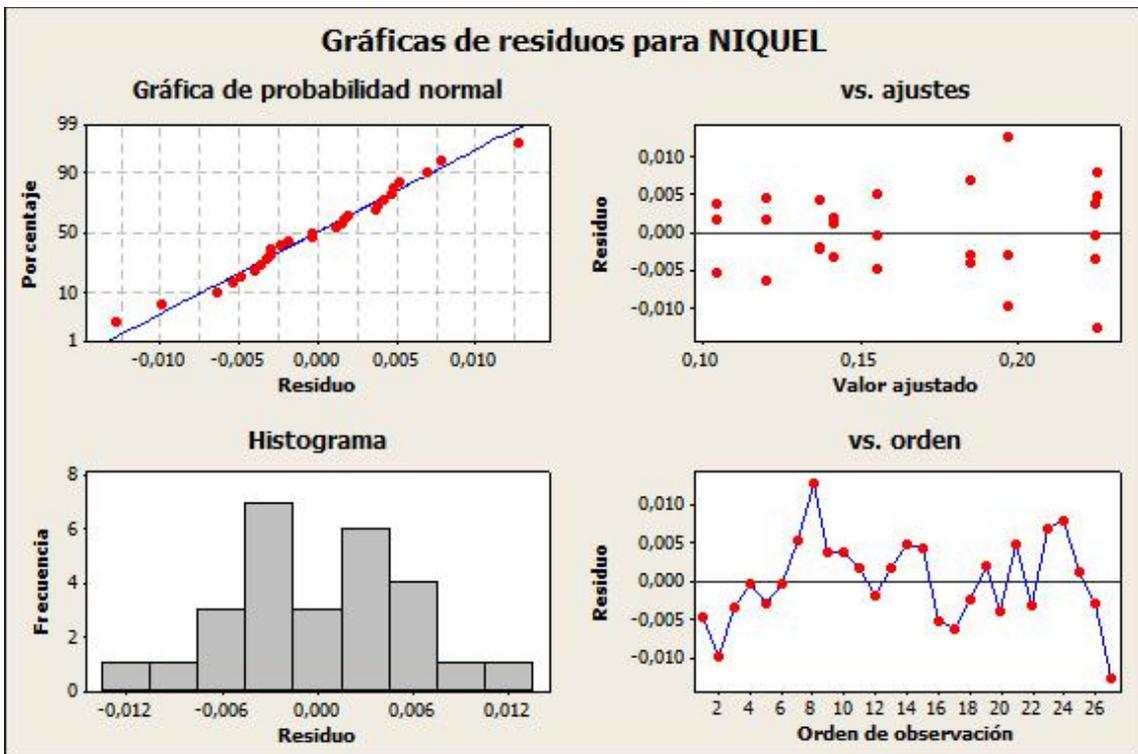
²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York.. 1995*

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En 1. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev. 1981*



GRAFICA 27: Gráfica de Caja de los Valores del Níquel.

FUENTE: La Autora.



GRAFICA 28: Gráfica de Residuos de los Valores del Níquel.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,012 hasta 0,012 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,006769$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

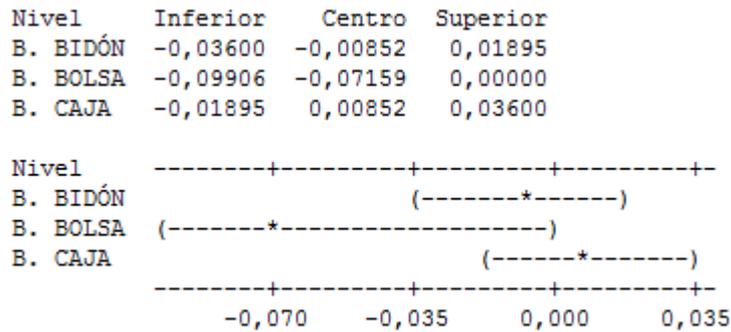
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

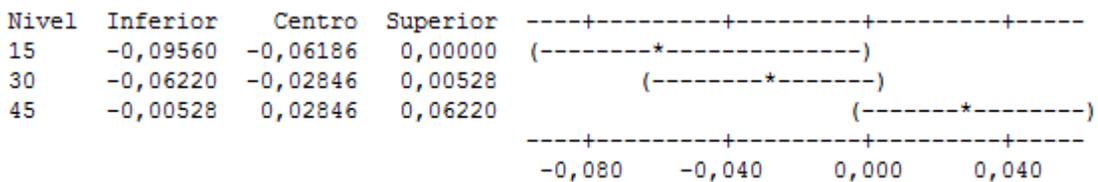
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 29: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Níquel tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presento es el Biodigestor de caja, ya que los valores obtenidos la Gráfica 29 nos indican que el límite inferior es de -0,01895, la media es de 0,00852 y el límite superior es 0,03600 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bidón y por último el Biodigestor de bolsa.



GRAFICA 30: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 30 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior -0,00528, la media es de 0,02846 y el límite superior de 0,06220 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0B_0} ya que el Biodigestor de bolsa es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T_3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia.

PLOMO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Plomo, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: PLOMO vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,011332	0,0056659	47,87	0,00
DIAS	2	0,013349	0,066746	56,39	0,00
INTERACCIÓN	4	0,000662	0,0001655	1,4	0,275
ERROR	18	0,021306	0,0001184		
TOTAL	26	0,027474			

S = 0,01088 R-cuad. = 92,24 % R-cuad. (ajustado) = 88,80 %

Tabla 55: Anova de Dos Factores: Plomo vs. Tipo y Días.

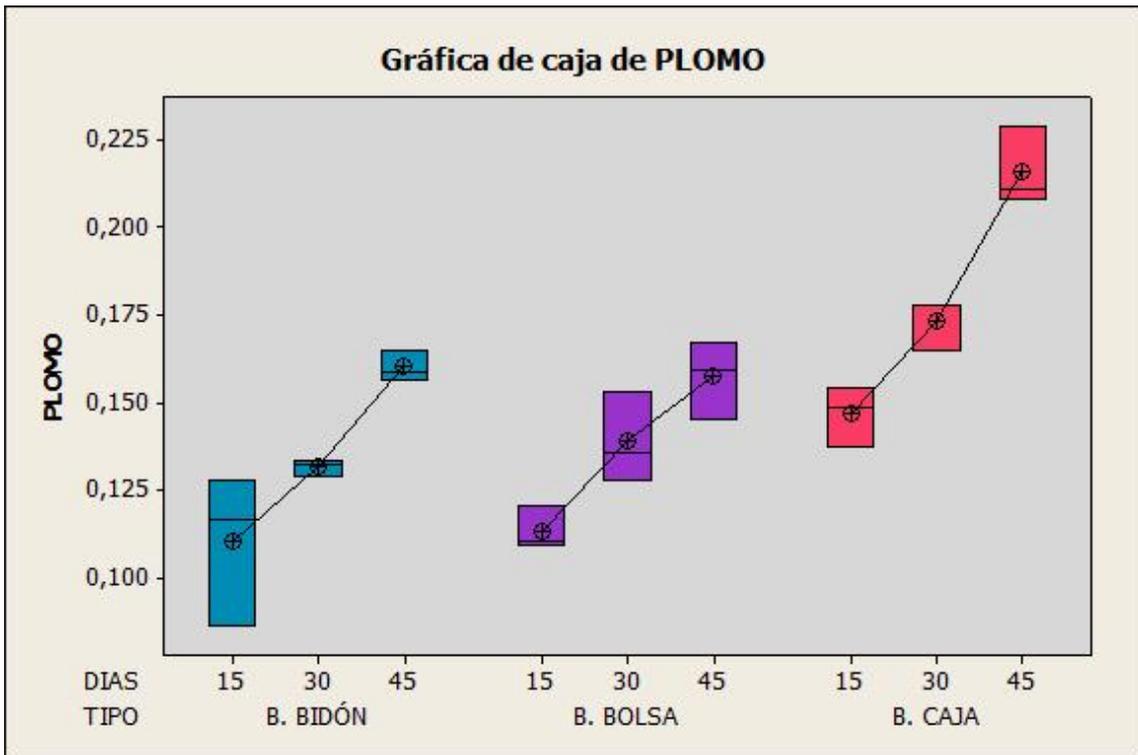
FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 55 tenemos que el Plomo tiene un R-cuadrado igual a 92,24% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 88,80% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que P (0,00) es menor a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 31, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que para la interrelación entre estos dos factores P (0,275) es menor que el valor 0,05 determinándonos que existe significancia; ya que si tomamos en la Gráfica 31 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que no existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

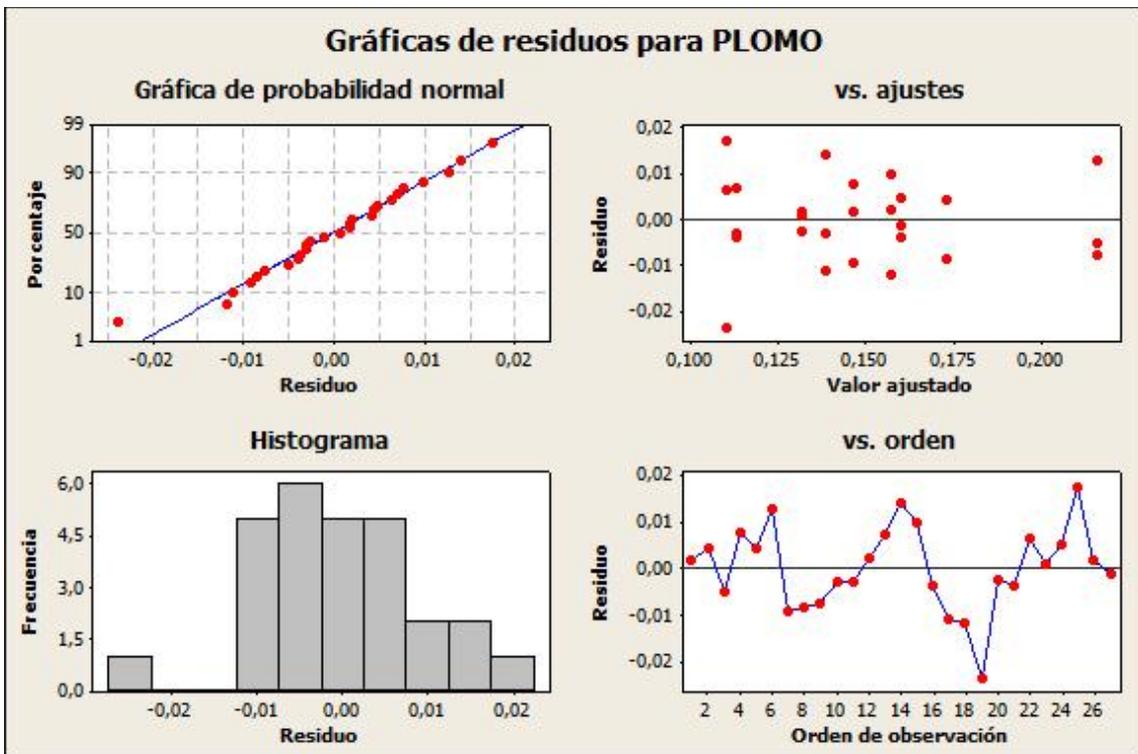
²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York.. 1995*

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En 1. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev. 1981*



GRAFICA 31: Gráfica de Caja de los Valores del Plomo.

FUENTE: La Autora.



GRAFICA 32: Gráfica de Residuos de los Valores del Plomo.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,02 hasta 0,02 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,01088$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

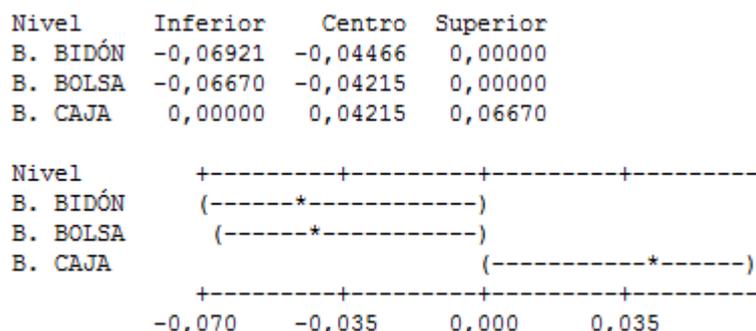
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

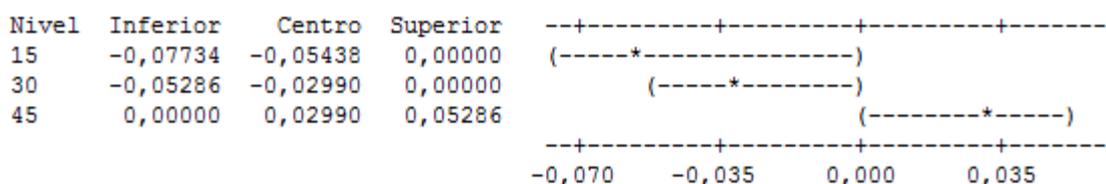
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 33: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Plomo tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presento es el Biodigestor de caja, ya que los valores obtenidos la Gráfica 33 nos indican que el límite inferior es de 0,00, la media es de 0,04215 y el límite superior es 0,06670 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bolsa y por último el Biodigestor de bidón.



GRAFICA 34: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 34 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior 0,00, la media es de 0,02990 y el límite superior de 0,05286 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0B_0} ya que el Biodigestor de bolsa es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T_3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia.

ZINC

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Zinc, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: ZINC vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,005792	0,0028958	28,92	0,00
DIAS	2	0,024537	0,0122684	122,54	0,00
INTERACCIÓN	4	0,002206	0,0055160	5,51	0,004
ERROR	18	0,001802	0,0001001		
TOTAL	26	0,034337			

S = 0,010001 R-cuad. = 94,75 % R-cuad. (ajustado) = 92,42 %

Tabla 56: Anova de Dos Factores: Zinc vs. Tipo y Días.

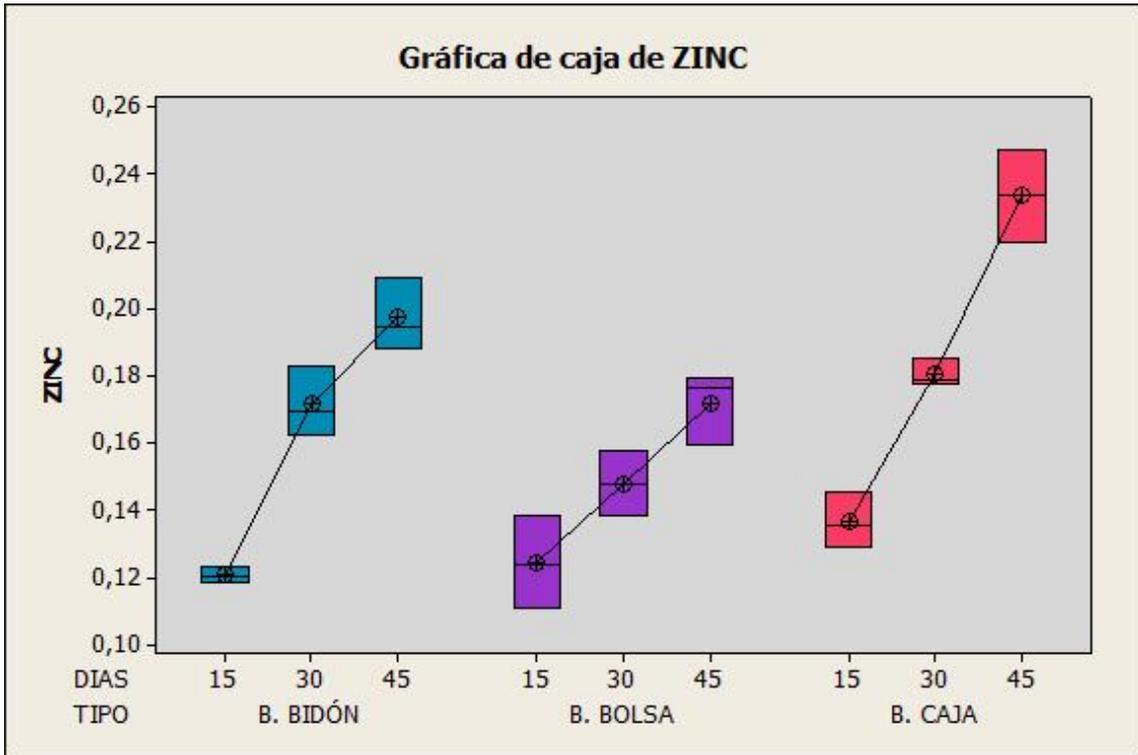
FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 56 tenemos que el Zinc tiene un R-cuadrado igual a 94,75% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 92,41% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor y el Tiempo de Retención, ya que P (0,00) es menor a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 35, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que para la interrelación entre estos dos factores ya que P (0,004) es menor que el valor 0,05 determinándonos que existe significancia; ya que si tomamos en la Gráfica 35 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que no existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

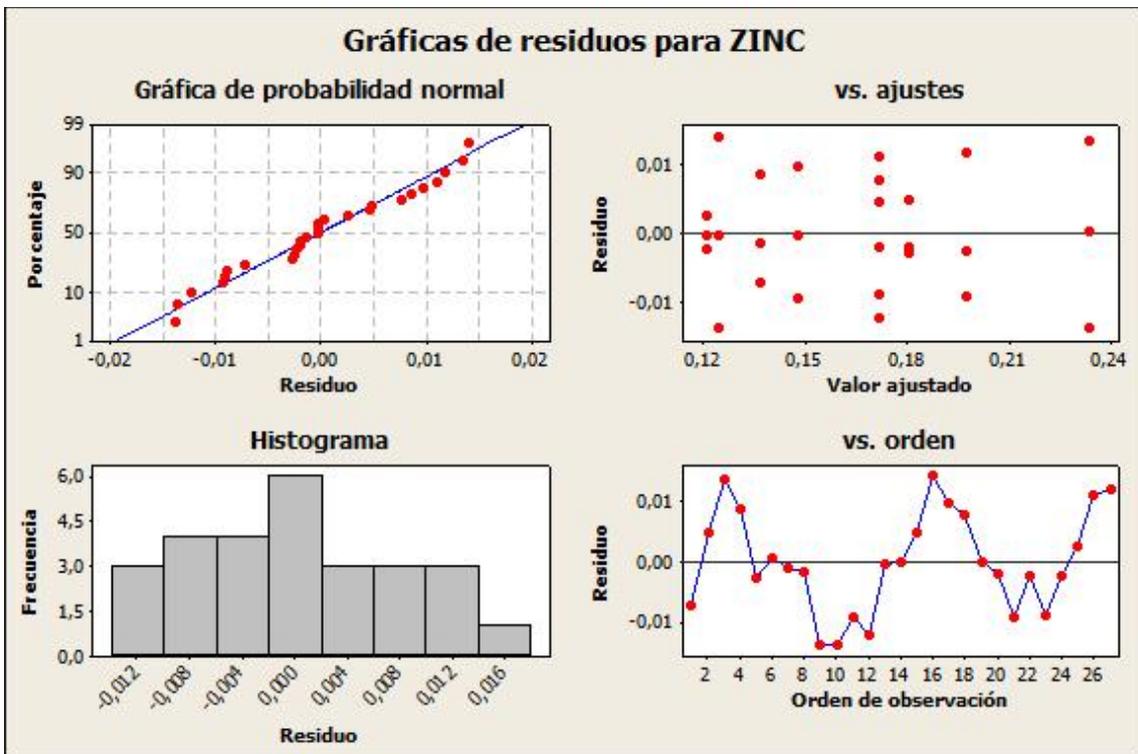
²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York.. 1995*

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En 1. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev. 1981*



GRAFICA 35: Gráfica de Caja de los Valores del Zinc.

FUENTE: La Autora.



GRAFICA 36: Gráfica de Residuos de los Valores del Zinc.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,012 hasta 0,016 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,010001$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

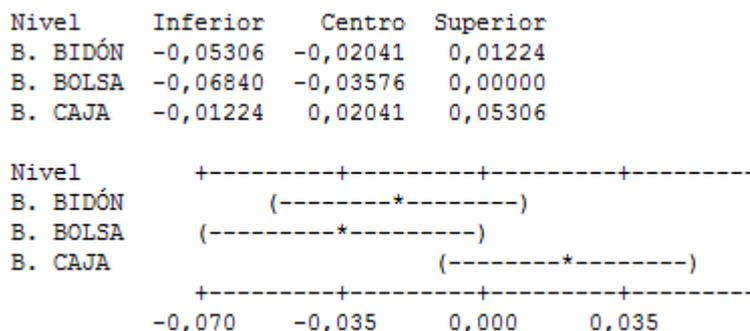
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

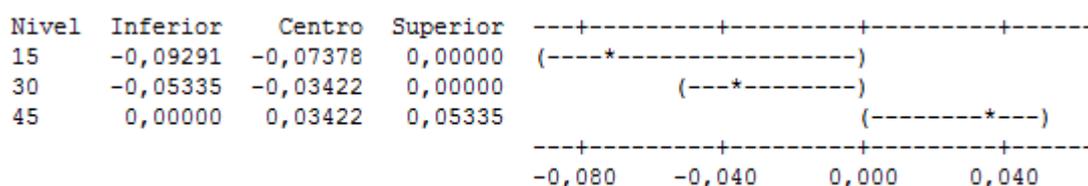
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 37: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Zinc tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento tuvo es el Biodigestor de caja, ya que los valores obtenidos la Gráfica 37 nos indican que el límite inferior es de -0,01224, la media es de 0,02041 y el límite superior es 0,05306 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bidón y por último el Biodigestor de bolsa.



GRAFICA 38: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 38 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior 0,00, la media es de 0,03422 y el límite superior de 0,05335 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0B_0} ya que el Biodigestor de bolsa es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T_3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia.

ANÁLISIS DEL AMONIO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos implementamos el Diseño de Bloques Completamente al Azar, cuyos factores de entrada fueron: un factor principal que es el Tipo de Biodigestor y un factor secundario que es el Tiempo de Retención, aplicando para cada uno de los factores dos niveles.

De esta manera nos planteamos las siguientes hipótesis con respecto al Tipo de Biodigestor:

- H_0 $\mu_{\text{Bidón}} = \mu_{\text{Caja}} = \mu_{\text{Bolsa}}$
- H_1 $\mu_{\text{Bidón}} \neq \mu_{\text{Caja}} \neq \mu_{\text{Bolsa}}$

Con respecto al Tiempo de Retención Tenemos las siguientes:

- H_0 $\mu_{15} = \mu_{30} = \mu_{45}$
- H_1 $\mu_{15} \neq \mu_{30} \neq \mu_{45}$

Planteadas las hipótesis para cada factor, se procede a realizar el análisis estadístico del Amonio, el cual es un factor de salida dentro del modelo. Para así determinar si se acepta o se rechazan las hipótesis.

ANOVA DE DOS FACTORES: AMONIO vs. TIPO Y DÍAS					
FUENTE	GL	SC	MC	F	P
TIPO	2	0,000525	0,0002624	0,75	0,49
DIAS	2	0,039162	0,0195812	56,06	0,00
INTERACCIÓN	4	0,000920	0,0002300	0,66	0,629
ERROR	18	0,006288	0,0003493		
TOTAL	26	0,046895			

S = 0,01869 R-cuad. = 86,59 % R-cuad. (ajustado) = 80,63 %

TABLA 57: Anova de Dos Factores: Amonio vs. Tipo y Días.

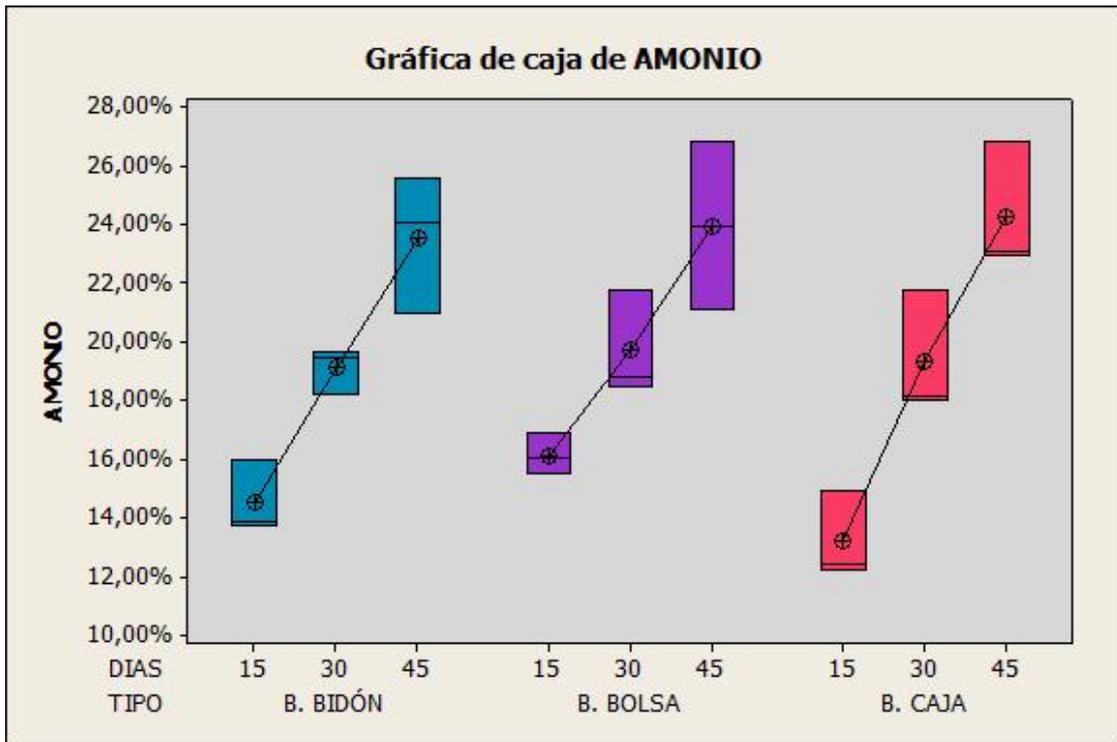
FUENTE: La Autora.

Según el modelo aplicado en el experimento, en la Tabla 57 tenemos que el Amonio tiene un R-cuadrado igual a 86,59% y un R-cuadrado (ajustado) igual a 80,63% lo que nos indica que el modelo se ajustó correctamente y que por lo tanto el diseño estadístico empleados es el correcto.

Observamos que existe evidencia de significancia según el tipo de Biodigestor P (0,49) y el Tiempo de Retención P (0,00) es menor en ambos casos a 0,05, determinando así que el modelo es significativo para ambos factores, esto lo podemos rectificar en la Gráfica 39, en donde podemos observar que no existe traslape tanto en el tipo de Biodigestor como en el tiempo de retención. De igual manera observamos que no hay evidencia de significancia para la interrelación entre estos dos factores ya que P (0,629) es mayor que el valor 0,05; ya que si tomamos en la Gráfica 39 como un solo factor al tiempo con respecto al tipo, podemos observar que en este caso si existe traslape. (Sokal & Rohlf, 1995)²⁹ (Underwood, 1981)³⁰.

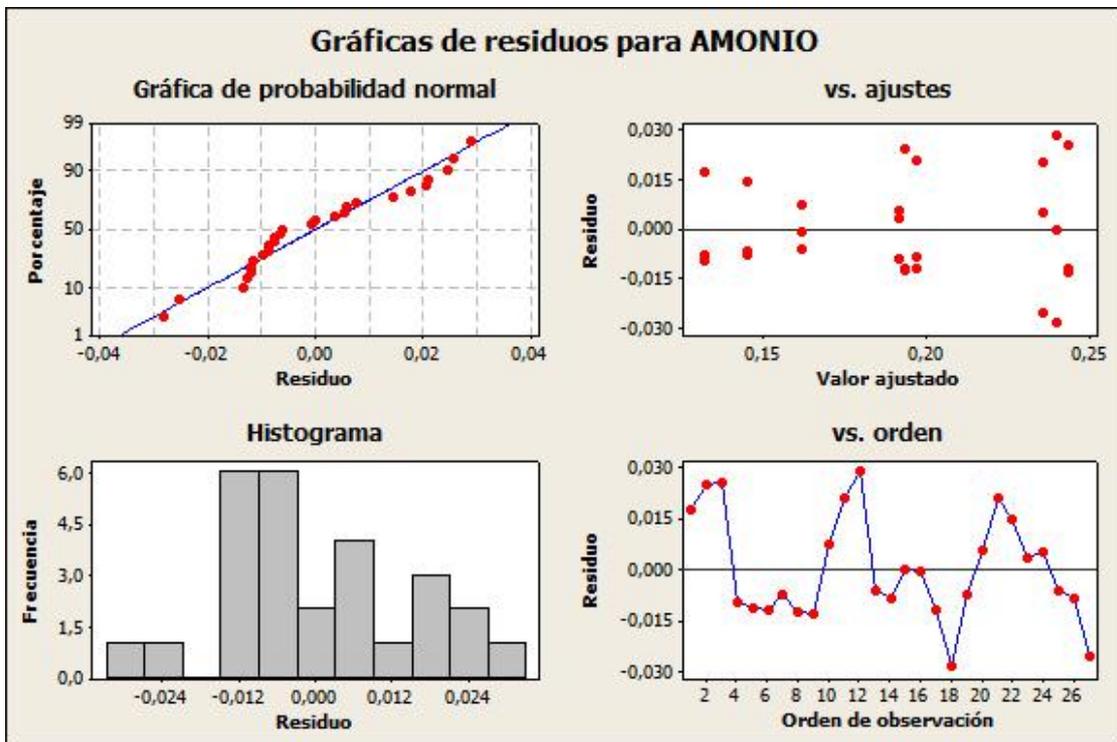
²⁹ SOKAL, R., & Rohlf, F. *Biometry. En F. a. co.. New York..* 1995

³⁰ UNDERWOOD, A. *Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. . En 1. 5.-6. Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev.* 1981



GRAFICA 39: Gráfica de Caja de los Valores del Amonio.

FUENTE: La Autora.



GRAFICA 40: Gráfica de Residuos de los Valores del Amonio.

FUENTE: La Autora.

Como ya analizamos anteriormente el modelo se ajustó, pero debe cumplir con los supuestos del modelo con relación a los errores, los cuales son:

- Normalidad del Modelo.
- Varianza Constante.
- Independencia (Orden de Observación).

La primera gráfica que vamos analizar hace referencia a la Normalidad del Modelo, tenemos que los puntos graficados forman una línea razonablemente recta y siguen la línea de distribución ajustada muy de cerca, lo que nos indica que existe una Normalidad en el Modelo Estadístico.

En el Histograma podemos ver que tenemos un rango que va desde -0,024 hasta 0,024 y con un valor de la desviación estándar igual $S = 0,01869$ tenemos que la amplitud es mínima ya que los valores son menores a un sigma.

Para analizar si el supuesto de la Varianza Constante cumple procedemos a analizar la Gráfica de Residuos vs. Ajustes dónde podemos observar que la variación de los residuos es uniforme en todo el rango de valores de los pronósticos, lo que nos llega a determinar que existe homocedastidad en el modelo.

La Independencia de la variable aleatoria, hace referencia al orden de observación de los datos, en la gráfica de Residuos vs. Orden podemos observar que los valores se presentan de manera aleatoria, lo que permite que se cumpla el Supuesto de Independencia.

Luego de realizar el análisis del modelo, podemos decir que el modelo se ajusta, que existe significancia, tanto para el tipo de biodigestor como para el tiempo de retención; el modelo cumple con el supuesto de normalidad, varianza constante e independencia.

Por lo tanto tenemos que rechazar la hipótesis H_0 que nos indica que todos los tipos de biodigestores son iguales, aceptando de esta manera la hipótesis alternativa; es decir que no es significativo. Con respecto al tiempo de retención se rechaza la H_0 la cual nos indica que todos los tiempos de retención son iguales, aceptando así la hipótesis alternativa.

Debido a que el modelo es altamente significativo, se nos presentan otras interrogantes, ya que tenemos que determinar cuál es el tipo de Biodigestor y qué tiempo de retención es el mejor, por lo que procedemos a aplicar el LSD (La mínima diferencia significativa), que es la diferencia entre dos medias, basadas en la prueba t de Student, empleando el valor de la varianza del error, para determinar cuál tipo de biodigestor y qué tiempo de retención son los más significativos.

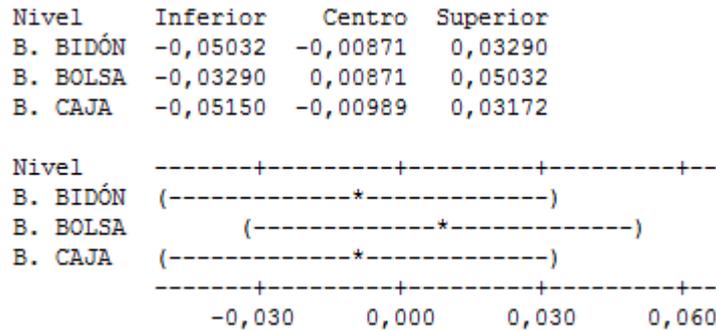
Para lo cual nos tenemos que plantear las siguientes hipótesis, con respecto al tipo de biodigestores:

- H_{0Bi} $\mu_{Bidón} > \mu_{Caja} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Ca} $\mu_{Caja} > \mu_{Bidón} > \mu_{Bolsa}$
- H_{0Bo} $\mu_{Bolsa} > \mu_{Caja} > \mu_{Bidón}$

Para el Tiempo de Retención también tenemos las siguientes hipótesis:

- H_{0T1} $\mu_{15} > \mu_{30} > \mu_{45}$
- H_{0T2} $\mu_{30} > \mu_{15} > \mu_{45}$
- H_{0T3} $\mu_{45} > \mu_{30} > \mu_{15}$

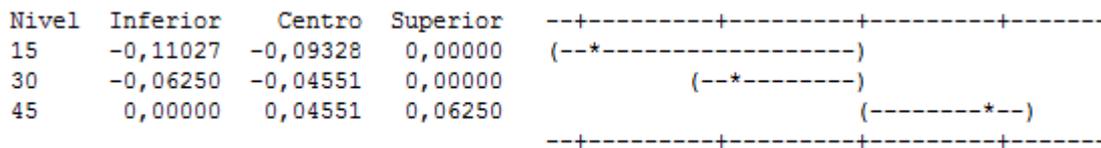
Es así que realizamos el análisis para cada factor de entrada, para determinar qué tipo de biodigestor y cuál tiempo de retención es el más significativo.



GRAFICA 41: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

En el caso del Amonio tenemos que el Biodigestor que mejor rendimiento presento es el Biodigestor de bolsa, ya que los valores obtenidos la Gráfica 41 nos indican que el límite inferior es de -0,03290, la media es de 0,00871 y el límite superior es 0,05032 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros diseños es el que mejor resultados presenta, seguido por el Biodigestor de bidón y por último el Biodigestor de caja.



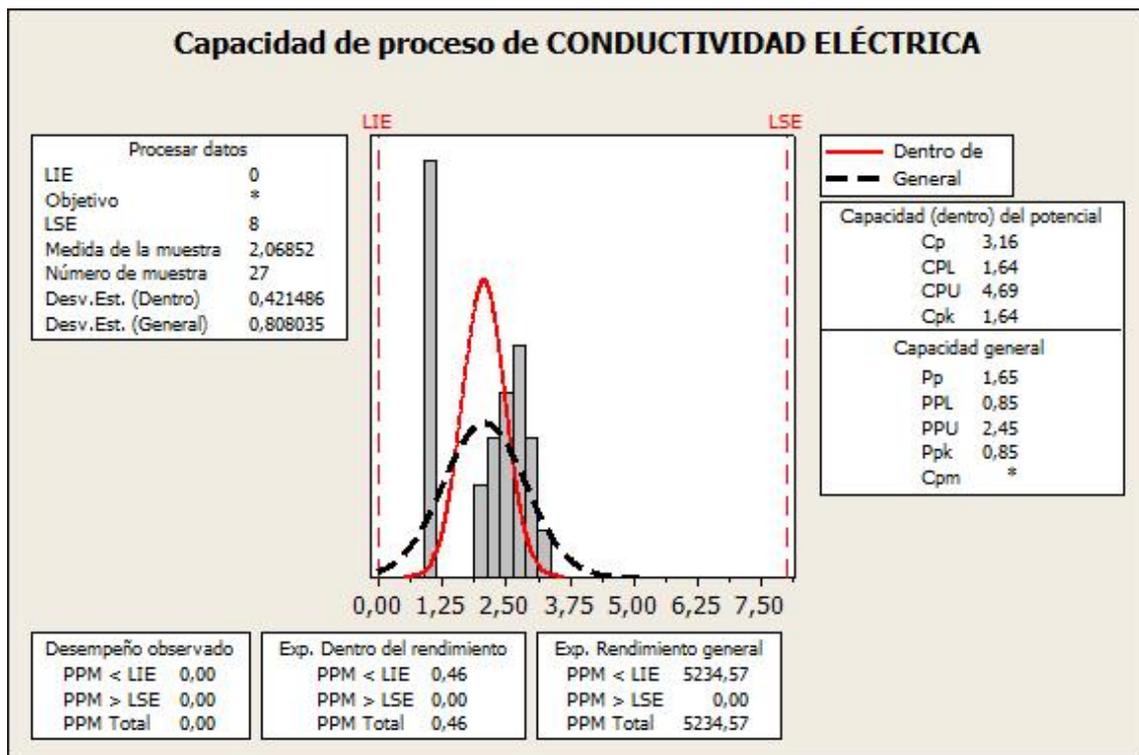
GRAFICA 42: Intervalos para Media de los Niveles Menos la Mayor de las Medias de Otros Niveles

FUENTE: La Autora.

De igual manera en la Gráfica 42 tenemos que el mejor tiempo de digestión es a los 45 días, ya que los valores obtenidos de las medias son: límite inferior 0,00, la media es de 0,04551 y el límite superior de 0,06250 demostrando así que la mayoría de valores obtenidos son positivos y que comparando con los otros tiempo de digestión presenta una mejor respuesta.

Por lo tanto se acepta la hipótesis H_{0B_0} ya que el Biodigestor de bolsa es el más significativo de los tres y se acepta también la H_{0T_3} ya que el periodo de los 45 días es en donde se produce una mayor degradación de la materia.

RESULTADOS DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA



GRAFICA 43: Capacidad de Proceso de Conductividad Eléctrica.

FUENTE: La Autora.

Para realizar el análisis de la Conductividad Eléctrica utilizamos el Análisis de Capacidad Normal, en donde se plantea un límite inferior, límite superior y objetivo para el proceso, los mismos que nos ayudan a determinar si los valores se encuentran dentro o fuera de los rangos establecidos.

En la Gráfica 43 tenemos que el límite inferior es 0,00 y el superior es 8,00. Observamos que los valores obtenidos de la Conductividad Eléctrica están dentro de los rangos establecidos, y que ninguno queda fuera de los límites planteados, lo que significa que no hay valores menores o mayores a los límites; y los valores no siguen una distribución normal, ya que el histograma no se ajusta a la curva normal sobrepuesta.

El índice Ppk indica si los valores se encuentran dentro de los límites de tolerancia, en este caso, el índice Ppk es 0,85, lo que significa que se debe mejorar el proceso al reducir la variabilidad y centrar los valores al objetivo.

En nuestro análisis tenemos que el índice $PPL < PPU$, lo que nos indica que el proceso no está centrado. Es más probable que existan valores que violen el límite de especificación inferior. Del mismo modo el PPM Total (Exp. Rendimiento General) es el número de partes por millón (5234,57) cuya característica de interés está justo dentro de los límites de tolerancia, lo que significa que a pesar de estar dentro de los rangos puede que aproximadamente 5234,57 de cada 1 millón de valores tomados no cumplan con los rangos establecidos.

Aunque los valores obtenidos de la Conductividad Eléctrica se encuentran dentro de los límites de la gráfica, podemos concluir que se debe dar un mejor control del mismo, para así de esta manera mejorar el proceso y tener mejores resultados.

3.3 CUMPLIMIENTO CON LA NORMA CHILENA OFICIAL NCH2880.OF2004

3.3.1 Resultados del Nitrógeno

Como pudimos observar anteriormente la norma chilena nos exige un mínimo del 0,5% de nitrógeno presente para que un abono sea aceptado, al obtener un porcentaje en todos los biodigestores mayor a este valor, podemos decir que está cumpliendo con la normativa establecida. Pero tenemos que tener en cuenta que a mayor periodo de degradación es menor el porcentaje de nitrógeno, lo que nos lleva a determinar que para el caso del nitrógeno el periodo de muestreo sea máximo de 45 días.

3.3.2 Resultados de la Relación Carbono/Nitrógeno

En cuanto a la relación carbono/nitrógeno tenemos que si los resultados obtenidos son menores a 25 nos da una clasificación de abono Tipo A y si los valores son menores a 30 tenemos una clasificación para el abono Tipo B.

Según el análisis de nuestros resultados tenemos que todos los valores obtenidos de las muestras de los biodigestores son menores a 25, por lo tanto podemos determinar que el abono resultante nos otorga una clasificación Tipo A.

3.3.3 Resultados de Metales pesados

Para ser considerado una materia prima para la elaboración de compost orgánico los valores iniciales de los metales pesados deben ser menores a los marcados en la Tabla No. 57, en donde también se encuentran los resultados obtenidos de la muestra inicial de los lechuguines.

ELEMENTOS TRAZA	CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca.	CONCENTRACIONES INICIALES DEL LECHUGUÍN (mg/kg) Base Seca.
Cadmio	10	4,67
Cobre	1.500	87,54
Cromo	1.000	121,62
Mercurio	10	4,57
Níquel	200	63,78
Plomo	800	187,56
Zinc	3.000	112,67

TABLA 58: Valores Iniciales de Metales Pesados en las Muestras de Lechuguín.

FUENTE: La Autora.

Como podemos observar en esta tabla los valores iniciales de las muestras de Lechuguín, están por debajo de las concentraciones máximas establecidas por la norma chilena, lo que nos permite continuar con nuestro estudio.

Por lo que procedemos a realizar la comparación con los valores luego de la digestión en cada uno de los biodigestores, para determinar si se encuentran dentro de la clasificación compost Tipo A o B.

ARSÉNICO

	ARSÉNICO	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
TIPO A CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca.	15	Mínimo: 12,859	Mínimo: 13,288 Máximo: 14,993	Mínimo: 12,517 Máximo: 14,671
TIPO B CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca.	20	Máximo: 15,017		

TABLA 59: Valores del Arsénico Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 59 tanto los valores máximo como mínimos obtenidos de la degradación en los biodigestores cumplen con la normativa chilena dentro de un compost Tipo A, con excepción del valor máximo del Biodigestor de Bidón ya que sobre pasa el valor de la normativa del Tipo A cayendo dentro del rango Tipo B.

Estos valores fueron tomados de la Tabla 17 para el Biodigestor de Bidón, Tabla 18 para el Biodigestor de Caja y Tabla 19 para el Biodigestor de Bolsa.

CADMIO

	CADMIO	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
TIPO A CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	2			
TIPO B CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	8	Mínimo: 3,393 Máximo: 3,910	Mínimo: 3,609 Máximo: 4,192	Mínimo: 3,522 Máximo: 3,949

TABLA 60: Valores del Cadmio Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 60 tanto los valores máximo como mínimos obtenidos de la degradación en los biodigestores cumplen con la normativa chilena dentro de un compost Tipo B.

Estos valores fueron tomados de la Tabla 20 para el Biodigestor de Bidón, Tabla 21 para el Biodigestor de Caja y Tabla 22 para el Biodigestor de Bolsa.

COBRE

	COBRE	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
TIPO A CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	100	Mínimo: 65,953 Máximo: 74,961	Mínimo: 66,679 Máximo: 75,617	Mínimo: 67,975 Máximo: 76,869
TIPO B CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	1000			

TABLA 61: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 61 tanto los valores máximo como mínimos obtenidos de la degradación en los biodigestores cumplen con la normativa chilena dentro de un compost Tipo A.

Estos valores fueron tomados de la Tabla 23 para el Biodigestor de Bidón, Tabla 24 para el Biodigestor de Caja y Tabla 25 para el Biodigestor de Bolsa.

CROMO

	CROMO	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
TIPO A CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	120	Mínimo: 96,700 Máximo: 103,474	Mínimo: 101,334 Máximo: 110,893	Mínimo: 97,855 Máximo: 106,150
TIPO B CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	600			

TABLA 62: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 62 tanto los valores máximo como mínimos obtenidos de la degradación en los biodigestores cumplen con la normativa chilena dentro de un compost Tipo A.

Estos valores fueron tomados de la Tabla 26 para el Biodigestor de Bidón, Tabla 27 para el Biodigestor de Caja y Tabla 28 para el Biodigestor de Bolsa.

MERCURIO

	MERCURIO	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
TIPO A CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	1			
TIPO B CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	4	Mínimo: 3,582 Máximo: 3,855	Mínimo: 3,846 Máximo: 4,098	Mínimo: 3,700 Máximo: 4,014

TABLA 63: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 63 tanto los valores máximo como mínimos obtenidos de la degradación en los biodigestores cumplen con la normativa chilena dentro de un compost Tipo B. Aunque existen valores que están por encima de la normativa, lo que indica que el abono a los 15 días de periodo de digestión tiene valores de mercurio que son elevados y no puede ser utilizado.

Estos valores fueron tomados de la Tabla 29 para el Biodigestor de Bidón, Tabla 30 para el Biodigestor de Caja y Tabla 31 para el Biodigestor de Bolsa.

NÍQUEL

	NÍQUEL	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
TIPO A CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	20			
TIPO B CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	80	Mínimo: 48,932 Máximo: 54,972	Mínimo: 49,206 Máximo: 54,187	Mínimo: 54,762 Máximo: 57,447

TABLA 64: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 64 tanto los valores máximo como mínimos obtenidos de la degradación en los biodigestores cumplen con la normativa chilena dentro de un compost Tipo B.

Estos valores fueron tomados de la Tabla 32 para el Biodigestor de Bidón, Tabla 33 para el Biodigestor de Caja y Tabla 34 para el Biodigestor de Bolsa.

PLOMO

	PLOMO	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
TIPO A CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	100			
TIPO B CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	300	Mínimo: 156,631 Máximo: 171,392	Mínimo: 144,665 Máximo: 161,827	Mínimo: 156,219 Máximo: 167,060

TABLA 65: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 65 tanto los valores máximo como mínimos obtenidos de la degradación en los biodigestores cumplen con la normativa chilena dentro de un compost Tipo B.

Estos valores fueron tomados de la Tabla 35 para el Biodigestor de Bidón, Tabla 36 para el Biodigestor de Caja y Tabla 37 para el Biodigestor de Bolsa.

ZINC

	ZINC	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
TIPO A CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	200	Mínimo: 89,088 Máximo: 99,789	Mínimo: 84,807 Máximo: 98,113	Mínimo: 92,468 Máximo: 100,220
TIPO B CONCENTRACIÓN MÁXIMA (mg/kg) Base Seca	2000			

TABLA 66: Valores del Cobre Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 66 tanto los valores máximo como mínimos obtenidos de la degradación en los biodigestores cumplen con la normativa chilena dentro de un compost Tipo A.

Estos valores fueron tomados de la Tabla 38 para el Biodigestor de Bidón, Tabla 39 para el Biodigestor de Caja y Tabla 40 para el Biodigestor de Bolsa.

Como podemos observar en las tablas hay valores de metales pesados que cumplen con los rangos establecidos para una clasificación Tipo A, tales como el arsénico, cobre, cromo y el zinc; mientras que el cadmio, mercurio, níquel y el plomo entran en la clasificación Tipo B. Para que un compost sea clasificado como Tipo A todos los resultados de cada metal pesado deben cumplir con los valores establecidos en la norma, por lo tanto determinamos que nuestro abono producto de la digestión de los Lechuguines entra a una clasificación Tipo B.

3.3.4 Resultados Madurez

RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

Como ya analizamos dentro la de la norma para se considera un abono maduro tiene que tener valores iguales o menores a 30, los mismos para cada uno de los biodigestores se está cumpliendo con la normativa.

ABSORCIÓN DE O₂

Debido a que los biodigestores son diseñados para que no exista presencia de oxígeno los resultados obtenidos en todas las muestras analizadas fue 0 mg de oxígeno/g de materia orgánica por día, lo que está dentro de los rangos permitidos por la norma, ya que exige un máximo de 3,5 mg de oxígeno/g de materia orgánica por día.

CONCENTRACIÓN DE AMONIO.

Para que un abono sea considerado maduro los valores de la concentración de amonio deben ser iguales o menores a 500 mg/kg, lo que significa que nuestro abono cumple con la normativa pero únicamente los valores obtenidos en el periodo de 45 días y en ciertos casos valores obtenidos a los 30 días, como podemos ver en la siguiente tabla.

CONCENTRACIÓN DE AMONIO (mg/kg)	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA	TIEMPO DE RETENCIÓN
500	529,071	521,642	509,864	15
	515,472	538,499	518,215	
	528,349	537,145	515,015	
	492,640	479,653	479,641	30
	493,921	501,925	497,830	
	501,471	502,605	499,915	
	456,288	448,569	448,770	45
	465,750	471,638	466,432	
	484,650	472,457	483,881	

TABLA 67: Valores del Amonio Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver los valores marcados con rojo son los que se encuentran dentro de la normativa, por lo determinamos que el abono se considera maduro en el periodo de 45 días, ya que los valores marcados en el periodo de 30 días a pesar que algunos cumplen con la norma, se encuentran dentro de los límites permitidos.

Por lo tanto podemos decir que el abono cumple con la normativa chilena en cuanto a la madurez, ya que cumple con los parámetros establecidos. De esta manera determinamos que el periodo óptimo de muestreo es de 45 días obteniendo los mejores resultados en cuanto a la madurez del abono.

3.3.5 Resultados de la Conductividad Eléctrica

VALORES MÁXIMOS DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA	TIEMPO DE RETENCIÓN
TIPO A 3ds/m	2,800	1,060	2,710	15
	3,170	1,070		
	2,750	0,960	2,640	
	2,690	1,030	2,530	30
	2,970	1,040	2,890	
	2,550	0,930	2,330	
	2,430	1,030	2,010	45
	2,510	1,040	2,340	
	2,210	0,930	2,110	
TIPO B 8ds/m				15
			3,120	

TABLA 68: Valores de la Conductividad Eléctrica Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla No. 68 los valores obtenidos de las muestras de Lechuguín estén dentro del rango permitido para ser calificado como un abono Tipo A, con excepción del valor resaltado en la tabla, que se encuentra dentro de una clasificación Tipo B.

3.3.6 Resultados del pH

Valores pH	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA	TIEMPO DE RETENCIÓN
5 - 8,5	6,770	7,010	6,850	15
	6,800	6,990	6,800	
	6,790	7,020	6,830	
	6,740	6,990	6,840	30
	6,710	6,980	6,810	
	6,700	6,970	6,820	
	6,730	7,010	6,850	45
	6,730	7,020	6,830	
	6,710	7,000	6,810	

TABLA 69: Valores del pH Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos observar en la Tabla No. 69 los valores obtenidos del pH de las muestras están dentro de los rangos permitidos por la Normativa Chilena.

3.3.7 Resultados Sanitarios (Análisis Microbiológico)

	TIPO DE MICROORGANISMO	RESULTADOS	TOLERANCIA DE LA NORMATIVA
PRODUCTO FINAL COMPOST DE LECHUGUÍN	Coliformes Fecales	834 NMP por gramo de compost.	< A 1000 NMP por gramo de compost.
	Salmonella sp	0,06473 NMP en 4g de compost.	3 NMP en 4g de compost.
NMP = Número más Probable.			
Materia Prima en base seca.			

TABLA 70: Valores del Análisis Microbiológico Comparados con la Norma Chilena.

FUENTE: La Autora.

Como podemos ver en la Tabla 70, los resultados obtenidos del producto final en cuanto a los Coliformes fecales cumple con lo establecido con la normativa al ser menor a 1000 NMP por gramo de compost. En el caso de la Salmonella sp, el valor obtenido también está por debajo de la normativa con 0,06473 NMP en 4 gramos de compost. Podemos decir de esta manera que el abono obtenido cumple con la normativa que nos hemos regido para los requisitos sanitarios.

3.3.8 Contenido de Humedad

Según lo establecido por la Norma Chilena Oficial, el contenido de humedad para un abono debe estar entre el 30 – 45 %, por lo que podemos determinar que el producto final del abono obtenido de la degradación de los Lechuguines cumple con la normativa ya que su contenido de humedad es de 42,458 %.

3.4 ANÁLISIS FINAL

ELEMENTO	CAPACIDAD DE DEGRADACIÓN CON RESPECTO AL TIPO DE BIODIGESTOR		
	BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
NITRÓGENO	26,26 %	21,51 %	31,82 %
CARBONO	33,51 %	34,46 %	44,06%
ARSÉNICO	19,94 %	19,41 %	22,45 %
CADMIO	22,17 %	16,47 %	19,58 %
COBRE	21,75 %	19, 56 %	18,05 %
CROMO	22,63 %	17,15 %	19,86 %
MERCURIO	23,69 %	16,17 %	18,47 %
NÍQUEL	18,36 %	22,21 %	12,05 %
PLOMO	18,38 %	22,85 %	18,63 %
ZINC	16,32 %	18,36 %	14,78 %
AMONIO	19,05 %	18,93 %	19,92 %
PROMEDIO	22,01 %	18,87 %	21,79 %

TABLA 71: Capacidad de Degradación con Respecto al Tipo de Biodigestor.

FUENTE: La Autora.

En la Tabla No. 71 tenemos el rendimiento de cada uno de los biodigestores en cuanto al porcentaje de degradación. Es así que podemos determinar que el diseño que tuvo un mejor desempeño es el biodigestor de bidón con un promedio de 22,01 % de capacidad de degradación, lo que nos indica que podemos obtener mejores resultados implementando este diseño, determinando que los microorganismos realizan un mejor trabajo en este medio.

El diseño del biodigestor de bolsa es el que le sigue en cuanto a rendimiento obteniendo un valor de 21,79 % de capacidad de degradación de la materia orgánica, siendo un porcentaje muy semejante al valor obtenido por el Biodigestor de bidón.

Y por último tenemos al biodigestor de caja, se puede decir que es el que menos rendimiento de degradación presenta con un valor de 18,87 %, siendo un valor muy bajo con respecto a los otros dos biodigestores, los cuales tienen un promedio de degradación similar.

ELEMENTO	CAPACIDAD DE DEGRADACIÓN CON RESPECTO AL TIEMPO DE RETENCIÓN.		
	15 DÍAS	30 DÍAS	45 DÍAS
NITRÓGENO	19,54 %	25,79 %	34,26 %
CARBONO	30,22 %	37,31 %	44,49 %
ARSÉNICO	15,84 %	20,50 %	25,47 %
CADMIO	14,66 %	19,43 %	24,14 %
COBRE	14,22 %	18,37 %	22,78 %
CROMO	12,81 %	15,09 %	17,74 %
MERCURIO	13,30 %	15,85 %	18,19 %
NÍQUEL	13,37 %	16,71 %	19,56 %
PLOMO	12,33 %	14,78 %	17,77 %
ZINC	13,11 %	16,72 %	19,65 %
AMONIO	14,60 %	19,38 %	23,93 %
PROMEDIO	15,82 %	18,65 %	24,36 %

TABLA 72: Capacidad de Degradación con Respecto al Tiempo de Retención..

FUENTE: La Autora.

En la Tabla 72 tenemos la capacidad de degradación con respecto al tiempo de retención, en donde para el periodo de 45 días se presenta el mejor rendimiento, con una degradación de 24,36 %, lo que nos indica que conforme el paso del tiempo obtenemos mejores resultados.

ELEMENTO	TIPO DE ABONO	TIPO DE BIODIGESTOR		
		BIODIGESTOR DE BIDÓN	BIODIGESTOR DE CAJA	BIODIGESTOR DE BOLSA
NITRÓGENO		Cumple	Cumple	Cumple
HUMEDAD		Cumple	Cumple	Cumple
RELACIÓN C/N	A	Cumple	Cumple	Cumple
RELACIÓN C/N	B			
METALES PESADOS	A			
METALES PESADOS	B	Cumple	Cumple	Cumple
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	A	Cumple	Cumple	Cumple
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	B			
MADUREZ		Cumple	Cumple	Cumple
pH		Cumple	Cumple	Cumple
COLIFORMES FECALES		Cumple	Cumple	Cumple
SALMONELLA sp		Cumple	Cumple	Cumple

TABLA 73: Cumplimiento Con la Normativa Chilena.

FUENTE: La Autora.

Con los datos obtenidos de la degradación de la materia orgánica para cada uno de los casos podemos determinar si están cumpliendo las normativas establecidas y consideradas dentro del estudio, es así que podemos observar en la Tabla No. 73 los parámetros a consideración.

El nitrógeno es uno de los parámetros de estudios que durante todo el proceso de digestión presentó resultados que cumplen con la normativa, ya sea a los 15, 30 o 45 días.

El contenido de humedad del producto final obtenido cumple también con los estándares exigidos por la norma.

Tenemos que el pH es un factor de control dentro del estudio, cuyos valores además cumplieron por lo establecido por la norma, debido a que los valores obtenidos siempre estuvieron alrededor de 7.

En cuanto a la madurez podemos determinar qué:

- La relación carbono/nitrógeno es menor a lo establecido con la norma, cumpliendo así con el primer requisito de un abono maduro.
- La Absorción del O₂ cumplen con lo especificado en la norma en cualquiera de los tres periodos de muestreo.
- La concentración de amonio es la que solamente cumple a los 45 días, ya que tanto como a los 15 o a los 30 días obtenemos valores mucho más altos que lo permitido. Por eso podemos determinar que para los tres diseños el abono se encuentra maduro a los 45 días.

La relación carbono/nitrógeno establece valores tanto si cumple con el Tipo A ó Tipo B, en este caso los valores obtenidos en los tres periodos de muestreo cumplen con los requisitos de la norma para ser calificado como Tipo A.

En los metales pesados, hay elementos que cumplen con la normativa para ser clasificados como Tipo A, pero para ser considerado dentro de esta clasificación todos los elementos deben cumplir ese rango, por lo que podemos determinar que la calificación en este caso es de Tipo B para todos los periodos de muestreo.

La conductividad eléctrica también determina la calidad del abono, por lo que en nuestros resultados obtuvimos valores para los tres periodos de muestreo clasificándolo como abono Tipo A.

A pesar que los resultados nos dan para la relación carbono/nitrógeno y la conductividad eléctrica un abono de calidad Tipo A los valores obtenidos de metales pesados los clasifica como Tipo B, por lo que en general en nuestro estudio se determinaría que la calidad de nuestro abono entra dentro de la calificación Tipo B, que son abonos producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase B. Este producto puede presentar algunas restricciones de uso si su conductividad eléctrica es mayor de tres decisiemens por metro (3dS/m).

Con respecto a los Requisitos Sanitarios tenemos que los valores resultantes de Coliformes Fecales y Salmonella sp del producto final cumplen con la normativa al ser menor al límite establecido, por lo que podemos determinar que el abono obtenido cumple con los requisitos sanitarios de la Norma Chilena Oficial.

Aunque no se hayan realizado todos los análisis citados en la Norma Chilena Oficial, según el numeral 5.1.3 de la norma nos indica que si un abono cumple con los parámetros de nitrógeno, relación carbono/nitrógeno, humedad, Coliformes fecales, salmonella sp, conductividad eléctrica, pH y madurez, se puede certificar la validez del mismo.

Por lo que podemos determinar que el producto final obtenido de la degradación de los Lechuguines en los biodigestores, cumple con la Norma Chilena Oficial NCh2880.Of2004 como un compost Tipo B, el mismo que puede ser usado pero bajo ciertas condiciones.

Es así que una vez que hemos realizado todo el análisis del experimento, aceptamos la hipótesis general, citada a continuación:

Hipótesis

La especie “*Eichhornia Crassipes*” luego de un proceso de digestión anaerobia en los tres diseños de biodigestores cumple con los requisitos establecidos para ser usado como un abono orgánico.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES.

4.1 CONCLUSIONES.

- La degradación de la materia orgánica presenta un porcentaje muy bajo (entre el 18 – 22 %), debido a que previos estudios realizados con el uso de biodigestores nos indican una degradación mayor (entre el 70 – 80 %), pudiendo ser uno de los factores que más influyen la temperatura, ya que el lugar en donde se realizó el estudio presentó temperaturas bajas (15 – 17 °C), interviniendo así en el proceso de digestión de una forma no favorable.
- Otro factor a considerar, es el material con el cual fue construido el biodigestor, ya que el que mejor resultado de biodigestión presentó fue el de bidón de plástico debido a que mantiene una temperatura más estable y por sus características de diseño, este es más hermético que los demás modelos.
- Se determinó por la capacidad de degradación de los biodigestores que el mejor rendimiento presentado es el diseño del biodigestor de bidón con un promedio de degradación del 22,01 %.
- En el análisis estadístico los resultados obtenidos nos proporcionaron un mayor índice de significancia para el biodigestor de bidón, lo que nos permite determinar que la materia utilizada que en este caso es el Lechuguín se puede utilizar para la elaboración de abonos orgánicos, aparte de otros bio-productos resultantes de la digestión.
- El biodigestor de bidón además presenta mejores resultados en cuanto a la obtención de biogás, ya que se almacena de una mejor manera y da una mayor producción. Por otra parte, de los tres diseños elaborados es el más económico y fácil de construir, por lo que es el más recomendable y aplicable para su uso.
- En cuanto a los periodos de muestreo podemos determinar que el más recomendable es el de 45 días con un promedio de degradación de 24,36 %, ya que todos los parámetros analizados presentaron mejores respuestas en este tiempo y la materia prima se encuentra madura, lo que nos indica que el abono puede ser utilizado.

- Por los resultados obtenidos determinamos que el producto resultante cumple con los parámetros considerados para una clasificación Tipo B según la Norma Chilena Oficial NCh2880.Of2004, el mismo presenta algunas restricciones de uso si su conductividad eléctrica es mayor de tres decisiemens por metro (3dS/m).

4.2 RECOMENDACIONES

- Para la construcción de los biodigestores, es importante llevarlos a cabo en el lugar en donde se van a utilizar, ya que son diseños poco manejables y con dificultad para transportar, en especial los biodigestores de caja.
- Se debe realizar un estudio más profundo en cuanto a cómo reaccionan los biodigestores con variaciones de temperatura; se puede profundizar y efectuar otros análisis utilizando al biodigestor de bidón que es el que mejor rendimiento presentó, a diferentes temperaturas y a un periodo de muestreo más extenso, para así obtener resultados más favorables.
- Para una mejor degradación y resultados podemos mezclar a la materia prima con productos que aceleren los procesos de digestión. Al igual que continuar con investigaciones futuras para determinar cuáles serían estos materiales.
- Es muy importante realizar un estudio también de los otros productos producidos por los digestores, ya que tanto el biogás como los bioles pueden ser de mucha utilidad.
- Realizar investigaciones conjuntas con otras carreras, como Ingeniería Agropecuaria, para tener resultados sobre aplicaciones en cultivos.
- Se deben realizar periodos de muestreo constantes, para determinar si el comportamiento de degradación es el deseado para el estudio.
- Para un estudio más completo es importante analizar el resto de parámetros establecidos por la Norma Chilena Oficial, determinando así la calidad del mismo.

4.3 BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JIMENEZ, “Diccionario de la Biodiversidad”, *Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio)*, Santo Domingo – República Dominicana, 2002.

TAIGANIDES, “Diseño De Un Biodigestor Para Obtener Gas Metano Y Fertilizantes A Partir De La Fermentación De Excrementos De Vacas Lecheras En La Facultad De Agronomía De La Universidad Nacional De La Pampa”, *CELEC EP.*, Bolivia, Marzo 1980.

BANQUEDANO, et al, “Procesos de Biodigestión Anaeróbica”, *Dissertation*, Boca Ratón – Florida, 1983.

ALONSO & RODRÍGUEZ, “Los Microorganismos Dentro de los Procesos de Digestión” *Universidad de Chile*, Valdivia-Chile, 1985.

PASZTOR & KRISTOFERSON, “Generación de Gas Metano Mediante Procesos de Digestión”, *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO)*, Buenos Aires-Argentina, 1990.

CARMONA, Juan, BOLÍVAR, Diana, y GIRALDO, Luis, “El Gas Metano en la Producción Ganadera y Alternativas para Medir sus Emisiones y Aminorar su Impacto a Nivel Ambiental y Productivo”, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, Medellín-Colombia, 8 de Febrero de 2005.

RZEDOWSKI & RZEDOWSKI, "Flora del Bajío y Regiones Adyacentes", *Centro Regional del Bajío Fascículo 121*, San Luis, Missouri, Estados Unidos, Agosto 2004.

FILMTEX, "Manual para la Generación de Biogás y Bioabono en la Industria Agropecuaria", Edit. SAP, Bogotá-Colombia 2008.

UNDERWOOD, A. "Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology", En 1. 5.-6, *Oceanogr. Mar.Biol. Ann. Rev.*, 1981.

TORRES, Sandra, *Estudio de Aprovechamiento del Lechuguín Eichhornia Crassipes del Embalse de la Represa Daniel Palacios como Biosorbente de Metales Pesados en el Tratamiento de Aguas Residuales.*, Tesis Universidad Politécnica Salesiana Carrera Ingeniería Ambiental, Septiembre 2008.

SOKAL, R. R. y ROHLF F. J. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. 4^{ta} Edición, Editorial W. H. Freeman and Co.: New York, Estados Unidos 1995. 937 pp.

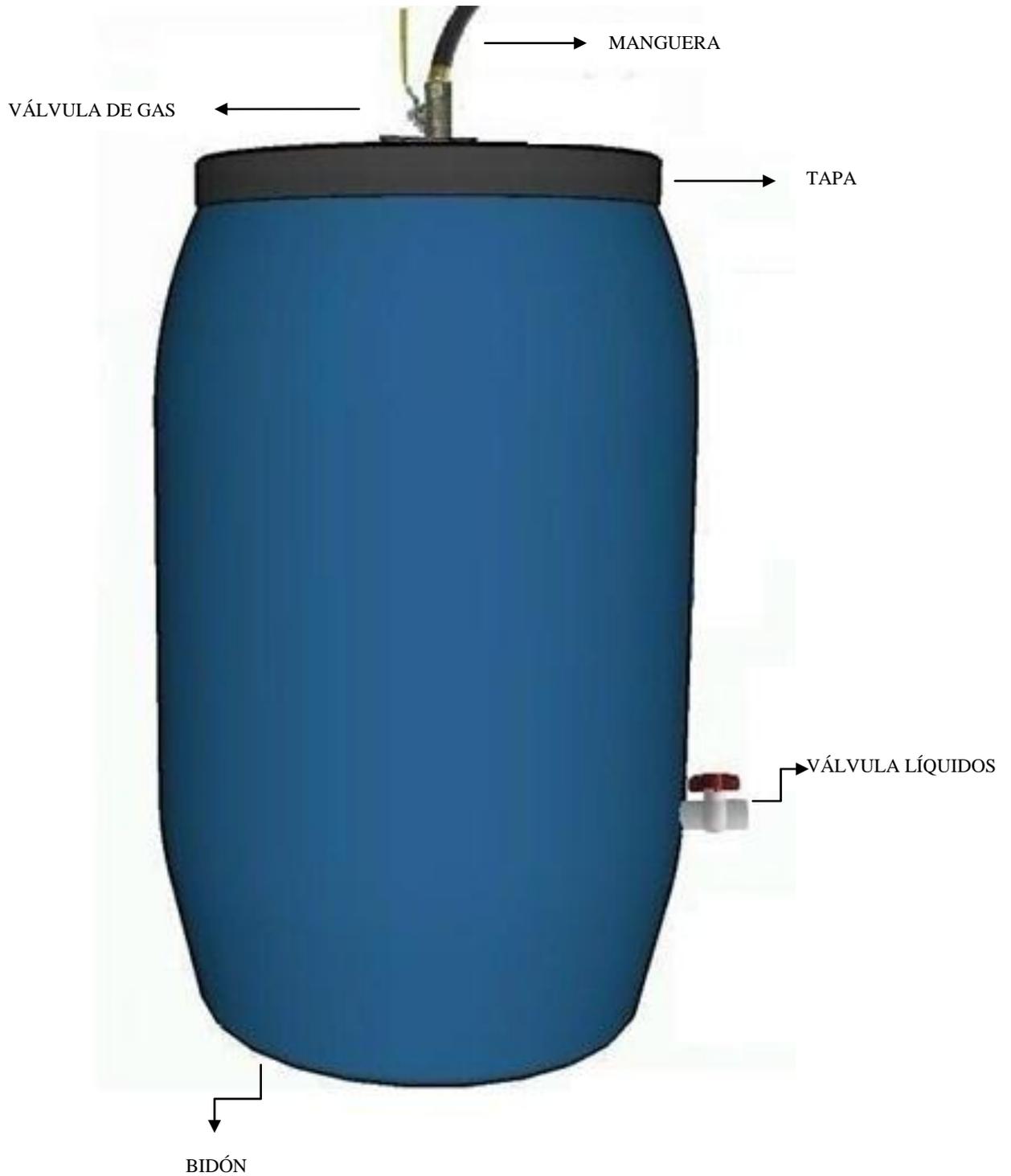
MONCAYO, Gabriel, *Dimensionamiento, Diseño y Construcción de Digestores y Plantas de Biogás-1^{era}*. Edición, Editorial AquaLimpia, Honduras, 2008.

GROPPELLI, Eduardo y GIAMPAOLI, Orlando, *El Camino de la Biodigestión. Ambiente y Tecnología Socialmente Apropriada-3^{era}* Edición, Universidad Nacional del Litoral, Argentina, Enero 2007.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

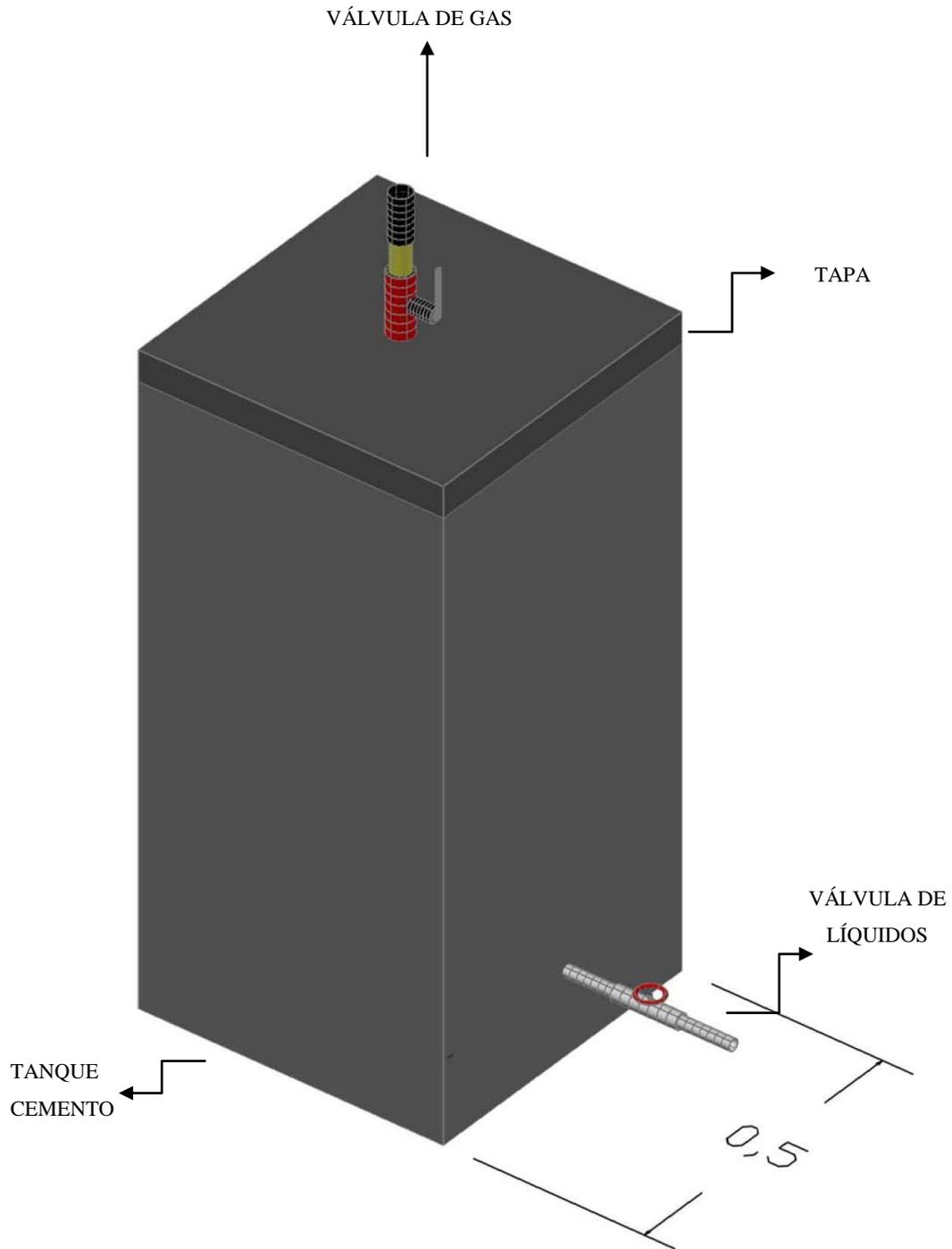
- ✓ <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/pontederiaceae/eichhornia-crassipes/fichas/ficha.htm#5>. Biología y ecología. Tomada Junio del 2011.
- ✓ <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumeness/FLOBA/Flora%2063.pdf>. Tomada Septiembre de 2011.
- ✓ <http://www.fao.org/docrep/T1147S/t1147s0a.htm> Tomada Septiembre de 2011.
- ✓ http://webs.uvigo.es/rolan/statistics_course/Tema5.pdf Tomada en Diciembre 2011.

ANEXO No. 1: BIODIGESTOR DE BIDÓN



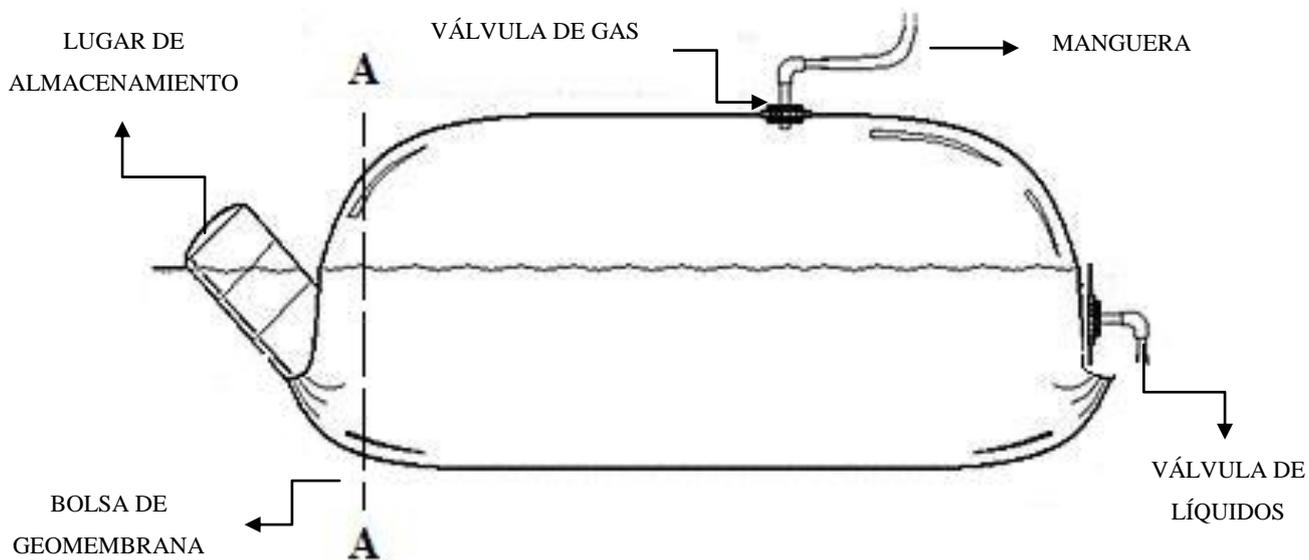
ANEXO No. 1	
CONTIENE:	Plano Biodigestor de Bidón

ANEXO No. 2: BIODIGESTOR DE CAJA

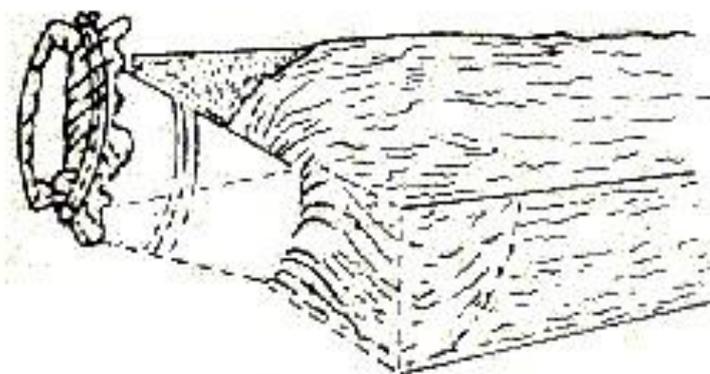


ANEXO No. 2	
CONTIENE:	Plano Biodigestor de Caja

ANEXO No. 3: BIODIGESTOR DE BOLSA



VISTA FRONTAL BIODIGESTOR DE BOLSA

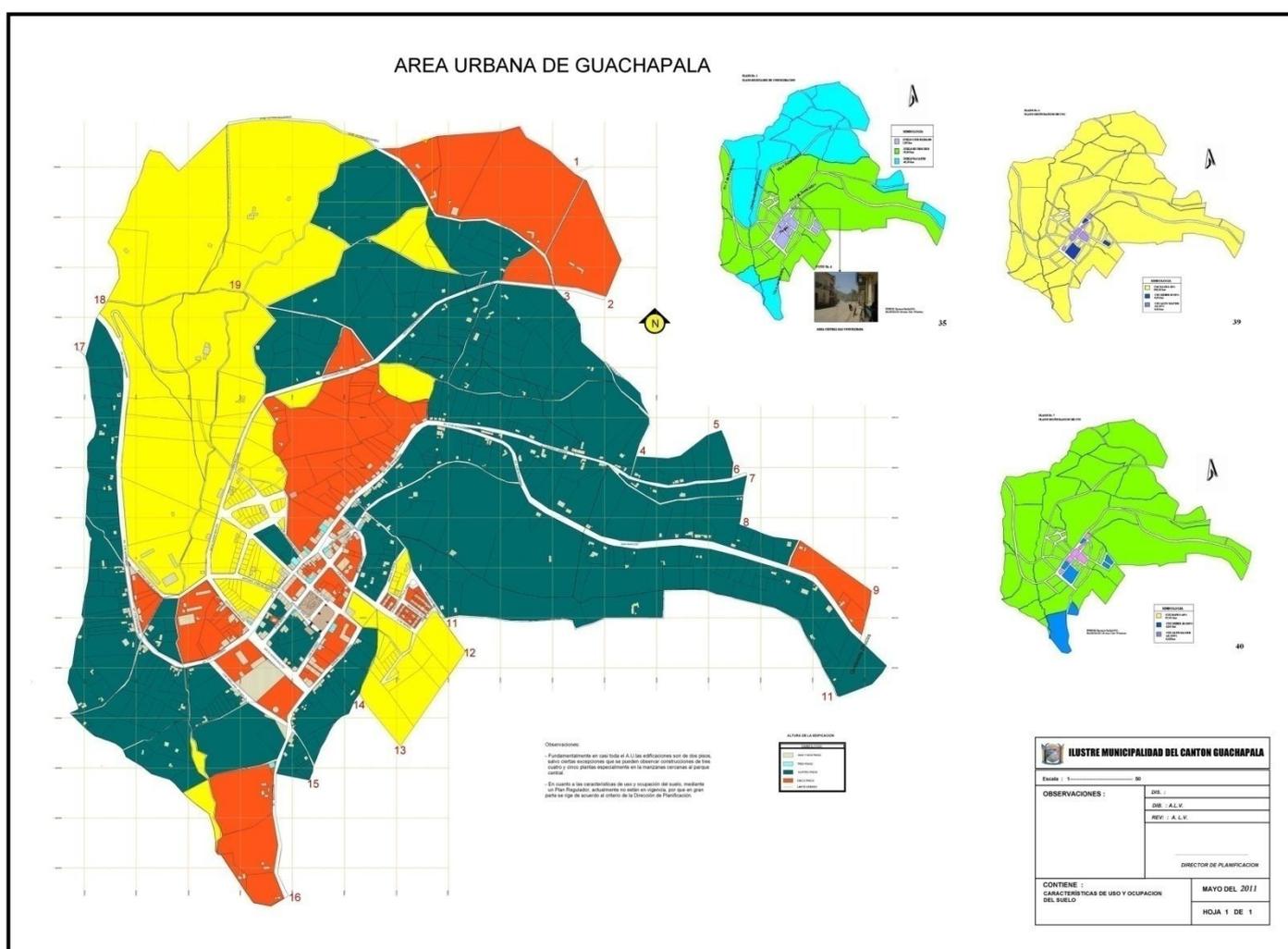


CORTE A – A LUGAR DE ALMACENAMIENTO

ANEXO No. 3	
CONTIENE:	Plano Biodigestor de Bolsa

ANEXO No. 4: UBICACIÓN

4.1 Área Urbana de Guachapala.

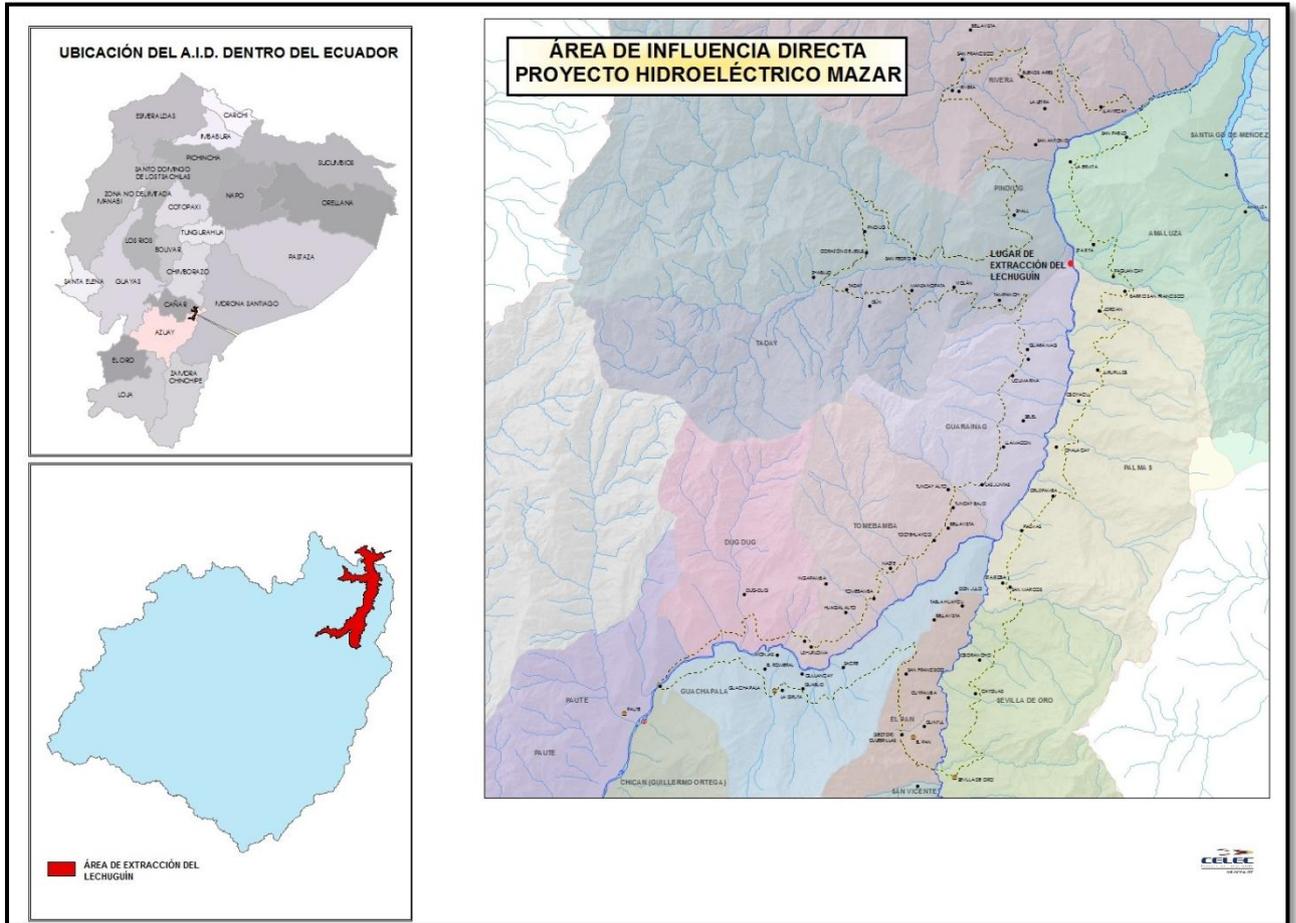


FUENTE: Ilustre Municipalidad del Cantón Guachapala.

ANEXO No. 4	
CONTIENE:	Mapa Ubicación Don Julo-Guachapala

ANEXO No. 5: UBICACIÓN DE LA PLANTA

4.1 Lugar de Extracción del Lechuguín.



FUENTE: CELEC EP.

ANEXO No. 5	
CONTIENE:	Mapa Lugar de Extracción del Lechuguín.

ANEXO No. 6: REGISTRO FOTOGRÁFICO

5.0 SEMANA No. 1: Construcción de los Biodigestores.



5.0.1 Colocación de las Válvulas de Gas.



5.0.2 Colocación de las Llaves para Bioles.

5.1 SEMANA No. 2: Colocación de los Biodigestores en el Invernadero de Don Julio.



5.1.1 Biodigestor de Bidón



5.1.2 Biodigestor de Caja



5.1.3 Biodigestor de Bolsa

5.2 SEMANA No. 2: Triturado del Lechuguín



5.2.1 Especie Triturada

5.3 SEMANA No. 2: Colocado del Lechuguín en los Biodigestores.



5.4 SEMANA No. 3: Colocación de Tubos para Almacenamiento del Gas.

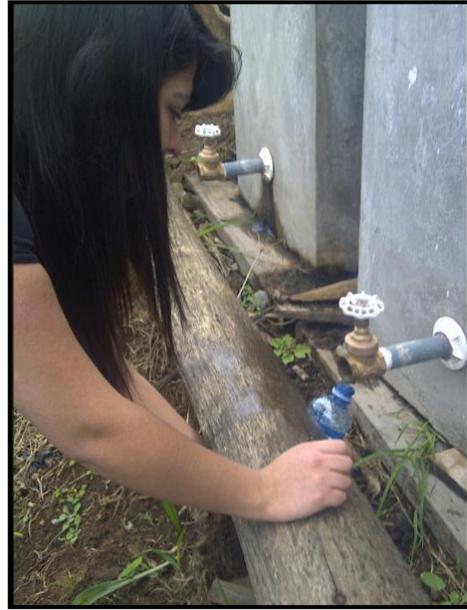




5.5 SEMANA No. 4, 6 y 8: Toma de Muestras.



5.5.1 Toma de Muestras en los Biodigestores.



5.5.2 Obtención de Bioles de los Biodigestores.

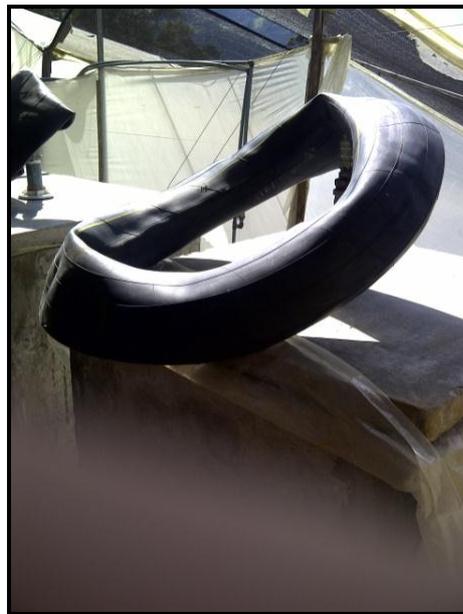
5.6 SEMANA No. 6: Almacenamiento del Biogás en Tubos.



5.6.1 Almacenamiento del Biogás en los Biodigestores de Bidón.

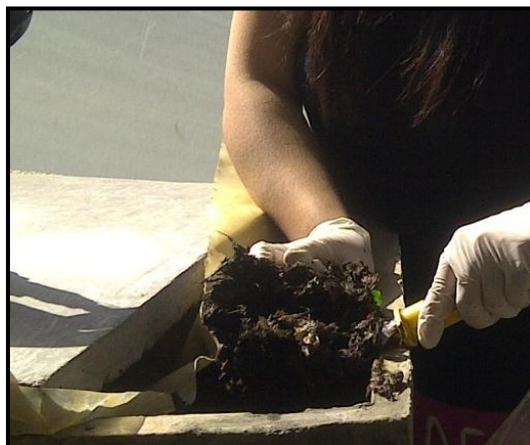


5.6.2 Almacenamiento del Biogás en los Biodigestores de Bolsa.



5.6.3 Almacenamiento del Biogás en los Biodigestores de Caja.

5.7 SEMANA No. 8: Obtención del Abono.



5.7.1 Obtención de Abono Resultante de la Descomposición del Lechuguín.

**ANEXO No. 7: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS
ENTREGADOS POR LA UNIVERSIDAD DEL
AZUAY.**



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
LABORATORIO ANALISIS AMBIENTALES
Av. 24 de Mayo 777 y F. Moscoso tel .07-2881333 ext 274

Cuenca, 25/Nov/2011

Of.No 48

Srs. Celec

Por medio de la presente informo los resultados de los análisis efectuados sobre las muestras de lechuguines entregadas por usted:

Dr. Piercosimo Tripaldi
Responsable Laboratorio



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
LABORATORIO ANALISIS AMBIENTALES
 Av. 24 de Mayo 777 y F. Moscoso tel .07-2881333 ext 274

MUESTRA	CARBONO	NITRÓGENO		C/N
	TOTAL	TOTAL		
	%	ppm	%	
BIOCA 1 13/08	3,740	7980,61	0,798	4,687
BIOCA 1 27/08	3,059	7123,45	0,712	4,296
BIOCA 1 10/09	4,290	6441,49	0,644	6,661
BIOCA 2 13/08	5,093	7656,86	0,765	6,658
BIOCA 2 27/08	3,398	6995,95	0,699	4,861
BIOCA 2 10/09	3,541	6034,62	0,603	5,872
BIOCA 3 13/08	3,418	7527,22	0,752	4,545
BIOCA 3 27/08	2,470	6911,7	0,691	3,575
BIOCA 3 10/09	3,793	6584,8	0,658	5,764
BIOBO 1 13/08	5,854	6945,65	0,694	8,435
BIOBO 1 27/08	4,048	6485,5	0,648	6,247
BIOBO 1 10/09	3,897	5036,43	0,503	7,748
BIOBO 2 13/08	5,550	6665,58	0,666	8,333
BIOBO 2 27/08	3,224	6053,73	0,605	5,329
BIOBO 2 10/09	6,610	5727,13	0,572	11,556
BIOBO 3 13/08	4,563	6580,47	0,658	6,935
BIOBO 3 27/08	4,787	6046,69	0,604	7,925
BIOBO 3 10/09	4,553	5429,01	0,542	8,400
BIOBI 1 13/08	2,831	7080,88	0,708	3,999
BIOBI 1 27/08	2,304	6621,01	0,662	3,480
BIOBI 1 10/09	2,135	5922,69	0,592	3,606
BIOBI 2 13/08	5,100	7117,88	0,711	7,173
BIOBI 2 27/08	4,493	6767,73	0,676	6,646
BIOBI 2 10/09	4,314	6143,94	0,614	7,026
BIOBI 3 13/08	5,393	7297,4	0,729	7,398
BIOBI 3 27/08	5,518	6816,4	0,681	8,103
BIOBI 3 10/09	2,395	5677,73	0,567	4,224
MUESTRA 0	6,647	8953,61	0,895	7,427



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
LABORATORIO ANALISIS AMBIENTALES
 Av. 24 de Mayo 777 y F. Moscoso tel .07-2881333 ext 274

Muestra	ARSÉNICO mg/kg	CADMIO mg/kg	COBRE mg/kg	CROMO mg/kg	MERCURIO mg/kg	NÍQUEL mg/kg	PLOMO mg/kg	ZINC mg/kg
BIOCA 1 13/08	14,889	4,192	74,961	109,786	4,062	54,187	159,764	98,113
BIOCA 1 27/08	14,113	3,989	71,406	108,193	3,974	51,872	154,249	91,781
BIOCA 1 10/09	13,318	3,695	67,808	104,873	3,854	49,678	148,022	84,807
BIOCA 2 13/08	14,835	4,122	73,954	108,996	4,043	53,900	158,638	96,310
BIOCA 2 27/08	14,317	3,902	70,592	106,612	3,950	51,426	154,287	92,637
BIOCA 2 10/09	13,477	3,677	66,679	104,119	3,846	49,468	144,665	86,294
BIOCA 3 13/08	14,993	4,067	75,617	110,893	4,098	53,543	161,827	97,437
BIOCA 3 27/08	14,134	3,854	71,949	106,734	3,991	50,424	156,688	92,536
BIOCA 3 10/09	13,288	3,609	68,605	101,334	3,891	49,206	148,529	87,894
BIOBO 1 13/08	14,506	3,977	76,869	106,150	4,001	56,873	166,872	100,220
BIOBO 1 27/08	13,637	3,813	72,807	104,496	3,927	56,018	162,127	97,076
BIOBO 1 10/09	12,687	3,618	69,165	101,492	3,824	55,151	157,700	94,733
BIOBO 2 13/08	14,366	3,909	76,624	105,104	4,014	57,007	164,993	98,710
BIOBO 2 27/08	13,419	3,743	72,369	101,127	3,810	55,827	158,901	96,051
BIOBO 2 10/09	12,517	3,570	69,297	98,987	3,703	54,762	156,219	92,818
BIOBO 3 13/08	14,671	3,949	76,081	104,496	3,984	57,447	167,060	97,076
BIOBO 3 27/08	13,806	3,697	72,334	101,273	3,803	56,535	163,646	94,913
BIOBO 3 10/09	12,945	3,522	67,975	97,855	3,700	55,182	160,308	92,468
BIOBI 1 13/08	15,017	3,910	74,961	102,951	3,819	54,640	171,392	99,105
BIOBI 1 27/08	14,348	3,653	70,190	100,057	3,718	52,249	163,384	93,561
BIOBI 1 10/09	13,454	3,418	65,953	96,822	3,608	49,123	158,244	91,466
BIOBI 2 13/08	14,956	3,899	73,612	103,474	3,782	54,972	165,709	99,341
BIOBI 2 27/08	14,094	3,631	71,065	101,346	3,684	51,553	162,746	94,350
BIOBI 2 10/09	13,249	3,393	66,732	98,208	3,582	48,932	156,631	90,722
BIOBI 3 13/08	14,724	3,842	73,157	102,489	3,855	54,691	163,627	98,789
BIOBI 3 27/08	13,779	3,583	70,400	99,534	3,753	52,185	162,539	92,085
BIOBI 3 10/09	12,859	3,382	66,189	96,700	3,638	50,252	157,775	89,088



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
LABORATORIO ANALISIS AMBIENTALES
 Av. 24 de Mayo 777 y F. Moscoso tel .07-2881333 ext 274

Muestra	AMONIO mg/kg	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA ds/m	ABSORCIÓN O2 mg de O2/g
BIOCA 1 13/08	521,642	1,06	0
BIOCA 1 27/08	479,653	1,03	0
BIOCA 1 10/09	448,569	1,03	0
BIOCA 2 13/08	538,499	1,07	0
BIOCA 2 27/08	501,925	1,04	0
BIOCA 2 10/09	471,638	1,04	0
BIOCA 3 13/08	537,145	0,96	0
BIOCA 3 27/08	502,605	0,93	0
BIOCA 3 10/09	472,457	0,93	0
BIOBO 1 13/08	509,864	2,71	0
BIOBO 1 27/08	479,641	2,53	0
BIOBO 1 10/09	448,770	2,01	0
BIOBO 2 13/08	518,215	3,12	0
BIOBO 2 27/08	497,830	2,89	0
BIOBO 2 10/09	466,432	2,34	0
BIOBO 3 13/08	515,015	2,64	0
BIOBO 3 27/08	499,915	2,33	0
BIOBO 3 10/09	483,881	2,11	0
BIOBI 1 13/08	529,071	2,8	0
BIOBI 1 27/08	492,640	2,69	0
BIOBI 1 10/09	456,288	2,43	0
BIOBI 2 13/08	515,472	3,17	0
BIOBI 2 27/08	493,921	2,97	0
BIOBI 2 10/09	465,750	2,51	0
BIOBI 3 13/08	528,349	2,75	0
BIOBI 3 27/08	501,471	2,55	0
BIOBI 3 10/09	484,650	2,21	0
MUESTRA 0	613, 259	3,22	



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
LABORATORIO ANALISIS AMBIENTALES
Av. 24 de Mayo 777 y F. Moscoso tel .07-2881333 ext 274

Cuenca, 10/Feb/2011

Of. No 62

Srs. Celec

Por medio de la presente informo los resultados de los análisis microbiológicos efectuados sobre las muestras de lechuguines entregadas por usted:

	MICROORGANISMOS	DATOS
LECHUGUÍN	Coliformes Fecales	834 NMP por gramo de compost.
	Salmonella sp	0,06473 NMP por gramo de compost.

Dr. Piercosimo Tripaldi
Responsable Laboratorio