

***ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA  
DE CHIMBORAZO  
“ESPOCH”***

***FACULTAD DE CIENCIAS  
TRABAJO EN OPCION AL TITULO DE  
MAGISTER EN BIOTECNOLOGIA***

**TITULO: CARACTERIZACIÓN Y DIGESTIÓN  
ANAERÓBICA DE VINAZAS  
DESTILADAS DEL ECUADOR**

**MAESTRANTE: LUIS E. GUEVARA I.**

**TUTOR: Dra. PhD. ROSA C. BERMÚDEZ**

**Consultante: Dr. PhD. RENE VIERA**

**AÑO 1999  
RIOBAMBA - ECUADOR**

## **DEDICATORIA**

**A mis alumnos**

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a la guía de los profesores de la maestría y a la colaboración de la ESPOCH

# INDICE GENERAL

pp

## INTRODUCCION

### CAPITULO I

#### REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1.	Generalidades de las vinazas de destilería.....	14
1.2.	Fermentación Anaeróbica.....	16
1.2.1	Producción de metano por los metanógenos.....	17
1.2.2	Reacciones químicas de conversión anaeróbica.....	19
1.3.	Condiciones generales para la digestión anaeróbica.....	22
1.3.1	Temperatura adecuada.....	23
1.3.2	Inóculo.....	23
1.3.3	Los nutrientes y los inhibidores.....	24
1.3.4	Humedad.....	25
1.3.5	pH.....	25
1.4.	Los digestores anaeróbicos.....	25
1.4.1	Tipos de digestores anaeróbicos.....	25
1.4.2	Partes de un digestor anaeróbico.....	28
1.4.3	Eficiencia del biorreactor.....	28

### CAPITULO II

#### DESARROLLO

2.1.	Localización y duración de la investigación.....	31
2.2.	Definición de la población muestra.....	31
2.3.	Diagrama de trabajo.....	34
2.4.	Parte Experimental.....	35
2.5.	Preparación del inóculo.....	35
2.4.1	Preparación del sustrato.....	35
2.4.2	Preparación de la solución para el sensor.....	35
2.4.3	Sensor utilizado.....	35
2.4.4	Adaptación del inóculo.....	37
2.4.5	Digestión anaeróbica de las vinazas.....	38
2.5	Materiales y métodos.....	39
2.6	Método de la investigación.....	39
2.6.1	Caracterización de las vinazas, los lodos de la laguna de oxidación, y los sobrenadantes, la mezcla y los sólidos de los birreactores.....	39
2.7	Prefactibilidad económica.....	42
2.8	Estimado del costo de inversión.....	42
2.8.1	Estimado del costo de producción.....	43
2.8.2	Estimado del costo de venta.....	44

2.8.3	Determinación de la efectividad económica de la inversión.....	44
2.8.4	Estimado del valor actual neto.....	45
2.8.5	Estimado de la tasa de rendimiento interno.....	46

### **CAPITULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSION.**

3.1	Caracterización de las vinazas frescas de CODANA y PRODUCARGO y de los lodos de la piscina de oxidación de CODANA .....	47
3.2	Adaptación del inóculo.....	48
3.3	Análisis de las mezclas iniciales de los digestores De Codana, Producargo y Lodos de Codana.....	50
3.4	Desplazamiento del gas en el tiempo en los digestores al 20% y 10 % de inóculo .....	51
3.5	Análisis al final del proceso en los digestores al 20% de inóculo.....	54
3.5.1	Análisis del sobrenadante.....	54
3.5.2	Análisis de la mezcla.....	55
3.6	Análisis al final del proceso en los digestores al 10% de inóculo .....	56
3.6.1	Análisis del sobrenadante.....	56
3.7	Análisis del agua residual de CODANA vertida luego del tratamiento de la piscina de oxidación.....	57
3.8	Remoción de la digestión anaeróbica de las vinazas.....	57

### **CAPITULO IV**

#### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **BIBLIOGRAFIA**

#### **ANEXOS.**

## INDICE DE ABREVIATURAS

DQO:	Demanda química de oxígeno.
DBO:	Demanda bioquímica de oxígeno
OD:	Oxígeno disuelto.
ST:	Sólidos totales.
SV:	Sólidos volátiles.
Ce:	Cenizas.
ART:	Azúcares totales reductores.
pH:	Potencial hidrógeno.
MO:	Materia orgánica.
C/N:	Relación carbono-nitrógeno.
C/P:	Relación carbono-fósforo.
L:	Litros
J:	joulius.
cal:	calorías
Kcal:	Kilocalorías.
Kg.:	Kilogramos.
mL.:	militros.
P:	Fósforo.
K:	Potasio.
N:	Nitrógeno
Nt:	Nitrógeno total
TMAR:	Tasa máxima de retorno
TIR:	Tasa interna de retorno.
VAN:	Valor actual neto.
UASB:	Reactor anaeróbico de lecho de lodos.
ppm:	partes por millón
CO <sub>2</sub> :	Anhidrico carbónico.
NaOH:	Hidróxido de sodio
CaO:	Oxido de calcio.
K <sub>2</sub> O:	Oxido de potasio

## **RESUMEN**

Debido a la necesidad de disminuir el impacto ambiental que produce la vinaza, principal efluente residual de las destilerías, se plantea la presente tesis, que tiene el propósito de investigar a través del experimento los diferentes parámetros que se dan en la fermentación anaeróbica de las vinazas, y con el análisis de los resultados obtenidos y proponer el aprovechamiento más adecuado de los productos de este proceso como son el biogás y ácidos orgánicos.

Se recolectaron muestras de: vinaza fresca de las destilerías de CODANA y PRODUCARGO, y de los lodos de la piscina de oxidación de CODANA. Cada muestra fue homogenizada previo a su caracterización, se realizó la preparación y adaptación del inóculo con los lodos de la piscina de oxidación, estiércol vacuno y la adición escalada de las vinazas dando buenos resultados con una reducción notable del tiempo empleado en el arranque del digestor, produciendo además mayor volumen de metano en menor tiempo.

Se prepararon digestores para cada muestra además de uno para el blanco, se instalaron los digestores al 20% y al 10% de inóculo, en cada caso se hizo una caracterización de los reactantes antes, durante y al final del proceso además de tabular la producción del gas metano a través del tiempo.

Los digestores se mantuvieron en condiciones normales de temperatura y presión obteniéndose remoción del orden del (50-70) % que concuerdan con los rangos que se obtienen en fermentaciones anaeróbicas.

Los resultados obtenidos indican que la vinaza de CODANA respecto a la de PRODUCARGO es la más contaminante por su alto contenido de DQO. Con el inóculo al 20% de estiércol vacuno se obtuvieron los mejores resultados: 70% para CODANA y 58% para PRODUCARGO; se demostró además que la laguna de CODANA no es de oxidación, sino que se trata de una laguna anaeróbica.

## SUMMARY

Due to the necessity of lessening the environmental impact that produces the vinasse, main residual effluent of the stills, the present thesis has the purpose of investigating through the experiment the different parameters that are given in the fermentation anaerobic of the vinasse, and with the analysis of the obtained results to propose the most appropriate use in the products of this process like they are the biogas and organic acids.

Samples were gathered of: fresh vinasse of the stills of CODANA and PRODUCARGO, and of the sludge of the pool of oxidation of CODANA. Each sample was homogenized previous to its characterization, he/she was carried out the preparation and adaptation of the inóculo with the sludge of the pool of oxidation, bovine manure and the climbed addition of the vinasse giving good results with a remarkable reduction of the time used in the outburst of the reactors, also producing bigger methane volume in smaller time.

They got ready reactors for each sample besides one for the target; they settled the reactors to 20% and 10 inóculo %, in each case a characterization of the reactants was made before, during and at the end of the process besides tabulating the production of the gas methane through the time.

The reactors stayed in normal conditions of temperature and pressure being obtained removal of the order of the (50-70) % that agree with the ranges that are obtained in anaerobic digestion processes.

The obtained results indicate that the vinasse of CODANA regarding that of PRODUCARGO is the most polluting for its high content of DQO. With the inóculo to 20% of bovine manure the best results were obtained: 70% for CODANA and 58% for PRODUCARGO; it was also demonstrated that the lagoon of CODANA is not of oxidation, but rather it is an anaerobic lagoon.

## INTRODUCCIÓN

Las industrias en todo el mundo son fuentes de contaminación, la contaminación puede ser de muchas maneras por ejemplo: contaminación sonora mediante el ruido producido por las plantas industriales, las cementeras con la eliminación de polvo, las azucareras con la producción de la vinaza y el bagazo de la caña de azúcar, de jabones y aceites con la eliminación de desechos químicos, etc, es decir todas las industrias contaminan en mayor o menor escala al medio ambiente.

Contaminación por vibración como en la producción de bloques vibrados para mejorar la consistencia de los mismos; contaminación a los ríos, lagos, lagunas, mares, océanos mediante el vertido de residuales líquidos no tratados, como el de las plantas auríferas mediante el uso indiscriminado de cianuro y mercurio, este último provocando inclusive mutaciones genéticas, las industrias de producción de acumuladores eléctricos (baterías) mediante el uso del plomo.

Contaminación atmosférica mediante la emanación de gases como el generado en las plantas auríferas, y en todas aquellas que utilizan calderas cuyo combustible es el bunker, las industrias que fabrican refrigerantes con compuestos fluor cloro carbonados (dicloro difluor metano), las productoras de fertilizantes donde hay abundante uso del amoníaco, y las de pesticidas donde se utilizan profusamente compuestos fosforados y clorados

Prácticamente no hay industria que de una u otra manera al menos en mínima proporción ocasione contaminación. Si nos ponemos a pensar que inclusive lugares que no se dedican a la industria, sino que solamente prestan servicios como son: hospitales, hoteles, sitios de concentración masiva como los restaurantes, y las mismas ciudades son focos de contaminación, por lo que un adecuado tratamiento de estos desechos sean industriales o domésticos minimizan el impacto ambiental de los residuos.

Toda esta contaminación modifica las condiciones del medio ambiente que nos rodea, provoca cambios definitivos y negativos para la subsistencia de la vida, degrada las condiciones de los hábitat naturales de los seres vivos.

La biotecnología [1] es una de las ramas de la ciencia que mediante la aplicación de ciertas técnicas permite controlar y disminuir el impacto ambiental de los desechos industriales, concretamente la biotecnología ambiental y dentro de ella sobre todo el tratamiento biológico de residuos.

De las posibilidades del tratamiento biológico, la opción anaerobia es la más utilizada con este fin, en años recientes el tratamiento anaerobio de desechos se ha incrementado notablemente, al mismo tiempo que se han experimentado notables progresos en la comprensión y tecnología de estos procesos [2].

La vinaza es el principal efluente residual [3] obtenido en los procesos de producción de alcohol por fermentación. Sus componentes principales son: etanol, glicerol, glucosa, ácido láctico y acético, almidón, pectina, aminoácidos y proteínas [4] [5]. Para las destilerías, la disposición de estos residuos representa un agudo problema por sus altas cargas orgánicas que al verterse directamente ocasionan grave contaminación de las fuentes receptoras.

La necesidad de disminuir el contenido orgánico de estos efluentes ha llevado a considerar la fermentación anaerobia como alternativa de tratamiento [6]. En estos procesos se degrada la materia orgánica mediante la acción de bacterias acidogénicas y metanogénicas que hidrolizan los compuestos complejos, los convierten en ácidos orgánicos, principalmente acético y finalmente generan biogás cuyo componente principal es el metano.

En el Ecuador existen destilerías de alcohol, cuyo residuo es la vinaza que contamina los ríos y lagunas. Este voluminoso residuo es un líquido café oscuro que se vierte aproximadamente a 80°C, con bajo valor de pH aproximadamente 4, indicador de su acidez y de su capacidad contaminante, sobre todo si se tiene en cuenta los altos volúmenes de emisión.

El poder de contaminación de este líquido es tal, que vertido en su forma original provoca la muerte de cualquier vegetal que se halle cercano, además puede filtrarse a través de las

capas terrestres contaminando el manto freático; el agua que consumen las poblaciones cercanas proviene de pozos, como consecuencia de la filtración de la vinaza a través de las capas terrestres esta agua puede contaminarse adquiriendo el color y en el sabor a vinaza, lo cual constituye un gran problema

Las plantas productoras de alcohol han diseñado grandes piscinas de oxidación para colectar la vinaza con la finalidad disminuir el impacto ambiental, en estas piscinas se procede a una oxigenación del residuo, lo cual disminuye la carga orgánica de la vinaza.

Estas piscinas se encuentran al aire libre, y en su interior y debido a una mala agitación se produce una falta de oxigenación que conlleva a fermentaciones anaeróbicas que generan metano, este gas contribuye al efecto invernadero y además se convierte en un recurso desperdiciado que podría ser utilizado como combustible para la misma industria.

De acuerdo a algunas de las normas establecidas [7] se entiende que un residual para ser vertido al medio ambiente, debe reunir las siguientes características:

DQO	180-240 mg/L
DBO	120-150 mg/L
Sólidos totales	80-100 mg/L
Temperatura	32°C
pH	7-8

Como se ha dicho la vinaza es un desecho proveniente de las destilerías de alcohol, caracterizándose por una alta demanda química de oxígeno DQO (demanda química de oxígeno) y una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

Estos elevados valores de DBO (demanda bioquímica de oxígeno) provocan un rápido agotamiento del oxígeno en el medio líquido, pero si la vinaza fuera vertida en ríos con suficiente caudal como para producir una adecuada dilución, el problema de la contaminación sería mucho menor, el caso es que en general se vierte en ríos con caudal insuficiente como para provocar una adecuada dilución, entonces se tiene altas

concentraciones que provocan efectos desfavorables en la flora y fauna existentes.

En el Ecuador hay 2 importantes empresas destileras de alcohol, en las cuales se produce la vinaza: Producargo produce  $42000 \text{ Ldía}^{-1}$  de alcohol y desecha con una relación de 12 litros de vinaza por cada litro de alcohol, lo que da  $504000 \text{ Ldía}^{-1}$  de vinaza, esto equivale a una carga orgánica contaminante comparable a una población de 280000 habitantes [8], mientras que en CODANA se producen  $324000 \text{ Ldía}^{-1}$  de vinaza, esta última con un tratamiento biológico en lagunas de oxidación a este residual.

Independientemente que en ambos casos se tiene previstas soluciones, al ser los volúmenes emitidos tan grandes, es interesante valorar opciones que conlleven a tecnologías limpias o también las ventajas de la fermentación anaeróbica.

El tratamiento anaeróbico de desechos ofrece sustanciales ventajas con respecto al tratamiento aeróbico como son:

- Reducida producción de lodos residuales.
- Más energía generada que consumida.
- Son retenidos valiosos nutrientes.
- Los lodos anaeróbicos pueden ser preservados en ausencia de nutrientes.

Como consecuencia de estas ventajas, en todo el mundo un gran número de plantas de tratamiento (más de 60) [2] de alta velocidad, han demostrado ya su utilidad para una amplia variedad de residuales.

El tratamiento anaeróbico no solo reduce la contaminación ambiental, sino que también ayuda a recuperar valiosos nutrientes los cuales pueden luego retornar al suelo como fertilizantes, además produce una considerable fuente de energía que es el biogás.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Lograr la descontaminación de las vinazas de destilería de las plantas productoras de alcohol, mediante el uso de la digestión anaeróbica que permitan disminuir la elevada carga orgánica que contienen estos residuos.

### **Objetivos específicos**

- Caracterización de las vinazas de destilería de alcohol.
- Estudiar la influencia de diferentes concentraciones de inóculo en la digestión anaerobia de las vinazas de destilería.
- Obtener a nivel de laboratorio parámetros que permitan un alto nivel de descontaminación.

# CAPITULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 GENERALIDADES DE LAS VINAZAS DE DESTILERÍA.

Las vinazas tienen un alto contenido de materia orgánica, aun en estado diluido, por lo que resulta factible poder utilizarlas para la producción de biogás. Se ha podido comprobar que al ser la vinaza un residuo después de haber obtenido el alcohol proveniente del jugo de caña de azúcar o después de haber tratado a la melaza producto residual de las azucareras de caña de azúcar, las características físico químicas de la primera y de la segunda son ligeramente diferentes, en la tabla 1 podemos observar estas diferencias.

**TABLA 1 PARAMETROS FISICO QUIMICOS DE MELAZAS Y RESIDUOS**

<b>Parámetros</b>	<b>Melaza de caña</b>	<b>Jugo de caña</b>	<b>Melaza de remolacha</b>	<b>Residuos de papa</b>	<b>Residuos de maíz</b>
pH	4.2-5.0	3.7-4.6	4.8-5.2	4.7-5.3	4.7-5.3
T °C	80-100	80-100			
DQO (Kg/m <sup>3</sup> )	65	15-33	45-50	57.3	102
Sólidos totales (mg/L)	81500	23700	48000-63000	50000	63500
Sólidos volátiles (mg/L)	60000	20000	40000-49000	41000	60000
Sólidos fijos (mg/L)	21500	3700	8000-14000	9000	3500
Nitrógeno (mg/L N)	450-1610	150-700	790-940	830	1000
Fósforo (mg/L P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	100-290	10-210	275	1145	1374
Sulfatos (mg/L SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	6400	600-700			
Relación C/N	16-16.3	19.7-21.1	6	6.1	9.1

Por otro lado existen datos sobre la composición de la vinaza proveniente de algunas destilerías, las tablas 2 y 3 presentan lo indicado:

**TABLA 2 COMPOSICIÓN DE VINAZAS DE DESTILERÍAS DE TAIWAN**

<b>Parámetros</b>	<b>Machia</b>	<b>Nantsing</b>
°Brix	13.10	12.7
pH	4.15	5.1
ART (mg/10 mL)	1.80	1.400
Nitrógeno total (%)	0.25	0.24
Sólidos totales (%)	11.9	11.5
Cenizas (%)	3.97	2.23
Materia orgánica (%)	7.04	7.6
CaO (%)	0.57	0.32
K <sub>2</sub> O (%)	1.57	1.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.014	0.013
ART (azúcares totales reductores)		

**TABLA 3 COMPOSICIÓN DE VINAZAS DE DESTILERÍAS CUBANAS**

<b>Parámetros</b>	<b>H. Molina</b>	<b>Habana</b>
°Brix	7.7	10.2
pH	4.4	4.5
ART (mg/10 mL)	1.64	2.75
Nitrógeno total (%)	0.73	0.83
Sólidos totales (%)	7.05	9.50
Cenizas (%)	1.3	2.32
Materia orgánica (%)	6.45	7.51
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	0.023	0.015
ART (azúcares totales reductores)		

Un buen índice de la variabilidad de las vinazas resulta de la relación materia orgánica/azúcares reductores totales (MO/ART), que puede variar en las vinazas desde 2.0 hasta 7.0, esta relación es un indicador de la vinaza

En Colombia Licores del Valle [8] producen 120000 L de alcohol/día, e igualmente tienen datos sobre las características de la vinaza, la tabla 4 muestra esos datos.

**TABLA 4 [3] CARACTERIZACION PARCIAL DE LAS VINAZAS DE MIEL VIRGEN**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>VINAZAS m. Virgen</b>
T °C	87
pH	3.7
Acidez total (mgCaCO <sub>3</sub> )	3878
P total (mg P/L)	31
DQO (mg/L)	57000
N total (mg N/L)	220

## **1.2 FERMENTACIÓN ANAERÓBICA. [9]**

La digestión anaerobia de la materia orgánica, no es un fenómeno limitado a los digestores anaerobios; en realidad el hombre utilizó las capacidades de la naturaleza por fines propios para la depuración de aguas residuales, descontaminación y estabilización de desechos sólidos, producción de metano.

La metanogénesis ocurre en ecosistemas muy diversos tales como pantanos, sedimentos marinos o lacustres, medios ambientales extremos (manantiales hipertermofílicos, tractos digestivos de animales como por ejemplo el rumen de los rumiantes se puede comparar con un verdadero reactor anaerobio metanogénico.

Sin embargo cada uno de estos ecosistemas tiene características propias, lo que hace que puedan cambiar un poco los mecanismos de metanogénesis. A pesar de estas particularidades fundamentales son casi los mismos.

Se requieren tres condiciones básicas para tener una metanogénesis adecuada:

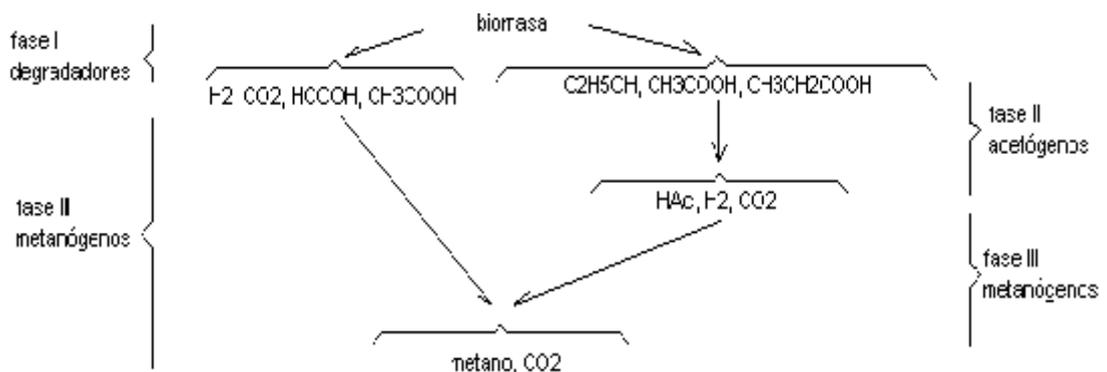
- Anaerobiosis estricta.
- Condiciones reductoras rigurosas. ( $<-330$  mV )
- Ausencia (o cantidades muy limitadas) de aceptores minerales finales (sulfatos, nitratos) que favorezcan otras vías en competencia con la metanogénesis.

Una vez reunidas estas condiciones, habrá que respetar las exigencias específicas de cada grupo de bacterias involucradas, esto es ausencia de inhibidores, condiciones de temperatura y de pH, presencia de oligoelementos, pero es indispensable señalar que por lo general la metanogénesis ocurre entre un pH de 6.7 a 7.8 y a pH ácidos, los ácidos grasos volátiles producidos pueden provocar una inhibición del fenómeno.

Las vinazas tienen un importante contenido de DQO, pero la producción de biogás se da óptimamente dentro de un rango de DQO (4000 a 8000), por lo que se hace necesario diluir 1:10 esta vinaza para utilizarla en la producción de biogás, y naturalmente llevar a un pH aproximadamente neutro.

### 1.2.1 Producción de metano por los metanógenos.

Los anaerobios juegan un papel clave en el ciclo del carbono; son los principales responsables de la degradación de las sustancias orgánicas que conducen a la eventual regeneración de dióxido de carbono. Hay autores que sugieren 3 pasos, otros sugieren 4 pasos, en nuestro caso adoptamos el criterio de 3 pasos o fases [1] cuya representación se muestra en la figura 1



**FIGURA 1: FASES DE LA DEGRADACIÓN ANAEROBIA DE SUSTRATOS ORGÁNICOS**

Estas fases son llevadas a cabo por tres diferentes grupos de anaerobios. Los microorganismos del grupo I se conocen como *degradadores*, (hidrólisis y fermentación)

cuya función es romper hidrolíticamente los polímeros (como proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos) para producir hidrógeno, dióxido de carbono, formato, acetato, etanol propionato, propanol, butirato, butanol, etc.

Los microorganismos del grupo II conocidos como *acetógenos* (acetogénesis), fermentan posteriormente el etanol propionato, butirato, etc. Rindiendo acetato, hidrógeno y dióxido de carbono como productos finales principales. Los microorganismos del grupo III son los *metanógenos* (metanogénesis), y degradan el acetato produciendo metano y dióxido de carbono.

Los productos resultantes de muchas de estas reacciones, sobre todo los de las reacciones de la fase I (realizadas por una amplia variedad de anaerobios como *Clostridium*, *Bacteroides*, y *Ruminococcus*) son de gran importancia comercial y biotecnológica. Entre ellos etanol (como combustible y bebida), propanol y butanol (ambos como disolventes). Recientemente, el interés acerca de las aplicaciones industriales de los metanógenos ha aumentado, por lo que resulta interesante el estudio de estos microorganismos.

Aunque las bacterias metanogénicas juegan un papel clave importante en la regeneración de metano, en los hábitat naturales, el actual interés biotecnológico de estos microorganismos se centra en la explotación de su capacidad como parte de la cadena de las bacterias anaerobias, de producir metano mediante la degradación de los residuos, y efluentes domésticos, agrícolas e industriales.

Alrededor del 26% del combustible consumido en los Estados Unidos es metano. Se considera que la generación biotecnológica de metano es la mejor forma de suplementar las fuentes geológicas naturales de este gas. El procedimiento conocido como *producción de biogás*, está ya muy extendido pero habitualmente se utiliza a pequeña escala (por ejemplo, como una fuente de calor en granjas que deriva del estiércol de cerdos, vacas o aves) pero el potencial de tal proceso es enorme (Daniels 1984).

Sin embargo solo podrá llevarse a cabo cuando se disponga de un conocimiento más completo de la fisiología, bioquímica y biología molecular de los metanógenos. Como se

verá algunos aspectos de estos microorganismos muchos de ellos peculiares del grupo están bien documentados, pero se sabe muy poco de otros.

### **1.2.2 Reacciones químicas de conversión anaerobia.**

Para integrar los procesos anaerobios de tratamiento de residuales, se hace necesario hacer una revisión de las reacciones de conversión anaerobia.

La transformación de sustancias orgánicas complejas a metano se lleva a cabo por un gran número de bacterias que actúan sinérgicamente aunque a distintas velocidades.

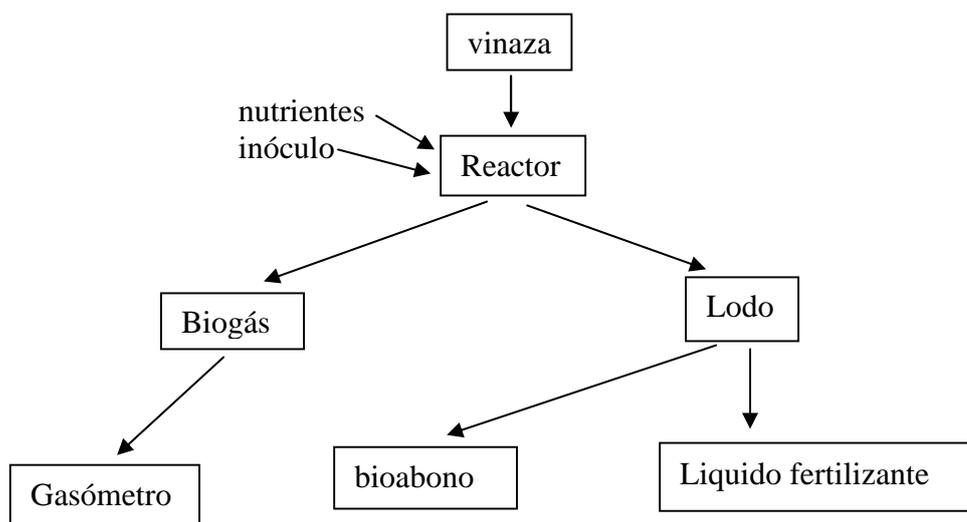
En una primera etapa las bacterias hidrolizan las moléculas de tamaño grande produciendo azúcares, alcoholes, ácidos grasos, hidrógeno y dióxido de carbono.

En una segunda etapa, las bacterias acetogénicas, (que deben existir en simbiosis con las metanogénicas utilizadoras de hidrógeno) oxidan los alcoholes y ácidos grasos no volátiles ( más de cuatro átomos de carbono) a acetato e hidrógeno.

Finalmente en la tercera etapa, las metanogénicas transforman acetatos, hidrógeno y dióxido de carbono a metano.

**TABLA 5 [10] ESTEQUIOMETRÍA Y TERMODINÁMICA DE LAS REACCIONES**

<b>Bacterias</b>	<b>UG° kJmol<sup>-1</sup> sustrato</b>
Bacterias fermentativas y acetogénicas $C_6H_{12}O_6 + 2CH_3COO^- + 2HCO_3^- + 4H^+ + 4H_2 + 4ATP$ $C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COO^- + 2H_2O + 4H^+$ $CH_3CH_2COO^- + 6H_2 \rightarrow CH_3COO^- + 2HCO_3^- + 2H^+ + 6H_2$	-206.3 -358.1 +152
Bacterias metanogénicas y acetoclásticas $CH_3COO^- + H_2O \rightarrow CH_4 + HCO_3^- + 0.5 ATP$	-31
Bacterias metanogénicas e hidrógenotrofas $4H_2 + 2HCO_3^- + 2H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O + ATP$	-135.6
Otras bacterias metanogénicas $HCOO^- + H^+ \rightarrow 0.25 CH_4 + 0.75 CO_2 + 0.5 H_2O$ $CO + 0.5 H_2O \rightarrow 0.25 CH_4 + CO_2$ $CH_3COH \rightarrow 0.75 CH_4 + 0.25 CO_2 + 0.5 H_2O$	-36.1 -52.7 -79.9
Bacterias sulfato reductoras $C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COO^- + 2H_2O + 4H^+$	-152



**Figura 2: DIAGRAMA de FLUJO del PROCESO TECNOLÓGICO DE FORMACION DE BIOGAS**

La composición del biogás varía de acuerdo con la naturaleza del material fermentado. Los valores medios son: [11]

<b>GASES</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Metano	50 a 70
Dióxido de Carbono	30 a 40
Hidrógeno	1 a 3
Nitrógeno	0.5 a 1
Gas Sulfhídrico	0 a 1

El Metano, es el mayor componente del biogás, es un gas incoloro, inodoro e insípido, peso específico de 0.176 kg., difícilmente licuable.

El biogás tiene un poder calorífico promedio de alrededor de 4.767 Kcal. (cal = 4.184 J); cuanto mayor es el contenido de metano y menor es de dióxido de carbono, mayor es su poder calorífico, no es tóxico, y la combustión del metano no deja residuos.

El metano es producto de la degradación anaeróbica es un gas que se considera dañino para efecto climatológico, ya que aporta al llamado **efecto invernadero**. [12]. Los científicos consideran que la emisión de una unidad de metano equivale en su efecto, a más de 20 unidades de CO<sub>2</sub>. Entonces la liberación de metano formado en las lagunas anaeróbicas significa un aporte muy negativo al efecto invernadero. Por otro lado, si se aprovecha este gas como combustible tiene un alto poder calorífico que es comparable con otros gases combustibles como el gas propano.

Poco antes del inicio de este siglo [13], el geólogo norteamericano T.C. Chamberlain, presidente de la Universidad de Wisconsin, y el químico sueco Arrhenius llegaron por separado, a la conclusión de que el bióxido de carbono absorbía los rayos infrarrojos emitidos por la superficie de la Tierra y reenviaba una parte de esa energía sobre el planeta creando un “efecto invernadero”.

También otros gases, además del dióxido de carbono (metano, óxido nitroso) y gases artificiales (clorofluorocarbonados) que se encuentran presentes en centenas de partes por

millón en la atmósfera, presentan la propiedad de reenviar a la Tierra los rayos infrarrojos emitidos desde el suelo recalentado por haber absorbido una parte de la radiación solar, al igual que las paredes de vidrio o polietileno de un invernadero, que no dejan traspasar los rayos infrarrojos. Estos últimos atrapados recalientan por tanto la baja atmósfera o el interior del invernadero.

El biogás que se obtiene tiene un porcentaje alto de CO<sub>2</sub>, este cuando se hace burbujear en una solución concentrada de NaOH al 10%, esta concentración debe ser alta de modo que se garantice que todo el CO<sub>2</sub> sea absorbido en el líquido[14], de este modo el gas que se obtiene corresponde a metano en su mayor porcentaje.

El proceso anaeróbico requiere de ciertas condiciones generales necesarias para la producción de biogás a partir de desechos orgánicos animales, o vegetales. La digestión anaeróbica es una tecnología bastante conocida porque reduce la masa y el volumen de los lodos utilizados en el proceso, y tiene la ventaja de producir pequeñas cantidades de biomasa.

### **1.3 CONDICIONES GENERALES PARA LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA.**

Para que exista una adecuada digestión anaeróbica, de los desechos orgánicos, se debe cumplir con ciertas condiciones generales básicas para que esta pueda realizarse, y, entonces obtener combustibles y fertilizantes de excelentes cualidades.

La condición importante y básica es que el medio en que ésta se produce debe ser impermeable al oxígeno del aire, ya que la fermentación aeróbica, (presencia del oxígeno del aire), produce dióxido de carbono y la fermentación anaeróbica (ausencia del oxígeno del aire) produce metano y CO<sub>2</sub> fundamentalmente, gracias a las bacterias metanogénicas que son las que requieren el medio anaeróbico para poder desarrollar sus actividades biológicas.

Otros factores de importancia para la fermentación anaeróbica son los siguientes:

### 1.3.1 Temperatura Adecuada

La temperatura en el interior del digestor afecta sensiblemente a la producción de biogás; a mayor temperatura, mayor producción de biogás. Una temperatura óptima sería la de 35°C; sin embargo, se considera como límites generales las temperaturas de 15°C y 45°C.

Los microorganismos productores de metano son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura, por lo que es preciso asegurar una estabilidad (relativa) de temperatura.

### 1.3.2 Inóculo

Para que se produzca la digestión anaeróbica, es necesario que el sustrato contenga las bacterias que posibiliten la biodegradación, estas bacterias se encuentran en el inóculo.

Como inóculo se pueden utilizar excretas de animales aves o del mismo hombre, a continuación damos un listado de los diferentes inóculos que pueden utilizarse, y su eficacia para producir biogás.

**TABLA 6: PRODUCCIONES ESPECÍFICAS DE METANO UTILIZANDO DIFERENTES DESECHOS [2]**

<b>Material</b>	<b>Producción de gas por peso de materia seca <math>\text{m}^3 \text{kg}^{-1}</math></b>	<b>Metano %</b>	<b>Tiempo de permanencia (días)</b>
Estiércol bobino	0.86	58	10
Estiércol de pollos	0.31	60	30
Estiércol de cerdos	0.69-0.76	58-60	10-15
Estiércol de ovinos	0.37-0.61	64	20

### 1.3.3 Los nutrientes y los inhibidores

Los microorganismos que producen el biogás, se alimentan principalmente de Carbono, Nitrógeno y Sales Inorgánicas. La principal fuente de carbono son ciertos polímeros presentes en los desechos y la fuente principal del nitrógeno son las deyecciones animales o humanas.

El nitrógeno existe por lo general en cantidad suficiente en la mayor parte de los substratos metanizables, tanto más ya que la metanogénesis no produce aumento de la biomasa y por tanto no consume cantidades importantes.

Los materiales que van a servir de alimento para los microorganismos deben tener como óptima una relación C/N de 20 a 35 y C/P de 150.

Bajo la forma de nitrato, si las cifras son superiores a  $150 \text{ mgL}^{-1}$ , el nitrógeno puede convertirse en inhibidor de la metanogénesis porque su poder oxidante podrá afectar elevando el potencial redox.

Los sulfatos son inhibidores para cifras superiores a  $100$  ó  $200 \text{ mgL}^{-1}$ . Su Presencia induce el desprendimiento de hidrógeno y de hidrógeno sulfurado; son bien conocidos los efectos corrosivos de este último.

Sin embargo, si son en cantidades bajas, estos desprendimientos de  $\text{H}_2$  y de  $\text{H}_2\text{S}$  pueden tener un efecto benéfico, por un lado abaten el potencial redox y por otra precipitando los iones metálicos tóxicos en forma de sulfuros (Cu,Zn,Ni,Hg)

Los iones de los metales pesados son, en efecto, inhibidores y aun tóxicos a concentraciones muy bajas, las concentraciones máximas permitidas son:

Cobre 10-250 ppm, Calcio 8000 ppm, Sodio 8000 ppm, magnesio 3000 ppm, níquel 100-1000 ppm, Zinc 350-1000, cromo 200-2000, cianuro 2, sulfuro (como azufre) 200 ppm.

### **1.3.4 Humedad**

La cantidad de agua debe normalmente mantenerse entre un 85 a 90% del peso total, o sea un 15 a 10% de sólidos en el material a descomponerse. Tanto el exceso como la falta de agua en la mezcla es perjudicial para una buena producción de biogás.

La cantidad de agua requerida está de acuerdo al tipo de materia prima con la que se va a trabajar.

### **1.3.5 pH**

El medio en que desarrollan los microorganismos requiere de un ambiente neutro o ligeramente alcalino (entre 7 y 8.5 es adecuado).

## **1.4 LOS DIGESTORES ANAERÓBICOS.**

Los reactores fueron desarrollados en 1968 (Young and McCarty 1969) y a partir de esa fecha se han desarrollado una gran variedad de reactores ver la figura 3, el reactor es el corazón mismo del proceso de fermentación, en él se desarrollan las diferentes reacciones (reactor) que provocan la biodegradación de los desechos orgánicos, los reactores pueden ser aeróbicos y anaeróbicos, pero como nuestro objetivo es obtener metano, el uso de los reactores anaeróbicos es el adecuado porque en este tipo de digestores se obtiene principalmente metano como producto final entre otros.

### **1.4.1 Tipos de digestores anaeróbicos.**

Los digestores a través del tiempo han ido evolucionando, es así que podemos mencionar las siguientes generaciones:

- Primera generación: la biomasa se encuentra en suspensión.

Ejemplos de estos digestores son: Fosa séptica, tanque Imhoff, lagunas anaerobias,

digestor anaeróbico convencional, digestión en dos etapas, digestor completamente mezclado, etc.

- Segunda generación: Los microorganismos se retienen en el digestor en forma de biopelícula o por sedimentación.

Ejemplos de estos digestores son: filtro anaerobio, reactor tubular de película fija, reactor Anaerobio de lecho de lodos (UASB).

- Tercera generación: los microorganismos se encuentran en forma de biopelícula pero el soporte se expande o fluidiza con altas velocidades de flujo, ejemplos de estos se encuentran a nivel de planta piloto a semi industrial.

Dependiendo del desarrollo económico [2] y condiciones de vida humana en el mundo se han desarrollado diferentes tipos de digestores para el procesamiento de los residuales orgánicos, tales como:

- Digestor de mezcla completa

Este tipo de digestor consiste de un tanque de metal, fibrocemento o cemento, el cual consta de una toma de carga y al mismo se le acopla un sistema de agitación que puede ser recirculando el mismo biogás a través de la masa de digestión o con ayuda de un agitador mecánico. Se utiliza en el procesamiento fundamental de materiales que contengan sólidos no solubles como los estiércoles, paja, etc.

- Digestor de etapas separadas (hidrolizador y metanizador)

Este digestor está compuesto por 2 tanques, en uno se hidroliza la materia a degradar utilizando microorganismos hidrolíticos específicos o fermentos y en otro se produce la metanización de compuestos resultantes de la hidrólisis.

- Filtro anaeróbico.

Este tipo de digestor como su nombre lo indica consiste en un filtro, en el cual se fijan sobre un soporte los microorganismos que intervienen en el proceso y a través de él, se hace fluir el material a digerir. Es factible para residuales que contengan bajo contenido de sólidos insolubles.

- Reactor anaeróbico del lecho de lodos (UASB)

Corresponde a Lettinga (figura 3 E) el desarrollo de este reactor que por su simplicidad se ha difundido en varios países. Su gran ventaja consiste en que no requiere ningún tipo de soporte para retener la biomasa, lo que implica un ahorro importante. Su principio de funcionamiento se basa en la buena sedimentabilidad de la biomasa producida dentro del reactor, la flocula se aglomera en forma de granos o pellets hasta de 5mm de diámetro, estos granos cuentan además con una actividad metanogénica muy elevada, lo que explica los buenos resultados del proceso.

El reactor es de flujo ascendente y en la parte superior cuenta con un sistema de separación gas-líquido-sólido, el cual evita la salida de sólidos suspendidos en el efluente y favorece la evacuación del gas y la decantación de los flóculos que eventualmente llegan a la parte superior del reactor. Un punto importante en su diseño es la distribución de las entradas del agua residual, ya que una mala repartición puede provocar que ciertas zonas de la cama de lodos no sean alimentadas, desperdiciándose su actividad.

El punto débil del proceso consiste en la lentitud que se forman los granos, elemento indispensable del sistema. Esto puede ser solucionado mediante una inoculación importante con lodos adecuados. Las cargas orgánicas alimentadas a este reactor pueden llegar hasta 40 Kg. de DQO por metro cúbico diarios (40000 ppm.).

Según la forma de operación, los reactores pueden ser:

- Discontinuos

- Continuos
  - Tubulares
  - Continuos con agitación
  - Semicontinuos.

El digestor utilizado en el laboratorio es un digestor discontinuo, llamados también por lote o batelada se caracteriza porque la materia prima se introduce una sola vez y enseguida el digestor es cerrado herméticamente, la producción de biogás ocurre posterior a su carga y luego decae llegando a una fase estacionaria.

### **1.4.2 Partes de un digestor anaeróbico.**

- Entrada de materia orgánica.
- Cámara de fermentación.
- Recolector o almacenador del biogás (gasómetro)
- Salida del efluente.
- Sistema de purificación del gas el más importante es el H<sub>2</sub>S con limallas de hierro y aserrín.
- Eliminación del CO<sub>2</sub> con cal en solución.
- Sistema de eliminación de agua.
- Control de la presión con manómetros.

### **1.4.3 Eficiencia del biorreactor.**

La eficiencia del biorreactor puede ser medida mediante las siguientes ecuaciones:

$$\%eficiencia = \frac{DQO_{entrada} - DQO_{salida}}{DQO_{entrada}} \times 100 \quad (1)$$

o por la ecuación:

$$\%eficiencia = \frac{SV_{entrada} - SV_{salida}}{SV_{entrada}} \times 100 \quad (2)$$

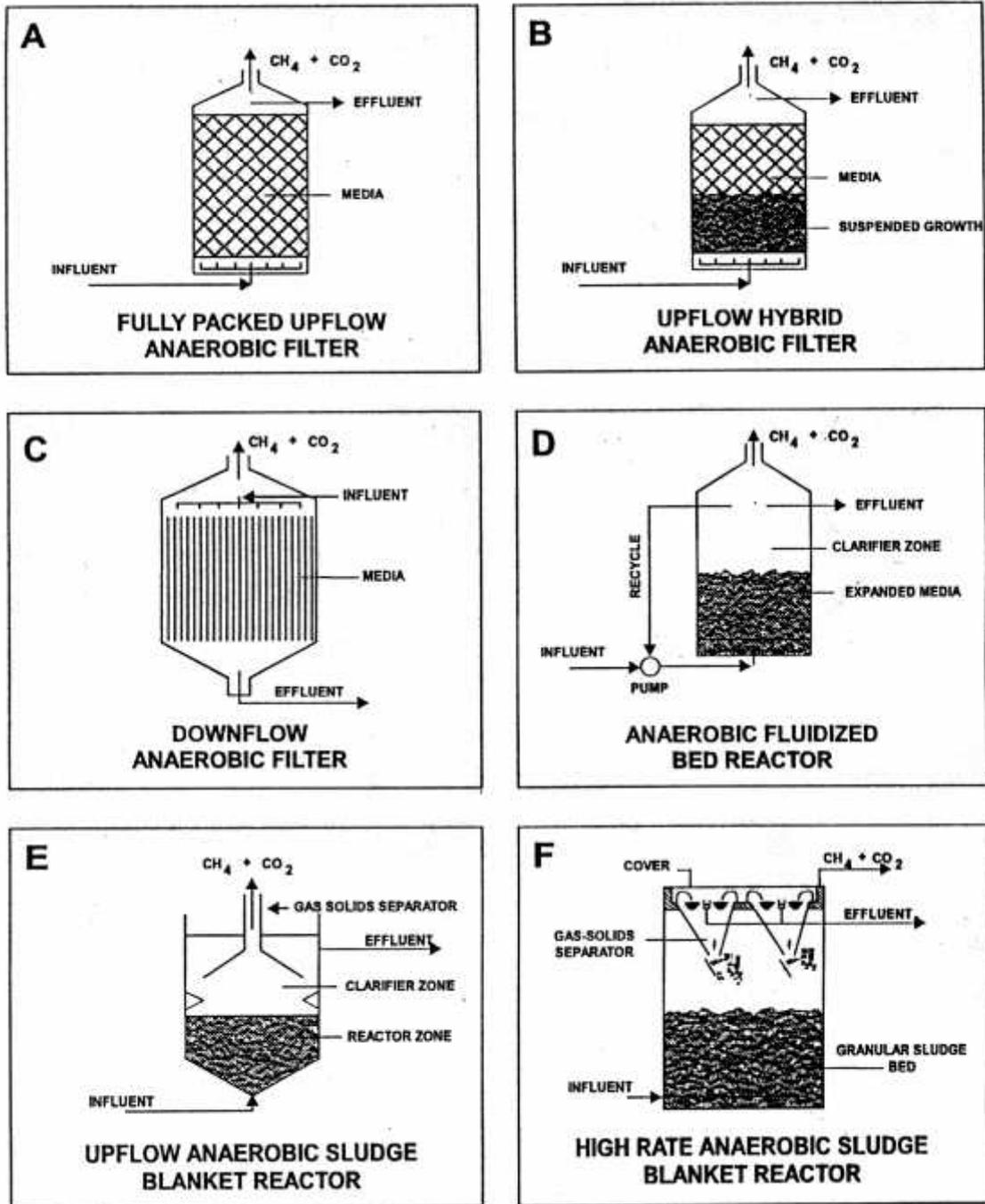
Los parámetros utilizados en estas ecuaciones como DQO nos indican el grado de contaminación que tiene una “agua residual”, generalmente se conocen dos tipos de aguas residuales, las AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS y las AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES. Un punto crítico de las aguas contaminadas es la disminución en los niveles de oxígeno disuelto, el mismo que disminuye rápidamente cuando se vierten aguas residuales con altos contenidos de materia orgánica provocando fenómenos de putrefacción destruyendo el balance de dicho ecosistema.

Para tener una idea del grado de nocividad de las aguas residuales, se han ideado métodos que determinan la demanda química de oxígeno DQO y la demanda bioquímica de oxígeno DBO, esta última generalmente se la hace a 5 días, existen métodos bien estandarizados para realizar estas pruebas.

La ecuación 2 utiliza los sólidos volátiles, pues estos son buenos indicadores del proceso de la digestión. Últimamente se está utilizando el valor de los ácidos volátiles y se considera un valor por debajo de los  $500 \text{ mgL}^{-1}$  como una buena digestión.

Es bueno pensar que el proceso propuesto para tratar el residual de las destilerías de alcohol mediante una digestión anaeróbica resulta ser una tecnología que limpia las aguas residuales, y es capaz de producir energía y fertilizantes a partir de fuentes no convencionales y renovables.

FIGURA 3: DIAGRAMA DE DIFERENTES BIORREACTORES ANAERÓBICOS



## **CAPITULO II**

### **DESARROLLO**

#### **2.1 LOCALIZACION Y DURACION DE LA INVESTIGACION.**

De las plantas de CODANA y PRODUCARDO, ubicada en la Troncal, provincia del Cañar se tomaron vinazas frescas y se realizó un seguimiento del proceso de su descontaminación.

Del lodo de la laguna de oxidación de CODANA se tomó una muestra a una profundidad de 2 metros en la zona considerada de mayor actividad, y se la utilizó como inóculo.

Se instalaron los digestores en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, en la ciudad de Riobamba, de la provincia de Chimborazo. Durante el proceso de descontaminación de las vinazas se tomaron muestras de los digestores del: sobrenadante, de la mezcla y del sólido para los análisis del contenido de los digestores, se tomaron muestras del sobrenadante, de la mezcla, y del sólido. El proceso se inicio el 18 de Septiembre de 1998 y concluyó la investigación en Enero de 1999.

Los análisis realizados se efectuaron en la destilería CODANA y en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

#### **2.2 DEFINICION DE LA POBLACION MUESTRA.**

Para la adaptación del inóculo se tomó muestras de la planta PRODUCARDO, ubicada en la Troncal, provincia del Cañar.

Con la finalidad de obtener una muestra representativa de los 360 días del proceso industrial de la planta, se procedió a tomar dos muestras en diferentes días y horas, y de tanques de fermentación diferentes. De estas muestras tomadas, se procedió a homogenizarlas, tomando 1000 mL de cada una para luego mezclar las dos últimas muestras, de la mezcla homogenizada se tomó 40 mL, luego 60 mL y finalmente 120 mL hasta completar el proceso de adaptación del inóculo.

Para instalar los digestores al 20%, se muestreó vinazas frescas, y estas sirvieron para seguir el proceso de descontaminación de las vinazas de las plantas CODANA y PRODUCARGO.

En lo que tiene que ver con el muestreo para los análisis del contenido de los digestores, se tomaron muestras del sobrenadante, de la mezcla, y del sólido, a cada una de estas se realizaron los análisis que más adelante describimos.

El muestreo del lodo de la laguna de oxidación de CODANA que fue utilizado como inóculo, se realizó a una profundidad de 2 metros tomando en cuenta la zona de la laguna que mayor actividad tenía.

## **Materiales**

- 3 pH-metro
- 4 Vasos de precipitación 1000, 500, 300, 100, 50 mL
- 5 Erlemmeyers de 500, 250 mL
- 6 Agitador magnético
- 7 Balanza
- 8 Mufla
- 9 Estufa
- 10 Desecador
- 11 Pinzas mango largo
- 12 Buretas de 10, 50 mL

- 13 Pipetas de 1, 2, 5, 10 mL
- 14 Cápsulas de porcelana 24 de 15 mL
- 15 Refrigerantes
- 16 Balones de 250 mL
- 17 Baño maría
- 18 Termómetro
- 19 Probetas 500, 250 mL
- 20 Agujas hipodérmicas
- 21 Pinzas de balón
- 22 Frascos lavadores 1 L (5)
- 23 Mangueras
- 24 Termostato automático
- 25 Kjeldahl PRO-NITRO I
- 26 Aquacuant MERCK
- 27 Corchos
- 28 Neplos
- 29 Frascos para orina
- 30 Reverbero
- 31 Recipientes plásticos para las muestras.
- 32 Guantes
- 33 Pera
- 34 Alambre
- 35 Cubetas de vidrio

### **Reactivos**

- 36 Silicona
- 37 NaOH
- 38 Ácido sulfúrico
- 39 Papel filtro
- 40 Agua destilada
- 41 Indicadores Rojo de metilo, ferroina

- 42 Potasio dicromato
- 43 Sulfato ferroso amoniacal
- 44 Amonio persulfato
- 45 vinaza
- 46 buffers 4.1, 7.1 y 9 rango en el cual se va a trabajar.

### 2.3 DIAGRAMA DE TRABAJO.

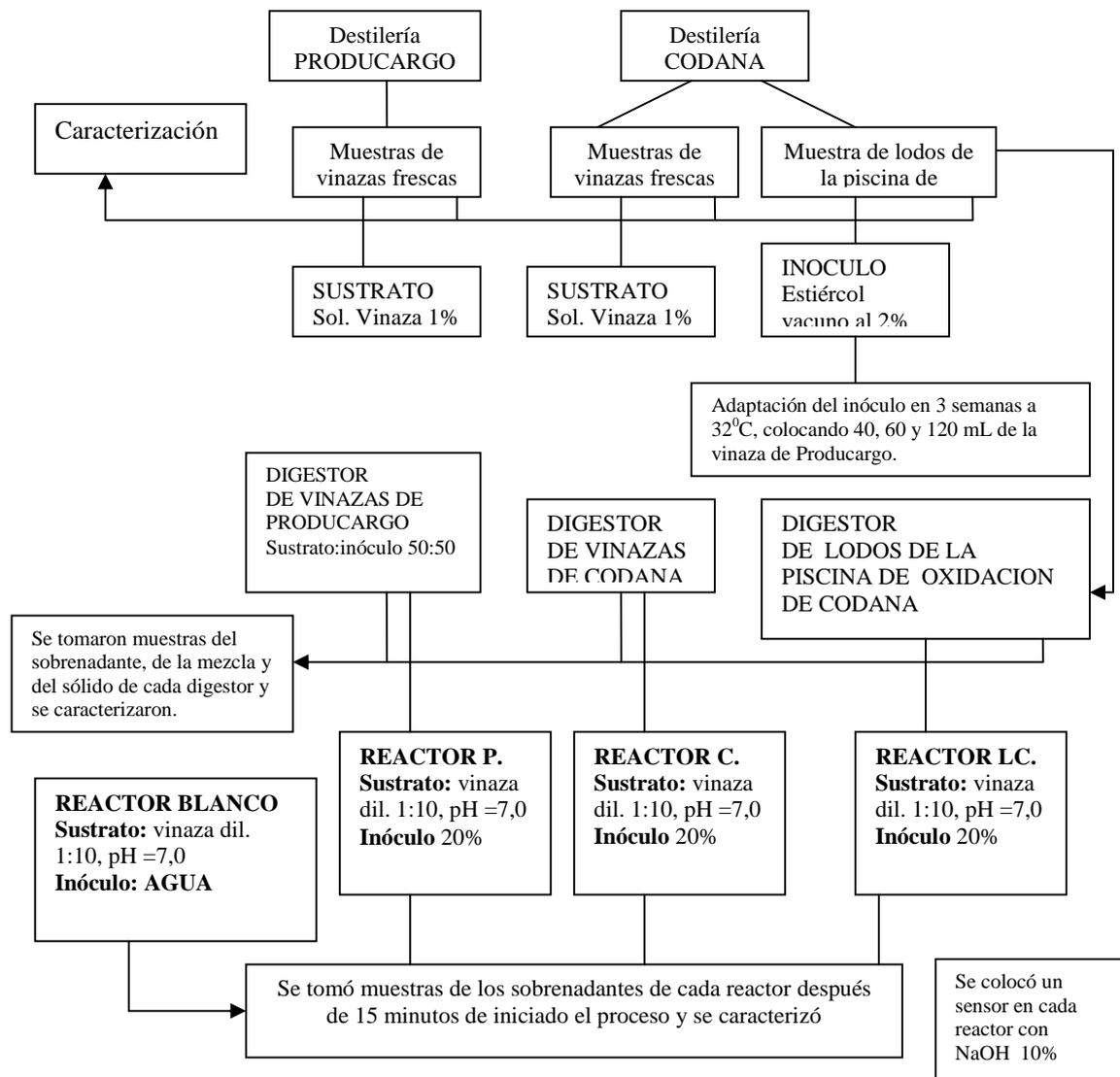


FIGURA 4. DIAGRAMA DE TRABAJO  
FUENTE: AUTOR.

## **2.4 PARTE EXPERIMENTAL.**

### **2.4.1 Preparación del inóculo.**

Pesar 200 g de estiércol vacuno, y llevar a 1000 mL con agua destilada.

### **2.4.2 Preparación del sustrato.**

Tomar 100 mL de vinaza y llevar a 1000 mL con agua destilada, llevar a pH 7.6 con NaOH al 10%.

### **2.4.3 Preparación de la solución para el sensor.**

Pesar 100 g de NaOH y llevar a 1000 mL con agua destilada.

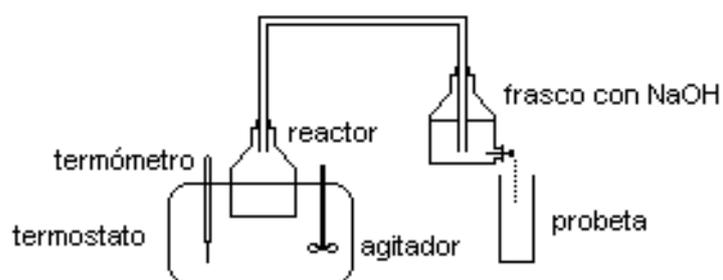
### **2.4.4 Sensor utilizado.**

Para medir el volumen de gas desplazado, se utilizó un sistema de desplazamiento líquido como el de la figura 4, el líquido de la botella es una solución de NaOH al 10%.

Como el biogás pasa a través de esta solución de elevado pH, mediante burbujeo, el CO<sub>2</sub> es absorbido en el líquido y solo el metano pasa a través de él, y un volumen equivalente del gas es desplazado de la solución de NaOH, el mismo que sale por una aguja hipodérmica y recolectada en una probeta graduada. La solución debe ser lo suficientemente concentrada de modo que se asegure que todo el CO<sub>2</sub> sea absorbido en la solución alcalina.



**FIGURA 5: SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO LÍQUIDO**



**FIGURA 6: ESQUEMA DEL EQUIPO**

### **2.4.5 Adaptación del inóculo.**

El inóculo preparado del modo descrito anteriormente permaneció durante 3 semanas herméticamente cerrado a 32°C en un termostato automático.

Para adaptar el inóculo se tomó muestras de vinaza proveniente de la planta productora de alcohol PRODUCARGO ubicada en la Troncal provincia del Cañar, las muestras fueron

tomadas en dos días y horas diferentes, a las mismas que se realizaron los siguientes análisis:

Temperatura, pH, humedad, sólidos totales, sólidos volátiles, cenizas, densidad, con las técnicas descritas anteriormente.

En el equipo de la figura 1 se instaló simultáneamente los digestores de Codana, Producargo y los lodos de la piscina de oxidación de Codana, de este modo las condiciones bajo las cuales se desarrolló el experimento fueron las mismas en tiempo, temperatura, concentraciones iniciales.

A las 3 semanas de haber permanecido la solución 1 herméticamente cerrada, se procedió a añadir 40 mL de vinaza concentrada, previamente se hizo una mezcla 50:50 de vinaza tomada los días 18 y 19 de Septiembre de 1998, para que haya homogeneidad en la muestra.

Una vez añadida la vinaza en el digestor, se agitó y luego de pasar 5 minutos se tomó 40 mL del sobrenadante del digestor, a esta muestra se realizó los siguientes análisis: pH, %ST, %SV, %Ce, humedad.

Una vez que se llegó a la fase estacionaria, se procedió a añadir 60 mL de vinaza concentrada y mezclada 50:50, al digestor, y se extrajo 60 mL del sobrenadante del digestor, de igual manera se realizaron los análisis arriba indicados.

Este proceso se lo hizo hasta completar los 120 mL, momento en el cuál se creyó conveniente instalar los reactores, utilizando como inóculo el adaptado en el proceso que hemos indicado.

#### **2.4.6 Digestión Anaeróbica de las vinazas**

Para trabajar con el inóculo adaptado, se instalaron los digestores, utilizando para ello vinaza fresca, la misma que fue muestreada directamente de las fábricas.

Se procedió a caracterizar a estas vinazas frescas, y se instaló los reactores para CODANA, PRODUCARGO, y lodos de la planta CODANA, al 20% de inóculo con vinaza diluida 1:10 y ajustada el pH a 7.6 con NaOH al 10%, se instaló también un blanco, que corresponde al inóculo con agua, al mismo pH de la vinaza para poder conocer con exactitud cuando el metano acumulado corresponde a la remoción de la vinaza.

Una vez instalados los digestores y cargados con el sustrato, inóculo y ajustado el pH, se homogenizó, se dejó en reposo durante 15 minutos y se tomó muestras de los sobrenadantes, los mismos que fueron caracterizados, los resultados de los sobrenadantes de los reactores de CODANA, PRODUCARGO, y LODOS, constituyen los parámetros iniciales, los cuales servirán para comparar con los resultados finales.

## **2.5 MATERIALES Y METODOS**

### **2.5.1 Método de investigación.**

En el presente trabajo de tesis se utilizó el procedimiento metodológico de la deducción a partir de la recolección y procesamiento de datos obtenidos de: las vinazas, los lodos de la piscina de oxidación, el sobrenadante, la mezcla y los sólidos de los biorreactores.

### **2.5.2 Caracterización de las vinazas, los lodos de la laguna de oxidación, y los sobrenadantes, la mezcla y los sólidos de los birreactores.**

Los análisis se realizaron empleando las técnicas del Standart Methods, DQO empleando potasio dicromato y ácido sulfúrico, a continuación enunciamos algunas de las técnicas empleadas en el presente trabajo:

pH	pH-metro	Método potenciométrico
Calcio	Fotómetro SQ-118	Fotométrico

Fósforo	Fotómetro SQ-118	Fotométrico
ST	Estufa, balanza	gravimétrico
Cenizas	Estufa, balanza	gravimétrico

Los fundamentos teóricos de la fotometría se pueden consultar en la referencia [16] y sobre la potenciometría. [15], sin embargo describiremos muy brevemente

Estos análisis se los han realizado por gravimetría, el cual consiste en separar y pesar en el estado de mayor pureza después de un tratamiento adecuado un elemento o compuesto de composición conocida, el elemento o compuesto separado y pesado, corresponde a una porción pesada de la muestra en análisis.

Los métodos gravimétricos [15] se clasifican en base a la forma en que se efectúa la separación, así tenemos:

Precipitación, Volatilización o desprendimiento, Gravimétrico electroanalítico y otros métodos físicos de separación.

Otros análisis se realizaron por método fotométrico [16], la fotometría es un procedimiento de análisis óptico que utiliza la disminución de la intensidad de un rayo luminoso en las soluciones coloreadas para determinar la concentración de un constituyente en la muestra de agua. En la tabla 7 se resumen las técnicas y métodos de análisis físico-químicos empleados.

**TABLA 7. METODOS Y TECNICAS PARA CARACTERIZAR LAS VINAZAS FRESCAS DE CODANA Y PRODUCARGO, LODOS DE LA PISCINA DE OXIDACION DE CODANA Y LOS SOBRENADANTES, MEZCLAS Y SÓLIDOS DE LOS BIORREACTORES.**

<b>TECNICA</b>	<b>METODO ESPECIFICO</b>	<b>METODO</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>MARCA DEL EQUIPO</b>
pH	Método del pH en agua	Potenciométrico	pH-metro	pH test digital
Humedad	Pérdida de peso	Gravimétrico	Estufa	Appariechi zcientifice 800 watts, Milano, Italia
Temperatura			Termómetro	
Sólidos totales	Precipitación	Gravimétrico	Balanza	
Sólidos volátiles	Volatización	Gravimétrico	Estufa, balanza	Apparecchi scientifici
Cenizas		Gravimétrico	Estufa, balanza	Apparecchi scientifici
Densidad		Gravimétrico	Densímetro	
Fósforo	Hash	Colorimétrico	Tiras de papel	DR-2000
Calcio		Colorimétrico	Tiras de papel	DR-2000

## 2.6 PREFACTIBILIDAD ECONÓMICA

### 2.7.1 Estimado del costo de inversión

Factores para estimar la inversión requerida a partir del costo de los equipos puestos en planta

**TABLA 8. ESTIMADO DEL COSTO DE INVERSION**

Componente	% del costo del equipo puesto en planta	
	Planta procesadora de fluidos y sólidos	costo del componente en dólares
<b>COSTO DIRECTO</b>		
Equipos puestos en planta	100	3390
Instalación	39	1322
Tuberías (instalado)	31	1051
Instalaciones eléctricas	10	339
Construcciones	29	983
Desarrollo del terreno	10	339
Instrumentación y control	13	441
Facilidades de servicio	55	1865
Terrenos ( si hay que comprar )		
<b>COSTO DIRECTO TOTAL DE LA PLANTA</b>	287	9729
<b>COSTO INDIRECTO</b>		
Ingeniería y supervisión	32	1085
Gastos de construcción	34	1153
<b>COSTO TOTAL DE LA PLANTA (Directo e indirecto)</b>	353	11967
Honorarios del contratista (~5% de la fila anterior) (gastos ocasionales)	17.65	598
Gastos imprevistos	36	1220
<b>INVERSION FIJA</b>	406.65	13785
<b>INVERSION OPERATIVA</b>	74	2509
<b>INVERSION TOTAL</b>	480.65	16294

## 2.7.2 Estimado del costo de producción

**TABLA 9. COSTO DE PRODUCCION**

<b>A) COSTOS DIRECTOS</b>	<b>CSTO.MENSUAL</b>	<b>CSTO.ANUAL</b>
<b>MATERIA PRIMA</b>		
<b>MATERIA PRIMA DIRECTA</b>		
Vinaza	N\$ 18,75	N\$ 225,0
Estiercol	N\$ 7,5	N\$ 90,00
<b>MATERIA PRIMA INDIRECTA</b>		
Sulfato de Amonio	N\$ 102,00	N\$ 1.224,00
Fosfato monoacido de potasio	N\$ 47,98	N\$ 575,76
<b>SERVICIOS BASICOS</b>		
Luz, agua, Telefono.	N\$ 75,00	N\$ 900,00
<b>MANO DE OBRA</b>		
Técnico de la planta	N\$ 238,00	N\$ 2.856,00
<b>GSTO.MANTENIMIENTO</b>	N\$ 4,17	N\$ 50,04
<b>SUPERVISIO DIRECTA DE OPERAC.</b>		
<b>OPERACIONES SENCILLAS</b>	N\$ 23,80	N\$ 285,60
<b>LABORATORIO DE CONTROL</b>	N\$ 23,80	N\$ 285,60
<b>B) CARGOS FIJOS</b>		
DEPRECIACIONES	N\$ 48,64	N\$ 583,62
<b>C) SOBRE CARGOS DE LA PLANTA</b>		
	N\$ 132,99	N\$ 1.595,82
CSTO. DE PRODUC. ANUAL DE 150T		N\$ 8.671,44
COSTO POR TANQUE 15Kg		N\$ 57,81
SUBSIDIO DEL ESTADO		N\$ 262,00
COSTO TOTAL FINAL		N\$ 8.409,44
<b>COSTO TANQUE SUBSIDIADO</b>		N\$ 56,06

**TABLA 10. PRODUCCION ANUAL DE GAS.**

	<b>MENSUAL</b>	<b>ANUAL</b>	<b>TANQ.15Kg.</b>
LITROS	261300	3135600	
KILOS	187,29984	2247,59808	149,8

### 2.7.3 Estimado del costo de venta.

**TABLA 11. ESTIMADO del COSTO de VENTA**

<b>COSTO DE PRODUCCION</b>	N\$	56,06
<b>30% MARGEN UTILIDAD</b>	N\$	16,82
<b>PRECIO DE VENTA</b>	N\$	72,88

### 2.7.4 Determinación de la efectividad económica de la inversión

- Capacidad de producción de la planta 2247 Kg. de gas/año.
- Inversión depreciable \$ 9727
- Tiempo de construcción de la planta 1 año.
- Gastos durante la construcción de la planta.
  
- Al inicio de la construcción \$ 4294
- A los 6 meses \$ 6000
- A los 12 meses \$ 6000
  
- Inversión circulante al comenzar la producción. \$ 2509
- La inversión circulante total se recupera al término del período de evaluación del proyecto.
- Período utilizado para la evaluación del proyecto 5 años
- Estimado de las ventas
  - Durante el primer año \$ 7290
  - Durante el segundo año \$ 8748
  - Durante el tercer año \$ 9720
  - Durante el cuarto año \$ 10920.4
  - Durante el quinto año \$ 10920.4
  
- Precio de venta del producto \$ 4.86 cada Kg.

- Costos variables \$ 0.15 Kg.
- Costos fijos (sin incluir la depreciación) \$ 3258.8 inversión. total / 5 años
- Impuestos sobre beneficios 0.0
- La depreciación se cargará de manera uniforme durante el período de evaluación (5años)

$$9729/5 = \$ 1945.8 \text{ cada año.}$$

- Se utilizará para la evaluación un interés compuesto continuo con un TMAR igual a

$$\text{TMAR} = i + f + i*f = 0.1 + 0.08 + 0.1 * 0.08 = 0.188$$

## 2.7.5 Estimado del Valor Actual Neto.

**TABLA 12. ESTIMADO del VALOR ACTUAL NETO VAN**

Año	Fd	FNE	FNEac	FNE*fd	Ventas año 1	ventas año 2	ventas año 3	ventas año 4 y 5
-1	1.2068	-4294	-4294.0	-5182.1	7.29E+03	8.75E+03	9.72E+03	1.09E+04
-0.5	1.0986	-6000	-10294.0	-6591.4	4.86 venta kg de gas 3.26E+03 costos fijos 0.15 costos variables 2.30E+06 0 5 años			
0	1.0000	-6000	-16294.0	-6000.0				
0	1.0000	-3259	-19552.8	-3258.8				
0-1	0.9116	31077	11524.3	28330.6				
1-2	0.7554	37944	49468.6	28662.5				
2-3	0.6259	42522	91991.0	26615.8	4294 inicio -1 6.00E+03 6 meses -0.5 6.00E+03 12 meses 3258.8 inv. cir. inicio			
3-4	0.5186	48176	140167.4	24986.6	0.188 TMAR 1.63E+04 inv. total			
4-5	0.4298	48176	188343.7	20704.3				
				108267.5	<b>VAN= 9.20E+04</b>			

### 2.7.6 Estimado de la tasa de rendimiento interno.

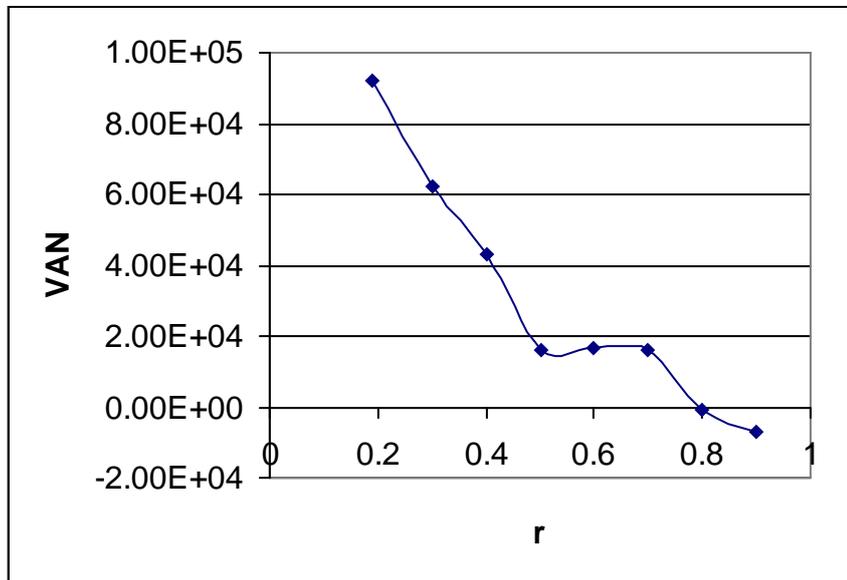


GRAFICO I. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

**TIR aproximado = 0.7908**

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS VINAZAS FRESCAS DE CODANA Y PRODUCARGO, Y DE LOS LODOS DE LA PISCINA DE OXIDACION DE CODANA.

**TABLA 13. ANALISIS DE LA VINAZA TOMADA DE PRODUCARGO**

Fecha toma muestra	Fecha del análisis	% humedad	% ST	% SV	% Ce	pH
Octubre 14/98	Octubre 16/98	94.56	5.44	4.07	1.37	3.6
Octubre 14/98	Noviembre 13/98	94.88	5.12	3.68	1.43	3.5

**Tabla 14. ANALISIS DE LA VINAZA TOMADA DE CODANA**

Fecha toma muestra	Fecha del análisis	% humedad	% ST	% SV	% Ce	pH
Octubre 14/98	Octubre 16/98	94.03	5.97	4.84	1.13	4.3
Octubre 14/98	Noviembre 13/98	94.37	5.63	4.40	1.23	4.1

**TABLA 15. ANALISIS DE LOS LODOS: PISCINA DE OXIDACIÓN CODANA  
TOMA DE MUESTRA OCT/14. ANALIZADA OCT/30**

pH = 8.2		T = 30°C						
	Cri. Vacío	c+5mL	Cri. a 105°C	% humedad	% ST	cri. a 550°C	% SV	% Ce
c1	12.322	17.286	13.376	78.77	21.23	12.350	20.67	0.56
c2	14.266	19.242	14.317	98.98	1.02	14.292	0.50	0.52
c3	14.291	19.275	14.344	98.94	1.06	14.317	0.54	0.52
				<b>92.23</b>	<b>7.77</b>			
						<b>7.24</b>	<b>0.54</b>	

Un observación interesante es el hecho de como la vinaza cambia su composición en el tiempo, ya que dada la distancia con la empresa no fue posible cada vez tomar vinaza fresca para el ajuste del inculo, así como para el uso del inculo adaptado para efectuar la

fermentación anaeróbica con la vinaza diluida.

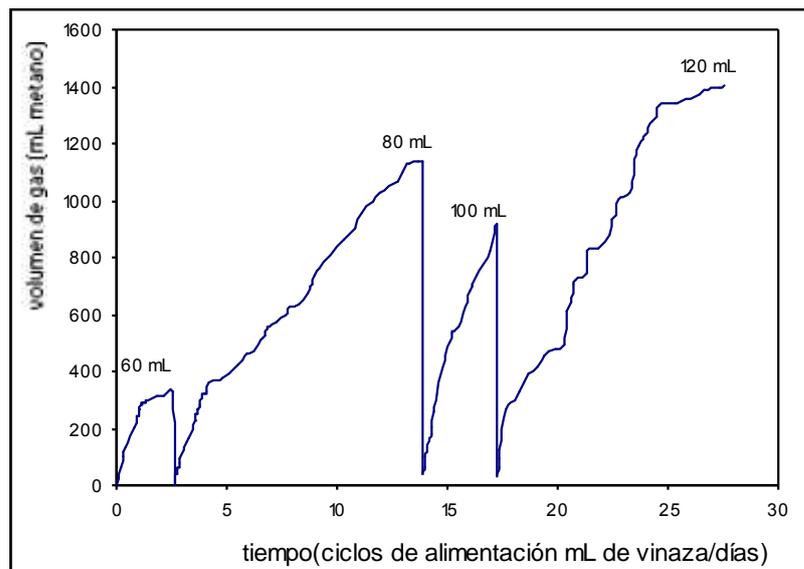
**Tabla 16. ANALISIS FISICO QUIMICO DE VINAZAS**

Vinazas								
Parámetro Medido	Codana	Producargo	Miel virgen	Miel HTM	Molina	Habana	Melaza caña	Melaza remolacha
pH	4.3	3.6	3.7	2.4	4.4	4.5	4.2-4.5	4.8-5.2
N total %	0.088	0.241	0.022	0.021	0.73	0.83	0.103	0.087
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	125	1300			0.23	0.15	195	275
DQO ppm	54440	47520	57000	32500			65000	47500
ST %	5.97	5.44			7.05	9.50		
Cenizas	1.13	1.37			1.3	2.32	2.15	1.1
SV %	4.84	4.07			6.45	7.51		
CaO ppm	3750	900						
CN <sup>-</sup> ppm	0.75							
Fenoles	580							
Humedad %	94.03	94.56						

De la tabla 16 podemos decir que las vinazas de Codana y Producargo tienen valores que se encuentran dentro de los rangos aceptables en comparación con vinazas de otras destilerías, sin embargo la diferencia que se puede observar por ejemplo en el valor del pH, en la DQO, se debe a que el proceso de producción son diferentes, puesto que Producargo utiliza melaza del ingenio La Troncal, mientras que CODANA utiliza del ingenio Valdéz, además no se conoce el tipo de microorganismo con que se lleva a cabo la fermentación y esto debe influir en el procesamiento de la materia prima que es la melaza.

### 3.2 ADAPTACION DEL INOCULO.

Con los datos registrados en las TABLAS 34 - 37 de Anexos del proceso de adaptación del inóculo con adiciones de 60mL, 80 mL, 100 mL y 120mL de vinazas frescas de Producargo se elaboró el GRAFICO II:



**GRAFICO II: PROCESO DE ADAPTACION DEL INOCULO CON 60 mL, 80mL. 100mL y 120 mL DE VINAZA**

La velocidad de la producción de gas depende de la concentración de sólidos, las curvas de producción de gas con 100 mL y 120 mL de vinaza nos indica una fase de letargo mínima y luego una fase exponencial acelerada, sin embargo a los 80mL de adición de vinaza se produce mayor emanación de biogás respecto a los 100 mL de vinaza, esto podría deberse a un cambio en la temperatura, ya que este parámetro tiene un efecto directo en la actividad y crecimiento de los microorganismos.

La adaptación del inóculo con el residual que se va a digerar es un paso importante, ya que se favorecen a los tiempos de arranque y se logran pH más cercanos a la neutralidad como se ve en la tabla 17, el inóculo a medida que pasa el tiempo alcanza el pH neutro.

**TABLA 17: RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE LA ADAPTACIÓN DEL INOCULO**

	<b>40 mL</b>	<b>60 mL</b>	<b>80 mL</b>	<b>100 mL</b>	<b>120 mL</b>
<b>% humedad</b>	99.21	98.88	99.07	98.99	98.82
<b>% ST</b>	0.79	1.12	0.93	1.01	1.18
<b>% SV</b>	0.42	0.78	0.54	0.59	0.68
<b>% Ce</b>	0.37	0.34	0.38	0.42	0.50
<b>PH</b>	6.4	6.6	6.4	7	7.1

Como se explicó anteriormente, para la adaptación del inóculo se empleó residual vacuno, el mismo que posee una proporción de bacterias metanogénicas, la actividad de estos microorganismos se detecta con el incremento proporcional de la producción del biogás y la carga orgánica presente en el digestor (mayores volúmenes de vinaza de destilería). La producción de metano en las diferentes concentraciones de carga orgánica se da con los mismos tiempos de retención, el siguiente cuadro demuestra lo dicho.

**TABLA 18. DESARROLLO DE GAS A DIFERENTES CARGAS CON TRH PROMEDIO 2.5 DÍAS**

<b>mL de vinaza cruda</b>	<b>mL de gas metano</b>
60	329
80	395
120	492

Al final de este proceso se tomó muestras para analizarlas, y se midió: ST, SV, Cenizas, el muestreo se realizó por triplicado, los resultados y su correspondiente análisis estadístico es el siguiente:

**Tabla 19. RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICOS DEL INÓCULO**

% humedad	% ST	% SV	% Ce
98.89	1.11	0.76	0.35
98.90	1.10	0.78	0.33
98.84	1.16	0.82	0.35
<b>98.88</b>	<b>1.12</b>	<b>0.78</b>	<b>0.34</b>

### **3.3 ANALISIS DE LAS MEZCLAS INICIALES DE LOS DIGESTORES DE CODANA, PRODUCARGO, Y LODOS DE CODANA.**

Otro de los análisis interesantes que se ha realizado, es observar como la vinaza cambia su composición en el tiempo, ya que dada la distancia con la empresa no es posible cada vez tomar vinaza fresca para el ajuste del inóculo, así como para el uso del inóculo adaptado para efectuar la fermentación anaeróbica con la vinaza diluida.

**TABLA 20. ANALISIS DE LA MEZCLA INICIAL: CODANA****Toma y análisis de muestra: NOV/15/98****200 mL de inóculo más 800 mL de vinaza diluida 1:10 al 20% de inóculo**

	<b>pH= 8.0</b>	<b>DQO=</b>	<b>5801.6</b>						
	<b>cri. Vacio</b>	<b>c+5mL</b>	<b>cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>	<b>d (g/mL)</b>
c1	12.324	17.291	12.364	99.19	0.81	12.337	0.54	0.26	0.993
c2	14.265	19.217	14.304	99.21	0.79	14.277	0.55	0.24	0.990
				<b>99.20</b>	<b>0.80</b>		<b>0.54</b>	<b>0.25</b>	0.992

**TABLA 21. ANALISIS DE LA MEZCLA INICIAL: PRODUCARGO****Toma y análisis de muestra: NOV/15/98.****200 ml. inóculo a 1000 ml. con vinaza diluida 1:10**

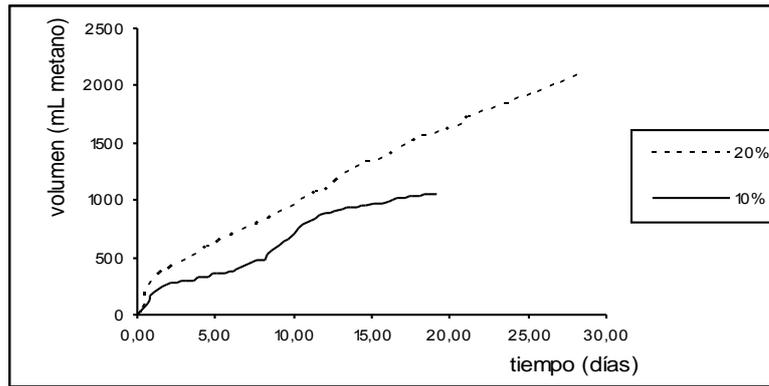
	<b>pH= 7.8</b>	<b>DQO=</b>	<b>10505.6</b>						
	<b>cri. Vacio</b>	<b>c+5mL</b>	<b>Cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>	
C3	14.29	19.251	14.328	99.23	0.77	14.303	0.50	0.26	
1	13.257	18.221	13.295	99.23	0.77	13.27	0.50	0.26	
				<b>99.23</b>	<b>0.77</b>		<b>0.50</b>	<b>0.26</b>	

**TABLA 22. ANALISIS DEL INICIO DE LA DIGESTIÓN CON LODOS CODANA****OCT/31 200 ml. lodo a 1000 con vinaza 1:10 ajustando el pH a 7.6**

	<b>pH = 7.6</b>	<b>T = 30°C</b>							
	<b>Cri. Vacio</b>	<b>c+5mL</b>	<b>Cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>	
1	13.259	18.252	13.295	99.28	0.72	13.270	0.50	0.22	
2	12.678	17.631	12.714	99.27	0.73	12.689	0.50	0.22	
3	14.745	19.736	14.782	99.26	0.74	14.756	0.52	0.22	
				<b>99.27</b>	<b>0.73</b>		<b>0.51</b>	<b>0.22</b>	

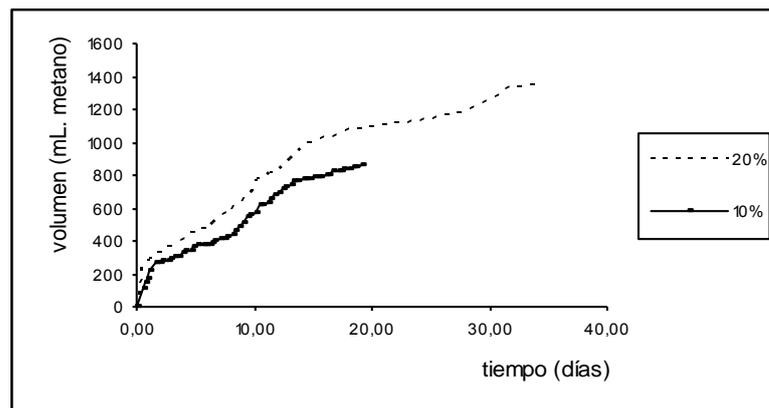
### **3.4 DESPLAZAMIENTO DEL GAS EN EL TIEMPO EN LOS DIGESTORES AL 20%, Y AL 10% DE INOCULO VACUNO.**

Los datos correspondientes al desplazamiento del gas en el tiempo para CODANA, PRODUCARGO y los LODOS de CODANA y el BLANCO al 20% y 10% de inóculo se encuentran en las TABLAS 39 hasta 45 de Anexos,; sus comportamientos se los puede apreciar en los gráficos III, IV Y V..

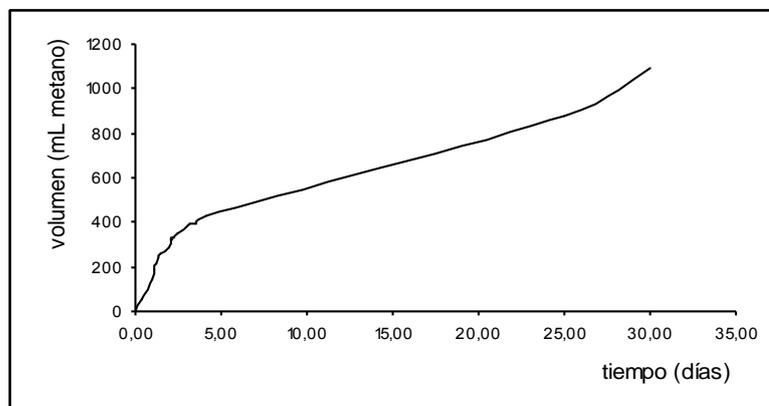


**GRAFICO III. DESARROLLO DE BIOGAS DE LOS DIGESTORES DE CODANA AL 20% Y 10% DE INOCULO.**

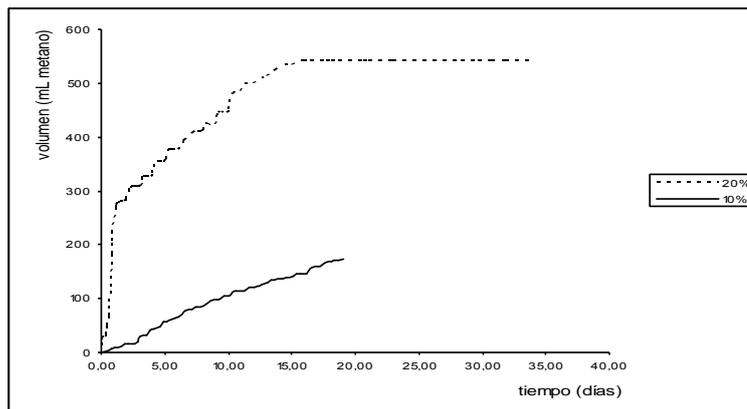
La producción de metano es mayor en los digestores al 20% de inóculo, debido a la presencia de nutrientes y microorganismos en cantidades superiores..



**GRAFICO IV. DESARROLLO DE BIOGAS DE LOS DIGESTORES DE PRODUCARGO AL 20% Y 10% DE INOCULO.**



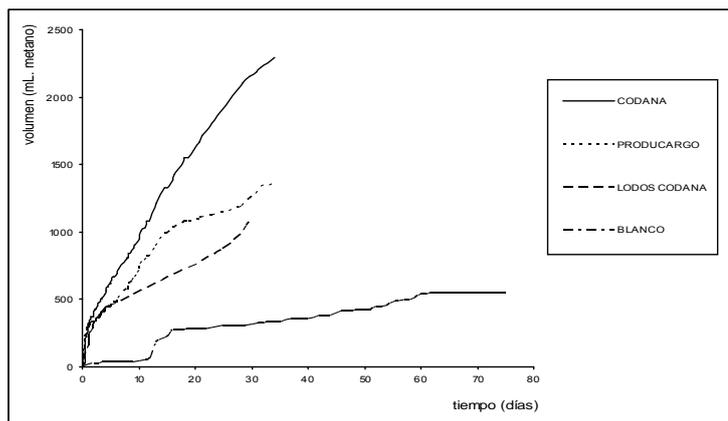
**GRAFICO V. DESARROLLO DE BIOGAS DEL DIGESTOR DE LOS LODOS DE CODANA AL 20% DE INOCULO.**



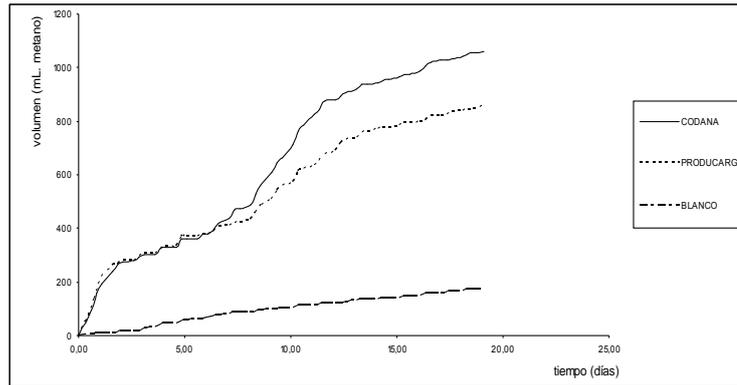
**GRAFICO VI. DESARROLLO DE LA PRODUCCION DE BIOGAS PARA LOS DIGESTORES DEL BLANCO AL 20% Y 10% DE INOCULO.**

Las curvas que presentan el desarrollo de biogas, son características de las conocidas para acumulación de metano.

Si comparamos la producción de metano de todos los digestores con el inóculo al 20% como se ve en el GRAFICO VI, y de todos los digestores al 10% de inóculo como se aprecia en el GRAFICO VII, se observa que las curvas de producción de gas de CODANA en los dos casos es la que registra la mayor producción, este resultado se explica porque esta destilería produce un residual con un valor mayor de DQO respecto a las demás graficadas.



**GRAFICO VII. DESARROLLO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL 20% DE INOCULO DE LOS DIGESTORES DE CODANA, PRODUCARGO, LODOS DE CODANA Y EL BLANCO.**



**GRAFICO VIII. DESARROLLO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL 10% de INOCULO DE LOS DIGESTORES DE CODANA, PRODUCARGO, Y EL BLANCO.**

En los gráficos VII y VIII observa una pequeña producción de gas en el blanco, confirmando que el inóculo preparado con estiércol vacuno tiene una carga importante de microorganismos metanogénicos.

El blanco se prepara con la finalidad de restar el volumen de gas que produce, o que se debe a la sola presencia del inóculo, ya que éste también aprovecha la carga orgánica que posee para producir metano.

### **3.5 ANALISIS AL FINAL DEL PROCESO EN LOS DIGESTORES AL 20% DE INOCULO VACUNO.**

Una vez que se ha llegado a la fase estacionaria, se hicieron los análisis finales.

#### **3.5.1 ANALISIS DEL SOBRENADANTE**

**TABLA 23. DIGESTOR al 20% DE INOCULO Y VINAZA DILUIDA 1:10 DE CODANA**

Parámetro medido	%ST	%SV	%Ce
<b>Inicio</b>	0.80	0.54	0.25
<b>Final</b>	0.38	0.16	0.22

**TABLA 24. DIGESTOR AL 20% DE INOCULO Y VINAZA DILUIDA 1:10 DE PRODUCARGO**

<b>Parámetro medido</b>	<b>%ST</b>	<b>%SV</b>	<b>%Ce</b>
<b>Inicio</b>	0.77	0.50	0.26
<b>Final</b>			

**TABLA 25. DIGESTOR AL 20% DE INOCULO Y CON LODOS DE CODANA**

<b>Parámetro medido</b>	<b>%ST</b>	<b>%SV</b>	<b>%Ce</b>
<b>Inicio</b>	0.73	0.51	0.22
<b>Final</b>	0.64	0.39	0.25

La eficiencia del sistema para remover SS depende de depende de características relevantes de estas suspensiones: floculación, absorción característica, y el tipo de hidrólisis depende del tamaño, forma y composición de los SS, sino se eliminan estos sólidos se requerirá de un posterior tratamiento especialmente sistemas-FB.

La vinaza de CODANA, es la que tiene una mayor remoción de ST y SV, estos análisis concuerda con el mayor porcentaje de eficiencia obtenido en este digestor.

### **3.5.2 Análisis de la mezcla.**

Los resultados con tiempo de retención TRH de 79 días y con una eficiencia del digestor del 63%, se resumen en la tabla 27

**TABLA 26. DIGESTOR al 20% DE INOCULO Y CON LODOS DE CODANA**

<b>Parámetro medido</b>	<b>%ST</b>	<b>%SV</b>	<b>%Ce</b>
<b>Inicio</b>	0.73	0.51	0.22
<b>Final</b>	0.40	0.19	0.21

### **3.6 ANALISIS AL FINAL DEL PROCESO EN LOS DIGESTORES AL 10%.**

#### **3.6.1 ANALISIS DEL SOBRENADANTE**

**TABLA 27. DIGESTOR al 10% DE INOCULO Y VINAZA DILUIDA 1:10 DE CODANA**

<b>Parámetro medido</b>	<b>%ST</b>	<b>%SV</b>	<b>%Ce</b>
<b>Inicio</b>	0.53	0.35	0.18
<b>Final</b>	0.40	0.13	0.27

**TABLA 28. DIGESTOR AL 10% DE INOCULO Y VINAZA DILUIDA 1:10 DE PRODUCARGO**

<b>Parámetro medido</b>	<b>%ST</b>	<b>%SV</b>	<b>%Ce</b>
<b>Inicio</b>	0.51	0.28	0.22
<b>Final</b>	0.41	0.12	0.29

En los digestores al 10%, mayor remoción de ST y SV presenta el digestor de CODANA, pero si comparamos los digestores al 20% y 10% de CODANA, se aprecia una diferencia muy marcada en la eficiencia del digestor y en la remoción de estos sólidos, siendo el digestor con 20% de inóculo el más eficiente.

### **3.7 ANALISIS DEL AGUA RESIDUAL DE CODANA VERTIDA LUEGO DEL TRATAMIENTO EN LA PISCINA DE OXIDACION.**

Igualmente se realizó el análisis del agua residual, que se vierte luego del tratamiento en la laguna de oxidación de la planta en CODANA, los resultados son los siguientes:



los valores máximos permisibles, cuando se emplean digestores discontinuos.

Con respecto a la influencia del inóculo, es evidente lo planteado arriba, que los resultados son mejores no solo con respecto al tiempo de arranque sino también con respecto al volumen de metano acumulado, esto se objetiviza, en el menor volumen acumulado en el caso del empleo de inóculo fresco con la vinaza de Producargo.

Con respecto al empleo a los lodos de CODANA, el objetivo es demostrar que realmente la laguna de esta empresa no es de oxidación, ya que como se puede observar, empleando este lodo como inóculo en 4 días se logra una remoción del 24% (ver tabla 46), y a un tiempo de retención de 40 días se alcanza un nivel de remoción comparable al utilizado como inóculo vacuno adaptado. Esto permite sugerir a la empresa lo imperioso de no mezclar la vinaza con los residuales acuosos que contienen fecales en la llamada laguna de oxidación.

En la tabla 29 se encuentra la caracterización del residual líquido de la laguna de oxidación de CODANA, obsérvese que el por ciento de sólidos volátiles es de 0.35, mientras que los que salen de los digestores son de 0.12 para PRODUCARGO y 0.13 para CODANA.

El lodo de la piscina de oxidación de CODANA presenta una clara característica de ser un inóculo apto para una fermentación anaeróbica, esto quiere decir que la piscina de oxidación que posee CODANA no es tal, sino que se trata de una laguna anaeróbica, por este motivo podemos decir que se esta produciendo grandes cantidades de metano, el mismo que es vertido al medio ambiente, contribuyendo al efecto invernadero.

El inóculo vacuno adaptado se comporta más eficientemente con la vinaza proveniente de CODANA a pesar de haber sido adaptado con vinaza de PRODUCARGO, sin embargo es importante mencionar que al inicio es más eficiente con la vinaza de PRODUCARGO con la cual fue adaptada, aunque después en ambos casos, es decir al 10 % y al 20% siempre es más eficiente con la vinaza de CODANA, por lo señalado anteriormente.

En todos los casos en los gráficos se ha representado el volumen de gas transformado a condiciones normales, esto es a 25°C y 1 atm, esto con la finalidad de que sean comparables con experimentos en otras partes del mundo, y no sean dependientes de la presión y temperaturas del lugar donde se realizó el experimento.

Ver anexo IV.

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- Los datos muestran que la vinaza proveniente de la destilería de CODANA resulta ser más contaminante que la de PRODUCARGO.
- Utilizar un inóculo adaptado es muy positivo para el proceso de la digestión, ya que reduce notablemente el tiempo empleado en el arranque del digestor, produciendo además mayor volumen de metano en menor tiempo.
- El empleo del 20% de inóculo vacuno es el que da mejores resultados
- Con los parámetros empleados se logran porcentajes de remoción del orden del 50-70% que concuerdan con los rangos que se obtienen este tipo de digestores.
- Del estudio realizado se demuestra que la laguna de CODANA no es de oxidación, sino que se trata de una laguna anaeróbica.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

- El proceso de la adaptación del inóculo dio resultados positivos, sería conveniente utilizar esta adaptación previo la digestión anaeróbica.
- Analizar los lodos de los digestores, y hacer pruebas de campo y de viabilidad en cultivos, para ver la efectividad del lodo como bioabono.
- Utilizar el líquido del digestor para regadío, como biofertilizante.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Trevan M, BIOTECNOLOGÍA PRINCIPIOS BIOLÓGICOS, Ed. Acribia S. A., Zaragoza, España, 1990.
- 2.- Bermúdez Catalina, APROVECHAMIENTO BIOTECNOLOGICO DE RESIDUOS POR FERMENTACIÓN ANAEROBICA EN OBTENCIÓN DE BIOGAS Y OTROS METABOLITOS, Ed. ESPOCH, Santiago de Cuba, Cuba, 1995
- 3.- Belalcázar de Galvis y otros, Tratamiento por fermentación anaeróbica de las vinazas producidas en la fabricación de alcohol, Revista Colombiana de Química, volumen 21, números 1-2, 1992, Santafé de Bogotá, Colombia.
4. - Robertiello, A., Agr. Wastes. 1982, 4,387-395
- 5.- Stover, E.L. et. Al. "Use of the methane gas from the anaerobic treatment of stillage for fuel alcohol production" Proc. Purdue Ind. Waste. 1984, Conf 39
- 6.- Craveiro, A. M.; Rocha, B. B. "Anaerobic treatment: A grown up technology" Wasterwater treatment conference. Amsterdam. 1986, 307-320.
- 7.- Bermudez R., Aprovechamiento Biotecnológico de residuos industriales, Universidad de Oriente, Espoch, Riobamba, Ecuador, pag. 12.
- 8.- ALMANCA, Reinaldo Alves. **Avaliacao do uso da vinhaca de cana-de-acucar na geracao de energia eletrica.** Universidade de Sao Paulo, 1994.  
--[http://www.iee.usp.br/pos\\_ene/tese/reinaldo.html](http://www.iee.usp.br/pos_ene/tese/reinaldo.html).
- 9.- Pierre Jean, INTRODUCCIÓN A LA MICROBIOLOGÍA DE LOS DIGESTORES ANAEROBIOS, UAM-ORSROM-IMP, Iztapalapa, México, 1992

- 10.- Monroy Oscar, Cinética de la digestión anaerobia, UAM-ORSROM-IMP, Iztapalapa, México, 1992
- 11.- Acuña Miguel, Manual Técnico para la construcción y mantenimiento de biodestores, INE, Quito, Ecuador, 1984
- 12.- <http://btg.ct.utwente.nl/BTGdeCASA/publish.june/june/biogas.htm>
- 13.- Sasson Albert, La alimentación del hombre del mañana, Editorial Reverté, barcelona, España, 1993, pag 713
- 14.- Hoyos Juan, influencia de agentes neutralizantes en la fermentación anaeróbica de la vinaza de destilería, Santiago de Cuba, Cuba.
- 15.- Voguel Arthur, Química Analítica cuantitativa, Editorial Kapelusz, Buenos Aires, Argentina, 1960.
- 16.- Manual MERCK, fotómetro SQ 118
- 17.- INE, Guia para la construcción de un biodigestor, Gráficas Equinoccial, Quito, Ecuador, 1988
- 18.- Cooperativa Central, APROVEITAMENTO DA VINHACA, Copersucar, Sao Paulo, Brasil, junho 1979.
- 19.- Saltos Aníbal, Diseño Experimental, Editorial Pio XII, Ambato, Ecuador, 1993
- 20.- Krisztina Bordacs, Young James, BIOLOGICAL PROCESSES FOR INDUSTRIAL WASTEWATER TRAETMENT, University of Arkansas, 1998

- 21.- Wiegant W. M. y otros, Thermophilic Anaerobic Digestion of High Strength Wastewaters, Biotechnology and Bioengineering, vol. XXVII, pp 1374-1381, John Wiley & Sons, Inc, 1985.
- 22.- Lettinga Gatzke, Anaerobic waste water treatment as an appropriate technology for developing countries, La Tribune CEBEDEAU, N° 519, pp 21-32, Liébe, Belgique, 1987.
- 23.- Mata Alvarez Joan, Anaerobic Digestion of the Barcelona Central Food Market Organic Wastes. Plant Desing and Feasibility Study, Bioresourse Technology 42 pp 33-42, Elsevier Science, 1992.
- 24- Sarria Patricia, Reemplazo parcial del jugo de caña con vinaza y uso del grano de soya a cambio de torta en dietas de cerdos de engorde, Livestock Research for rural Development, Volume 4, Number 1, July 1992, CIPAV, Cali, Colombia.
- 25.- AGRO-NUTRIENTES ESPECIALES, S.L.  
-- <http://www.millorsoft.es/ane/tico.htm>
- 26.- Distilleries and Fuel-Ethanol Plants Worldwide-Distillery Vocabulary  
--<http://www.distill.com/spanish.html>
- 27.- MEDIO AMBIENTE: FERTIRRIGACIÓN I, TRATAMIENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS Y GASEOSOS.  
--[http://tucuman.com/producción/1997/97sep\\_16.html](http://tucuman.com/producción/1997/97sep_16.html)
- 28.- A REPORT ON THE AMBASSADOR COLLEGE EXPERIMENTAL DIGESTER  
--<http://www.bedminster.com/basic/librarycontentsambassador.html>
- 29.- Utilización de Vinaza y jugo de caña como fuente energética en patos pekin  
--<http://sunny.plants.ox.ac.uk/LRRD/LRRD5/1/JULIAN.HTM>.

30- Reemplazo parcial del jugo de caña con vinaza y uso del grano de soya a cambio.

--<http://sunny.plants.ox.ac.uk/LRRD/LRRD4/1/SARRIA.HTM>

31- Crecimiento y finalización de cerdos con diferentes niveles de vinaza.

--<http://sunny.plants.ox.ac.uk/LRRD/LRRD3/1/MEXICO.HTM>.

32.- Síntesis: Periódico Institucional de la Universidad del Valle, Agencia Universitaria de periodismo científico. La vinaza de contaminante a fertilizante.

--<http://mafalda.univalle.edu.co/~aupec/AUPEC/junio96/vinaz...>

33.- Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludgess, 1997.

[nhou@kpmg.com](mailto:nhou@kpmg.com)

## **A N E X O S**

## ANEXO I

**TABLA 31. ANALISIS de la VINAZA tomada el 14 de octubre de 1998 en CODANA  
analizada el 16/oct**

pH = 4.3										
	Cri. Vacio	c+5mL	cri. a 105°C	% humedad	% ST	cri. a 550°C	% SV	% Ce	d (g/mL)	
c1	12.323	17.426	12.625	94.08	5.92	12.380	4.80	1.12	1.021	
c2	14.264	19.350	14.567	94.04	5.96	14.322	4.82	1.14	1.017	
c3	14.288	19.378	14.595	93.97	6.03	14.345	4.91	1.12	1.018	
				<b>94.03</b>	<b>5.97</b>			<b>4.84</b>	<b>1.13</b>	<b>1.019</b>

**ANALISIS de la VINAZA** tomada el 14 de octubre de 1998 en **CODANA** analizada el 13/nov. Se siente ferm. Mayor

pH = 4.1										
	Cri. Vacio	c+5mL	cri. a 105°C	% humedad	% ST	cri. a 550°C	% SV	% Ce	d (g/mL)	
c1	12.326	17.381	12.611	94.36	5.64	12.388	4.41	1.23	1.011	
c2	14.267	19.353	14.553	94.38	5.62	14.330	4.38	1.24	1.017	
c3	14.291	19.371	14.577	94.37	5.63	14.353	4.41	1.22	1.016	
				<b>94.37</b>	<b>5.63</b>			<b>4.40</b>	<b>1.23</b>	<b>1.015</b>

**TABLA 32. ANALISIS de la VINAZA tomada el 14 de octubre de 1998 en  
PRODUCARGO analizada 16/oct**

pH = 3.6										
	Cri. Vacio	C+5mL	cri. a 105°C	% humedad	% ST	cri. a 550°C	% SV	% Ce	d (g/mL)	
1	13.258	18.338	13.534	94.57	5.43	13.328	4.06	1.38	1.016	
2	12.676	17.776	12.954	94.55	5.45	12.746	4.08	1.37	1.020	
3	14.746	19.813	15.021	94.57	5.43	14.815	4.07	1.36	1.013	
				<b>94.56</b>	<b>5.44</b>			<b>4.07</b>	<b>1.37</b>	<b>1.016</b>

**TABLA 33. ANALISIS DE LA VINAZA TOMADA EL 14 DE OCTUBRE DE 1998  
EN PRODUCARGO ANALIZADA 13/NOV. SE SIENTE FERM. MENOR**

pH = 3.5										
	Cri. Vacio	c+5mL	cri. a 105°C	% humedad	% ST	cri. a 550°C	% SV	% Ce	d (g/mL)	
1	13.259	18.363	13.52	94.89	5.11	13.332	3.68	1.43	1.021	
2*	12.677	17.717	12.935	94.88	5.12	12.750	3.67	1.45	1.008	
3	14.746	19.804	15.005	94.88	5.12	14.818	3.70	1.42	1.012	
				<b>94.88</b>	<b>5.12</b>			<b>3.68</b>	<b>1.43</b>	<b>1.013</b>

**TABLA 34: PROCESO DE ADAPTACIÓN DEL INOCULO  
CON 60 mL DE VINAZA CONCENTRADA**

<b>X=t (días)</b>	<b>y=v (mL gas metano)c.n.</b>
0.07	26
0.10	37
0.16	59
0.28	103
0.33	120
0.41	133
0.78	202
0.87	217
0.91	229
0.95	241
0.97	246
0.99	252
1.01	257
1.03	263
1.06	268
1.13	281
1.17	286
1.21	289
1.25	292
1.30	294
1.35	295
1.41	299
1.81	314
2.10	314
2.60	329

**TABLA 35: PROCESO DE ADAPTACIÓN DEL INOCULO  
CON 80 mL DE VINAZA CONCENTRADA**

<b>X = tiempo (días)</b>	<b>Y = vol (mL gas metano)c.n.</b>
0.02	3
0.06	17
0.09	30
0.11	37
0.16	51
0.21	66
0.24	76
0.28	91
0.46	128
0.51	137
0.56	147
0.62	162
0.93	225
0.94	229
1.00	242
1.05	253
1.09	263
1.11	269
1.14	275
1.19	286
1.25	303
1.31	315
1.34	318
1.39	323
1.46	325
1.52	327
1.96	360
2.08	367
2.15	374
2.48	395
2.96	426
3.13	443
3.30	461
3.34	466
3.54	471
3.93	507
4.01	517
4.10	529
4.24	551
4.28	554
4.45	562
4.56	569
4.99	600
5.08	607
5.16	612

5.24	624
5.62	639
6.03	678
6.16	698
6.22	709
6.33	734
6.47	756
6.58	758
7.62	863
8.14	900
8.49	958
9.03	995
9.26	1024
10.16	1065
10.31	1098
10.51	1126
10.66	1133
11.08	1134
11.25	1134

**TABLA 36: PROCESO DE ADAPTACIÓN DEL INOCULO  
CON 100 ml DE VINAZA CONCENTRADA**

<b>x=tiempo (días)</b>	<b>y=vol (mLgas metano)c.n.</b>
0.02	37
0.06	65
0.13	103
0.17	117
0.31	168
0.35	183
0.40	203
0.48	256
0.98	454
1.17	499
1.33	532
1.46	543
1.58	558
1.98	643
2.02	654
2.17	681
2.21	696
2.25	705
2.48	738
3.08	826
3.27	889
3.35	918

**TABLA 37: PROCESO DE ADAPTACIÓN DEL INOCULO  
CON 120 mL. DE VINAZA CONCENTRADA**

<b>x=tiempo (días)</b>	<b>y=vol (mL gas metano)c.n.</b>
0.04	29
0.08	62
0.10	91
0.15	125
0.42	264
0.85	297
1.04	330
1.19	360
1.44	389
1.83	415
2.15	452
2.25	469
2.31	477
2.44	492
2.81	609
3.00	646
3.17	709
3.23	723
3.33	745
3.83	826
3.88	830
4.35	881
4.92	936
5.00	951
5.19	1006
5.35	1027
5.85	1104
5.98	1129
6.23	1192
6.40	1214
6.48	1228
6.85	1276
7.00	1298
7.19	1331
7.81	1339
7.94	1339
8.17	1346
9.02	1370
9.15	1385
9.85	1394
10.15	1405

**TABLA 38: DATOS DEL DESARROLLO DE BIOGAS AL 20% DE INOCULO Y VINAZA DILUIDA 1:10 DE CODANA**

t(días)	v (mL de gas) c.n.
0.15	15
0.22	21
0.26	26
0.31	26
0.37	26
0.41	32
0.44	60
0.48	115
0.55	182
0.60	205
0.65	219
0.94	295
0.99	309
1.03	317
1.17	329
1.27	333
1.31	338
1.42	355
1.48	369
1.56	374
1.96	374
2.07	393
2.23	421
2.29	427
2.38	429
2.50	441
2.69	454
3.04	475
3.19	488
3.31	500
3.38	503
3.48	512
4.00	535
4.15	560
4.31	571
4.40	593
4.56	593
4.98	618
5.06	618
5.23	644
5.33	665
5.58	667
6.08	691
6.52	729
7.58	791

7.96	807
8.08	819
8.27	838
8.42	844
9.02	880
9.29	908
10.00	948
10.08	961
10.33	1004
11.01	1031
11.33	1077
11.95	1077
13.08	1209
14.53	1327
14.97	1327
15.97	1383
16.41	1430
17.74	1511
18.12	1555
18.70	1555
20.70	1666
21.12	1720
22.89	1803
27.70	2062
28.33	2105
29.74	2157
30.76	2184
31.72	2219
33.99	2290

**TABLA 39: DATOS DEL DESARROLLO DE BIOGAS AL 20% DE INOCULO Y VINAZA DILUIDA 1:10 DE PRODUCARGO**

t(días)	v (mL de gas) c.n.
0.14	16
0.20	24
0.25	65
0.30	87
0.36	113
0.40	128
0.43	148
0.47	186
0.54	232
0.59	239
0.64	239
0.93	269
0.98	283
1.02	286
1.16	294
1.26	297
1.30	303
1.41	314
1.47	321
1.58	327
1.95	327
2.06	327
2.22	333
2.28	339
2.36	342
2.49	355
2.68	363
3.03	366
3.18	375
3.30	388
3.36	391
3.47	400
3.99	408
4.14	416
4.30	426
4.39	445
4.55	445
4.97	445
5.05	445
5.22	454
5.32	477
5.57	477
6.07	477
6.51	514
7.57	567

7.95	574
8.07	589
8.26	617
8.41	621
9.01	645
9.28	665
9.99	701
10.07	737
10.32	771
11.00	790
11.32	818
11.94	818
13.07	901
14.52	990
14.96	991
15.96	1031
16.40	1031
17.73	1065
18.11	1079
18.69	1079
20.69	1099
21.11	1108
22.88	1121
27.69	1180
28.32	1198
29.73	1244
30.75	1290
31.71	1338
33.98	1350

**TABLA 40: DATOS DEL DESARROLLO DE BIOGAS AL 20% DE INOCULO Y LODOS DE CODANA**

<b>x=t(días)</b>	<b>y=v (mL de gas) c.n.</b>
0.33	52
0.96	140
1.13	192
1.21	213
1.35	242
1.46	256
1.92	285
2.06	323
2.08	325
2.13	325
2.15	328
2.19	332
2.46	349
3.08	381
3.23	397
3.48	397
4.19	434
25.00	875
30.00	1095

**TABLA 41: DATOS DEL DESARROLLO DE BIOGAS AL 20% DE INOCULO  
PARA EL BLANCO**

t(días)	vol(mL de gas) c.n.
0.10	24
0.17	26
0.22	29
0.27	29
0.33	29
0.36	29
0.40	30
0.44	35
0.51	45
0.56	51
0.60	69
0.90	184
0.95	207
0.99	223
1.13	269
1.23	271
1.27	275
1.38	278
1.44	279
1.51	281
1.92	281
2.03	286
2.19	301
2.25	305
2.33	305
2.46	309
2.65	309
2.96	309
3.15	311
3.27	322
3.33	323
3.44	327
3.96	327
4.10	332
4.27	344
4.35	354
4.52	354
4.94	354
5.02	354
5.19	361
5.29	376
5.54	376
6.04	376
6.48	392
7.54	410
7.92	410

8.04	412
8.23	424
8.38	424
8.98	424
9.25	445
9.96	445
10.04	451
10.29	478
10.97	485
11.28	499
11.91	499
13.03	514
14.49	533
14.93	533
15.93	541
16.37	541
17.70	541
18.08	541
18.66	541
20.66	541
21.08	541
22.85	541
27.66	541
28.28	541
29.70	541
30.72	541
31.8	541
33.95	541

**TABLA 42: DESARROLLO DE GAS VS TIEMPO EN EL REACTOR DE CODANA AL 10% DE INOCULO.**

<b>t(días)</b>	<b>v (mL de gas) c.n.</b>
0.61	93
0.74	125
0.86	157
1.11	192
1.61	240
1.86	267
2.11	276
2.61	280
2.86	295
3.11	301
3.61	303
3.86	323
4.11	329
4.61	329
4.86	360
5.11	361
5.61	361
5.86	380
6.11	380
6.36	391
6.61	418
7.11	437
7.36	467
7.61	474
8.11	485
8.36	529
8.61	562
9.11	607
9.36	646
9.61	661
10.11	714
10.36	764
10.61	787
11.11	825
11.36	844
11.61	875
12.11	881
12.36	892
12.61	907
13.11	920
13.36	937
13.61	940
14.11	944
14.36	950
14.61	955

15.11	966
15.36	975
15.61	975
16.11	990
16.36	1005
16.61	1019
17.11	1027
17.36	1028
17.61	1032
18.11	1043
18.36	1052
18.61	1056
19.11	1060

**TABLA 43: DESARROLLO DE GAS VS TIEMPO EN EL REACTOR DE PRODUCARGO AL 10% DE INOCULO.**

t(días)	v (mL de gas) c.n.
0.61	106
0.74	140
0.86	169
1.11	219
1.61	263
1.86	264
2.11	278
2.61	280
2.86	296
3.11	306
3.61	308
3.86	327
4.11	334
4.61	334
4.86	369
5.11	370
5.61	370
5.86	380
6.11	380
6.36	388
6.61	405
7.11	410
7.36	418
7.61	426
8.11	435
8.36	459
8.61	488
9.11	512
9.36	543
9.61	560
10.11	573
10.36	613
10.61	624
11.11	634
11.36	656
11.61	678
12.11	692
12.36	718
12.61	729
13.11	742
13.36	759
13.61	762
14.11	770

14.36	775
14.61	778
15.11	785
15.36	792
15.61	792
16.11	799
16.36	802
16.61	819
17.11	822
17.36	826
17.61	833
18.11	839
18.36	844
18.61	850
19.11	858

**TABLA 44: DESARROLLO DE GAS VS TIEMPO EN EL REACTOR DEL BLANCO AL 10% DE INOCULO.**

t(días)	v (mL de gas) c.n.
0.61	5
0.74	6
0.86	7
1.11	9
1.61	11
1.86	15
2.11	16
2.61	16
2.92	20
3.11	29
3.61	31
3.86	40
4.11	43
4.61	47
4.86	56
5.11	57
5.61	62
5.86	65
6.11	66
6.36	71
6.61	78
7.11	79
7.36	84
7.61	85
8.11	87
8.36	91
8.61	95
9.11	97
9.36	101
9.61	106
10.11	106
10.36	112
10.61	115
11.11	115
11.36	117
11.61	122
12.11	122
12.36	124
12.61	126
13.11	129
13.36	134
13.61	135
14.11	137
14.36	138
14.61	140

15.11	142
15.36	147
15.61	147
16.11	147
16.36	156
16.61	158
17.11	160
17.36	163
17.61	166
18.11	169
18.36	170
18.61	172
19.11	173

**TABLA 45: ANALISIS DEL SOBRENADANTE  
AL FINAL DEL REACTOR DE CODANA AL 20% DE INOCULO  
TOMADA Y ANALIZADA 19/ENE/99**

<b>pH = 8.2</b>		<b>T = 34°C</b>							
	<b>cri. Vacio</b>	<b>c+5mL</b>	<b>Cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>	
c3	14.288	19.186	14.307	99.61	0.39	14.299	0.16	0.22	
16	11.670	16.520	11.689	99.61	0.39	11.681	0.16	0.23	
1	13.258	18.192	13.276	99.64	0.36	13.269	0.14	0.22	
				<b>99.62</b>	<b>0.38</b>			<b>0.16</b>	<b>0.22</b>

Reactor instalado en Noviembre 15 de 1999.

Para los lodos de CODANA se hicieron 2 análisis en fechas diferentes que son los siguientes:

**TABLA 46. ANALISIS 1 DEL FINAL DE LA DIGESTIÓN CON 20% DE  
INOCULO CON LODOS CODANA NOV/4/98 E INSTALADOS EN  
Aparentemente los 200 ml de lodo a 1000 con vi 1:10 a ph 7.6  
ha dejado de producir biogas**

<b>pH = 7.8</b>		<b>T = 30°C</b>							
	<b>cri. Vacio</b>	<b>c+5Ml</b>	<b>Cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>	
c1	12.325	17.292	12.357	99.36	0.64	12.337	0.40	0.24	
c2	14.266	19.199	14.297	99.37	0.63	14.278	0.39	0.24	
c3	14.289	19.327	14.322	99.34	0.66	14.302	0.40	0.26	
				<b>99.36</b>	<b>0.64</b>			<b>0.39</b>	<b>0.25</b>

Reactor instalado octubre 31/1999

**TABLA 47. ANALISIS 2 DE LA MEZCLA AL FINAL DE LA DIGESTION AL  
20% DE INOCULO Y CON LODOS DE CODANA  
ENERO/19/99**

<b>pH = 8.6</b>		<b>T = 30°C</b>							
	<b>cri. Vacio</b>	<b>c+5mL</b>	<b>cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>	
11	18.562	23.618	18.583	99.58	0.42	18.572	0.22	0.20	
12	19.973	25.017	19.991	99.64	0.36	19.982	0.18	0.18	
c2	14.264	19.231	14.285	99.58	0.42	14.276	0.18	0.24	
				<b>99.60</b>	<b>0.40</b>			<b>0.19</b>	<b>0.21</b>

No era cierto, aparentemente los 200 mL. de lodo a 1000 mL. con vinaza 1:10 a pH 7.6 ha dejado de producir biogás.

**TABLA 48. ANÁLISIS DEL SOBRENADANTE INICIAL DEL REACTOR DE CODANA AL 10% DE INOCULO. VINAZA DILUIDA 1:10 TOMADA ENE/8/99. ANALIZADA /ENE/13/99**

<b>pH = 7.4</b>								
	<b>cri. Vacio</b>	<b>c+5mL</b>	<b>Cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>
<b>c1</b>	12.325	17.274	12.352	99.45	0.55	12.335	0.34	0.20
<b>c2</b>	14.264	19.156	14.289	99.49	0.51	14.272	0.35	0.16
<b>c3</b>	14.287	19.215	14.313	99.47	0.53	14.296	0.34	0.18
				<b>99.47</b>	<b>0.53</b>		<b>0.35</b>	<b>0.18</b>

**TABLA 49. ANÁLISIS DEL SOBRENADANTE FINAL DEL REACTOR DE CODANA AL 10% DE INOCULO. TOMADA ENE/23/99, ANALIZADA ENE/24/99**

<b>pH = 7.4</b>									
	<b>cri. Vacio</b>	<b>C+2mL</b>	<b>cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>	<b>d (g/mL)</b>
<b>11</b>	18.565	20.548	18.573	99.60	0.40	18.571	0.10	0.30	0.991
<b>14</b>	19.563	21.546	19.57	99.65	0.35	19.568	0.10	0.25	0.992
<b>c1</b>	12.325	14.298	12.334	99.54	0.46	12.330	0.20	0.25	0.987
				<b>99.60</b>	<b>0.40</b>		<b>0.13</b>	<b>0.27</b>	<b>0.990</b>

Los resultados se resumen en la tabla 34

**TABLA 50. ANÁLISIS DEL SOBRENADANTE INICIAL DEL REACTOR DE PRODUCARGO AL 10% DE INOCULO. VINAZA DILUIDA 1:10. TOMADA ENE/8/99. ANALIZADA ENE/13/99**

<b>PH = 7.4</b>								
	<b>Cri. Vacio</b>	<b>c+5mL</b>	<b>Cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>
<b>1</b>	13.257	18.194	13.282	99.49	0.51	13.268	0.28	0.22
<b>2</b>	14.386	19.263	14.411	99.49	0.51	14.398	0.27	0.25
<b>3</b>	14.745	19.699	14.77	99.50	0.50	14.757	0.26	0.24
				<b>99.49</b>	<b>0.51</b>		<b>0.27</b>	<b>0.24</b>

**TABLA 51: ANÁLISIS DEL SOBRENADANTE FINAL DEL REACTOR DE  
 PRODUCARGO AL 10% DE INOCULO.  
 TOMADA 23/ENE/99 Y ANALIZADA 24/ENE/99**

<b>pH = 7.4</b>									
	<b>cri. Vacio</b>	<b>c+2mL</b>	<b>cri. a 105°C</b>	<b>% humedad</b>	<b>% ST</b>	<b>cri. a 550°C</b>	<b>% SV</b>	<b>% Ce</b>	<b>d (g/mL)</b>
12	19.975	21.950	19.983	99.59	0.41	19.981	0.10	0.30	0.987
13	19.243	21.206	19.251	99.59	0.41	19.249	0.10	0.31	0.982
17	16.355	18.321	16.363	99.59	0.41	16.360	0.15	0.25	0.983
				<b>99.59</b>	<b>0.41</b>		<b>0.12</b>	<b>0.29</b>	<b>0.984</b>

## ANEXO II

### Determinación de sólidos totales

Se pesa una masa dada de la muestra limpia y previamente tarada. Se calienta entre 103-105°C durante 4 horas; el residuo se calcina las veces que sean necesarias hasta peso constante y por diferencia se determina el % standard.

$$\text{Cálculo: } \%ST = \frac{M_2 - M_1}{M_3 - M_1} \times 100$$

Donde:  $M_3$  = masa de la cápsula con la muestra húmeda

$M_2$  = masa de la cápsula con la muestra seca

$M_1$  = masa de la cápsula vacía

### Determinación del porcentaje de sólidos volátiles (%SV) y cenizas (%Ce)

Se pesa una masa dada de la muestra en un crisol, primero se calienta con quemador hasta carbonización total bajo campana de extracción de gases. Luego se coloca el crisol en la mufla durante 30 minutos entre (550-600) °C hasta que dos pesadas sucesivas no difieran en más de 0.1% de la masa de la porción de ensayo.

$$\text{Cálculo: } \%Ce = \frac{M_2 - M_1}{M_3 - M_1} \times 100$$

Donde:  $M_3$  = masa de la cápsula con la muestra seca

$M_2$  = masa de la cápsula con las cenizas

$M_1$  = masa de la cápsula vacía

$$\%SV = \%ST - \%Ce$$

### ANEXO III

#### EFICIENCIAS DE LOS DIGESTORES

Para el cálculo de las eficiencias aplicamos la ecuación 2 que es la siguiente:

$$\% \text{eficiencia} = \frac{SV_{\text{entrada}} - SV_{\text{salida}}}{SV_{\text{entrada}}} \times 100$$

Eficiencia del digestor al 20% con inóculo vacuno y como sustrato vinaza diluida 1:10 de CODANA con TRH de 34 días

$$\% \text{eficiencia} = \frac{0.54 - 0.16}{0.54} \times 100$$

**70 %**

Eficiencia del digestor al 20% con inóculo vacuno y como sustrato diluida 1:10 de PRODUCARGO con TRH de 34 días

$$\% \text{eficiencia} = \frac{0.50 - 0.21}{0.50} \times 100$$

**58 %**

Eficiencia del digestor al 20% con lodos de la piscina de oxidación de CODANA con TRH de 4 días

$$\% \text{eficiencia} = \frac{0.51 - 0.39}{0.51} \times 100$$

**24 %**

Eficiencia del digestor al 20% con lodos de la piscina de oxidación de CODANA con TRH de 79 días

$$\%eficiencia = \frac{0.51 - 0.19}{0.51} \times 100$$

**63 %**

Eficiencia del digestor al 10% con inculo vacuno y como sustrato vinaza diluida 1:10 de CODANA con TRH de 19 días

$$\%eficiencia = \frac{0.35 - 0.13}{0.35} \times 100$$

**63 %**

Eficiencia del digestor al 10% con inculo vacuno y como sustrato diluida 1:10 de PRODUCARGO con TRH de 34 días

$$\%eficiencia = \frac{0.28 - 0.12}{0.28} \times 100$$

**57 %**

## ANEXO IV

Las condiciones del laboratorio en la ESPOCH Facultad de Ciencias ubicado en Riobamba, presenta los siguientes valores:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Donde el subíndice 1 indica las condiciones del laboratorio y el subíndice 2 indica las condiciones normales c.n.

$$P_1 = 0.7219 \text{ atm}$$

$$P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 25^\circ\text{C}$$

$$V_1 = \text{el volumen desplazado}$$

$$V_2 = ?$$

$$V_2 = 0.9024 V_1$$