



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS TABASCO

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

JOSÉ MARÍA HERNÁNDEZ OLÁN

T E S I S

**EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE FERMENTADOR AEROBIO PARA LA
ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PARA GANADO BOVINO A BASE DE CAÑA DE
AZÚCAR**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

H. CÁRDENAS, TABASCO, MEXICO 2015

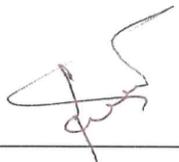
La presente tesis titulada: **Evaluación de un prototipo de fermentador aerobio para la elaboración de alimentos para ganado bovino a base de caña de azúcar**, realizada por el alumno: **José María Hernández Olán**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

POSTGRADO EN PRODUCCIÓN AGROALIMENTARIA EN EL TRÓPICO

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



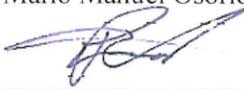
Dr. Emilio Mantel Aranda Ibañez

ASESOR:



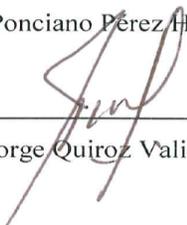
Dr. Mario Manuel Osorio Arce

ASESOR:



Dr. Ponciano Pérez Hernández

ASESOR:



Dr. Jorge Quiroz Valiente

Cárdenas Tabasco, 08 de Mayo de 2015

EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO DE FERMENTADOR AEROBIO PARA LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS PARA GANADO BOVINO A BASE DE CAÑA DE AZÚCAR

José María Hernández Olán, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

Con el objetivo de evaluar el fermentador prototipo para la producción de alimentos a partir de caña de azúcar para el ganado bovino, se realizó el proceso de elaboración de alimento con un fermentador aerobio, el cual tiene una capacidad de 500 kg, se trabajó en 18 ensayos, con una formulación de 83.20% de caña de azúcar, 1% de urea, 0.5 % de sales minerales, 0.3% de sulfato de amonio, 5% pollinaza, 5% de maíz, 5% inóculo de caña fermentada 24 h antes de la elaboración del alimento. La agitación fue constante y se manejaron 3 niveles (3.1, 5.6, 7.8 rpm), y aireación en 2 niveles 1,920 l. y 3,840 l. en intervalos 1 a 2h, se obtuvieron pH iniciales de la mezcla con los ingredientes de (6.14 a 6.60), y al final del proceso (4.69 a 6.92), se controló la humedad entre 60%. La temperatura del proceso tuvo un comportamiento inicial de 25 °C a 31°C, temperaturas a las 12 horas de 36. °C a 42 °C y finales de hasta 27 °C a 41 °C en un periodo de 24 h. En el producto final se midió el contenido de proteína cruda obteniendo valores de 14.86% a 16.43%, de fibra detergente neutro de (24.68%), PV de 6.32 a 8.37%, eficiencia de 34.34 a 52.63 y degradación a las 48 h de incubación en rumen de 52.63%. De igual manera se realizó un análisis financiero en el cual se determinó el costo de producción del alimento a base húmeda, en el cual un kilo de alimento elaborado con el fermentador tiene un costo de \$1.64.

Palabras clave: Fermentación, Caña de azúcar, Bovinos, Costos.

EVALUATION OF A PROTOTYPE FOR AEROBIC FERMENTER FOOD PROCESSING FOR CATTLE BASED ON SUGAR

José María Hernández Olán, MC.

Colegio de Postgraduados, 2015

In order to evaluate the fermenter prototype for food production from sugarcane for cattle, the process of preparing food is made with an aerobic fermenter, which has a capacity of 500 kg, worked in 18 assays, with a formulation of 83.20% of cane sugar, 1% urea, 0.5% mineral salts, 0.3% ammonium sulfate, 5% chicken manure, 5% corn, 5% inoculum fermented cane 24 h before the preparation of food. The agitation was constant and three levels (3.1, 5.6, 7.8 rpm), and aeration at 2 levels were handled 1,920 l. and 3,840 l. 1 to 2h intervals were obtained initial pH of the mixture with the ingredients of (6.14 to 6.60), and end the process (4.69 to 6.92), 60% humidity was controlled. The process temperature behavior had an initial 25 ° C to 31 ° C, temperature at 12 ° C 36 hours at 42 ° C and end of up to 27 ° C to 41 ° C over a period of 24 h. In the final product the crude protein content was measured obtaining values of 14.86% to 16.43% of neutral detergent fiber (24.68%), PV of 6.32 to 8.37%, efficiency of 34.34 to 52.63 and degradation after 48 h of incubation rumen of 52.63%. Similarly a financial analysis in which the cost of food production to a wet basis was determined, in which a kilo of food made with the fermenter has a cost of \$ 1.64 was performed.

Keywords: Fermentation Sugarcane, Cattle, Costs.

DEDICATORIAS

A Dios. Como un testimonio y de eterno agradecimiento, hoy he llegado al final de este recorrido. A Él debo todo lo que soy y lo que tengo gracias al Señor, hoy más que nunca sé que me amas.

A mi madre. Josefa Olán Sánchez por todo su amor y bendiciones, ya que ella es un pilar muy importante en vida. Te amo mami.

A mi padre. José Ángel Hernández de la Cruz, por su gran apoyo, consejos y bendiciones, las cuales me han servido como guía para realizar mi carrera profesional.

A mis hermanos. Juan, Andrés y Jesús por sus apoyos, amor y comprensión en este proceso.

A mi mamita. Por el gran cariño y afecto que siempre me ha brindado incondicionalmente. La adoro.

Familiares. Por todo el amor y las comprensiones que me han brindado y por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida. Gracias.

A esa persona tan especial. Que llegó a mi vida cuando más le necesitaba. Gracias por tu comprensión y amor.

A mis compañeros, PROPAT Otoño 2012, por la convivencia tan amena con cada uno de ustedes, gracias por cada experiencia regalada.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para mi formación académica.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, por haber adquirido la formación.

A la Línea Prioritaria de Investigación LPI-2 Agroecosistemas sustentables MASCAÑA, por los equipos facilitados para el desarrollo de la presente investigación.

A la Línea Prioritaria de Investigación LPI-5 Biotecnología microbiana, vegetal y animal, por su apoyo en el desarrollo de la investigación.

A mi Consejero, Dr. Emilio M. Aranda Ibáñez, por todas las contribuciones y valioso apoyo incondicional a mi investigación, y haber depositado en mí su amistad y confianza.

Al Dr. Mario Manuel Osorio Arce, por sus valiosas observaciones a la presente tesis.

Al Dr. Ponciano Pérez Hernández por sus valiosas observaciones a la presente investigación.

Al Dr. Jorge Quiroz Valiente, por sus apreciables observaciones a la presente investigación.

ABREVIATURAS USADAS

FDA Fibra detergente ácido	rpm Revoluciones por minuto
FDN Fibra detergente neutro	mm Milímetros
cm Centímetros	kg Kilogramos
pH Potencial de hidrógeno	min Minutos
msnm Metros sobre el nivel del mar	FLS Fermentación líquida sumergida
°C Grados centígrados	DIMS Degradación de la materia seca
CONACYT Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	g Gramo
FES Fermentación en Estado Sólido	N Nitrógeno
ha Hectárea	MS Materia seca
T Tonelada	M O Materia orgánica
EF Eficiencia	t Temperatura
h Hora	PI Peso inicial
PF Peso final	PV Proteína verdadera
% Porcentaje	NNP Nitrógeno no proteico

pmf Peso muestra final

pmi Peso muestra inicial

GTHCL Gasto total Ácido clorhídrico

GTHCLB Gasto total Ácido Clorhídrico del
Blanco

NHCL Normalidad del Ácido Clorhídrico

CIF Costos fijos indirecto

CONTENIDO

Página

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVO GENERAL	2
2.1 Objetivos específicos	2
III. HIPÓTESIS.....	2
IV. REVISIÓN DE LITERATURA	3
4.1 Características de la ganadería en México.....	3
4.2 La ganadería bovina en el Estado de Tabasco	3
4.3 Característica de la ganadería en el trópico	4
4.4 Limitaciones de la ganadería en alimentación basadas en pastos.....	4
4.5 La caña de azúcar como alternativa en la alimentación bovina.....	5
4.6 Potencial de la caña de azúcar en la alimentación de bovinos.....	5
4.7 Calidad, valores nutritivos y limitantes nutricionales de la caña de azúcar.....	7
4.8 Procesos biotecnológicos para la producción de alimentos	8
4.9 Concepto de fermentación y respiración.....	9
4.10 Fermentación en estado sólido.....	10
4.11 Características de los procesos de la FES y factores que influyen	10
4.11.1 Temperatura.....	11
4.11.2 Humedad y actividad del agua.....	11
4.11.3 pH	11
4.11.4 Aeración y agitación.	12
4.11.5 Tamaño de partículas	12
4.12 Alimentos obtenidos por FES, con el uso de la caña de azúcar como el principal sustrato.....	13
4.12.1 Saccharina.....	13
4.12.2 Sacchamaíz	13
4.12.3 Sacchasoya.....	14

4.12.4 Caña, soya y maíz inoculados con Vitafert.....	14
4.12.5 Sacchaboniato	14
4.12.6 Sacchayuca.....	15
4.13 Caña de azúcar con excreta vacuna	15
4.14 Biorreactores utilizados para la fermentación estado solido.....	16
4.14.1 Biorreactores.....	16
4.14.2 Tipos de birreactor	16
4.15 Factores y variables que afectan al rendimiento de las fermentaciones industriales aireación.....	18
V. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1. Localización del experimento	24
5.2 Características del fermentador prototipo.....	25
5.3 Diseño experimental	28
5.4 Preparación y toma de datos del alimento fermentado	29
5.5. Análisis químico proximal.....	31
5.6 Análisis Financiero	32
5.7 Cuantificación de los elementos del costo de producción	35
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL EXPERIMENTO	37
6.1 Composición nutricional de los alimentos fermentados a base de Caña de azúcar	37
6.2 Análisis financiero	43
VII. CONCLUSIONES.....	52
VIII. RECOMENDACIONES	52
IX. LITERATURA CITADA.	54
X. ANEXOS	60

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Población de ganado bovino carne y leche (miles de cabezas) en México y Tabasco en el periodo 2004 a 2013.....	4
Cuadro 2. Composición química y digestibilidad de la caña de azúcar y sus fracciones.	8
Cuadro 3. Arreglo factorial 6 Tratamientos con 3 repeticiones = 18 Corridas.....	28
Cuadro 4. Toma de muestras de la caña de azúcar para obtener el ° brix	30
Cuadro 5. Ingredientes usados para elaborar alimento a base de caña de azúcar	30
Cuadro 6. . Materia prima requerida para la elaboración del alimento en el biorreactor y de forma rústico.....	33
Cuadro 7. Tiempo estimado de proceso de producción.....	34
Cuadro 8. Composición química de los alimentos después de la fermentación	37
Cuadro 9. Concentración de FDN, FDA, cenizas, y degradación in situ de los alimentos a base de caña de azúcar elaborador por el fermentador prototipo	39
Cuadro 10. Valores promedio de pH inicial, final, temperaturas y humedad en el proceso de fermentación de los alimentos de caña de azúcar efectuado con el fermentador prototipo.....	42
Cuadro 11. Cantidad de alimento producido por corrida y total.....	43
Cuadro 12. Costo total de Mano de Obra y por corrida.....	44
Cuadro 13. Calculo 1. Costos indirectos de fabricación (Consumo de energía eléctrica).....	44
Cuadro 14. Costo de Energía Eléctrica. (Calculo 1).....	45
Cuadro 15. Calculo 2. Costos indirectos de fabricación (Consumo de energía eléctrica) El fermentador prototipo trabajando con suministro de aire cada h.....	45
Cuadro 16. Costo de Energía Eléctrica. (Calculo 2).....	45
Cuadro 17. Depreciación del Biorreactor	46
Cuadro 18. Corte de Caña.....	46
Cuadro 19. Alza y acarreo de caña	46
Cuadro 20. Picado de la caña.....	47
Cuadro 21. Fermentación solida por medio de biorreactor.....	48
Cuadro 22. Almacenamiento de alimento.....	48

Cuadro 23. Costos en general de acuerdo al proceso de elaboración del alimento	49
Cuadro 24. Fermentación solida por medio de biorreactor, con la variable de uso del motor compresor en un periodo de 12 h.....	49
Cuadro 25. Totalidad de costos por procesos con la variable de energía del motor del compresor	50
Cuadro 26. Utilidad neta de los alimentos de acuerdo a los costos de producción	51

INDICE DE FIGURA

	Página
Figura 1. Localización del Campo Experimental Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco .	25
Figura 2. Equipo utilizado para la elaborar aliento fermentado a base de caña de azúcar	26
Figura 3. Banda transportadora de alimento	27
Figura 4. Tolva de recepción para traslado del alimento	27
Figura 5. Descarga del alimento elaborado con el equipo fermentador	28
Figura 6. Proceso de producción del alimento fermentado por medio del biorreactor	32
Figura 7. Efecto del aire-agitación en proteína verdadera del alimento fermentado	40
Figura 8. Efecto del aire-agitación en la eficiencia de síntesis de proteína	40
Figura 9. Efecto del aire-agitación en el contenido de pH en los alimentos fermentados	41
Figura 10. Entrada principal de aire.....	67
Figura 11. Eje central	67
Figura 12. Problemas con el aspa	67
Figura 13. Perdida de tornillos.....	67
Figura 14. Perdida de cerradura	67
Figura 15. Desunión del tanque	67
Figura 16. Pérdida de tornillo que unían al tanque	68
Figura 17. Se desoldaron las puertas.....	68
Figura 18. Partes desoldadas.....	68
Figura 19. Cerrojos rotos	68

INDICE DE ANEXOS USADOS

Página

Anexo 1. Base de datos de las variables nutricionales y fermentativas del alimento de caña de azúcar y las ordenes de SAS para la realización del análisis estadístico	60
Anexo 2. Composición química de los alimentos fermentados a base de Caña de azúcar.....	65
Anexo 3. Composición química de los alimentos fermentados a base de Caña de azúcar.....	65
Anexo 4. Composición química de los alimentos fermentados a base de Caña de azúcar.....	65
Anexo 5. Comportamiento de temperaturas	65
Anexo 6. Comportamiento de humedad	66

I. INTRODUCCIÓN

Los principales sistemas de producción animal en el trópico húmedo son basados en una ganadería de cría, doble propósito y engorda en pastoreo dirigidos a producir leche y terneros de una manera extensiva basado en el pastoreo de pasturas nativas y sembradas (Améndola, 2002), sin embargo estos pastos son de muy bajo contenido de proteína cruda, por lo tanto durante el año, las gramíneas presentan variaciones en su disponibilidad y calidad (Ku-Vera *et al.*, 2014). Esta deficiencia en los pastos hace necesaria la búsqueda de alternativas de alimentación económicamente factible, que incluyan subproductos agroindustriales que incrementen la producción.

El cultivo de la caña de azúcar es un recurso de las regiones tropicales con un gran potencial como fuente de alimento para los rumiantes; el uso de este cultivo, mediante la implementación de sistemas alternativos, por ejemplo, la producción de alimento animal a través de procesos de fermentación en estado sólido (*saccharina*) son una alternativa viable para resolver la escasez de forrajes, sin embargo, esta tecnología tiene ciertas limitantes que impiden realizar una ganadería intensiva, ya que para la elaboración del alimento se realiza de manera manual lo que impide la elaborar en grandes volúmenes. Por lo tanto es necesaria la industrialización de este alimento con el uso de equipos que faciliten el proceso en la elaboración de alimentos fermentados es una limitante más, ya que dichos equipos existen a nivel de laboratorio, sin embargo se construyó un fermentador con capacidad superior en comparación a otros equipos lo cual facilita de manera significativa la elaboración del alimento con factores fermentativos controlados y por lo tanto se buscó mejorar o igualar de manera homogénea su calidad, de ahí la importancia de este proyecto y su Innovación radica en que se puede producir un alimento económico con un recurso disponible en la región (caña de azúcar), así como impulsar el diseño de una industria para ayudar a resolver la escasez de pastos y de las contingencias ambientales, relacionadas con el cambio climático presentadas en algunas épocas del año, en el Estado de Tabasco (Inundaciones).

II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el fermentador prototipo para la producción de alimento a partir de caña de azúcar para el ganado bovino.

2.1 Objetivos específicos

1. Evaluar la calidad del alimento elaborado con el fermentador de acuerdo a dos factores que intervienen en la fermentación aerobia en estado sólido.
 - a) Aeración
 - b) Agitaciones por minuto

2. Evaluar el costo producción del alimento elaborado con el fermentador, de acuerdo a las variables de costos directos e indirectos por medio de un análisis financiero

III. HIPÓTESIS

El alimento a base de caña fermentada elaborado con el fermentador tiene un igual o mayor valor nutritivo que los alimentos a base de caña de azúcar.

El alimento a base de caña de azúcar es económico y por lo tanto puede competir con los alimentos comerciales.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Características de la ganadería en México

En México la actividad pecuaria es de gran importancia socioeconómica, la producción de carne está representada, principalmente, por la de aves (pollos y gallinas) con 45.38% del total de las carnes, bovino con 30.97%, porcino con 21.56%, ovino con 0.84%, caprino con 0.82% y guajolote con 0.43% (SIAP, 2013).

La población total de ganado bovino (carne y leche) del 2004 hasta el 2013, ha fluctuado en el país entre 31 y 32 millones de cabezas aproximadamente, con un ligero incremento del 1.0% (SIAP, 20013). Los bovinos para carne, representan la mayor población total (93 a 94%) con respecto a los de leche (6 a 7%). Sin embargo, la población de bovinos de carne sólo se ha incrementado en 0.60%, lo cual contrasta con el 25.86% de incremento de los bovinos de leche.

Los bovinos para carne constituyen una de las actividades fundamentales del sector pecuario, debido a la contribución que realizan a la oferta de productos cárnicos y por su participación en la balanza comercial del país, donde las exportaciones de ganado en pie, hacia los Estados Unidos, es su principal rubro. De acuerdo con los datos del (SIAP, 20013), se exportaron 611,553 cabezas de ganado vacuno.

4.2 La ganadería bovina en el Estado de Tabasco

El Estado de Tabasco es uno de los de mayor precipitación del país. Está situado al sureste de México, limita por el norte con el golfo de México, por el noreste con el Estado de Campeche, por el sur con el estado de Chiapas, por el oeste con el estado de Veracruz y por el sureste con Guatemala. Dentro de las regiones ganaderas del país, se ubica en el trópico húmedo con 2, 466,100 ha, lo que representa el 1.25% del territorio nacional (INEGI, 2004).

Datos del SIAP (2013) menciona que el inventario pecuario para el estado de Tabasco fue de 1, 535,622 cabezas de bovinos, de los cuales 1, 519,999 cabezas correspondieron a carne que representa únicamente el 5.85 % del total nacional y 15,623 cabezas que corresponden a leche. Tabasco es el séptimo productor de ganado bovino con un volumen de producción de 129,685 t que representa el 4.63% de la producción nacional.

Cuadro 1. Población de ganado bovino carne y leche (miles de cabezas) en México y Tabasco en el periodo 2004 a 2013.

MEXICO		TABASCO	
AÑO	TOTAL	AÑO	TOTAL
2004	31,247,734	2004	1,452,091
2005	30,989,968	2005	1,415,357
2006	31,163,124	2006	1,422,493
2007	31,395,915	2007	1,448,155
2008	31,760,962	2008	1,476,229
2009	32,307,071	2009	1,484,383
2010	32,642,134	2010	1,485,070
2011	32,936,334	2011	1,511,922
2012	31,925,181	2012	1,518,596
2013	32,402,461	2013	1,535,622

P/Cifras preliminares.

Fuente: SIAP con información de la Delegación de SAGARPA.

4.3 Característica de la ganadería en el trópico

Los principales sistemas de producción animal en el trópico húmedo son de doble propósito dirigidos a producir leche y terneros de una manera extensiva basado en el pastoreo de pasturas nativas y sembradas (Améndola, 2002), por lo tanto esta manera extensiva de producir carne y leche se ha complicado debido a que en los últimos años, la alimentación de bovinos, la escasez de alimento, el cambio climático, el rezago tecnológico por deficiente asistencia técnica, carencia de tecnologías de punta y organización limitada, son algunos de los factores pueden influir en la disponibilidad del alimento, en su calidad y composición nutricional del pasto y por lo tanto en la producción de carne y leche. Esta problemática, unida a los elevados precios de las materias primas para alimentos destinados al ganado hace el desarrollo de una ganadería deficiente. (Harrison 2002, FAO 2007 y FAO 2011).

4.4 Limitaciones de la ganadería en alimentación basadas en pastos

Tabasco, al encontrarse ubicado en la zona del trópico húmedo, comparte las características de la zonas ganaderas tropicales de país. Estas características del sistema y la situación climatológica influye en el rendimiento y calidad de los pastos, por lo que la respuesta productiva de los bovinos tiene amplia variación anual y en algunas regiones donde los bovinos dependen exclusivamente de los pastos nativos o mejorados como única fuente de nutrientes, frecuentemente, son incapaces de cubrir sus necesidades alimenticias, lo que provoca una baja producción de carne y leche.

En Tabasco se definen tres épocas climáticas: 1) La de Secas que comprende de marzo a mayo y en algunas regiones, la primera quincena de junio, en la cual se presenta altas temperaturas, elevada radiación solar y baja precipitación (9 a 14 % del total anual); a pesar de esto, se encuentra humedad en los terrenos bajos, proveniente de humedad residual y del manto freático; 2) La época de lluvias se presenta de junio a octubre, la precipitación representa un 59 a 65 % del total y 3) La época de nortes, se sitúa de noviembre a febrero, caracterizada por la presencia de masas de aire húmedo con alta nubosidad que ocasiona baja radiación y temperatura, además de frecuentes y prolongadas lluvias que van de 25 a 27 % de la precipitación total (Meléndez, 1998).

4.5 La caña de azúcar como alternativa en la alimentación bovina

El uso de la caña de azúcar como recurso forrajero va creciendo año tras año y existen varias razones del por qué introducir esta fibra en la formulación de dietas para los rumiantes. Uno es la expansión del cultivo en el mundo, otro, su uso solo limitado en animales de bajo potencial productivo, ya sea para leche o carne. En la actualidad, los conceptos están cambiando, y el ganadero entiende que el alimento es fuente de energía, en lugar de ser criticado por la baja en proteínas Siqueira *et al.*, (2007), demuestra en sus estudios, que la caña de azúcar sólo se puede utilizar como forraje para animales de alta producción.

4.6 Potencial de la caña de azúcar en la alimentación de bovinos

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea perenne, adaptada a zonas tropicales y sub-tropicales y su persistencia está asociada a su manejo. Se considera como un

recurso forrajero con potencial en los trópicos, debido a su alta producción de biomasa por unidad de superficie, ya que es un cultivo eficiente en la captura de la energía solar durante la fotosíntesis. Además, se puede emplear en las etapas críticas de disponibilidad de pastos y forrajes, sobre todo en la época de seca, ya que es en ella cuando tiene la mayor producción de biomasa, debido a que este cultivo requiere poca agua cuando está en edad adulta (Mena, 1988; Figueroa y Ly, 1990; Molina, 1990; Aranda *et al.*, 2003; Martín, 2004). Además, en la época de seca se puede usar como heno en pie y no requiera lugar de almacenaje, ya que su almacenamiento es el propio terreno.

En México, el cultivo de la caña de azúcar se realiza en 15 estados para la producción de azúcar, con una superficie sembrada en el 2003 fue de 672.442 ha, con rendimiento promedio de 73.11 t/ha. En el Estado de Tabasco, la superficie sembrada fue de 28383 ha con un rendimiento promedio de 69.87 t/ha. De acuerdo con los rendimientos obtenidos, destaca el Estado de Puebla con un promedio de 129.77 t/ha (SIAP, 2004).

En el Estado de Tabasco, Salgado *et al.* (1994) al estudiar diferentes variedades de caña, dosis de fertilización y drenaje subterráneo, reportaron producciones de 89 a 150 t/ha/año. Al igual que en otros cultivos, los rendimientos de la caña pueden ser variables. Martín (2004) al revisar el rendimiento en varios países encontró que, la producción de tallos puede variar entre 88 y 148 t/ha/año e indicó que si se consideraba la biomasa total (tallos, cogollos y hojas) aprovechable para la alimentación animal, la producción se incrementaría en 30%. Lo anterior coincide con los estudios de composición morfológica realizado por López *et al.*, (2003) en ocho variedades de caña, donde encontraron que, como promedio, los tallos de la caña representaron el 68.5% del total, el cogollo el 14.7% y la paja 16.8%; así mismo, López *et al.*, (2004) al estudiar 5 variedades de caña, encontraron que los tallos como promedio representaron 68.2%, el cogollo el 26.0% y la paja el 6%. El potencial máximo de producción de biomasa total de la caña de azúcar en las regiones tropicales y subtropicales en 395 y 276 t ha⁻¹año⁻¹ respectivamente, muy superior a lo señalado en la literatura internacional.

El cultivo de la caña permite cosecharla en diferentes estados de madurez, sin que su valor nutritivo se altere significativamente, como ocurre con la mayoría de las gramíneas tropicales). El contenido celular, concentración de azúcar y contenido de materia seca se incrementa con la edad y la digestibilidad de la materia orgánica se incrementa ligeramente (Figueroa y Ly, 1990)

La alta concentración de azúcares solubles de la caña de azúcar (sacarosa, glucosa y fructosa) puede inhibir la celulolisis ruminal e influir negativamente en la digestibilidad de la fibra y el consumo voluntario, lo cual pudiera limitar el uso de la caña de azúcar como fuente básica energética por los rumiantes.

La caña de azúcar presenta deficiencias nutricionales, ya que tiene bajo contenido de proteínas (2 a 3%); es deficiente en minerales, principalmente en fósforo y azufre. Debido a esto, para su empleo en la producción animal se debe suplementar adecuadamente con una fuente NNP, como la urea (1 a 2%), además, de azufre en una relación N:S de 10:1. En el caso de animales en crecimiento o en producción, es necesario suplementarlos con proteínas sobrepasantes, urea y minerales (Álvarez, 1988).

La digestibilidad de la materia seca de la caña de azúcar, es mayor que la de otras gramíneas tropicales, debido a la presencia de carbohidratos solubles de fácil fermentación (Muñoz y González, 1998). Sin embargo, la tasa de digestión de la fibra es menor que en la mayoría de los pastos y leguminosas (Martín y Brito, 1997), lo cual indica que la digestión de las paredes celulares de la caña de azúcar representa una de las principales limitantes para utilizarla por los rumiantes (Aranda, 2000). A pesar del potencial forrajero de la caña de azúcar, los países productores de azúcar se enfrentan al reto de diversificar su producción, como respuesta a las dificultades del mercado internacional y las tendencias desfavorables de los precios del azúcar.

4.7 Calidad, valores nutritivos y limitantes nutricionales de la caña de azúcar

Molina (1990) menciona que, al igual que la mayoría de los alimentos voluminosos, el valor nutritivo de la caña de azúcar presenta una alta variabilidad por influencia de varios factores que van desde el genético (variedad) hasta las agronómicas (intensidad y sistema de cultivo) y los de manejo (edad y sistema de corte, trituración, entre otros). En este sentido, desde el punto de vista nutricional, las características más sobresalientes de la caña de azúcar en su composición química son:

- a) Pronunciado déficit proteico.
- b) Alta proporción de contenido celular, con elevada acumulación de carbohidratos solubles en forma de azúcares.
- c) Alta proporción de carbohidratos estructurales, principalmente de lignina como componente de la pared celular.

- d) Déficit y desbalance de minerales.
- e) Ausencia de grasa y almidones., las características y posibilidades de utilizar la caña de azúcar como alimento para el ganado se basan en:
 - a) La caña de azúcar aumenta su valor nutritivo a medida que avanza su estado de madurez.
 - b) A diferencia de los demás pastos y forrajes, la caña de azúcar alcanza la mayor concentración energética durante la época seca y supera a las demás plantas forrajeras en contenido de energía y en rendimiento de materia seca durante dicha época.
 - c) Es fácilmente mecanizable desde la siembra hasta la entrega al animal.

Cuadro 2. Composición química y digestibilidad de la caña de azúcar y sus fracciones.

Componente	Caña integral	Cogollo	Hojas secas	Pastos
Proteína %	1.9 a 3.0	4.96	1.6	6 a 10
Digestibilidad %	50 a 65	47	37	40 a 55
Contenido de azúcar (°Brix)	16.22	0	0.7 a 2.0
Paredes celulares (fibra) %	48.1	71.6	70.6	81.8

Fuente. Manual de caña de azúcar para la alimentación bovina

4.8 Procesos biotecnológicos para la producción de alimentos

En términos generales, la biotecnología se puede definir como un conjunto de procesos tecnológicos que utilizan organismos vivos, parte de ellos o moléculas derivadas de organismos vivos, para fabricar o modificar productos (FAO, 2004; Sancho 2006). Además, comprende aquellas técnicas de modificación genética de variedades de plantas, animales o microorganismos, para su utilización con un propósito específico (Niba, 2003). Las principales disciplinas que se aplican en el ámbito de la biotecnología son la microbiología, la bioquímica y la ingeniería genética.

La biotecnología puede alterar la cantidad y disponibilidad de carbohidratos y proteínas presente en los pastos y forrajes, así como incrementar la tasa de digestión de la materia orgánica (FAO, 2003). Además, en la nutrición animal esta ciencia ha producido enzimas, probióticos, proteína

unicelulares y aditivos antibióticos, para mejorar la disponibilidad de nutrientes de los alimentos y aumentar la productividad ganadera.

Actualmente, la investigación biotecnológica tiende a concentrarse en el sector privado de los países desarrollados. Sin embargo, en los países en desarrollo se pueden aplicar procesos biotecnológicos que no requieren de equipamiento especializado y ser fáciles de adoptar por los productores, si dispone de moderada infraestructura y de material disponible en la localidad para mejorar el valor nutritivo de alimentos fibrosos y no fibrosos con bajo contenido de nitrógeno, a través de los procesos de fermentación en estado sólido.

4.9 Concepto de fermentación y respiración

La fermentación es una de las biotecnologías aplicadas, más antiguas, de conservación de la energía. Las civilizaciones Sumeria y Babilónica (6000 años A.C.) ya conocían, de modo empírico, cómo elaborar cerveza y hacia el 4000 A.C. los egipcios sabían fabricar pan a partir del trigo (FAO, 1998).

La fermentación es la transformación de una sustancia orgánica (generalmente un carbohidrato) en otra utilizable mediante un proceso metabólico por la acción de las enzimas. Estas enzimas pueden ser producidas por hongos, bacterias y levaduras, y provocar reacciones de oxidación-reducción, de las cuales el organismo productor deriva energía suficiente para su metabolismo. Las fermentaciones pueden ser anaeróbicas o aeróbica (Encarta, 2000).

Los organismos anaeróbicos obtienen la mayor parte de la energía de las reacciones de oxidación-reducción en ausencia del oxígeno molecular; los electrones pasan desde un intermediario orgánico producido en la degradación del azúcar, el suministrador electrónico, hasta otro intermediario orgánico, que actúa como aceptor electrónico. En estos procesos de fermentación anaeróbica, no se produce la oxidación neta del combustible. Los productos finales son los que caracterizan los tipos de fermentaciones y pueden ser alcohólica, láctica, butírica o acética (Jay, 1994).

Los organismos que emplean la fermentación como fuente de energía, se pueden dividir en dos clases: los anaeróbicos estrictos u obligados, que no emplean el oxígeno en absoluto y los anaeróbicos facultativos, que pueden vivir en ausencia o en presencia de oxígeno. Estos últimos, cuando viven anaeróbicamente, obtienen la energía de un proceso de fermentación y cuando

viven aeróbicamente, continúan degradando su combustible mediante la ruta anaeróbica, pero después oxidan los productos de aquella a expensa del oxígeno molecular (Lehninger, 1991).

Desde el punto de vista energético, las fermentaciones son muy poco rentables, ya que, a partir de una molécula de glucosa, sólo se obtienen 2 moléculas de ATP. Sin embargo, en la respiración se obtienen 38 moléculas de ATP. La respiración se define como la oxidación de los combustibles orgánicos por el oxígeno molecular y el oxígeno actúa como el aceptor electrónico final (Lehninger, 1991).

4.10 Fermentación en estado sólido

Los procesos fermentativos se pueden dividir en fermentación líquida sumergida (FLS) y fermentación en estado sólido (FES). La diferencia mayor entre estos dos procesos biológicos, es la cantidad de líquido libre en el sustrato. En la FLS la cantidad de sustancia sólida pocas veces llega a ser mayor de 50 g/L y en la FES el contenido de sólido varía entre 20 y 70% del peso total (Mitchell *et al.*, 2002).

En los últimos años, la fermentación en estado sólido (FES) ha mostrado ser muy prometedora en el desarrollo de algunos bioprocesos y productos; y se ha evaluado el potencial de varios productos que pueden ser obtenidos por este método (Sancho 2006).

Anupama y Ravindra, (2001), Pandey *et al.*, (2001) y Mitchell *et al.*, (2002) definieron a la FES como aquellos procesos donde el crecimiento de los microorganismos se realizan en un material sólido (húmedo) en ausencia o con muy poca participación de agua líquida, entre el espacio de las partículas sólidas. Mitchell *et al.*, (2002) señalaron que el agua que requieren los microorganismos para crecer la tomarían de la humedad del sustrato.

4.11 Características de los procesos de la FES y factores que influyen

La FES se ha empleado, exitosamente, para la producción de enzimas y metabolitos secundarios. Muchos de estos metabolitos secundarios se producen, aún, en FLS; sin embargo, cuando la producción se incrementa a gran escala, también se aumentan los costos y la demanda energética (Robinson *et al.*, 2001).

Los sustratos que se usan en los procesos de FES son productos o subproductos agrícolas o agroindustriales y algunos requieren pretratamientos (Mitchell *et al.*, 2002). Se pueden producir

altos volúmenes, los productos tienden a concentrarse, se generan menos efluentes y los equipos que se usan para la fermentación son simples (Anupama y Ravindra, 2001).

Uno de los criterios de mayor importancia para el éxito en los procesos de FES, es la selección de la cepa y el sustrato conveniente. Otros factores importantes para el crecimiento microbiano en un sustrato en particular son: la fuente de carbón y la relación carbón/nitrógeno, temperatura, humedad y actividad del agua, pH, aeración, agitación y el tamaño de partículas (Pandey *et al.*, 2001).

4.11.1 Temperatura

La temperatura se eleva debido a las características exotérmicas de los procesos de fermentación y es uno de los indicadores más difícil de controlar. Muchos de los microorganismos usados en la FES son mesófilos y su temperatura óptima de crecimiento está entre 20 y 40 °C y un máximo inferior a 50 °C.

En los procesos de FES, la remoción de calor tiende a ser ineficiente, por lo que se producen gradientes de temperaturas y se localizan zonas de sobrecalentamiento en el sustrato (Mitchell *et al.*, 2002).

4.11.2 Humedad y actividad del agua

La actividad del agua del medio se considera como un indicador fundamental para la transferencia de masa, de agua y los solutos, a través de la membrana celular (Anupama y Ravindra, 2001). Altos tenores de humedad pueden desplazar los gases del espacio entre las partículas y causar aglomeración y dificultar el intercambio gaseoso entre las partículas. Por otro lado, altos valores de humedad pueden hinchar el sustrato, lo cual incrementa la porosidad y esto favorece la difusión y acción de las enzimas, y mejora la penetración micelial (Mitchell *et al.*, 2002). En general, se ha establecido que en el caso de las bacterias, la humedad de la matriz sólida puede ser mayor de 70%, para las levaduras de 60 a 70% y en el caso de los hongos, de 20 a 70%. En el caso de que la cantidad óptima de humedad para el crecimiento de un microorganismo sea relativamente baja, aumenta el riesgo de contaminación.

4.11.3 pH

Cada microorganismo posee un rango de pH óptimo para crecer. El crecimiento microbiano puede causar marcado cambio en el pH del sustrato, debido a la producción de ácido por la oxidación incompleta del sustrato o cuando el ión amonio es atrapado como amoníaco, por lo cual libera un protón al medio, causando una rápida disminución del pH. Por otro lado, la liberación de amonio por la deaminación de la urea u otras aminas puede incrementar el pH. La magnitud del cambio de pH, dependerá de la actividad metabólica de los microorganismos y de la capacidad amortiguadora del sustrato (Mitchell *et al.*, 2002).

El pH es uno de los problemas no resueltos en los procesos de FES, debido a la heterogeneidad característica del proceso. Un intento para superar la variación de pH durante los procesos de FES es el de formular sustratos en que se considere la capacidad amortiguadora de los diferentes componentes empleados, o por el uso de tampón formulados con componentes que no tengan influencia letal en la actividad biológica. En general, se ha observado que el crecimiento de los hongos tiene un rango de pH entre 3.5 y 6, el de las levaduras entre 4.5 y 7, y el de las bacterias ligeramente mayor que los hongos. Sin embargo, esto no es una regla, ya que algunos *Lactobacillus* y otras bacterias, pueden crecer a pH 2 (Pandey *et al.*, 2001).

4.11.4 Aeración y agitación.

Estos procesos influyen en dos aspectos fundamentales: la demanda de oxígeno en los procesos aeróbicos y el transporte de masa y calor, fenómenos característicos de estos sistemas.

4.11.5 Tamaño de partículas

Generalmente, un sustrato de pequeño tamaño de partículas puede proporcionar mayor superficie para el ataque microbiano, y esto sería considerado como un factor deseable. Sin embargo, el tamaño de partículas muy pequeño, provocaría que el sustrato se aglomere y puede interferir con la respiración/aeración microbiana, dando por resultado un pobre crecimiento. El mayor tamaño de partículas proporciona mejor eficiencia de respiración/aireación, debido al incremento del espacio entre las partículas, pero limita la superficie de ataque microbiano (Pandey *et al.*, 2001).

4.12 Alimentos obtenidos por FES, con el uso de la caña de azúcar como el principal sustrato.

4.12.1 Saccharina

Elías *et al.*, (1990), desarrollaron una tecnología de enriquecimiento proteínico de la caña de azúcar, limpia y molida (98%, sin hojas, sin pajas y sin cogollo) mediante la FES durante 24 h, con la inclusión de 1.5% de urea y 0.5% de minerales, para obtener síntesis de proteína microbiana.

Durante el proceso de fermentación aeróbica, la energía disponible en forma de carbohidratos solubles, se utiliza para la conversión del NNP de la urea en nitrógeno precipitable al ácido tricloroacético a través de un proceso físico – biológico, en el cual tienen una función importante los microorganismos epifíticos de la caña de azúcar (Valiño *et al.*, 1994). En esta FES, la eficiencia de conversión de los carbohidratos solubles a proteína puede llegar a valores de 61%, debido al desarrollo de la microbiota que se establece en el sistema. Los metabolitos de la actividad microbiana se quedan en el alimento entre ellos vitaminas, aminoácidos, AGV, enzimas y otros, los cuales pueden contribuir a mejorar el comportamiento de los animales (Elías *et al.*, 1990).

El contenido de proteína bruta (PB), proteína verdadera (PVE) y fibra bruta (FB) de la Saccharina está en el rango de 11.1 a 16.0%, entre 8.9 y 13.8% y de 24,6 a 26.6%, respectivamente. Debido a su alto contenido de polisacáridos estructurales, se le han incluido otros alimentos que puedan servir como agentes dilutores de la fibra o mejoradores de la eficiencia fermentativa, que originan nuevas opciones y productos, que se analizan a continuación:

4.12.2 Sacchamaíz

Mantiene el mismo principio teórico de la Saccharina, pero la variante consistió en la inclusión de maíz molido como fuente energética. Se estudiaron diversas proporciones de maíz (0, 10, 20 y 30%) en sustitución de la caña de azúcar (Elías y Lezcano, 1994). La MS y la PVE se

incrementó; la fibra neutro detergente (FND), fibra ácida detergente (FAD), celulosa y lignina, disminuyeron en la medida que fue mayor la inclusión del maíz. La disminución en la fracción de la fibra, aumentó la digestibilidad de la materia orgánica (DMO).

4.12.3 Sacchasoya

La variante fue la inclusión de soya desgrasada y sin desgrasar, en sustitución de la urea (Elías y Lezcano, 2000). A medida que se incrementó el nivel de N-ureico, el pH y el amoníaco aumentaron. Sin embargo, fue más evidente con la soya sin desgrasar; Estos investigadores señalaron que lo anterior se debió, posiblemente, a la fuerte actividad ureolítica en la soya sin desgrasar. La PB y PVE disminuyeron con el aumento del N-ureico, independiente de la fuente de soya. No obstante, la disminución fue mayor en presencia de soya sin desgrasar. Ellos sugieren no utilizar altas proporciones de N-ureico: N-soya, cuando la fuente de N-soya sea el grano entero, molido y sin desgrasar, debido a la pérdida de nitrógeno que se produce según se incrementa el N-ureico.

4.12.4 Caña, soya y maíz inoculados con Vitafert

Se estudió el efecto que producía la harina de maíz o de soya desgrasada, o ambas, en la FES de la caña inoculada con Vitafert (Elías *et al.*, 2001), en la cual el Vitafert incrementó la PB, PVE, MO y disminuyó la FB en la caña (testigo). Los mayores valores de PB, PVE y DMO se obtuvieron cuando se mezcló la caña con el maíz, la soya y se inoculó con el Vitafert, 22.19, 15.93, 95.39%, respectivamente. Así mismo, el valor de FB fue el menor (9.92%).

4.12.5 Sacchaboniato

La opción fue la inclusión de boniato (*Ipomea batata*, Lam). Rodríguez (2004) en un primer estudio de inclusión de boniato (25, 50 y 75%), encontró incremento considerable de amoníaco, debido a la fuerte actividad ureolítica; la PB disminuyó con 25 y 50% de inclusión; además, se redujo la carga microbiana inicial y los componentes fibrosos del sustrato se disgregaron. La reducción de la carga microbiana provocó que el sustrato fuera menos degradado. También, se modificaron las características físicas y químicas del sustrato, lo que dificultó el mezclado.

En un segundo experimento se estudió la dinámica de fermentación (0, 24, 48, 72, 96, 168 y 360 h) incluyendo 50% de caña y 50% de boniato; el mayor incremento de la biomasa se obtuvo a las 96 h.

En un tercer experimento, estudió niveles de N-ureico (0.5, 1 y 1.5 %) y la mayor síntesis de proteína microbiana y la mejor eficiencia de utilización del nitrógeno se logró a las 96 horas con la adición de 1% de urea.

4.12.6 Sacchayuca

La variante fue la inclusión del tubérculo de yuca. Rodríguez (2005) sustituyó la caña de azúcar por yuca (0, 16, 36 y 56 %) y a todos los tratamientos le adicionó 4 % de soya, 2 % de urea, 0.2 % de sulfato de magnesio y 0.5 % de minerales; además, los inoculó con 10% de Vitafert. La inclusión de yuca provocó la disgregación de los componentes de la fibra; pero, el Vitafert disminuyó el pH y no hubo incremento en el contenido de PVE, lo cual se debió, posiblemente, al efecto tóxico que tienen el ácido láctico y el ácido acético a pH bajo (Geros *et al.*, 2000). Posteriormente, con los mismos tratamientos, incluyó carbonato de calcio (0, 0.3, 0.6 y 0.9 %) como amortiguador. El pH se elevó de 5.77 a 6.59 con la inclusión del mayor porcentaje del tampón, así mismo, la PB, la PVE y la DMS se incrementaron.

4.13 Caña de azúcar con excreta vacuna

Mantiene el mismo principio de la Saccharina, pero la variante fue la inclusión de excreta vacuna (Carrasco *et al.*, 1998). La caña de azúcar se mezcló con excreta vacuna en una proporción 70:30 (base húmeda) y se le adicionó 0.5% de minerales. Se estudió el efecto de tres niveles de urea (0, 0.5 y 1 %) y dos grosores de capa (15 y 20 cm). La concentración de amoníaco y el pH se incrementaron al aumentar la cantidad de urea, independiente del grosor de la capa. Las dosis de urea aumentó la PVE, independientemente del grosor de la capas y los mayores valores se obtuvieron con 0.5 y 1% de urea y grosor de la capa de 15 cm (9.56 y 9.99 %, respectivamente). Similar resultado se obtuvo para la PB (10.18 y 11.79%, respectivamente).

Por todo lo anteriormente expuesto, es posible mejorar la producción bovina en el trópico, a través de la suplementación energética – proteínica, con materiales fibrosos y no fibrosos disponibles a nivel local o regional, mejorados nutricionalmente, a través de procesos

biotecnológico, más sin embargo estos alimentos solo se elaboran de una manera rustica a nivel de piso, por lo que cuando se necesita alimentar una ganadería intensiva su elaboración de este alimento resulta insuficiente ya que se complica elaborarlo en grandes volúmenes.

4.14 Biorreactores utilizados para la fermentación estado solido

4.14.1 Biorreactores

El reactor es el corazón de cualquier proceso de fermentación o conversión enzimática. El diseño de bioreactores es una tarea complicada, basada en principios científicos y de ingeniería y en muchas reglas empíricas. Los aspectos específicos del reactor y su operación incluyen varias decisiones críticas. (Doran, 1998).

4.14.2 Tipos de birreactor

a) Fermentación discontinua

Una fermentación discontinua (en batch) se considera como un "sistema cerrado". Al inicio de la operación se añade la solución esterilizada de nutrientes y se inocula con el microorganismo, permitiendo que se lleve a cabo la incubación en condiciones óptimas de fermentación. A lo largo de toda la fermentación no se añade nada, excepto oxígeno (en forma de aire), un agente antiespumante y ácidos o bases para controlar el pH. La composición del medio de cultivo, la concentración de la biomasa y la concentración de metabolitos cambia generalmente como resultado del metabolismo de las células observándose las cuatro fases típicas de crecimiento: de latencia, logarítmica, estacionaria y de muerte.

En los procesos convencionales discontinuos la fermentación frecuentemente se interrumpe al final de la fase logarítmica (metabolitos primarios) o antes de que comience la fase de muerte (metabolitos secundarios).

b) Fermentación alimentada (fed-batch)

En los procesos convencionales discontinuos descritos anteriormente, todos los sustratos se añaden al principio de la fermentación. Una mejora del proceso cerrado discontinuo es la fermentación alimentada que se utiliza en la producción de sustancias como la penicilina. En los procesos alimentados, los sustratos se añaden escalonadamente a medida que progresa la

fermentación. La formación de muchos metabolitos secundarios está sometida a represión catabólica (efecto glucosa). Por esta razón en el método alimentado los elementos críticos de la solución de nutrientes se añaden en pequeñas concentraciones al principio de la fermentación y continúan añadiéndose a pequeñas dosis durante la fase de producción.

c) Fermentación continúa

En la fermentación continua se establece un sistema abierto. La solución nutritiva estéril se añade continuamente al biorreactor y una cantidad equivalente de solución utilizada de los nutrientes, con los microorganismos, se saca simultáneamente del sistema.

El objetivo fundamental de la industria de las fermentaciones es minimizar costos e incrementar los rendimientos. Este objetivo puede alcanzarse si se desarrolla el tipo de fermentación más adecuado para cada paso en particular. Si bien los procesos de fermentación continua no se utilizan de forma general en la industria, debido fundamentalmente al mayor nivel de experiencia que se tiene en el crecimiento de células en fermentación discontinua, el costo de producción de biomasa mediante cultivo continuo es potencialmente inferior al de cultivo discontinuo. De este modo se han instalado plantas de producción para la producción continua de proteína de origen unicelular.

Aunque muchas fermentaciones para la producción de metabolitos funcionan bien como procesos continuos, sólo unos pocos procesos han resultado útiles para la aplicación práctica por varias razones:

- a) Muchos métodos de laboratorio operan continuamente durante solamente 20 a 200 h; para que sea de utilidad industrial el sistema debe ser estable durante al menos 500 a 1.000 h.
- b) Mantener las condiciones estériles a escala industrial a lo largo de un largo período de tiempo es difícil.
- c) La composición de los sustratos debe ser constante a fin de obtener una producción máxima. La composición de las soluciones de nutrientes industriales son variables (líquido de maceración del maíz, peptona, etc.) lo que puede originar cambios en la fisiología de la célula y disminuir la productividad.

d) Cuando se utilizan cepas de alto rendimiento se producen mutantes degenerados, los cuales pueden crecer en cultivo continuo con más facilidad que las cepas de producción por lo que el rendimiento disminuye con el tiempo ya que cada vez son menos células las que sintetizan el producto de interés.

d) Reactores de enzimas o células inmovilizadas

Consiste en pasar el medio fresco a través de un biorreactor en el que por diversas técnicas se han inmovilizado células (o enzimas). En el biorreactor se producen las transformaciones bioquímicas que deseadas y se recupera el producto transformado tras su paso por la columna. Con este sistema se eliminan los problemas de desequilibrio (estabilidad) del sistema continuo clásico y además el producto resultante está libre de células. Presenta el inconveniente de que no todos los microorganismos pueden inmovilizarse. Existen tres métodos de inmovilizar las células:

a) Asociación física mediante resinas de intercambio iónico. La unión se puede romper fácilmente.

b) Unión covalente mediante glutaraldehído, tolueno, di-isocianato, iodo acetil celulosa. Unión fuerte aunque inactivación.

c) Atrapamiento mediante colágeno, gelatina, agar, alginatos, poliacrilamida, poliestireno. Es el método más utilizado en inmovilización de células; para ello se mezclan las células con el polisacárido líquido y posteriormente se deja enfriar para que solidifique. Finalmente se fragmenta o granula y se empaqueta en una columna.

4.15 Factores y variables que afectan al rendimiento de las fermentaciones industriales aireación

Uno de los factores más críticos en la operación de fermentación a gran escala es el suministro de un intercambio de gases adecuado. El oxígeno es el sustrato gaseoso más importante para el metabolismo microbiano y el anhídrido carbónico es el producto metabólico más importante. El oxígeno no es un gas muy soluble ya que una solución saturada de oxígeno contiene aproximadamente 9 mg / L de este gas en agua. Debido a la influencia de los ingredientes del

cultivo, el contenido máximo de oxígeno realmente es más bajo de lo que debería ser en agua pura. El suministro se logra pulverizando aire en el fermentador durante el proceso.

La ley de Henry describe la solubilidad del oxígeno en soluciones de nutrientes en relación a la presión parcial del oxígeno en la fase gaseosa:

$$P_0$$

$$C = H$$

En esta ecuación C es la concentración de O₂ de la solución de nutrientes a saturación, P₀ es la presión parcial del gas en la fase gaseosa y H es la constante de Henry que es específica para cada tipo de gas. A medida que aumenta la concentración de O₂ en la fase gaseosa, aumenta la proporción de O₂ en la solución de nutrientes. En consecuencia, la presión más alta de O₂ se consigue durante la aireación con oxígeno puro. Comparado con el valor obtenido al utilizar aire (9 mg O₂/L), en agua se disuelven 43 mg O₂/L cuando se utiliza oxígeno puro. Otra característica es que a medida que aumenta la temperatura desciende la solubilidad del oxígeno.

Una vez disuelto el O₂ éste tiene que transferirse desde la burbuja de gas a cada célula individual. Para ello deben ser superadas varias resistencias parcialmente independientes:

- a) La resistencia dentro de la película de gas a la interfase.
- b) La penetración de la interfase entre la burbuja de gas y el líquido.
- c) Transferencia desde la interfase al líquido.
- d) Movimientos dentro de la solución de nutrientes.
- e) Transferencia a la superficie de la célula.

En las fermentaciones llevadas a cabo con organismos unicelulares como bacterias o levaduras, el factor más importante que controla la velocidad de transferencia es la resistencia en la interfase entre la burbuja de gas y el líquido. Las células microbianas próximas a la burbuja de gas pueden absorber directamente el O₂ a través de la interfase aumentando la transferencia del gas a estas células. En los aglomerados de células o en las bolitas de micelio, la transferencia de gas dentro del aglomerado puede ser un factor limitante.

Por último indicar la concentración crítica de oxígeno que es el término utilizado para expresar el valor de la velocidad específica de absorción de oxígeno que permite la respiración sin impedimentos. Esta concentración crítica de oxígeno suele tener unos valores concretos para cada microorganismo oscilando de forma general entre el 5 % y el 25 % de los valores de saturación de oxígeno en los cultivos.

Temperatura: La temperatura es otro de los parámetros esenciales para el éxito de una fermentación. Los microorganismos que crecen a una temperatura inferior a la óptima tienen retardado su crecimiento y por lo tanto reducida la producción celular, es decir su productividad. Por otro lado, si la temperatura es demasiado alta, pero no letal, se puede inducir una respuesta de estrés al choque térmico con la consiguiente producción de proteasas celulares que ocasionan una disminución en el rendimiento de los productos proteicos. A fin de obtener rendimientos óptimos, las fermentaciones deben ser llevadas a cabo en un margen estrecho de temperatura y a ser posible constante. La velocidad de producción de calor debida a la agitación y a la actividad metabólica de los microorganismos no se ve compensada por las pérdidas de calor que resultan de la evaporación, por lo que se debe recurrir a sistemas de refrigeración. Dentro de éstos, los más utilizados en las fermentaciones industriales son las camisas de agua.

pH: La mayor parte de los microorganismos crecen óptimamente entre pH 5,5 y 8,5. Pero durante el crecimiento en un fermentador, los metabolitos celulares son liberados al medio, lo que puede originar un cambio del pH del medio de cultivo. Por lo tanto se debe controlar el pH del medio de cultivo y añadir un ácido o una base cuando se necesite para mantener constante el pH. Por supuesto que esta adición del ácido o base debe ser mezclada rápidamente de tal manera que el pH del medio de cultivo sea el mismo en todo el fermentador.

Agitación: La agitación es la operación que crea o que acelera el contacto entre dos o varias fases. Una fermentación microbiana puede ser considerada como un sistema de tres fases, que implica reacciones líquido-sólido, gas-sólido y gas-líquido.

1) La fase líquida contiene sales disueltas, sustratos y metabolitos. Puede existir, en algunos casos, una segunda fase líquida si existe un sustrato inmiscible en agua como por ejemplo los alcanos.

2) La fase sólida consiste en células individuales, bolitas de micelio, sustratos insolubles o productos del metabolismo que precipitan.

3) La fase gaseosa proporciona un reservorio para el suministro de oxígeno, para la eliminación del CO₂ o para el ajuste del pH con amonio gaseoso.

Una adecuada agitación de un cultivo microbiano es esencial para la fermentación ya que produce los siguientes efectos en las cuatro fases:

1) Dispersión del aire en la solución de nutrientes.

2) Homogeneización, para igualar la temperatura, pH y concentración de nutrientes, en el fermentador.

3) Suspensión de los microorganismos y de los nutrientes sólidos.

4) Dispersión de los líquidos inmiscibles.

Bajo estas premisas se podría concluir que cuanto mayor sea la agitación, mejor será el crecimiento. Sin embargo, la agitación excesiva puede romper las células grandes e incrementar la temperatura lo que ocasiona un descenso en la viabilidad celular. Por lo tanto, se debe conseguir un balance entre la necesidad del mezclado y la necesidad de evitar el daño celular.

Los diferentes tipos de agitación que se utilizan en las fermentaciones se incluyen dentro de las siguientes clases:

1) Agitadores rotativos, los cuales tienen un sistema interno mecánico de agitación.

2) Columnas de burbujas, la agitación se realiza mediante la introducción de aire a sobrepresión.

3) Sistema Aero-elevado (airlift), que pueden tener un circuito interno o externo. La mezcla y circulación de los fluidos son el resultado de las corrientes de aire introducido, las cuales causan diferencias en la densidad dentro de las diferentes partes del fermentador.

De estos tres tipos el más utilizado es el primero ya que es más flexible en las condiciones de operación, es más fácil de conseguir comercialmente, provee una eficiente transferencia de gases a las células y es el tipo con el que se tiene más experiencia.

4.16 Análisis financiero

Conceptos generales: El análisis económico presentado para el trabajo destaca la evaluación y cuantificación de los costos de producción de la elaboración de alimento para bovino a base de caña de azúcar.

El costo de producción representa todas las operaciones realizadas desde la adquisición de la materia prima hasta su transformación en bienes de consumo final (Del Rio, 2007).

$$\text{Costo de producción} = \text{materia prima} + \text{costo de conversión (MOD + CIF)}$$

En este sentido los componentes del costo de producción son: materia prima, mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación. Esta clasificación suministra información necesaria para la medición del ingreso y la fijación del precio del producto (Polimeni *et al.*, 1997), a continuación se define los elementos:

Materia prima. Son los recursos usados en la producción, cuya transformación implica la adición de la mano de obra y los costos indirectos de fabricación. Estos pueden ser directos o indirectos (Cardenas, 1995).

Mano de obra. Representa las erogaciones efectuadas para cambiar la forma o naturaleza de la materia prima y cuyo importe puede cargarse directamente como parte integral del costo de producción (Cardenas, 1995), se puede precisar, en cuanto a su monto, en la unidad producida (Del Rio, 2007).

Costos indirectos. Son los elementos necesarios, accesorios para la transformación de la materia prima (Del Rio, 2007), algunos costos relacionados son: suministros, materiales indirectos, mantenimiento de planta y labores de limpieza, renta de planta, seguros, impuestos prediales, amortización entre otros (Hornngren *et al.*, 2012).

Clasificación de los costos: Los costos varían de acuerdo con los cambios en el volumen de producción. Comprender su comportamiento es vital en todos los aspectos de costeo de productos y evaluación del desempeño. Los costos con respecto al volumen se clasifican como variables y fijos. (Polimeni *et al.*, 1997) Sin embargo, los patrones de comportamiento de los costos se aplican dentro de un rango relevante.

Los **costos variables** de la producción, se entienden como aquellos en los que el costo total cambia en proporción directa a los cambios en el volumen o producción dentro de un rango relevante. (Polimeni *et al.*, 1997). Generalmente, la base de estudio de los costos variables implica la materia prima, mano de obra directa y los costos indirectos de fabricación (Del Rio, 2007).

Por otra parte, se analiza la base de costos fijos mismos que son independientes del volumen de producción es decir, no cambian dentro de un determinado rango o límite relevante de actividad. (Polimeni *et al.*, 1997).

Los **costos fijos** están asociados a la capacidad instalada o a la estructura de la empresa, mientras que los variables implican la actividad real. (Polimeni *et al.*, 1997).

Costos totales = costos variables totales + costos fijos totales

El cálculo de costo unitario es esencial para la toma de decisiones, este involucra el costo total y el número de unidades producidas, por lo que también se le puede denominar costo promedio, mismo que se calcula dividiendo el costo total entre el número de unidades relacionadas (Horngren *et al.*, 2012).

Sistema de Costos para evaluación de alimento. De acuerdo con el análisis del proceso productivo para la elaboración del alimento para ganado bovino a base de caña de azúcar, se utilizara el método de control de costos por procesos, el cual se emplea para aquellas industrias cuya producción es continua, en masa uniforme, existiendo uno o varios procesos para la transformación de la materia prima.

El método consiste en cargar los elementos del costo al proceso respectivo, correspondiendo a un periodo determinado de la elaboración, y en el caso de que toda la producción termine en dicho lapso, el costo unitario se obtendrá dividiendo el costo total de la producción acumulada, entre el número de unidades fabricadas; y así para cada tipo de unidades similares (Del Rio, 2007).

Mediante este procedimiento, la producción se considera como una corriente continua de materias primas, sujetas a transformación parcial de cada proceso (Cárdenas, 1995).

En un sistema de gasto por procesos, el costo unitario de un producto o servicio se obtiene asignando los costos totales a una gran cantidad de unidades producidas idénticas o similares. En

otras palabras, los costos unitarios se calculan dividiendo los costos totales generados entre el número de unidades producidas en el proceso (Horngren *et al.*, 2012).

En un ambiente de inversión por procesos de manufactura, cada unidad recibe las mismas cantidades o cantidades similares de costos de materiales directos, de costos de mano de obra directa y de costos indirectos de manufactura (Horngren *et al.*, 2012).

El método de costeo por procesos puede implementar un promedio ponderado que calcula el costo por unidad equivalente de todo el trabajo realizado a la fecha, indistintamente del periodo en el cual se haya realizado y asigna este costo a las unidades terminadas (Horngren *et al.*, 2012).

El costo promedio ponderado es el total de todos los costos que ingresan a la cuenta de procesos, dividido entre el total de unidades equivalentes para el trabajo realizado a la fecha (Horngren *et al.*, 2012).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización del experimento

El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, ubicado en el km 21 de la carretera Cárdenas-Coatzacoalcos, en H. Cárdenas, Tabasco. El sitio se localiza a los 17° 59' 15.6" de latitud Norte y 93° 35' 06.9" de longitud Oeste y una altitud de 9 msnm (Figura 1). El clima es tropical húmedo, con temperatura media anual de 26.2°C, precipitación media anual de 2240mm, representando un 70% del total en las estaciones de verano y otoño, la humedad relativa media mensual es superior al 80% (García, 1988).

Los análisis bromatológicos y fermentativos se realizaron en el Laboratorio de Ciencia Animal del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, ubicado en Periférico Carlos A. Molina S/N Carretera Cárdenas-Huimanguillo km.3, H. Cárdenas, Tabasco.

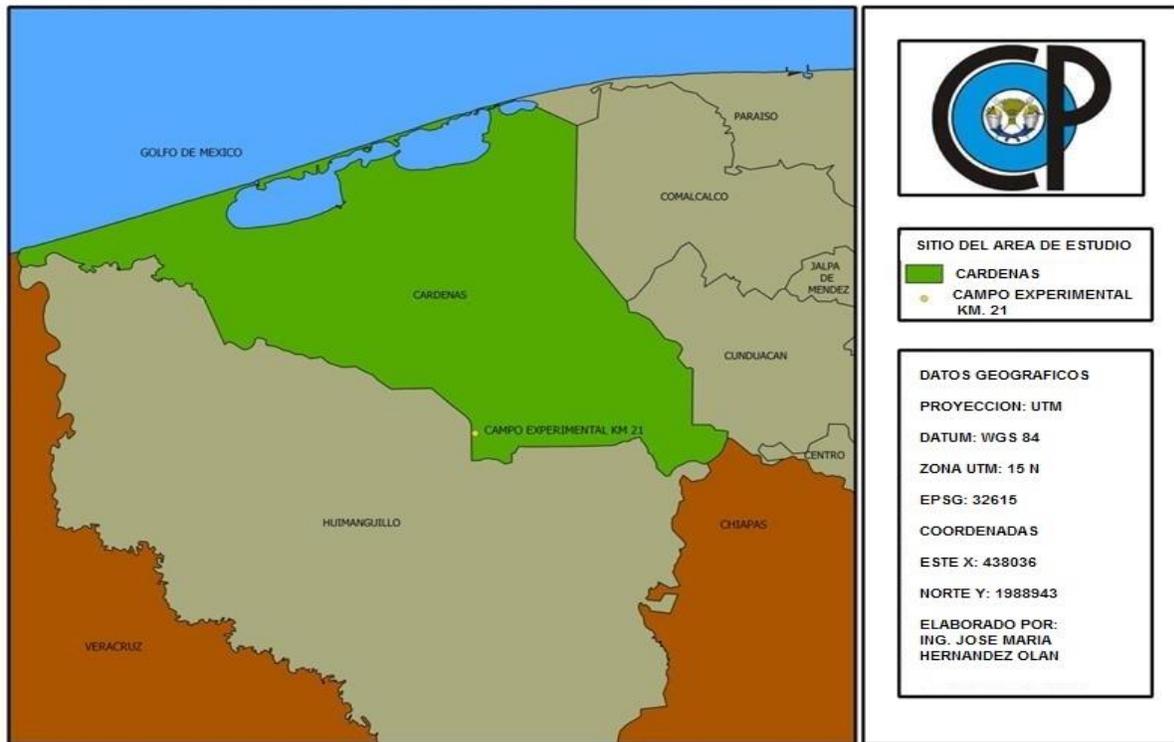


Figura 1. Localización del Campo Experimental Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco

5.2 Características del fermentador prototipo

El fermentador-secador: El equipo está formado por tres componentes principales; un cilindro fermentador-secador con inyección de aire a temperatura ambiente, con temperatura superior a la del ambiente o con humedad suficiente según los requerimientos de las etapas del proceso; una tolva alimentadora con transportador de banda y una tolva de recepción del producto, con llantas para el traslado del alimento. Este es de 3 m altura de forma cilíndrico con diámetro de 1.5 m (radio 0.75 m), cono inferior de 0.5 m, con alimentación en la parte superior entrada de 0.5 m, un gusano de listones de diámetro de 0.3 m y 3 m de largo e Inyección de aire por medio de 8 tubos de acero inoxidable de 0.20 m de longitud distribuidos en dos niveles dentro del fermentador con espacio entre niveles de 1 m. La alimentación del aire es externa y esta se realiza con un

compresor de 500 litros con potencia de 10 HP. Tiene un quemador de gas de 0.50 m de largo x 0.40 m ancho y 0.40 m de alto. El fermentador cuenta con sensores de temperatura, humedad y un reloj (instalado a 1.5 m de altura del reactor), así como un control de la agitación.



Figura 2. Equipo utilizado para la elaboración de aliento fermentado a base de caña de azúcar

Tolva alimentadora. La tolva alimentadora, es de 6 m de largo x 0.65 m de ancho. La banda es de 13 m de largo x 0.50 m de ancho y $\frac{1}{2}$ " de grueso, la guían 2 rodillo, cabezales de 6 $\frac{1}{2}$ " de diámetro y 0.53 m de largo con bordes de guía para alinear la banda y 33 rodillos de 2" de diámetro x 0.51 m de largo con tapas y pernos para recibir 2 baleros por cada rodillo, haciendo un total de 66 baleros radiales No 62032, 66 rondanas y de 2" y 66 pernos, con base y tornillos de fijación y calibración para ajuste de banda al rodillo de mando superior. Se acondicionaron 2 montenes de 4" x 6 m de largo para adaptar los 33 rodillos y 2 rodillos cabezales.



Figura 3. Banda transportadora de alimento

Tolva de recepción: Remolque de 2.50 m de largo, 1.30 m de ancho, 0.90 m de alto y brazo remolque de jalón con un largo total de 3.50 m con muelles, eje principal y ruedas con llantas medida p 175/70 marca tornel, totalmente forrados de lamina cal N° 16 canal ligero de 3” PTR de 2” x 1” y PTR de 1” x1” y tapa trasera.



Figura 4. Tolva de recepción para traslado del alimento

En conjunto todos los componentes de acuerdo a su función trabajan de forma coordinada con la finalidad de elaborar un alimento para ganado a partir de caña de azúcar, al que se le suministra aireación, calor y agua para mantener la temperatura y la humedad de la masa en proceso dentro de los parámetros de control para conseguir una fermentación satisfactoria y obtener un alimento nutritivo dentro de un período de 24 h que dura el proceso fermentativo.



Figura 5. Descarga del alimento elaborado con el equipo fermentador

5.3 Diseño experimental

Se presenta un diseño completamente al azar con un arreglo factorial 2x3 del cual se explica en el siguiente cuadro los factores medidos.

Cuadro 3. Arreglo factorial 6 Tratamientos con 3 repeticiones = 18 Corridas

AGITACIONES (rpm)			
AIRE	3.1	5.6	7.8
1,920 L	T 1	T 2	T 3
3,840 L	T 4	T 5	T 6

Del cual se presenta el siguiente modelo:

$$y = \mu + Ag + Ae + Ag * Ae + E$$

Dónde:

y = Variables de respuesta

μ = Media general

Ag = Agitación

Ae = Aeración

E = Error aleatorio

Posteriormente, para el efecto principal de tratamientos se realizó una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, utilizando un nivel de significancia de 5%. La información fue procesada con ayuda del software para análisis estadístico SAS versión 9.3, 1999.

5.4 Preparación y toma de datos del alimento fermentado

Corte de caña: El trabajo se realizó en tres fases:

- 1) Trabajo de campo (ensayos)
- 2) Estudio de laboratorio (proximales)
- 3) Estudio financiero del costo-producción

El trabajo de campo se realizó el campo experimental del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco, ubicado en la Carretera Libre Cárdenas-Coatzacoalcos km 21.

La elaboración del alimento fue a base de caña a partir de varas limpias (sin cogollo y sin hojas), La caña se cortaba 24 h antes de usarse y se trasladaba posteriormente a un lugar de almacenamiento.

Toma de grados ° brix: Cumplidas las 24 h después del corte se le midió el ° brix, a la planta íntegra, para ello se perforaba la vara y se tomó una gota del jugo, depositado en un brixometro

se llevó un registro. Las muestras se tomaban al azar las cuales consistían en cada corrida 5 muestreos.

Cuadro 4. Toma de muestras de la caña de azúcar para obtener el ° brix

Muestra	1	2	3	4	5	6
Grados brix	20.67	20.23	20.8	21	21.57	21.13

Toma de pH: El pH de la caña se tomaba después de la molienda, por lo tanto se utilizó un potenciómetro, se tomaban 5 muestras al azar.

Preparación de los alimentos: Después de la toma de pH y °brix se procedía a la molienda, realizada con una picadora y con un tamaño de partícula de 2 mm. Después del picado se depositaba en la tolva de recepción para llevarla al tanque fermentador esto se mezclaba con los siguientes ingredientes:

Cuadro 5. Ingredientes usados para elaborar alimento a base de caña de azúcar

Ingrediente	%
Urea	1
Minerales	0.5
Sulfato de amonio	0.3
Maíz	5
Pollinaza	5
Caña molida	83.92
Inoculo	5

Ingredientes calculados en base húmeda.

El inoculo está basado en alimento elaborado con las mismos ingredientes pero con 24 h antes de ser usado como inoculo. Estos materiales descritos en el cuadro 4 y la caña picada se mezclaron en la fermentadora por 24 h.

Temperatura. La temperatura se estuvo tomando durante las 24 h del proceso de fermentación con un termómetro bimetálico industrial fijado al fermentador, en lo cual se llevó un registro de las temperaturas en una base de datos.

Humedad. La humedad se estuvo tomando durante las 24 h del proceso de fermentación con un higrómetro metálico industrial fijado al fermentador, se llevó un registro de la humedad en una base de datos.

5.5. Análisis químico proximal

Materia Seca. Esta variable se determinó de acuerdo a la metodología de AOAC (2001). Esta técnica se basa en la evaporación del agua que contiene el material a una temperatura de 62 °C hasta que el peso de la muestra sea constante en el medio ambiente.

Nitrógeno no proteínico. La determinación del contenido de proteína verdadera en materiales biológicos destinados a la alimentación animal se basa en la absorción de la proteína al hidróxido de cobre generado por la reacción química entre una solución de sulfato de cobre y otra de hidróxido de sodio. Esta sal de cobre al precipitar debe provocar la precipitación de las proteínas por un efecto de coprecipitación, esta se determinó mediante la técnica descrita por Bernstein, (1983).

Nitrógeno total. Aplicando el método del micro-Kjeldahl. De acuerdo con la AOAC, (2001).

Eficiencia. Se determinó con la siguiente fórmula:

$$\frac{Nt-Pc}{Pv} * 100$$

Pv

Determinación fibra detergente neutro. De acuerdo a (Van Soest *et al.*, 1991), el método del detergente neutro para constituyentes de paredes celulares es un método rápido para determinar la fibra total en alimentos de origen vegetal, divide la MS de los alimentos muy cerca al punto que separa los constituyentes solubles y nutricionales disponibles (98%), de aquellos que son aprovechables de manera incompleta y dependen de la fermentación microbiana.

Determinación fibra detergente ácido. De acuerdo con Van Soest *et al.* (1991), el detergente en este procedimiento disuelve todo el contenido celular y además la hemicelulosa, por lo que el residuo insoluble está formado por celulosa, lignina y sílice principalmente.

Cenizas: Se determinó con la metodología de AOAC (2001). Esta se basa en someter la muestra de alimento a combustión entre 500 y 600 °C. La materia orgánica es oxidada, y al residuo que contiene la materia mineral se la llama cenizas.

Materia Orgánica: Determinada por diferencia con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Materia orgánica} = 100 - \% \text{ de cenizas}$$

Degradación *in situ* de la materia seca (DIMS): Se utilizó la metodología descrita por Orskov *et al.*, (1990).

$$PV = PB - NN PAN$$

5.6 Análisis Financiero

Proceso de producción. Como se mencionó anteriormente, el método mediante el cual se analizó la estructura de costos de producción del alimento para bovino a base de caña, es el costeo por procesos, teniendo como principio el tipo de producción continua y estandarizada, y las etapas de producción mismas que se describen a continuación:

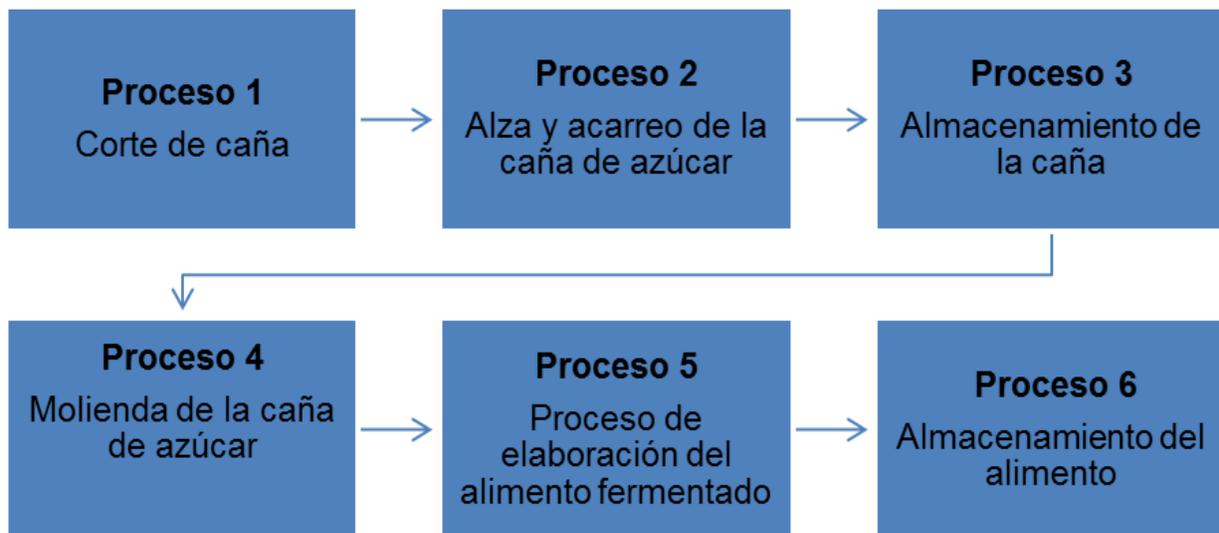


Figura 6. Proceso de producción del alimento fermentado por medio del biorreactor

Proceso 1. Corte de caña: El trabajo tuvo 18 corridas o ensayos durante 6 semanas, con cortes 3 veces por semana, utilizando un total de 9 t de caña de azúcar.

Proceso 2. Alza y acarreo de caña: En el alza se utilizaron tres jornales por semana y 13 litros de gasolina por semana en una camioneta Pick up con un requerimiento total de 18 jornales y 78 litros de gasolina.

Proceso 3. Almacenamiento de caña: Cada corte de caña de azúcar se almacenó por 24 h antes de la molienda.

Proceso 4. Picado de la caña: El picado de la caña se realizó con una picadora marca Nogueira DPM2 con motor de 4 HP, que tuvo un consumo de gasolina de 2.33 litros cada molienda con un consumo total de 42 litros.

Proceso 5. Fermentación sólida por medio de biorreactor: Cada ensayo se trabajó con 500 kg de alimento elaborado con el fermentador prototipo, con un tiempo de fermentación de 24 h. Además se elaboraron 100 kg de alimento en forma rústica. Cabe señalar que se procesó de manera conjunta un alimento elaborado de forma rústica y el alimento elaborado con el biorreactor, se utilizaron 2 jornales por cada ensayo durante 6 semanas, con un total de 36 jornales. La formulación del alimento fue como se relaciona en el siguiente Cuadro.

Cuadro 6. . Materia prima requerida para la elaboración del alimento en el biorreactor y de forma rústico

Materia prima requerida	%	Biorreactor (kg)	Rustico (kg)
Urea	1.00	5.00	1.00
Minerales	0.50	2.50	0.50
Sulfato de Amonio	0.30	1.50	0.30
Maíz Amarillo	5.00	25.00	5.00
Pollinaza	5.00	25.00	5.00

Inoculo	5.00	25.00	5.00
Caña	83.20	416.00	83.20
Total	100.00	500.00	100.00

Materiales a base húmeda

Proceso 6. Almacenamiento de alimento

El alimento terminado se embolso y almacenó, hasta su distribución a los animales o a su comercialización. Utilizando 13 costales por ensayo y un total de 234 costales en todo el proceso de producción.

Cuadro 7. Tiempo estimado de proceso de producción

Clave Proceso	Nombre del Proceso	Descripción del Proceso	Tiempo Estimado del Proceso (h)
P01	Corte caña de azúcar	Se realizó el corte en forma manual de 9 toneladas de caña, en un lapso de 6 semanas, empleando un trabajador para llevar a cabo el proceso.	2
P02	Alza y acarreo de caña	Se procede de forma manual al alza de la caña en un vehículo Institucional Pick up de 4 cilindros	2
P03	Almacenamiento de caña	Se almacenó por 24 h la caña obtenida de los procesos anteriores.	24
P04	Picado de caña	Se realizó con una picadora Nogueira DPM2 motor de 4 HP la cual funcionó con combustible.	0.5
P05	Fermentación solida por medio de biorreactor	Proceso de 24 h continuas por proceso. Se realizaron 18 corridas con una producción de 500 kg de alimento por corrida.	24

P06	Almacenamiento de alimento	El alimento terminado se envasó y almacenó, hasta su distribución c a los animales o a su comercialización	--
PR	Fermentación solida rústica	Se realizó en un tiempo de 24 h a nivel de piso	24

5.7 Cuantificación de los elementos del costo de producción

Con el objeto de realizar la valoración económica de la producción del alimento para ganado bovino a base de caña de azúcar, se consideraron como variables para la estructura de costos: la materia prima, la mano de obra y los insumos utilizados en la producción. De la acumulación del total de costos incurridos en el proceso, se determinó los costos unitarios promedio ponderados por kilogramo de alimento para ganado producido.

Materia prima. Las materias primas utilizadas para la producción del alimento de bovino a base de caña se presentan a continuación así como el porcentaje contenido:

Caña de Azúcar. Los costos de producción de la caña de azúcar se han comportado a la alza, debido a la baja productividad. En promedio, los costos de producción de una tonelada de caña de azúcar en México bajo riego han sido de \$390.00.

Maíz: Para la determinación de los costos de maíz se tomó como base el comportamiento de los precios de los mercados agropecuarios y se comparó con el precio del mercado local, de acuerdo con las perspectivas de cierre 2013 y primer trimestre 2014 presentadas por Financiera Rural.

Urea. Se analizaron los precios de mercado de la Urea, consultando los registros de mercados agropecuarios proporcionados por Financiera Rural al cierre de ejercicio 2013.

Mano de obra. Los costos de mano de obra implican la remuneración directa que percibe el trabajador y las prestaciones que se otorgan. (Horngren *et al.*, 2012). En el proceso de elaboración de alimento se realizó en colaboración de dos personas: una persona dedicada al proceso de corte, transporte y picado de caña, y la otra persona responsable de la mezcla y elaboración del alimento.

Costos indirectos de fabricación (Energía eléctrica). Los motores transforman energía eléctrica en energía mecánica. La energía utilizada por cualquier dispositivo es su consumo de potencia multiplicada por el tiempo que esta encendido. Por lo general, las compañías eléctricas especifican la energía con una unidad denominada kilowatt hora (KWH). (Giancoli, 2006).

En el proceso de fermentación se utilizaron dos motores eléctricos: uno de ellos es el del fermentador con una potencia de 2 HP y el otro es el del compresor con una potencia de 1 HP. En el caso del motor del fermentador se tiene un consumo constante de energía eléctrica durante el proceso de 24 h, sin embargo el motor de compresor fue variable, teniendo dos comportamientos: 1) teniendo un consumo de energía por hora es decir con un consumo de 24 h y 2) con consumo cada dos h, con un consumo total de 12 h.

Para la evaluación del consumo de energía eléctrica se realizó de la siguiente forma:

1.- Conversión de la potencia (HP) a Kilowatts donde se tiene la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ HP} = 0.746 \text{ Kilowatts}$$

2.- Posteriormente se multiplica el kilowatt por el tiempo en que se desarrolló el proceso, donde se obtiene el valor en kilowatt hora, misma que es la unidad de energía que se toma como base para cuantificar la energía eléctrica.

3.- Se sumaron los consumos energéticos de los dos motores y se multiplica por la tarifa horaria de servicio general de consumo intermedio que proporciona la (Comisión Federal de Electricidad, 2014) y (Ley del servicio público de energía eléctrica 1975).

De lo anterior, se obtiene la cuantificación de la energía eléctrica siguiente:

Calculo 1: Consumo de motor eléctrico de fermentador con consumo de energía constante (24 h) e implementación del motor eléctrico del compresor con consumo por hora, teniendo un consumo de energía de 24 h.

Calculo 2: Consumo de motor eléctrico de fermentador con consumo de energía constante (24 horas) e Implementación del motor eléctrico de compresor por periodos de dos horas, teniendo un consumo de energía de 12 h.

Costos Fijos de Producción (Depreciación). Es el cargo sistemático de una parte de los costos históricos de los activos fijos frente a los ingresos anuales a través del tiempo. (Horngren, *et al.*, 2012). Los métodos de depreciación puede calcularse con bases financieras (línea recta, doble saldo decreciente y la suma de dígitos de años) o considerando los propósitos fiscales (Gitman, 2007).

De acuerdo con el art. 35 de la ley del Impuesto sobre la Renta vigente señala:

Artículo 35. Para la maquinaria y equipo distintos de los señalados en el artículo anterior, se aplicarán, de acuerdo a la actividad en que sean utilizados, los por cientos siguientes:

1.5 % en la generación, conducción, transformación y distribución de electricidad; en la molienda de granos; en la producción de azúcar y sus derivados; en la fabricación de aceites comestibles; en el transporte marítimo, fluvial y lacustre.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL EXPERIMENTO

6.1 Composición nutricional de los alimentos fermentados a base de Caña de azúcar

Cuadro 8. Composición química de los alimentos después de la fermentación

	Agitación (rpm)			Aeración (1 24 h ⁻¹)		EE±
	3.1	5.6	7.8	1920	3840	
Materia seca	35.07 ^a	35.28 ^a	35.61 ^a	34.46 ^a	35.93 ^a	10.97
Proteína cruda	15.24 ^a	15.82 ^a	16.13 ^a	15.98 ^a	15.48 ^a	0.55
Proteína verdadera	7.40 ^a	7.30 ^a	7.36 ^a	6.62 ^b	8.09 ^a	0.68
Eficiencia	48.72 ^a	46.04 ^a	45.50 ^a	41.35 ^b	52.16 ^a	3.38

a, b Medias con diferente literal en la misma fila son $P \leq 0.05$

El contenido de MS de los alimentos no fue ($P \leq 0.05$) y fue de 34.46 a 35.95%; El contenido de Proteína Cruda no fue significativo, tuvo una concentración de 15.24 a 16.13%. La proteína

verdadera fue ($P \leq 0.001$) por efecto de la aireación y la agitación teniendo valores de 6.62 a 8.09% y la eficiencia de síntesis tuvo ($P \leq 0.001$) con valores de 41.35 a 52.16% (Cuadro 8).

El contenido de proteína cruda varía y depende del contenido de nitrógeno de la caña de azúcar y de los ingredientes adicionados al alimento tales como maíz, sorgo, pulido de arroz etc. Pero la proteína verdadera es el resultado de la transformación de nitrógeno no proteínico de los ingredientes del alimento y de los azúcares de la caña de azúcar a síntesis de proteína microbiana, la cual se mide a través de la eficiencia de su transformación durante el proceso de fermentación en presencia de oxígeno suministrado por aire.

El contenido de proteína cruda son similar a lo reportado por Elías y Lezcano, (1994) y Ramos *et al.*, (2006), donde oscilan entre 15.93 a 22.19%, y de proteína verdadera se encuentran valores con porcentajes de 10.50% en sacarina elaborado con caña integral (Guzmán, 2004), de 15.93% (Elías y Lezcano, 1994), de 12.78% en sacarina elaborado con tallos quemados de caña de azúcar (Torres, 2003), también hay reportes de trabajos donde los valores de proteína verdadera han sido más bajos 3.33%.

Los valores encontrados en este trabajo pueden considerarse bajos, lo que indica que la eficiencia en la transformación de NNP a proteína verdadera del proceso de fermentación, su eficiencia en la transformación de NNP a proteína verdadera fue limitada, aunque los valores de pH inicial a final del proceso, indican que hubo fermentación, también pudo haberse limitado por el contenido de humedad, la cual vario de un 60% al inicio a valores de 43%. Y se tiene conocimiento que la humedad óptima debe ser para los procesos de fermentación con una variación de humedad del 30 a 80% Laukevics *et al.*, 1984. Citado por Ruiz-Leza *et al.*, 2007, Ravelo *et al.*, 2002. No superior, porque pueden lixiviarse los nutrientes y si disminuye de 60%, se limita el crecimiento microbiano. La temperatura también es un factor que influye en la eficiencia del proceso, en el trabajo fue mayor la eficiencia y alcanzó valores de 8.09% de proteína verdadera cuando la temperatura fue más elevada, aunque cuando las temperaturas rebasan los 40 °C pueden morir los microorganismos y únicamente permanecer los microorganismos termófilos.

Cuadro 9. Concentración de FDN, FDA, cenizas, y degradación in situ de los alimentos a base de caña de azúcar elaborador por el fermentador prototipo

	Agitación (rpm)			Aeración (l 24 h ⁻¹)		EE±
	3.1	5.6	7.8	1920	3840	
Cenizas	8.09 ^a	8.46 ^a	8.49 ^a	8.35 ^a	8.34 ^a	0.54
FDN	41.61 ^a	39.34 ^a	37.65 ^a	39.93 ^a	39.14 ^a	2.24
FDA	22.27 ^a	21.78 ^a	23.33 ^a	22.59 ^a	22.33 ^a	1.62
DIMS	66.28 ^a	60.21 ^a	70.48 ^a	68.88 ^a	67.77 ^a	1.78

El contenido de cenizas no presenta diferencias ($P \geq 0.05$), este valor contempla el contenido de minerales agregados al alimento. Los contenidos de FDN y FDA no presentaron diferencia significativa ($P \geq 0.5\%$) con valores de 37.65 a 41.61 y 21.78 a 23.3% de FDN y FDA, respectivamente a pesar de ser valores bajos comparados con el contenido en pastos (Bolaños *et al.*, 2010; Meléndez, 2012), esta ha sido una limitante por su contenido de energía metabolizable (EM) cuando se utiliza en la alimentación de animales con alto potencial productivo, una alternativa de aumentar su contenido de energía es agregar granos o cebo (Ramos, 2005)

La degradación no presentó diferencias ($P \geq 0.05$) se obtuvieron valores de 60.21 a 70.43% a las 48 h de incubación en el rumen, indica valores altos, con la posibilidad de ser bien utilizados por los animales.

Los variables presentadas en el (Cuadro 8), no se encontraron estadísticamente diferencias significativas, la proteína cruda fue similar en los seis tratamientos por lo cual hubo homogeneidad en esta variable, la proteína verdadera fue menor a lo reportado en trabajos anteriores por Elías y Lezcano (1994), que reportan proteína bruta de 3.33 a 15.93% y proteína verdadera de 3.33 A 15.93% , estos resultados son similares a los obtenidos por Guzmán (2004), el cual elaboro saccharina de caña integral con valores de PV de 10.50% y superiores con saccharina elaborada con tallos quemados 15.08%, aunque a esta se le adiciono un inculo de saccharina elaborada un día antes, con este mismo tipo de saccharina. Sin embargo Torres (2003) obtuvo 12.78%. Otros valores de PV fueron obtenidos con saccharina elaborada con tallos limpios y maduros de caña de azúcar. Elías *et al.*, (1990) obtuvo 8.9 a 13.80%, Gómez (2003),

Lezcano *et al.*, (1994) y Elías *et al.*, (2001) obtuvieron valores menores 10.3, 7.0 y 3.3% respectivamente.

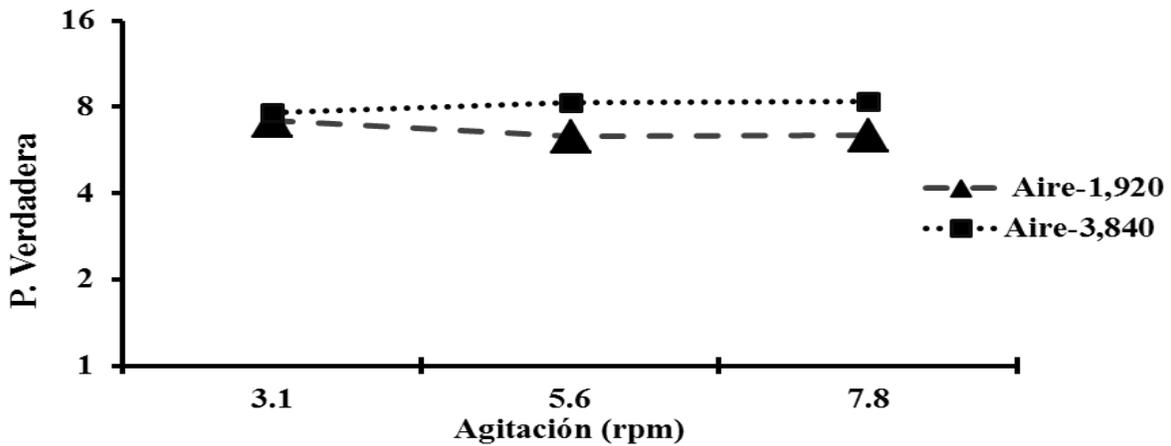


Figura 7. Efecto del aire-agitación en proteína verdadera del alimento fermentado

En la eficiencia no se encontró diferencia significativa, de igual manera comparados con los trabajos de Elías *et al.*, (1990) se encuentra que la eficiencia fue menor a trabajos anteriores, ya que reportan una eficiencia del 60%, esto puede deberse al bajo contenido de proteína verdadera.

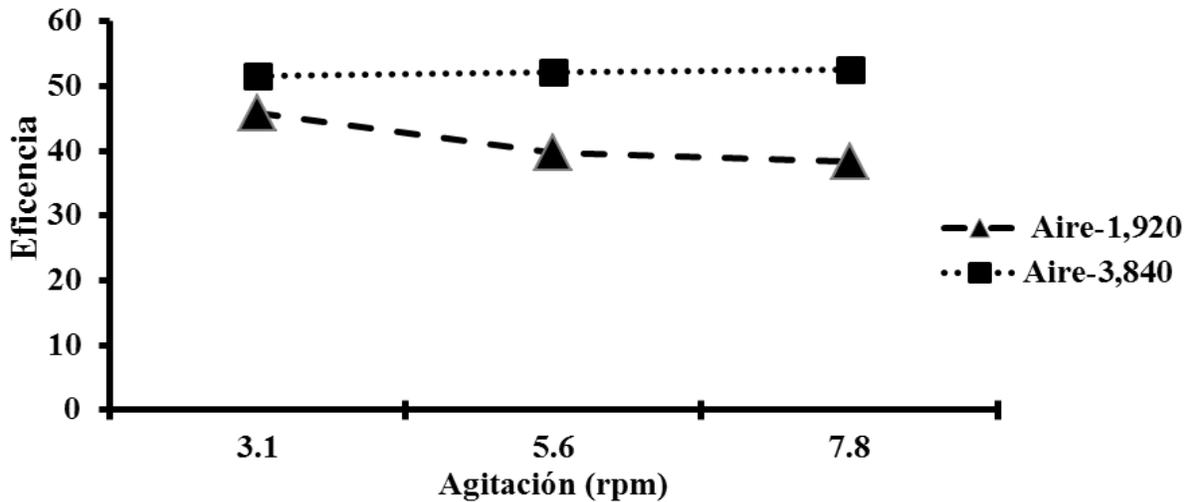


Figura 8. Efecto del aire-agitación en la eficiencia de síntesis de proteína

En cuanto a la variable pH inicial presentada en el (Cuadro 10), no se encontraron diferencias estadísticas entre ellos, más sin embargo, la homogeneidad de esta variable sugiere que está

relacionada e influenciada por la presencia de algunas especies de levaduras y bacterias que se desarrollan a temperatura de 28 ° C (Holt, *et al.*, 1984; Elías y Lezcano. 1993). En los valores de pH finales se obtuvieron variaciones en que se muestra que si hubo interacción entre los factores aeración y agitación, por lo que los valores de pH finales se encontraron significancia al utilizar la menor cantidad de aire, ya que muestra un valor de 4 más bajo, esto ante una carga de aeración mayor, por lo cual se muestra que su hubo interacción entre los factores aeración y agitación, por lo que los pH finales en lo cual se muestra que si hubo interacción entre los factores, en el que el valor más bajo fue de 4.94, esto infiere que hubo una buena actividad microbiana y por lo cual es pH fue bajo.

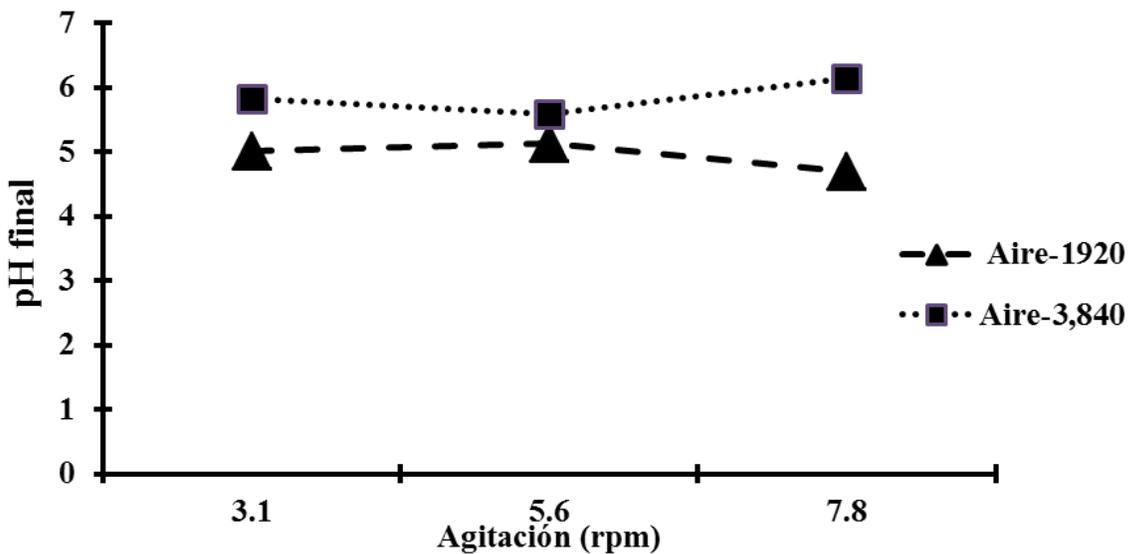


Figura 9. Efecto del aire-agitación en el contenido de pH en los alimentos fermentados

Los variables presentadas en el (Cuadro 9), no se encontraron diferencias estadísticas entre ellos. Las variables FDN no se encontró interacción entre los factores, y estos valores fueron menores a lo reportado por Guzmán (2004), y Elías *et al.*, (1990) donde obtuvieron valores superiores de sacararina con caña integral de FDN 52.49, 52.6, y FDA de 26.61% 65.4%.

La materia seca al igual que la digestibilidad no mostraron interacción ente los factores, las cenizas finales se obtuvieron variaciones en lo cual se muestra que si hubo interacción entre los factores, en el que el valor más bajo fue de 4.94, esto infiere que hubo una buena actividad microbiana.

Respecto a las temperaturas presentadas en el (Cuadro 10), no se encontraron diferencias estadísticas entre ellos ($P>0.05$). Tuvieron un comportamiento cuadrático, mantuvo una homogeneidad en cuanto a la temperatura inicial, un crecimiento a las 12 h y la tendencia a disminuir a las 24 h, sin embargo, esta variable fermentativa pudo haber influido en la calidad del alimento, ya que se muestra en la (figura. 10), la mayor temperatura fue alcanzada en el tratamiento 6 el cual obtuvo mayor proteína verdadera y eficiencia.

Cuadro 10. Valores promedio de pH inicial, final, temperaturas y humedad en el proceso de fermentación de los alimentos de caña de azúcar efectuado con el fermentador prototipo.

	Agitación (rpm)			Aeración (l 24 h ⁻¹)		EE±
	3.1	5.6	7.8	1920	3840	
pH Inicial	6.46 ^a	6.37 ^a	6.77 ^a	6.35 ^a	6.71 ^a	0.39
pH Final	5.42 ^a	5.36 ^a	5.42 ^a	4.94 ^b	5.85 ^a	0.49
Temperatura 1	26.50 ^a	28.50 ^a	28.00 ^a	26.77 ^a	28.55 ^a	1.69
Temperatura 12	35.50 ^a	38.66 ^a	40.50 ^a	37.66 ^a	38.77 ^a	3.98
Temperatura 24	32.00 ^a	37.00 ^a	35.16 ^a	32.77 ^a	36.66 ^a	3.26
Humedad 1	36.66 ^a	31.66 ^a	23.33 ^a	28.88 ^a	32.22 ^a	7.2
Humedad 12	53.33 ^a	48.33 ^a	43.33 ^a	46.66 ^a	50.00 ^a	8.81
Humedad 24	45.00 ^a	56.66 ^a	48.33 ^a	46.66 ^a	53.33 ^a	4.90

a, b Medias con diferente literal en la misma fila son $P\leq 0.05$

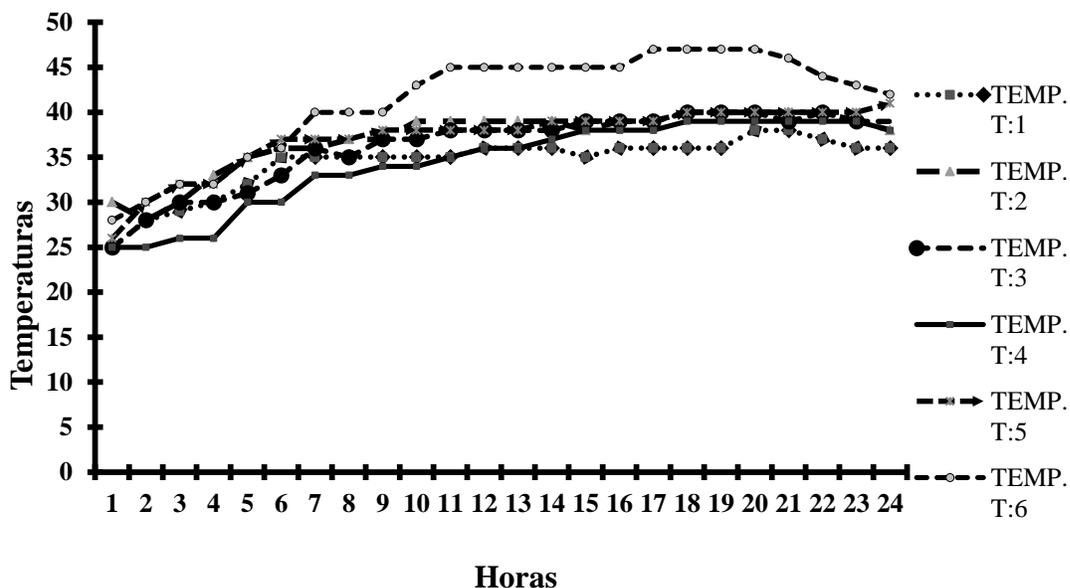


Figura 10. Comportamiento de temperaturas durante el proceso de fermentación (24 h)

6.2 Análisis financiero

Cuantificación de los elementos del costo de producción

Parámetros de producción: Evaluando la capacidad del biorreactor empleado para la fermentación del alimento se tiene una producción de 500 kg. Por proceso, teniendo una producción total de 9 toneladas en las 18 corridas efectuadas, lo cual se expresa en el siguiente cuadro:

Cuadro 11. Cantidad de alimento producido por corrida y total

Clave Producto	Cantidad Producida (Kg)	Semanal (T)	Producción Total (T)
Alimento para Bovino a base de Caña de Azúcar	500.00	1.5	9.0

Mano de obra: En el proceso de elaboración de alimento se realizó con la participación de dos personas por un periodo de 6 semanas teniendo un total de 36 jornales, a continuación se muestra el costo de mano de obra por corrida y del total del proceso:

Cuadro 12. Costo total de Mano de Obra y por corrida

Puesto	No. de Personas	Sueldo por Corrida	Sueldo Total del Proceso
Cortador de Caña	1	124.00	2,232.00
Ayudante para alimento	1	124.00	2,232.00
Costo Mano de Obra	2	248.00	4,464.00

Costos Indirectos de Fabricación: En el costo del proceso se consideró el consumo de energía eléctrica del motor de fermentador y del compresor. En el (Cuadro 13) se presenta el costo de energía utilizando en el proceso el motor del compresor cada h.

Cuadro 13. Calculo 1. Costos indirectos de fabricación (Consumo de energía eléctrica)

Concepto	P. (HP)	Conversión Kw	Tiempo h	KWH	Precio unitario
Motor Eléctrico	2	1.492	24	35.81	1.32
Fermentador					
Motor Eléctrico	1	0.746	24	17.90	1.32
Compresor					
Total de consumo de energía por proceso				53.71	1.32

En la siguiente tabla se presenta el costo total de la energía eléctrica por cada corrida y por el total del proceso (18 corridas)

Cuadro 14. Costo de Energía Eléctrica. (Calculo 1)

Concepto	Costo por Corrida	Costo Total del Proceso
Motor Eléctrico Fermentador	47.27	850.80
Motor Eléctrico Compresor	3.63	425.40
Consumo de Energía total	70.90	1,276.20

A continuación se presenta el cálculo de consumo de energía eléctrica teniendo como variante el uso del compresor cada 2 h con un total durante un proceso de 12 h

Cuadro 15. Calculo 2. Costos indirectos de fabricación (Consumo de energía eléctrica) El fermentador prototipo trabajando con suministro de aire cada h.

Concepto	P.(HP)	Conversión KW	Tiempo	KWH	Precio unitario
Motor Eléctrico Fermentador	2	1.492	24	35.81	1.32
Motor Eléctrico Compresor	1	0.746	12	17.90	1.32
Total de consumo de energía por proceso				53.71	1.32

Uso de Motor de Compresor cada 2 h

Cuadro 16. Costo de Energía Eléctrica. (Calculo 2)

Concepto	Costo por Corrida	Costo Total del Proceso
Motor Eléctrico Fermentador	47.27	850.80
Motor Eléctrico Compresor	11.82	212.70
Consumo de Energía Total	58.96	1,063.50

Los cálculos relativos al consumo de energía teniendo como variable el uso del compresor, presentan una diferencia poco relevante por lo cual será necesario evaluar el costo- beneficio de las propiedades nutrimentales del alimento

Costos Fijos de Producción: La tabla de depreciación muestra el gasto periódico y constante del biorreactor, sin embargo puede aumentar en proporción al uso que se le aplique.

Cuadro 17. Depreciación del Biorreactor

Activo Fijo	Valor	Vida Útil	% De Dep.	Dep. Mensual	Dep. Anual
Biorreactor	\$ 200,000.00	20	5	\$ 833.33	\$10,000.00
Total	\$ 200,000.00			\$ 833.33	\$10,000.00

Concentrado de costo: En base a la evaluación realizada se obtiene el siguiente concentrado de costos, en los cuales se analizan el costo de los procesos antes descritos:

Cuadro 18. Corte de Caña

Clave Proceso	Nombre del Costo	Precio Unitario (\$)	Cantidad Utilizada	Costo por Corrida	Costo total del Proceso
P01	Caña de Azúcar	0.39	416.00	162.24	2,920.32
P01	Cortador de Caña	124.00	1.00	124.00	2,232.00
Costo total proceso Corte de Caña				286.24	5,152.32

Costo Corte de Caña

Cuadro 19. Alza y acarreo de caña

Clave Proceso	Nombre del Costo	Precio Unitario	Cantidad Utilizada (L)	Costo por Corrida	Costo total del Proceso
P02	Combustible Vehículo	12.95	4.33	56.12	1,010.10
Costo total proceso de Alza y Acarreo de Caña				56.12	1,010.10

Costo de Alza y acarreo de Caña

Proceso 3. Almacenamiento de caña: Como se ha descrito el almacenamiento se da en un periodo de 24 h en las instalaciones del colegio, por lo cual no se considera cuantitativamente el costo de mantener.

El cuadro que se presenta del proceso del picado de caña, cuantifica el costo del combustible usado en la picadora, la cantidad utilizada es el número de litros por corrida.

Cuadro 20. Picado de la caña

Clave Proceso	Nombre del Costo	Precio Unitario	Cantidad Utilizada (L)	Costo por Corrida	Costo total del Proceso
P04	Picadora de Combustible	12.95	2.33	30.22	543.90
Costo Total proceso Picado de Caña				30.22	543.90

El cuadro siguiente muestra la evaluación del proceso 5, con la variable de uso del motor del compresor por h, teniendo un total de 24 h, de la misma forma se observa un costo significativo de mano de obra en relación con los demás costos registrados

Cuadro 21. Fermentación solida por medio de biorreactor

Clave Proceso	Nombre del Costo	Precio Unitario	Cantidad Utilizada	Costo por Corrida	Costo Total del Proceso
P05	Urea	7.84	5.00	39.20	705.60
P05	Minerales	7.30	2.50	18.25	328.50
P05	Sulfato de Amonio	2.12	1.50	3.18	57.24
P05	Maíz Amarillo	3.65	25.00	91.25	1,642.50
P05	Pollinaza	1.80	25.00	45.00	810.00
P05	Inoculo	0.74	25.00	18.50	333.00
P05	Ayudante para Alimento	124.00	1.00	124.00	2,232.00
P05	Consumo Motor Fermentador	1.32	35.81	47.27	850.80
P05	Consumo Motor Compresor	1.32	17.90	23.63	425.40
Costo total Proceso elaboración de Alimento con Biorreactor (Uso de motor por h)				410.28	7,385.04

Costo de Elaboración de Alimento

Cuadro 22. Almacenamiento de alimento.

Clave Proceso	Nombre Del Costo	Precio Unitario	Cantidad Utilizada	Costo Por Corrida	Costo Total del Proceso
P06	Costales para Alimento	2.75	13.00	35.75	643.50
Costo Total Proceso de Almacenamiento de Alimento				35.75	643.50

A continuación se realiza la acumulación de costos de los procesos antes descritos, considerando el uso del compresor por h.

Cuadro 23. Costos en general de acuerdo al proceso de elaboración del alimento

Acumulación de costos	Costo por corrida	Costo total del proceso
Proceso corte de caña	286.24	5,152.32
Proceso de alza y acarreo de caña	56.12	1,010.10
Proceso picado de caña	30.22	543.90
Proceso elaboración de alimento con biorreactor	410.28	7,385.04
Proceso de almacenamiento de alimento	35.75	643.50
Costo total	818.60	14,734.86

Adicionalmente al proceso de 24 h continuas implementando tanto el motor del fermentador así como el motor del compresor con la misma constante de tiempo; se tiene un proceso en el cual se implementó el uso del motor del compresor por periodos de cada dos horas por lo cual se tiene un consumo de energía distinto al antes descrito. En base a lo mencionado se presenta la tabla del proceso.

Cuadro 24. Fermentación solida por medio de biorreactor, con la variable de uso del motor compresor en un periodo de 12 h.

Clave proceso	Nombre del costo	Precio unitario	Cantidad utilizada	Costo por corrida	Costo total el proceso
P05	Urea	7.84	5.00	39.20	705.60
P05	Minerales	7.30	2.50	18.25	328.50
P05	Sulfato de amonio	2.12	1.50	3.18	57.24
P05	Maíz amarillo	3.65	25.00	91.25	1,642.50
P05	Pollinaza	1.80	25.00	45.00	810.00
P05	Inoculo	0.74	25.00	18.50	333.00
P05	Ayudante para alimento	124.00	1.00	124.00	2,232.00
P05	Consumo motor fermentador	1.32	35.81	47.27	850.80
P05	Consumo motor compresor	1.32	8.95	11.82	212.70
Costo total proceso elaboración de Alimento con biorreactor				398.46	7,172.34

Fermentación con el uso de motor de compresor cada 2 h

Cuadro 25. Totalidad de costos por procesos con la variable de energía del motor del compresor

Acumulación de costos	Costo por corrida	Costo total del proceso
Proceso corte de caña	286.24	5,152.32
Proceso de alza y acarreo de caña	56.12	1,010.10
Proceso picado de caña	30.22	543.90
Proceso elaboración de alimento con biorreactor	398.46	7,172.34
Proceso de almacenamiento de alimento	35.75	643.50
Costo total	806.79	14,522.16

Determinación de margen de utilidad y utilidad neta

De acuerdo con la cuantificación del proceso se tiene un costo promedio por kg producido de 1.64 en el caso del proceso de 24 h continuas tanto para el motor del fermentador como para el compresor, por lo que si consideramos un porcentaje de utilidad del 20% para la asignación de precio de venta se tiene lo siguiente:

Precio de Venta= Costo total+ Margen de Utilidad

Precio de Venta= 1.64 + (1.64*20%)

Precio de Venta= 1.97

Por lo que se obtendría con el precio de venta propuesto:

Cuadro 26. Utilidad neta de los alimentos de acuerdo a los costos de producción

	Por corrida	Total de corridas
Producción (kg)	500	9000
Ingreso	\$ 985.00	\$ 17,730.00
Costo de producción	\$ 818.60	\$ 14,734.86
Margen de utilidad	\$ 166.40	\$ 2,995.14
Otros costos		
Depreciación	\$ 27.78	\$ 500.00
Total de otros costos	\$ 27.78	\$ 500.00
Utilidad bruta	\$ 138.62	\$ 2,495.14
ISR (30%)	\$ 41.59	\$ 748.54
Utilidad neta	\$ 97.03	\$ 1,746.60
Utilidad por kg	\$ 0.19	\$ 0.19

El costo del alimento de acuerdo al costo de producción es de \$1.64 y \$1.97 propuesto para la venta, tomando en cuenta que para la elaboración se tiene un gasto de energía variable de acuerdo al uso de aire en el proceso de fermentación. De la cuantificación de costos se puede observar que los costos principales son el de materia prima con un 46% del costo total y el 30% de mano de obra. De lo antes mencionado, resulta conveniente revisar el costo de mano de obra, analizando los requerimientos de producción o en su caso evaluar la capacidad de producción del prototipo biorreactor para incrementar el volumen de producción y disminuir el efecto en el costo de mano de obra.

Por otra parte en el cálculo de determinación de utilidad, se ha usado un porcentaje de utilidad supuesta del 20%, la cual pueda variar de forma positiva o negativa, de acuerdo al precio de mercado real para este tipo de alimento.

VII. CONCLUSIONES

El valor nutritivo del alimento elaborado con el fermentador prototipo fue similar en el contenido de proteína cruda, FDN, FDA, materia seca, cenizas, y los parámetros fermentativos pH, temperatura y humedad con los alimentos con caña de azúcar, elaborados en forma rústica por fermentación en estado sólido, reportados por diferentes autores

El contenido proteína verdadera y eficiencia de síntesis proteica, fue menor a los alimentos de caña de azúcar elaborados por fermentación sólida, reportados por diferentes autores.

Análisis financiero

El costo del alimento fue de \$1.64 M.N. el kg, El costo de la materia prima fue del 46% y la mano de obra el 30%.

VIII. RECOMENDACIONES

Fermentador

El equipo trabajo de forma noble, pero al final de los 18 ensayos muestra un claro deterioro en su estructura, por lo que se mencionan algunas modificaciones para reforzar y mejorar su funcionamiento:

- a) Es necesario el cambio del cableado común que conecta al calentador por cableado de asbesto.
- b) Utilizar un compresor con más potencia.
- c) Es necesario reubicar estratégicamente los medidores de temperatura y humedad, ya que probablemente estén haciendo contacto con las aspas, las aspas son fijas, pero los medidores al estar muy cerca a estas el alimento puede hacer que se muevan y peguen con las aspas.

- d) El material con que se realizó el tanque o cilindro del equipo no es el adecuado, al ser dos materiales diferentes (Tanque plástico-Tanque laminado) surgieron muchos inconvenientes, por lo tanto hay que adecuar el material del cilindro.
- e) Las puertas de acceso para la carga y descarga del alimento requieren de pasadores fáciles de maniobrar, ya que por el peso del alimento hacían presión en las puertas que no se podían abrir y de igual forma requiere de un material con mayor dureza y resistencia ya que dichas puertas se averiaron.
- f) El tanque laminado se abrió del lado derecho por donde entra el alimento, esto se debe a que no resistieron las uniones soldadas el peso del alimento.

Financiero

Es necesario cuantificar los gastos operativos, tales como uso de bodegas para almacenamiento, mantenimiento preventivo del equipo y otros servicios, a fin de evaluar el prototipo de forma integral como proyecto de inversión.

Se necesita hacer un análisis financiero del alimento en base seca, ya que para realizar este proceso se elevarían los costos y por lo tanto variaría el costo del alimento.

IX. LITERATURA CITADA.

- AOAC. 2001. Association of Analytical Chemist. Official Methods of Analysis. AOAC International. 16th Edition. Wshington D.C. U.S.A.
- Améndola, R. D. 2002. A dairy system based on forages and grazing in temperate Mexico. PhD thesis. Wageningen University, The Netherlands. 269 pp.
- Anupama and Ravindra, P. 2001. Studies on production of single cell protein by *Aspergillus niger* in solid state fermentation of rice bran. Braz. Arch. Biol. Technol. Inter. Journal. 44 (1): 79-88.
- Aranda, I.E.M., Ramos, J.J.A. & Mendoza, M.G.D. 2003. Caña de azúcar en la alimentación de bovinos. Manual de producción. Gobierno del Estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados. ISPROTAB. Villahermosa, Tabasco. 24 pp.
- Aranda, I.E.M. 2000. Utilización de la caña de azúcar en la alimentación de rumiantes. Tesis de Doctor en Ciencias Veterinarias. Universidad Autónoma de México. 90 p.
- Álvarez, F.F.J. 1988. Experiencia de la caña de azúcar integral en la alimentación animal en México. En: La caña de azúcar como pienso. FAO. 153 – 163 pp.
- Bernstein, J. 1983. Análisis de alimento. Eds. Wintra, A. L. y Winto, K. B. Tomo I. Ed. Pueblo y Educación. 84.
- Bolaños, A.D., Emile J.C., Enríquez. Q.J. 2010. “Les fourrages au Mexique: ressources, valorisation et perspectives de recherche”, Fourrages, 204: 277-282.
- Carrasco E., Bocourt R., Elías A., Febles I. 1998. Indicadores bromatológicos de la caña de azúcar fermentada con excreta vacuna y diferentes niveles de urea y grosos de la capa fermentativa. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 32(3): 275-279.
- Cárdenas N. R. (1995). La lógica de los Costos 1. México: Segunda edición, Instituto Mexicano de Contadores Públicos, A.C. p. 126
- Comisión Federal de Electricidad. 2014. [Disponible en línea <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/Tarifas_industria.asp?Tarifa=C MAMT&Anio=2014>]
- Del Rio, G. C. (2007). Costos Historicos . Vigésima edición, México, DF: Thomson. Vol.II p. 41-44.

- Diario Oficial de la Federación. 2014. Acuerdo 08/2014, por el que se autoriza modificar las disposiciones complementarias a las tarifas para suministro y venta de energía eléctrica. [Disponible en línea < http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342248&fecha=25/04/2014> consultado el 29 de Enero del 2015]
- Doran, R.M., 1998. 'Bernard Lonergan and the Functions of Systematic Theology', *Theological Studies*, 59(4): 569-607.
- Elías A., Lezcano, O., Lezcano, P., Cordero, J. & Quintana, L. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico de la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (*Saccharina*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 24(1):1-12.
- Elías A., Lezcano O. 1994. Efecto de la inclusión de niveles de harina de maíz en la fermentación de la caña de azúcar. *Rev. Cubana Ciencias Agrícolas*. 28:319.
- Elías A., Lezcano O. 2000. Inclusión de niveles de harina de soya desgrasada en la fermentación de la caña de azúcar en estado sólido (*Sacchasoya*) *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 34:143-150
- Elías A., Lezcano O. 2001. Inclusión de niveles de harina de soya desgrasada y sin desgrasar en la fermentación de la caña de azúcar en estado sólido (*sacchasoya*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 34(2):143-150.
- Encarta, 2000. Enciclopedia Microsoft corporation. Director Editorial. Ramiro Sánchez Sanz.
- FAO. 2011. Los precios mundiales de los alimentos alcanzan un nuevo récord histórico.[< <http://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/es/>>]
- FAO. 2007. Advierte la FAO sobre el peligro de hambruna en países pobres. Comunicación Interna. Cuba. p. 6.
- FAO. 1998. La fermentación en pequeña escala. En: *Agricultura21*. [<http://www.fao.org/ag/esp/revista/9812sp3.htm>] /Consultado: 7 de septiembre del 2005/.]
- FAO. 2003. Estudio FAO investigación y tecnología 8. Biotecnología agrícola para países en desarrollo. Resultado de un foro electrónico. Roma. [http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/DOCREP/004/Y2729S/y2729s00.htm] /Consultado: 7 de septiembre del 2005/.]
- FAO. 2004. Compendio de indicadores sobre la alimentación y agricultura. Departamento económico y social. La dirección de estadística. [<http://www.fao.org/es/ess/top/commodity.jsp?commodity=944&lang=ES&year=2004>] /Consultado: 8 de septiembre del 2005/.]

- Figuroa, V. & Ly, J. 1990. Alimentación porcina no convencional. GEPLACEA. PNUD. Serie diversificación. Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe exportadores de azúcar. México, D.F. México.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México, Offset Larios, 217 p.
- Geros, H., Cassio, F. & Leao, C. 2000. Utilization and transport of acetic acid in *Dekkera anomala* and their implications on the survival of the yeast in acidic environments. *J Food Prot* 63:96–101.
- Giancoli, C.D. 2007. Principios con aplicaciones. Sexta Edición México, DF: Pearson Education. Vol. 2, p. 464
- Gitman, L.J. 2007. Principios de la administración financiera. Decimoprimer Edición. México, DF., Pearson. p. 688.
- Gómez, V.A. 2003. Degradación de los componentes celulares de gramíneas forrajeras con la adición de enzimas fibrolíticas y la respuesta productiva de bovinos en pastoreo. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Posgraduados Campus Montecillo, Estado de México. 184 p.
- Guzmán T.T.A. 2004. Efecto de la adición de ácido propiónico para la conservación de ensilados de saccharina. Colegio de Postgraduados Especialidad de Ganadería. Texcoco Estado de México p 1-66.
- Harrison, P. 2002. Agricultura mundial: hacia los años 2015/2030. Servicio de Publicaciones y Multimedia. Ed. Dirección de Información de la FAO.
- Horngren, T.C., Datar, M.S., and Rajan, V.M. 2012. Contabilidad de Costos. Un Enfoque Gerencial. Decimacuarta Edición . México, DF: Pearson Education. p. 728
- Holt, J.G., Krieger, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T; Williams. S.T. 1984. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. Ninth Edition, Editor Williams and Wilkins, p.754.
- Jay, J.M. 1994. Microbiología moderna de los alimentos. Tercera Edición. Ed. ACRIBIA, S.A. Zaragoza, España. 804 p.
- Ku-Vera, J.C., Briceño, E.G., Ruiz, A., Mayo, R., A. Ayala, J., Aguilar, C. F. Solorio F.J. y Ramírez. L. 2014. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche. *Revista Cubana de Ciencia Agrícolas*. 48(1): 43-53.
- Ley del servicio público de energía eléctrica: Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de diciembre de 1975. Texto vigente, Última reforma publicada DOF 09-04-2012. p. 1-23. [Disponible en línea

<http://www.shcp.gob.mx/LASHCP/MarcoJuridico/MarcoJuridicoGlobal/Leyes/188_lsp ee.pdf> Consultado 15 de Enero 2015].

- Lezcano O., Elías A. 1993. Efecto de la temperatura y la urea en la fermentación de la caña de azúcar para producir *saccharina*. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 26:291
- Lehninger, A.L. 1991. Bioquímica. Segunda edición. Ed. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 1117 p.
- López. I., E. M Aranda, J. A. Ramos y G. D. Mendoza. 2003. Evaluación nutricional de ocho variedades de caña de azúcar con potencial forrajero. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 37: 381-386.
- López, V., Ramírez, J.L., Nieves, K. & Fonseca, P.L. 2004. Valor nutritivo de variedades de caña de azúcar para forraje. Pastos y forraje. Vol. 27, No. 3.
- Lynd, L.R., Weimer, P.J., Zyl, W.H.V. & Pretoris, I.S. 2002. Microbial cellulose utilization: Fundamentals and biotechnology. Microbiology and Molecular Biology Reviews. 66(3): 506-577.
- Martín, M.P.C. 2004. La alimentación del ganado con caña de azúcar y sus subproductos. Ed. EDICA. La Habana, Cuba. 193 p.
- Martín, P.C. and Brito, M. 1997. Cantidad y tipo de proteína en dietas de forraje de caña de azúcar para toros. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 31(1): 265-269
- Meléndez, N. F. 2012. Principales forrajes para el Trópico. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesca. Universidad Popular de la Chontalpa. pp. 483.
- Meléndez, N.F. 1998. Manual de manejo de praderas para Tabasco. División Pecuaria. INIFAP, PRODUCE, SAGAR. Folleto técnico No. 22. Tabasco, México. 67 p.
- Mena, A. 1988. Utilización del jugo de la caña de azúcar para la alimentación animal (FAO); Roma, Italia 72,153-163 pp.
- Mitchell, D. A., Berovic M., Krieger, N. 2002. Overview of solid state bioprocessing. Biotechnology Annual Review. 8:183-225.
- Molina, A. 1990. Potencial forrajero de la caña de azúcar para la ceba de ganado bovino. Producción de carne en el trópico. EDICA Cuba. p. 225-240.
- Muñoz, E. & González, R. 1998. Caña de azúcar integral para estimular el consumo a voluntad de alimentos voluminosos en vacas. Rev. Cubana Cienc. Agríc. 32(1): 33-40.

- Niba, L.L. 2003. The relevance of biotechnology in the development of functional foods for improved nutritional and health quality in developing countries. *African Journal of Biotechnology*. 2(12): 631-635.
- Ørskov ER, Hovell DeB FD, Moulld F. 1990. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical animal production*. 5: 57-64.
- Pandey, A., Rodríguez-León, J.A. Soccol C.R. 2001. Solid-state fermentation in biotechnology. Fundamentals and applications. Asiatech Publishers, Inc. New Delhi. 221 p.
- Polimeni, S.R., Fabozzi, J.F., Adelberg, H.A., Kole, A.M. 1997. Contabilidad de costos. Serie Schaum McGraw Hill. Colombia. p. 896.
- Ramos J. A. 2005. Obtención de un concentrado energético-proteínico por fermentación en estado sólido de la caña de azúcar para bovinos en ceba. Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Ciencias Veterinarias. Habana Cuba.
- Ramos, J. A., A. Elías y F. Herrera. 2006. Procesos para la producción de un alimento energético-proteico para animales. Efecto de cuatro fuentes energéticas en la fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 40 (1):51-58.
- Revelo, R. D., Bermúdez, S. R. C., Valiño, C. E. 2002. Fermentación del bagazo de caña de azúcar en un biorreactor a escala de laboratorio. *Tecnología química*. 23(2): 32-40
- Robinson, T., Singh, D. and Nigam, P. 2001. Solid stated fermentation a technology success fully for the production of secondary metabolites appl *Microbial Biotechnol*. 55:284-289
- Rodríguez, A. Z. 2004. Uso del boniato (*ipomea bataqta lam*) en la tecnología de fermentación en estado sólido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) Tesis de Doctor en ciencias. Instituto de Ciencia Animal, Habana, Cuba. pp. 104
- Rodríguez, B.Y. 2005. Obtención de un alimento enérgico proteínico a través de la FES de la caña de azúcar y el tubérculo de yuca. Tesis en poción al grado científico de Master en ciencias Veterinarias Especialidad: Producción con Rumiantes. Universidad Agraria de la Habana, Instituto de Ciencia Animal Cuba. pp. 56.
- Ruiz-Leza, H. A., Rodríguez-Jasso, R. M., Rodríguez-Herrera, R., Contreras-Esquivel, J. H y Aguilar, C. N. 2007. Diseño de Biorreactores para fermentación en medio sólido. 6 (1): 33-40.
- Salgado, G.S., Bucio, A.L., Lagunes, E.L.C. 1994. Evaluación de cinco variedades de caña de azúcar bajo tres dosis de fertilización y cinco espaciamientos de drenaje subterráneo. In. Memorias de avances de investigación. Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados. H. Cárdenas, Tabasco. 44 – 46 pp.

- Sancho, R.; Morillo, F.; Filippo, D.; Gómez, I., y Fernández, M. T. (2006): Indicadores de colaboración científica intercentros en los países de América Latina. *Interciencia*, vol. 31 (4): 284-292.
- SIAP. 2004. Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera. Resumen nacional de la producción pecuaria. [http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_compec_pobgan.html]/Consultado: 5 de septiembre del 2005.]
- INEGI. 2004. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [<http://www.inegi.org.mx/>]/Consultado: 14/ octubre del 2015.]
- SAS. 1999. *Statistical Analysis System, User's*. SAS Intitute, Cary, N.C. USA.
- SIAP. 2013. Sistema integral de información agroalimentaria y pesquera Resumen nacional de la producción pecuaria.[http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_compec_pobgan.html]/Consultado: 20 de febrero del 2015].
- Siqueira G. R., Reis, R. A., Schocken-Iturrino R. P., Pires A. J. V., Bernardes, T. F. y Amaral, R. C. Perdas de silagens de cana-de-açúcar tratadas com aditivos químicos e bacterianos. *Revista Brasileira de Zootecnia* 36 (6): 2000-2009 (supl), 2007.
- Torres S.N. 2003. Comportamiento productivo de vacas de doble propósito alimentadas con saccharina elaborada con caña de azúcar quemada. *Colegio de Postgraduados Especialidad de Ganadería Texcoco Estado de México* p 1-78.
- Van Soest, PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Valiño E. Elías A., Álvarez E., Quintana M., Montes D.N. 1994. Composición de especies de bacterias aisladas del proceso de obtención de la saccharina. 1. Bacterias gram negativas. *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 28(1): 69-74.

X. ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de las variables nutricionales y fermentativas del alimento de caña de azúcar y las ordenes de SAS para la realización del análisis estadístico

DATA FEREMTADOR;

INPUT TRAT AIRE AGITA REP pHINICIAL pHFINAL PBRUTA PVERDADERA EFICIENCIA MSECA FDN FDA CENIZAS DEGRADA
TEMPHORAS1 TEMP12 TEMP24 HUM1 HUM12 HUM24;
CARDS;

15.54	7.00	45.04	97.42	36.97	21.52	6.23	68.98	26	36	39	60	60	60
15.36	5.88	38.28	94.23	39.97	20.60	7.49	69.21	30	39	38	50	50	60
17.18	7.13	41.50	97.05	40.03	22.60	9.22	70.89	25	42	24	50	60	60
14.34	9.12	63.58	97.88	52.70	25.60	7.95	59.93	30	40	36	60	40	60
17.20	9.71	56.45	94.30	41.38	23.91	8.54	66.51	25	40	39	20	50	60
16.84	10.17	60.39	94.11	35.02	24.39	8.68	68.24	35	43	41	40	50	30
15.99	7.60	47.53	96.65	41.27	22.73	8.05	66.73	25	38	34	40	60	30
16.05	6.64	41.37	94.23	39.18	20.12	8.61	69.04	25	35	38	40	50	60
17.38	7.25	41.71	96.30	40.91	27.05	9.24	71.93	25	35	38	40	40	40
15.71	7.40	47.10	91.86	38.47	20.56	8.69	64.24	25	36	24	50	60	60
16.22	6.45	39.76	94.87	40.72	24.49	8.64	68.69	35	40	24	50	20	50
15.37	6.92	45.02	95.33	40.83	19.81	9.46	68.85	25	36	36	40	60	20
15.39	7.63	49.57	96.81	37.66	24.93	6.56	69.49	28	45	42	20	60	50
15.56	7.98	51.28	93.68	40.50	22.66	8.62	66.41	26	38	41	30	60	60
14.53	6.40	44.04	92.05	39.47	23.41	8.20	68.96	28	27	23	40	40	60
14.75	4.71	31.93	16.30	39.57	24.40	8.27	65.61	25	38	24	50	40	60
14.54	7.14	49.10	94.39	34.34	18.93	8.87	69.41	30	40	42	40	60	50
15.25	7.31	47.93	95.08	32.74	16.66	9.01	76.75	30	40	42	50	50	50

PRINT;

PROC

GLM;

CLASS TRAT REP AGITA AIRE;

MODEL pHinicial pHFINAL PBRUTA PVERDADERA EFICIENCIA MSECA FDN FDA CENIZAS DEGRADA TEMPHORAS1 TEMP12

TEMP24 HUM1 HUM12 HUM24=TRAT AGITA AIRE AGITA*AIRE;

MEANS AGITA AIRE AGITA*AIRE/TUKEY LIN

RUN;

The SAS System 11:48 Thursday, January 17, 2015 179

The GLM Procedure

Level of AGITA	Level of AIRE	N	-----pH inicial-----		-----pH final-----	
			Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
3.1	1920	3	6.31333333	1.06702077	5.01666667	0.58705480
3.1	3840	3	6.60666667	0.42910760	5.82666667	1.30821762
5.6	1920	3	6.17000000	0.54671748	5.13666667	1.44139978
5.6	3840	3	6.57666667	0.13279056	5.59333333	0.36170891
7.8	1920	3	6.58666667	0.08082904	4.69333333	0.28536526
7.8	3840	3	6.96333333	0.07637626	6.14666667	0.21571586

The SAS System 11:48 Thursday, January 17, 2015 179

The GLM Procedure

Level of AGITA	Level of AIRE	N	-----PBRUTA-----		-----PVERDADERA-----	
			Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
3.1	1920	3	15.63333333	0.32036438	7.17333333	0.37166293
3.1	3840	3	14.86000000	0.74222638	7.64000000	1.37579068
5.6	1920	3	15.87666667	0.45544850	6.32333333	0.39551654
5.6	3840	3	15.76666667	1.34198857	8.27666667	1.31043250
7.8	1920	3	16.43666667	1.46411520	6.36333333	1.43308525
7.8	3840	3	15.82666667	0.88035977	8.37000000	1.56703542

The GLM Procedure

AGITA	Level of	Level of	----EFICIENCIA-----		-----MSECA-----	
	AIRE	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
3.1	1920	3	45.8643333	1.4425347	96.4666667	1.0569926
3.1	3840	3	51.5770000	10.5066797	93.9300000	3.4221192
5.6	1920	3	39.8056667	1.5458817	94.4433333	0.3695042
5.6	3840	3	52.2803333	3.7718166	94.1233333	0.3865661
7.8	1920	3	38.3823333	5.5871868	69.8833333	46.4060431
7.8	3840	3	52.6340000	6.7670035	95.3333333	1.3677110

The GLM Procedure

AGITA	Level of	Level of	-----FDN-----		-----FDA-----	
	AIRE	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
3.1	1920	3	39.6900000	2.36584023	21.3533333	1.46711735
3.1	3840	3	43.5466667	7.94277240	23.1900000	2.52719212
5.6	1920	3	39.9566667	0.77008658	21.7366667	2.39650440
5.6	3840	3	38.7400000	3.83583107	21.8333333	2.59087501
7.8	1920	3	40.1700000	0.68088178	24.6833333	2.23848907
7.8	3840	3	35.1400000	2.46219414	21.9933333	4.62668708

The SAS System 11:48 Thursday, January 17, 2015 179

The GLM Procedure

Level of AGITA	Level of AIRE	N	---Cenizas---		----Degradación----	
			Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
3.1	1920	3	7.91333333	1.61933114	68.1866667	1.26318381
3.1	3840	3	8.28000000	0.37643060	64.3766667	4.51655104
5.6	1920	3	8.24666667	0.65546421	68.9800000	0.26514147
5.6	3840	3	8.67666667	0.17214335	67.4433333	1.70391706
7.8	1920	3	8.91000000	0.55434646	69.4766667	3.38876575
7.8	3840	3	8.08333333	1.32952372	71.4933333	4.59510972

The SAS System 11:48 Thursday, January 17, 2015 179

The GLM Procedure

Level of AGITA	Level of AIRE	N	---Temperatura 1---		----Temperatura 12----	
			Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
3.1	1920	3	25.3333333	0.57735027	36.6666667	1.15470054
3.1	3840	3	27.6666667	2.51661148	34.3333333	6.65832812
5.6	1920	3	30.0000000	5.0000000	38.0000000	2.64575131
5.6	3840	3	27.0000000	2.64575131	39.3333333	1.15470054
7.8	1920	3	25.0000000	0.0000000	38.3333333	3.51188458
7.8	3840	3	31.0000000	3.60555128	42.6666667	2.51661148

The SAS System 11:48 Thursday, January 17, 2015 179

The GLM Procedure

Level of	Level of		----Temperatura 24----		-----Humedad 1----	
AGITA	AIRE	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
3.1	1920	3	36.33333333	2.51661148	33.33333333	11.5470054
3.1	3840	3	27.66666667	7.23417814	40.0000000	20.0000000
5.6	1920	3	33.33333333	8.08290377	36.6666667	15.2752523
5.6	3840	3	40.66666667	1.52752523	26.6666667	5.7735027
7.8	1920	3	28.66666667	8.08290377	16.6666667	5.7735027
7.8	3840	3	41.66666667	0.57735027	30.0000000	10.0000000

The SAS System 11:48 Thursday, January 17, 2015 179

The GLM Procedure

Level of	Level of		----humedad 12-----		-----humedad 24-----	
AGITA	AIRE	N	Mean	Std Dev	Mean	Std Dev
3.1	1920	3	60.0000000	0.0000000	30.0000000	10.0000000
3.1	3840	3	46.66666667	11.5470054	60.0000000	0.0000000
5.6	1920	3	40.0000000	17.3205081	56.6666667	5.7735027
5.6	3840	3	56.66666667	5.7735027	56.6666667	5.7735027
7.8	1920	3	40.0000000	20.0000000	53.3333333	11.5470054
7.8	3840	3	46.66666667	23.0940108	43.3333333	11.5470054

Anexo 2. Composición química de los alimentos fermentados a base de Caña de azúcar

COMPONENTES %	TRATA						EE±
	1	TRATA 2	TRATA 3	TRATA 4	TRATA 5	TRATA 6	
pH Inicial	6.31 ^a	6.17 ^a	6.58 ^a	6.60 ^a	6.57 ^a	6.14 ^a	0.27
pH Final	5.01 ^a	5.13 ^a	4.69 ^a	5.82 ^a	6.52 ^a	6.96 ^a	0.73

ab Medias con diferente literal en la misma fila difieren a $P \leq 0.05$

Anexo 3. Composición química de los alimentos fermentados a base de Caña de azúcar

COMPONENTES %	TRATA	TRATA	TRATA	TRATA	TRATA	TRATA	EE±
	1	2	3	4	5	6	
Proteína cruda	15.63 ^a	15.87 ^a	16.43 ^a	14.86 ^a	15.76 ^a	15.82 ^a	0.93
Proteína verdadera	7.17 ^a	6.32 ^a	6.36 ^a	7.64 ^a	8.27 ^a	8.37 ^a	1.40
Eficiencia	45.86 ^a	39.80 ^a	38.38 ^a	51.57 ^a	52.28 ^a	52.63 ^a	34.34

ab Medias con diferente literal en la misma fila difieren a $P \leq 0.05$

Anexo 4. Composición química de los alimentos fermentados a base de Caña de azúcar

COMPONENTES (%)	TRATA 1	TRATA 2	TRATA 3	TRATA 4	TRATA 5	TRATA 6	EE ±
Cenizas	7.91 ^a	8.24 ^a	8.91 ^a	8.28 ^a	8.67 ^a	8.08 ^a	0.88
FDN	21.35 ^a	21.73 ^a	24.68 ^a	23.19 ^a	21.83 ^a	21.99 ^a	15.08
FDA	39.69 ^a	39.95 ^a	40.17 ^a	43.54 ^a	38.74 ^a	35.14 ^a	7.90
Materia seca	96.47 ^a	94.44 ^a	69.88 ^a	93.93 ^a	94.12 ^a	95.33 ^a	361.41
Degrada.	68.18 ^a	68.98 ^a	69.47 ^a	64.37 ^a	67.44 ^a	71.49 ^a	9.59

ab Medias con diferente literal en la misma fila difieren a $P \leq 0.05$

Anexo 5. Comportamiento de temperaturas

COMPONENTES (%)	TRATA 1	TRATA 2	TRATA 3	TRATA 4	TRATA 5	TRATA 6	EE ±
Temperatura 1	25.33 ^a	30.00 ^a	25.00 ^a	27.66 ^a	27.00 ^a	31.00 ^a	8.61
Temperatura 12	36.66 ^a	38.00 ^a	38.33 ^a	34.33 ^a	39.33 ^a	42.66 ^a	12.11
Temperatura 24	36.33 ^a	33.33 ^a	28.66 ^a	27.66 ^a	40.66 ^a	41.66 ^a	32

ab Medias con diferente literal en la misma fila difieren a $P \leq 0.05$

Anexo 6. Comportamiento de humedad

COMPONENTES (%)	TRATA 1	TRATA 2	TRATA 3	TRATA 4	TRATA 5	TRATA 6	EE ±
Humedad 1	33.33 ^a	36.67 ^a	16.67 ^a	40.00 ^a	26.67 ^a	30.00 ^a	155.55
Humedad 12	60.00 ^a	40.00 ^a	40.00 ^a	46.67 ^a	56.67 ^a	46.67 ^a	4.75
Humedad 24	30.00 ^b	56.66 ^a	53.33 ^a	60.00 ^a	56.66 ^a	43.33 ^{ba}	72.22

ab Medias con diferente literal en la misma fila difieren a $P \leq 0.05$

Anexo 7. Características del fermentador después de los 18 ensayos de trabajo

El equipo, previo al inicio de la investigación de tesis fue ajustado de manera general. Durante los 18 ensayos trabajó de forma continua y sin problema alguno, sin embargo al final, presento un deterioro en su estructura y funcionamiento.

1. Calentador del aire. El cableado de su instalación no resistió las altas temperaturas de trabajo y se quemó, porque es necesario cambiarlo por cable de asbesto.
2. El compresor no tuvo potencia para suministrar el aire con la suficiente presión.
3. Medidores de temperatura y de humedad, se requiere reubicarse, para evitar contacto con el eje del cilindro.
4. El tanque fermentador de plástico y laminado, se deterioró y se desajusto de tal forma que se desoldó, la parte laminada con el tanque de plástico. Esto debido a la intensidad de trabajo realizado.
5. Las puertas de acceso para la carga y descarga del alimento requieren de pasadores fáciles de maniobrar, ya que por el peso del alimento hacían presión en las puertas, dificultando el acceso del material.



Figura 10. Entrada principal de aire



Figura 11. Eje central

Solo de la entrada principal se percibe el flujo de aire, pero también se necesita ajustar de tal forma que no haya la más mínima fuga de aire al exterior del equipo.



Figura 12. Problemas con el aspa



Figura 13. Perdida de tornillos

El aspa que se observa en la imagen puede estar haciendo contacto con los medidores de temperatura y humedad.



Figura 14. Perdida de cerradura



Figura 15. Desunión del tanque

Los tornillos que mantenían unidos a los tanques se fueron perdiendo al transcurso del trabajo, por lo tanto ocasionó la separación de estos.

La cerradura o pasador no son de lo más idóneo, ya que el alimento hacia presión y era difícil poder abrir las puertillas, por lo consiguiente no resistió y se desoldó.



Figura 16. Pérdida de tornillo que unían al tanque puertas



Figura 17. Se desoldaron las

En las imágenes se muestra como está separado el tanque plástico con el tanque laminado, de la misma forma se observa cómo se desoldó las uniones entre ambos tanques. Las imágenes mostradas son tomadas con el fermentador vacío, cuando este trabaja a su máxima capacidad se aprecia como de desunen las soldaduras.



Figura 18. Partes desoldadas



Figura 19. Cerrojos rotos

Anexo 8. Propuesta de trabajo para realizar en el fermentador y mejorar su funcionamiento en la elaboración de alimentos con caña de azúcar.

1. Realizar un cilindro de acero inoxidable calibre 14 cerrado de diámetro = 44” x 2.44 m de largo
2. Construir 2 compuertas; una de alimentación en la parte superior de 24” x 24” con bisagras y mariposa de seguridad con cono tipo campana; y otra compuerta de descargue de 50 x 40 cm ambas con empaque de hule
3. Construir un eje interno de acero inoxidable, con hélice inoxidable con aspas encontradas y separadas 2 cm de la pared del cilindro; con limpiadores de hule adaptadas a la hélice.
4. Colocar 2 mirillas de acrílico de 4 o 6” para observar el mezclada del alimento
5. Suministro de aireación por un compresor conectado a 5 boquillas conectadas a un tubo de acero inoxidable de ½ “ pasando por un sistema de calentamiento (resistencia) para calentar el aire, debe ser conectado con cable de asbesto; este calentador se le colocara un termostato para control de temperatura.
6. Tendrá un sistema de suministro de agua con espreas de 3/8” que tenga presión
7. Se colocara un gato con un motor reductor para subir y bajar el cilindro, de tal forma que tenga una inclinación para el descargue del alimento
8. Al compresor se le construirá un tanque alterno de 100 litros
9. Colocar una polea de velocidad variable de 3 a 8 rpm
10. Al motor colocarle bisagras y resorte de tensión
11. Se le implementara la colocación de termómetros y un hidrómetro para monitorear la temperatura y la humedad.