

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



**EVALUACIÓN BROMATOLÓGICA Y DIGESTIBILIDAD *in vitro* DE NOPAL
(*Opuntia ficus-indica*) ADICIONADO
CON SUBPRODUCTOS DE CERVECERÍA**

POR:

AMAURY ÁBREGO GARCÍA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2009

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

EVALUACIÓN BROMATOLÓGICA Y DIGESTIBILIDAD *In vitro* DE NOPAL
(*Opuntia ficus-indica*) ADICIONADO
CON SUBPRODUCTOS DE CERVECERÍA

Por:

Amaury Ábrego García

Tesis

Que somete a la consideración del Honorable Jurado Examinador como
requisito para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobado por:

Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez
Asesor principal

Dr. Fernando Ruiz Zárate
Sinodal
Ing. Gerardo Montero Almora
Sinodal

El Coordinador de la División de Ciencia Animal

Ing. Rodolfo Peña Oranday

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México
Mayo de 2009

Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"



COORDINACIÓN DE
CIENCIA ANIMAL

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Francisca García Silva y Enrique Ábrego Cabrera, por darme la vida y brindarme sin impaciencia todo su apoyo.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, por su generosidad y hospitalidad, pero sobre todo, por su imprescindible ayuda en mi formación profesional.

Al Dr. Jesús M. Fuentes Rodríguez, por su asesoría y revisión de la presente tesis.

Al Dr. Fernando Ruíz Zarate, por la ayuda que me brindo tanto en el análisis estadístico como en la revisión y sugerencias finales del presente trabajo.

Al Ing. Gerardo Montero Almora, por las sugerencias y revisión de la presente tesis.

A mis profesores, por orientarme en un mundo de infinito conocimiento, principalmente a todos los que buscan algún sentido para enfrentar con ímpetu y responsabilidad su trabajo.

Al T.L.Q. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel, por su ayuda en la realización de los análisis de laboratorio

DEDICATORIA

A mi madre Francisca García Silva, tu amor, comprensión, esfuerzo, son mi inspiración y mi más bello tesoro, a mi padre Enrique Ábrego Cabrera, por enseñarme a ser libre, tú apoyo y dedicación son reflejo de mi ser.

A mi hermanita Dxulady, por restar con cariño y alegría el agobio de la cotidianidad, a mi hermana Tania, por todo el ánimo y firme apoyo que me has brindado para concluir este etapa de mi vida, a mis sobrinos, L. Enrique y L. Amaury; ¡Dios los bendiga! A Cecilia, por estar a mi lado, tu ayuda y esmero creó en horas de impaciencia, serenidad para concluir este proyecto. A Tarrés por su lúcido y aliciente canto.

A los Dres. Fernando Ruíz Z. y Ramiro López T., por enseñarme el lado consciente de esta profesión. A mis amigos; Erick Ismael, Donaldo, Viridiana Juárez, Saloome García, Roberto Roger, Rafael Espinoza, José Luis Rivera, José Manuel Ortiz (...).

¡Gloria eterna a la generación CVI de Zootecnia!

ÍNDICE

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE CUADROS | vii |
| INDICE DE FIGURAS | viii |
| RESUMEN | ix |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| Objetivos..... | 3 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| Descripción Botánica..... | 4 |
| Nomenclatura de <i>O. ficus-indica</i> | 4 |
| Descripción física de <i>O. ficus-indica</i> | 5 |
| Valor forrajero de <i>O. ficus-indica</i> | 5 |
| Producción especializada de <i>O. ficus-indica</i> | 6 |
| Relación nutricional de la planta con la estacionalidad..... | 7 |
| Relación nutricional de la planta con la edad..... | 7 |
| Contenido de minerales..... | 9 |
| Digestibilidad de <i>Opuntia ficus-indica</i> | 10 |
| Consumo de Nopal sobre cambios en el pH ruminal..... | 11 |
| Concentración de Ácidos Grasos Volátiles (AGV)..... | 12 |
| Efectos laxantes..... | 12 |
| Caracterización de los Granos Húmedos de Cervecería (GHC)..... | 14 |
| Inclusión de GHC en raciones para rumiantes..... | 15 |
| Particulares de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (Sc)..... | 17 |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en la digestibilidad de la fibra..... | 18 |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> sobre cambios pH ruminal..... | 19 |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en el consumo de materia seca..... | 19 |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> y su efecto sobre parámetros productivos..... | 20 |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i> en la concentración de AGV..... | 21 |
| Particularidades de la melaza..... | 22 |

| | |
|---|-----------|
| Valor nutricional de la Melaza | 23 |
| Efecto de la melaza en el proceso de ensilado | 23 |
| Efecto de la melaza sobre parámetros productivos. | 25 |
| 3. MATERIALES Y METODOS | 26 |
| Localización del área de estudio..... | 26 |
| Descripción de los tratamientos..... | 26 |
| Procedimiento experimental..... | 26 |
| Análisis Estadístico..... | 28 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 29 |
| Evaluación bromatológica de Nopal con subproductos de cervecería..... | 29 |
| Tasa de Degradación <i>in vitro</i> de la Materia Seca..... | 37 |
| Tasa de Degradación <i>in vitro</i> de la Materia Organica..... | 41 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 44 |
| 6. LITERATURA CITADA..... | 45 |
| 7. ANEXO..... | 51 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Pág. |
|---|------|
| 2.1 Nomenclatura de <i>O. ficus-indica</i> | 4 |
| 2.2 Composición química del nopal en diferentes épocas del año..... | 7 |
| 2.3 Contenido de nutrientes de tres especies de nopal forrajero de tres edades..... | 8 |
| 2.4 Composición mineral promedio (MS) de frutos y cladodios de <i>O. ficus-indica</i> | 9 |
| 2.5 Digestibilidad <i>in vitro</i> de nopal <i>O ficus-indica</i> en diferente época anual..... | 11 |
| 2.6 Degradación ruminal <i>in situ</i> de materia seca (MS) de dos variedades de Opuntia AN-FV1, AN-TV6..... | 11 |
| 2.7 Composición bromatológica y mineral del residuo de cebada cervecera (<i>Hordeum spp</i>)..... | 15 |
| 4.1 Evaluación bromatológica del nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza..... | 30 |
| 4.2 Evaluación bromatológica del nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en dos procesos y ocho tratamientos..... | 30 |
| 4.3 Digestibilidad de la materia seca (MS) de Nopal <i>in natura</i> adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en seis tiempos de incubación..... | 39 |
| 4.4 Digestibilidad de la MS de Nopal ensilada adicionado con sub productos de cervecería y melaza, en seis tiempos de incubación..... | 41 |
| 4.5 Digestibilidad de la materia orgánica (MO) de Nopal <i>in natura</i> adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en seis tiempos de incubación..... | 42 |
| 4.6 Digestibilidad de la MO de Nopal ensilada adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en seis tiempos de incubación..... | 43 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| 4.1 Materia Seca de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería..... | 31 |
| 4.2 Cenizas de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería..... | 32 |
| 4.3 Proteína Cruda de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería..... | 33 |
| 4.4 Extracto Etéreo de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería y melaza..... | 34 |
| 4.5 Fibra Detergente Neutro de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería y melaza..... | 35 |
| 4.6 Fibra Detergente Acido de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería y melaza..... | 36 |
| 4.7 pH de Nopal ensilado adicionado con subproductos de cervecería y melaza a los 30 días..... | 37 |
| 4.8 Digestibilidad de la materia seca (MS) de Nopal <i>in natura</i> adicionado con subproductos de cervecería, en seis tiempos de incubación..... | 39 |
| 4.9 Digestibilidad de la MS de Nopal ensilada adicionado con subproductos de cervecería, en seis tiempos de incubación..... | 41 |
| 4.10 Digestibilidad de la materia orgánica (MO) de Nopal <i>in natura</i> adicionado con subproductos de cervecería, en seis tiempos de incubación..... | 42 |
| 4.11 Digestibilidad de la MO de Nopal ensilada adicionado con subproductos de cervecería, en seis tiempos de incubación..... | 43 |

RESUMEN

Las condiciones hostiles usuales para la obtención de forrajes en las zonas desérticas de México, propician desarrollar alternativas que puedan optimizar los recursos naturales disponibles en estas áreas, el uso del nopal como forraje ha sido opción potencial para el consumo animal. Resulta sugestivo el uso de subproductos de cervecería, para mejorar la digestibilidad o composición bromatológica del nopal, puesto que su precio es reducido, ya que ambos contienen valores nutricionales aceptables. Por tal motivo se planteó como objetivos principales: estimar la composición química y la tasa de digestibilidad *in vitro* de nopal (*Opuntia ficus-indica*), enriquecido con levadura (*Sacharomices cerevisiae*), granos húmedos de cervecería y melaza, tanto para comparar la calidad nutricional ensilada como *in natura*.

La evaluación bromatológica del nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza, mostro diferencias altamente significativas entre la biomasa ensilada e *in natura*, para las variables; MS (87.06-92.21 %), Cenizas (19.09-17.31 %), PC (11.11 -12.60 %), MO (69.75-60.53 %), FC (13.84-12.17 %), FDN (25.13-31.59 %), respectivamente, el contenido de EE (4.02-3.81 %), ELN (47.12-48.16 %) y FDA (19.13-9.15 %) no mostraron diferencias previas o posteriores al ensilaje, la MS (87.06-92.21 %), Cenizas(17.31-19.09 %), MO (60.53-69.75 %), FDN (25.13-31.59 %) y FC (12.17-13.84 %); presentan un aumento porcentual sucesivo al ensilaje, por el contrario de PC (11.11-12.60 %) que presenta mejor contenido *in natura*. En la digestibilidad *in vitro* de la MS de nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza, se encontraron diferencias altamente significativas entre la biomasa ensilada e *in natura*, los tratamientos previos al ensilaje presentaron mejores porcentajes de digestibilidad. Se encontraron diferencias ($P < 0.01$) entre los porcentajes de nopal y subproductos -tratamientos- evaluados, es decir, las cantidades de nopal y subproductos evaluados, derivaron incrementos o en algunos casos disminuciones en su digestibilidad, observando que los tratamientos con algún tipo de subproductos alcanzaron mejores coeficientes de digestibilidad, donde sobresale el T₂ (80 % de nopal + 10% de levadura + 10% de melaza) *in natura* alcanzando un porcentaje

máximo de digestibilidad 77.95 a las 72 hr. Los tiempos de incubación (Factor C) 96, 72, 48, 24 hr, no mostraron significancia, pero presentan diferencias altamente significativas con los tiempos 12 y 0, siendo estos dos los tiempos con menores porcentajes de digestibilidad.

El contenido de nutrientes en la biomasa ensilada con nopal (60 %), levadura (10 %), masilla (20 %) y melaza (10 %), su tasa de degradación *in vitro*, presenta una alternativa de alimentación, donde se utilizan altas cantidades de nopal con un contenido proteico adecuado, no solo para mantenimiento en épocas de estiaje, sino para periodos productivos y de mayor demanda nutricional en rumiantes al mínimo costo. El ensilado de esta biomasa puede ser un método de conservación sobre todo cuando se tienen grandes cantidades de masilla, levadura y el nopal se encuentre en un estado fisiológico óptimo para consumo animal.

Palabras Clave: Nopal (*O. ficus indica*), análisis bromatológico, tasa de degradación *in vitro*, subproductos de cervecería.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a las condiciones prevalecientes en las zonas desérticas del país, es necesario desarrollar alternativas que puedan optimizar los recursos naturales disponibles en estas áreas, el uso del nopal como forraje en definitiva ha sido opción potencial para consumo animal. En México (Reyes, 2005) menciona que existen entre 66 y 83 especies de *Opuntia (sensu stricto)*. La Altiplanicie Meridional es la región del país con la mayor riqueza de variantes del género, con 29 especies. También en esta altiplanicie se encuentra la mayor riqueza de variantes cultivadas del género. La importancia económica que ha adquirido el nopal en México, sus numerosas variantes útiles, su amplia variación morfológica y el interés de los fitomejoradores ha motivado el estudio de la variabilidad morfológica de *Opuntia*, en especial de sus órganos de interés económico.

De acuerdo con Murillo (2001) en México más del 66 % de su territorio es de zonas áridas y semiáridas, donde el forraje invernal de buena calidad es escaso y costoso, por lo que la alimentación del ganado se dificulta. El nopal es una planta que, por sus adaptaciones morfológicas y fisiológicas, puede crecer en estas condiciones agroclimáticas, y que es utilizado para la alimentación del ganado de noviembre a mayo, en que no hay precipitación pluvial. Sin embargo, es un forraje de bajo valor energético.

La escasez de forraje en épocas de estiaje, el alza y la inestabilidad de insumos alimenticios habituales en la ganadería, lacera no solo a pequeñas o medianas unidades de producción, embate incluso a crecidos monopolios pecuarios, dificulta aprovechar aperturas comerciales sobre todo para los estados fronterizos, circunstancias que precisan disminuir los costos en la formulación de raciones de suplementación y generar investigaciones que justifiquen el uso de ingredientes menos costosos.

Las características particulares del nopal como forraje son su alto contenido de humedad, fibra y cenizas; pero con un bajo contenido de proteína cruda. Estas características hacen que se tengan que diseñar sistemas de alimentación y/o

suplementación para poder realizar un aprovechamiento eficiente de este recurso (Gutiérrez, 2005).

Diversas pruebas experimentales han logrado combinar las cualidades nutritivas del nopal, con aditivos, para mejorar su digestibilidad o composición química (principalmente el contenido proteico), resulta sugestivo el uso de subproductos de cervecería que puedan ser incluidos en la dieta animal, para alcanzar el propósito anterior, puesto que su precio es reducido, y ambos contienen valores nutricionales aceptables.

Los granos de cervecería (Dhiman *et al.*, 2003) son el material que queda después de que los granos han sido fermentados durante el proceso de elaboración de la cerveza. Estos materiales pueden ser ofrecidos en forma seca como granos cerveceros GHC o bien en forma húmeda como lo es el bagazo de cerveza (GHS). El grano es extraído principalmente de la cebada fermentada para producir cerveza, tiene aproximadamente 23 % de PC y es alto en fibra digestible. Debido a su naturaleza fibrosa y contenido medio de energía (1.92 Mcal ENI), los granos de cervecería son convenientes para rumiantes, en particular para vacas lecheras. Estrada (2003) alude una serie de evidencias a nivel de pruebas *in vitro* donde se demuestra que la adición de levadura en la dieta incrementa el número de bacterias celulolíticas a nivel ruminal; además incrementa la ingestión de materia seca, regula la producción de amonio, se refuerza la proteólisis y aumenta la digestión de la fibra contenida en el alimento. La influencia que tiene la levadura es sobre todo como suplemento en las dietas fibrosas para rumiantes.

Se debe hacer constar que para la mayor parte de estos subproductos de cervecería utilizados es muy difícil cuantificar su valor, puesto que la mayoría de los ganaderos o bien sólo pagan el corte o disponen de medios propios para hacer llegar los subproductos hasta la explotación, sin desembolso específico que ellos cuantifiquen, como es el trabajo personal, gasolina, amortización de vehículo, etc. Desde un punto de vista económico estos subproductos sólo deberán ser introducidos en la ración cuando la relación costo por unidad proteica y/o de energía metabolizable sea competitiva con el resto de los productos de uso tradicional (Martínez *et al.*, 1998).

Entre las desventajas de los subproductos de cervecería, está el alto contenido de humedad, lo que dificulta su traslado y almacenaje, uno de los métodos más usuales de conservación para esta clase de alimentos es el ensilaje, lo que permite preservar a la par con; zacates, granos, esquilmos agrícolas, entre otros, razón que justifica la inclusión del recurso vegetal –nopal-, en franjas donde se disponga de ambos.

En la presente investigación se plantearon los siguientes objetivos:

1. Estimar la composición química y digestibilidad *in vitro* del nopal (*Opuntia ficus-indica*) con diferentes niveles de levadura (*Sacharomices cerevisiae*), granos húmedos de cervecería y melaza.
2. Comparar la calidad nutricional de los ingredientes ensilados y no ensilados (*in natura*).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Descripción Botánica

Nomenclatura de *O. ficus-indica*

Según Reyes *et al.*, (2005) el nopal es la cactácea de mayor importancia económica en el mundo, existen un número inexacto de los nombres con los que es designada, ya que es una planta aprovechada para consumo humano –cladodios jóvenes y fruto-, como nopal forrajero sin espinas, representa una ventaja sobre las demás especies del genero opuntia.

Cuadro 2.1. Nombres comunes de *Opuntia ficus-indica* en el mundo. Los nombres marcados (†) corresponden a cultivos en plantaciones comerciales.

| País | Nombre |
|----------------|---|
| África | |
| Etiopia | Beles |
| Sud África | Algerian†, Burbank†, Direktur† and Fasicaulist† |
| América | |
| Argentina | Amarilla†, Higo de las Indias, Naranja† and Rosada† |
| Brazil | Jamaracá, Jurumbeba, Orelha de Onca, Palma, Palma Adensada, Palma de Gado, Palma Forrageira, Palama Gigante and Palmatória |
| Chile | Amarilla†, Plateada†, Tunal and Verde† |
| Colombia | Cardón de México, Chumbera, Higo Chumbo and Higo de México |
| México | Amarilla†, Amarilla sin Espinas, Atlixco†, Blanco†, Cenizo, Copena F-1†, Copena-V1†, Liso, Liso Blanco, Manzana sin Espinas, Milpa Alta†, Morada†, Moradilla†, Negro, Nopal de Castilla, Nopal sin Espinas, Nopalito de California, Negro†, Nunca Vista, Pelón, Pellejo de rata, Plátano, Polotitlán, Redonda, Roja Lisa †, Roja San Martín†, Rojo Pelón, |
| Puerto Rico | Alquitira, Higo Chumbo and Tuna de España. |
| Venezuela | Higo de Pala, Higuera de Plata, Tuna Española, and Tuna Real |
| Asía | |
| Israel | Barbary Fig, BS1†, Idian Fig, Ofert†, Sabra and Tuna |
| Europa | |
| Francia | Cactus Raquette, Chardon d' Inde, Figuer a Raquetes, Figuier Indica |
| Italia | Bianca†, Erba da Calli, Fico d' India, Fritelle, Gialla†, Gialla Sarda, Nopale, Opunzia, Rossa†, Sanguigna†, and Truzara† |
| Portugal | Figueira da India, Figueira de Barbária, Figueira do Inferno, Figueira Moura and Tabaibo |
| España | Blanco†, Choya Chumbera , Chumbera, Figuéra de Moro, Figuerassa, Higo Chumbo, Higo de Barbaria, Higo de las Indias, Higo de Pala, |

Fuente: Reyes *et al.*, (2005).

Descripción física de *O. ficus-indica*

De acuerdo con Anónimo, 1977; citado por Reyes *et al.*, (2005), la *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Plantas de arbustivas a arborescentes, de 1.7 (-3) m de altura, con un tallo primario lignificado, bien definido. Tallo castaña oscura, verde o gris, cilíndrica, de 45 cm de largo a 20 cm de diámetro. Cladodios usualmente elípticos, pero también obovados, ovados, circulares, oblongos, oblanceolados o rómbicos, (27-) 32-44 (-63) cm de largo en cladodios de dos a tres años de edad (14-) 18-25 (-31) cm de anchura, (1-) 1.8-2.3 (-3) cm de grosor, con un área de (356-) 462-796 (-1182) cm² por lo general verde pálido (Munsell color 2.5 GY 6/2), de verde pálido (2.5G/Y 8/2) a oscuro (7.5 GY 7/4), con (-6) 8-11 (-19) series de aureolas espirales, con una distancia entre series de (2.7-) 3-4 (-5) cm; cladodios jóvenes con poda predominante, con hojas cónicas de 5.7 mm de longitud, las areolas con 0-1 espina acicular y 0-2 espinas cerdosas. Aréolas de cladodios desarrollados (38-) 52-69 (-80) por cara, con densidad de (4-) 8-14 (-18) aréolas por cada 100 cm² elípticos, obovados, oblanceolados u ovados, raramente circulares o rómbicos, (2-) 3-4 (-8) mm de longitud, 2-3 (-5) mm de anchura. Las espinas usualmente están ausentes, pero a veces hay pocos cladodios con una espina, generalmente acicular, hundida y blanca, (3-) 4-7 (-10) mm de longitud. Los gloquidios generalmente son abundantes en las areolas próximas al cladodio pero algunas veces ausentes. El fruto usualmente es turbinado, algunas veces esférico o elíptico, frecuentemente amarillo brillante (Musell color 2.5 GY 8/6), de amarillo pálido (2.5 y 7/10) a rojo purpura (5RP 4/6), menos frecuentemente en combinación de amarillo/verde o amarillo/rojo, (5-) 7-9 (-10) cm largo, (4-) 5-6 (-7) cm de anchura, (45-) 86-146 (-233) g peso; de no umbilicado hasta umbilicado, con el umbilico (0-) 3-8 (-13) mm de profundidad, (13-) 20-27 (-33) mm de diámetro: cáscara con (39-) 51-69 (81) aréolas, (1-) 2-4 (-10) mm de grosor; la pulpa del mismo color que el de la cascara, pero frecuentemente de un color contrastante, pulposo y jugoso, de ligeramente a muy dulce (7.4-) 12.4-15.5 (-16.8) °Brix; semilla de lenticulada a ampliamente elipsoidal (81-) 188-335 (-450) por fruto, de las cuales ca. 35-40% son abortivas, las normales (3.2-) 4-4.5 (-5) mm de longitud, (2.7-) 3.2-3.8 (-4.2) mm de anchura, (0.8-) 1.2-1.6 (-1.9) mm de grosor, (32-96-253)(-392) kgf dureza.

Valor forrajero de *O. ficus-indica*

Producción especializada de *O. ficus-indica*

Las plantaciones de *Opuntia* para la producción especializada de forraje en México no son comunes, debido a que las poblaciones silvestres actúan como reservas naturales de forraje para el ganado. Sin embargo, estos sitios se encuentran en riesgo debido al uso excesivo y daños por heladas severas observadas en la última década. Las plantaciones de *Opuntia* para producir forraje podrían reducir la presión sobre las poblaciones silvestres, a la vez que mejorarían la rentabilidad de la producción de leche y carne (Mondragón *et al.*, 2003). Paradójicamente Méndez (2006) detalló a *Opuntia sulphurea* como un indicador de deterioro en la calidad forrajera en sitios de apacentamiento. Debido a su elevada presencia, ya que esta especie no es consumida por el ganado podría ser reconocida como un indicador de sobre pastoreo. Comprobó que *O. sulphurea* aumentó su densidad de 1.3 plantas/100 m² en el área levemente pastoreada a 15.9 plantas/100 m² en la sobre pastoreada, este aumento fue favorecido por la propagación agámica a través de sus cladodios y facilitado por el ganado.

La producción en hidroponía ha tenido respuesta satisfactoria para mejorar los rendimientos y composición química del nopal forrajero, en el caso particular de *O. ficus-indica*, Ramírez (2007) y Mondragón *et al.*, (2003) bajo cultivos hidropónicos, determinaron los siguientes nutrientes: proteína cruda (PC) 19.5-16.55 %, los porcentajes de fibra insoluble en detergente neutro (FDN), en detergente ácido (FDA) fueron: 34.4-33.08 %, 17.6-18.53 % y un contenido de 29.5-24.59 % para cenizas, respectivamente, valores aún superiores a los expuestos por Araújo *et al.*, (2008) con el objetivo de incrementar el contenido proteico de la palma forrajera de nopal *O. ficus-indica*, observaron que la adición de 3 % *Sacharomyces cerevisiae* comercial incremento de 8.0 a 9.17 % el contenido de (PC), el contenido de FDN y FDA también fueron incrementados de; 46.8 a 48.47 % para FDN y de 25.6 a 27.73 % para FDA.

Relación nutricional de la planta con la estacionalidad

La composición de los cladodios de cactus varía dependiendo de los factores edáficos en el sitio de cultivo, la estación, la edad de la planta, entre especies y variedades (Stintzing y Carle, 2005). Un aspecto básico para el uso forrajero del nopal, es la correlación entre estacionalidad y contenido principalmente de proteína, de acuerdo a Ramos *et al.*, (1998) la proteína metabolizable es el principal nutriente limitante en el crecimiento de bovinos. El (Cuadro 2.2) asocia cuatro análisis realizados en áreas de estudio paralelas, con similar material vegetativo y variables a estimar, determina la caracterización bromatológica del nopal *O. ficus-indica*, cortadas en cada estación del año.

Cuadro 2.2. Composición química del nopal en diferentes épocas del año.

| Estación | <i>Opuntia ficus-indica</i> / Concepto ¹ | | | | | | | Autor |
|-----------|---|-------|------|------|-------|-------|-------|---------------|
| | MST | C | PC | EE | FC | ELN | M O | |
| Primavera | 93.43 | 31.15 | 6.89 | 2.1 | 17.89 | 41.97 | 62.28 | Gopar, 2001 |
| Verano | 91.05 | 27.92 | 8.71 | 1.98 | 14.59 | 46.80 | 65.62 | Salas, 2004 |
| Otoño | 90.94 | 21.04 | 9.14 | 1.48 | 14.47 | 54.69 | 69.90 | Sánchez, 2001 |
| Invierno | 94.45 | 28.55 | 8.48 | 2.58 | 16.58 | 56.19 | 65.8 | Montes, 2003 |

MST=Materia Seca total. C= Cenizas. PC=Proteína Cruda. EE=Extracto Etéreo.
ELN= Extracto Libre de Nitrógeno MO=Materia Orgánica. ¹ (%)

Relación nutricional de la planta con la edad

Otro factor inherente sobre el rendimiento de MS y calidad nutricional del nopal forrajero es la edad de la planta con relación al lapso del corte o cosecha. Por ejemplo: Sáenz (1997) señala que el contenido de fibra en cladodios de cactáceas se incrementa con la edad de la planta, un efecto que esto pudiera tener es que la lignina pudiera contribuir a disminuir el aprovechamiento alimenticio de este recurso; sin embargo, una alternativa de solución sería que durante el corte, se realice excluyendo el segmento cilíndrico del tallo (Padrón, 2008).

Baraza *et al.*, (2008) evaluaron diferentes recursos vegetales del Valle de Tehuacán, México, determinaron sus propiedades nutricionales y su potencial como complemento alimenticio en la ganadería caprina, dentro de las especies se encontró *O. ficus-indica*, en dos estados fenológicos; cladodios viejos (>1 año de edad) y jóvenes (1-2 meses), de cada uno determinaron la siguiente composición; Humedad 91.9-96.8 %, PC 5.7-14.2 %, EE 4-2.4 %, Cenizas 21.1-19 %, FC 12.4-10.5 %, ELN 56.7-53.9 %, TND 69.7-69.3 %, ED (Mcal/kg MS) 3.1-3.1, EM (Mcal/kg MS) 2.5-2.5, puntualizaron resultados de los componentes estructurales; FDN 30.1-38.6 %, FDA 20.9-15.5 %, sus fracciones; Hemi-celulosa 9.1-23 %, Celulosa 15-11.4 % y Lignina 5-3.9 %. Por otra parte Duque (2003), presenta la interacción entre la calidad nutritiva de tres especies de nopal con la edad de corte del cladodio, en los cuales no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Contenido de nutrientes de tres especies de nopal forrajero de tres edades (Duque, 2003).

| Nutriente | Especie/años | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------|------|------|------------------------|------|------|-------------------|------|------|
| | <i>O. robusta</i> | | | <i>O. ficus-indica</i> | | | <i>O. rastrea</i> | | |
| | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| MO, % | 82.6 | 85.3 | 84.0 | 82.3 | 81.2 | 81.1 | 69.8 | 67.8 | 66.2 |
| Cenizas, % | 17.3 | 14.6 | 15.9 | 17.6 | 18.8 | 18.9 | 29.9 | 32.1 | 34.2 |
| PC, % | 4.4 | 3.4 | 3.1 | 5.8 | 4.2 | 3.6 | 2.2 | 1.9 | 1.6 |
| FDN, % | 21.2 | 20.9 | 24.5 | 25.5 | 21.5 | 27.3 | 27.4 | 26.1 | 27.9 |
| FDA, % | 16.2 | 15.0 | 19.1 | 17.5 | 18.7 | 18.5 | 15.0 | 15.3 | 20.7 |
| TND, % | 75.7 | 77.2 | 72.2 | 74.1 | 72.7 | 72.9 | 77.2 | 76.9 | 70.2 |
| EN _L , Mcal/kg MS | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.5 |
| ED, Mcal/kg MS | 3.3 | 3.4 | 3.1 | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 3.4 | 3.3 | 3.0 |
| EM, Mcal/kg MS | 2.7 | 2.7 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.7 | 2.5 |
| EN _m , Mcal/kg MS | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.8 | 1.6 |
| EN _g , Mcal/kg MS | 1.1 | 1.5 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.2 | 1.0 |
| DEMS, % | 76.2 | 77.1 | 74.0 | 75.2 | 74.2 | 74.4 | 77.1 | 76.9 | 62.7 |
| CEMS, % | 6.3 | 5.8 | 4.9 | 4.7 | 5.6 | 4.4 | 4.4 | 4.6 | 4.4 |

Interacción especie × edad (P>0.05)

Contenido de minerales

En el caso de las cactáceas la composición de cenizas varía en las distintas especies y también dentro de una misma especie. Sus componentes principales son: Calcio y Potasio, pero también se encuentra algo de Magnesio, Sílice, Sodio y pequeñas cantidades de Hierro, Aluminio, y Manganeso, los cuales predominan en forma de carbonatos, aunque también se encuentran como cloruros, sulfatos y en pequeñas cantidades de fosfatos (Granados y Castañeda, 1996).

Rosquero, (2001) no encontró diferencias significativas ($P < 0.05$), en el contenido de Calcio entre las variedades: *O. ficus-indica*, *O. imbricata*, *O. lindheimeri* var. *subarmata*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* var. *tricolor*, pero encontró diferencias significativas en cada estación anual. El contenido de Fósforo en las especies y variedades presentó diferencias significativas, así como entre una estación y otra. Para *O ficus-indica*, en la temporada otoño-invierno, los contenidos de Fósforo fueron: 0.11421 % y 0.01592 %, en las estaciones de primavera-verano disminuyó a 0.1021 % y 0.0896 %. Al igual que otros nutrientes, la edad de la planta es otro factor de variación en su contenido mineral, Guzmán y Chávez, (2007) de cladodios *O. ficus-indica* de un mes y de un año de edad aprox., obtuvieron un contenido mineral: Ca .042-.339 %, Na .0018-.0183 %, K .00098-.01883 %, Fe .0792-.322 %, (expresado en base húmeda). En el (Cuadro 2.4) se puede observar que la composición mineral promedio de cladodios de *O. ficus-indica*, disminuye a mayor edad en la planta y que los frutos tienen menor contenido mineral comparados incluso con cladodios viejos.

Cuadro 2.4. Composición mineral promedio (% MS) de frutos y cladodios de *O. ficus-indica*. Tegegne, (2003).

| | Elemento | | | | |
|------------------------|-------------------|-------------------|------|------|------------------|
| | Ca | Mg | K | Na | P |
| Frutos | 0.45 ^c | 0.14 ^c | .40 | .07 | .37 ^a |
| Cladodios Jóvenes | 1.03 ^a | 0.20 ^a | .37 | .06 | .33 ^a |
| Cladodios mediana edad | 0.94 ^b | .19 ^a | .38 | .05 | .25 ^b |
| Cladodios Viejos | 0.73 ^b | .22 ^{ab} | .17 | .05 | .23 ^b |
| Probabilidad | p> 0.05 | p> 0.05 | Ns | Ns | p> 0.05 |
| Gran Media | .79 | .19 | .33 | .06 | .30 |
| Desviación estándar | 1.177 | .147 | .927 | .004 | .014 |

Notas: (1) literales diferentes indican significancia ($P > 0.05$). (2) ns= No significante

Digestibilidad de *Opuntia ficus-indica*

Todos los animales dependen de una buena alimentación para su crecimiento, mantenimiento y producción. Los rumiantes necesitan en su dieta forraje de buena calidad, para promover una buena eficiencia alimenticia que se traduzca a su vez en alta producción de carne o leche. Mientras mayor sea la digestibilidad de la fibra presente en un forraje mayor será su calidad (Church *et al.*, 2002).

López (2004) no encontró significancia en la digestibilidad *in vitro* de cuatro especies de nopal, aunque *O. ficus-indica* numéricamente fue la más alta (63.99%) Existen múltiples aditivos que pueden mejorar la digestibilidad de los alimentos, pruebas *in vitro* Gutiérrez, (1994) realizadas para incrementar tanto el contenido de proteína, como la digestibilidad en 2 genotipos de nopal *O. ficus-indica*, destacan la adición al genotipo ANV1 (10 y 20 %) de levadura $+(NH_4)_2 SO_4$, con lo cual obtuvo coeficientes de digestibilidad para proteína de 93.34 y 90.79 %, respectivamente, mientras el testigo solo alcanzó el 27.73 %. Medina *et al.*, (2006) tasaron el efecto de un sustrato de enzimas fibrolíticas exógenas (celulasas y xilanasas), sobre la digestibilidad *in situ* de la materia seca (DISMS), FDN y FDA residual, en dietas con harina de nopal *O. ficus-indica* deshidratado, observaron que la DISMS y de la FDN residual no fueron afectados por la inclusión de niveles de enzimas fibrolíticas, sin embargo la aplicación de 1 g del preparado de enzimas fibrolíticas, en una dieta alta de nopal deshidratado (33 %), mostró efecto sobre el incremento de los ácidos grasos volátiles y del nitrógeno amoniacal. El Cuadro 2.5 reúne la digestibilidad *in vitro* de la materia seca y materia orgánica del nopal *O. ficus-indica*, cortado en cada estación del año en Saltillo, Coahuila.

Cuadro 2.5. Digestibilidad *in vitro* de nopal en diferente época anual.

| Estación | <i>Opuntia ficus-indica</i> | | |
|-----------|-----------------------------|-----------|---------------|
| | DIVMO (%) | DIVMS (%) | Autor |
| Primavera | 58.8 | 63.49 | Gopar, 2001 |
| Verano | 49.95 | 59.40 | Salas, 2004 |
| Otoño | 65.96 | 63.99 | Sánchez, 2001 |
| Invierno | 84.46 | 45.04 | Montes, 2003 |

DIVMO=Digestibilidad *in vitro* de la Materia Orgánica

DIVMS=Digestibilidad *in vitro* de la Materia Seca

El Cuadro 2.6 muestra la Degradación ruminal *in situ* de materia seca (MS) de dos variedades de Opuntia, AN-FV1 y AN-TV6 con (levadura 10 % + Sulfato de amonio 20 %) y sin aditivo.

Cuadro 2.6. Degradación ruminal *in situ* de materia seca (MS) de dos variedades de Opuntia, AN-FV1 y AN-TV6 (Murillo, 2001).

| Hrs. | AN-FV1 MS | | DE | | AN-TV6 MS | | DE | |
|------|-----------|-------|------|------|-----------|-------|------|------|
| | A | T | A | T | A | T | A | T |
| 0 | 11.98 | 9.15 | 0.00 | 0.00 | 8.35 | 9.93 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 46.79 | 35.55 | 1.90 | 1.73 | 44.02 | 38.55 | 2.67 | 5.33 |
| 6 | 57.73 | 46.59 | 4.01 | 3.86 | 49.88 | 46.59 | 2.02 | 3.86 |
| 12 | 65.29 | 57.89 | 1.05 | 3.24 | 58.12 | 61.30 | 1.73 | 4.35 |
| 24 | 74.48 | 68.94 | 0.81 | 4.40 | 68.75 | 73.24 | 0.30 | 1.04 |
| 48 | 74.21 | 78.05 | 0.87 | 4.89 | 71.58 | 73.26 | 2.42 | 0.78 |
| 72 | 75.13 | 80.28 | 2.28 | 0.11 | 74.35 | 77.21 | 3.66 | 1.63 |
| 96 | 74.29 | 81.98 | 3.12 | 1.64 | 74.60 | 75.81 | 1.11 | 0.92 |

A: Con Aditivo

T: Testigo

DE: Desviación estándar

Consumo de Nopal sobre cambios en el pH ruminal.

Nefzaoui y Ben Salem (2003) reportan que el pH en el rumen permaneció en el rango de 6.8 a 7.13 aún cuando los animales recibieron el nivel más alto de nopal (600 g d⁻¹ MS), de manera que el pH del rumen no fue afectado por la presencia de nopal sin espinas en la dieta. Aun cuando el nopal es rico en carbohidratos altamente fermentables, no se observaron diferencias. El consumo de grandes cantidades de nopal probablemente mejoró la salivación como resultado del alto nivel de sales minerales y la abundancia de mucílago en el nopal, lo cual puede explicar la discrepancia.

Concentración de AGV

El suministro de nopal aumento significativamente ($P > 0.001$) las concentraciones de ácidos graso volátiles (AGV). Las concentraciones más altas de AGV fueron obtenidas con 300 g de MS de nopal en la dieta. Las proporciones de propionato y butirato aumentaron significativamente en animales que recibieron nopal sin espinas. El suministro de nopal resulto en una reducción ligera de la proporción de acetato en el fluido del rumen y un incremento en las concentraciones de propionato y butirato. El nopal parece tener el mismo efecto de los carbohidratos solubles en la digestión de los rumiantes (Nefzaoui y Ben Salem, 2003).

Efectos laxantes

De acuerdo con Gutiérrez (2005), un problema común que se tiene cuando los cladodios o pencas del nopal son dados como alimento a las ovejas y ganado, es su severa acción laxante. Esto no se considera como un síntoma de enfermedad y no tiene efectos negativos en la salud animal. Es más bien el resultado de su paso rápido por el sistema digestivo del animal, por el alto contenido de agua y fibra. El problema puede ser detenido mediante alimentación con forraje que contenga cal (aproximadamente el 3 por ciento de la ingesta total), para contrarrestar la acidez derivada del metabolismo del ácido crasucláceo de la planta, se puede limitar el acceso de los animales al agua potable. Combinar los cladodios con heno, ya que esto

retarda el efecto laxante. El heno de alfalfa es considerado un suplemento excepcional en cualquier forma.

El efecto laxante aparece cuando el volumen de nopal en la dieta es demasiado alto (más del 50 o 60 por ciento del consumo de MS). Este problema es fácil de resolver, el suministro de porciones pequeñas de paja o heno antes de distribuir el nopal es suficiente para conseguir un tránsito normal (Nefzaoui y Ben Salem, 2003).

Caracterización de los Granos Húmedos de Cervecería (GHC)

Según la FEDNA (2004) los GHC son un subproducto de la industria cervecera resultante del proceso de prensado y filtración del mosto obtenido tras la sacarificación del grano de cereal, (cebada, básicamente) malteado. Es un subproducto húmedo cuyo contenido en materia seca es de un 20-35 %. No se observan diferencias significativas en la composición química correlacionadas con el contenido de materia seca, aunque éste es variable. En el mercado recibe otros nombres como el de cebadilla de cerveza, y es el termino equivalente a lo que el mundo anglosajón conoce como "*wet brewers's grains*". El bagazo de cerveza es un subproducto rico en proteína, siendo su contenido proteico medio de 24-26 % sobre materia seca. El extracto etéreo representa un 6 %. Es un subproducto rico en fibra, con un contenido en (FDN) del 44 % y en (FAD) de 20 %, aunque se trata de una fibra muy poco efectiva (18 %). El contenido de lignina es de un 5 % y el de cenizas de un 7 %. En el residuo mineral destaca el contenido de P (6 g/Kg), siendo más bajo (3 g/Kg) el contenido de Ca. El contenido de energía metabolizable de este subproducto es de 2.86 Mcal/kg.

La degradabilidad efectiva de la proteína es baja (50 %), siendo la velocidad de degradación de un 7%/h. Se trata de un alimento de elevado contenido proteico, siendo ésta una proteína que escapa, en buena parte, de la degradación ruminal (FEDNA, 2004). De Breabander *et al.*, (1999) obtuvieron una composición bromatológica en base a g kg⁻¹ MS de 285 para proteína cruda, 179 de fibra cruda, 91 de grasa cruda, FDN 543, FDA 276, lignina 77. El contenido de MS fue 236 g kg⁻¹ y la una densidad de 92 g por Litro. Reporta una DIVMO de 47.9 %.

Cuadro 2.7. Composición bromatológica y mineral del residuo de cebada cervecera en base seca (*Hordeum spp*). Sauvart *et al.*, (2004)

| Composición elemental | | | | | |
|-------------------------|-------|-----|------------------|-------|-----|
| | Media | DE | | Media | DE |
| Materia Seca % | 91.9 | 2.2 | Calcio (g/kg) | 2.1 | 1.3 |
| Proteína Bruta % | 24.1 | 3.4 | Fósforo (g/kg) | 5.8 | .8 |
| Fibra Bruta% | 15.3 | 2.7 | Magnesio (g/kg) | 2.4 | .5 |
| Grasas Brutas % | 6.7 | 2.3 | Potasio (g/kg) | 3.4 | 1.3 |
| Cenizas Brutas % | 3.9 | .6 | Sodio (g/kg) | .2 | .1 |
| Cenizas insolubles % | 1.6 | | Azufre (g/kg) | 2.8 | |
| FND % | 52.8 | 6.7 | Molibdeno (g/kg) | 1.3 | |
| FAD % | 20.4 | 3.5 | Selenio (g/kg) | .38 | |
| LAD % | 5.4 | 2.4 | Hierro (g/kg) | .120 | 21 |
| Almidón % | 6.9 | | Zinc (g/kg) | .82 | 28 |
| Energía Bruta (kcal/kg) | 4500 | | Cobre (g/kg) | .18 | 5 |

DÉ: Desviación Estándar

Inclusión de GHC en raciones de rumiantes

Dhiman *et al.*, (2003) reportan que la alimentación con GSC y GHC en vacas lecheras, no tuvo ninguna influencia sobre el consumo de las raciones (25.6 vs 25.1 kg d⁻¹), el contenido de grasa, la producción de leche (40.1 vs 40.7 kg d⁻¹), la composición de leche y el consumo de alimento. El pH, el amoníaco y las proporciones molares de ácidos grasos volátiles en el fluido ruminal no fueron diferentes entre tratamientos.

Estudios realizados con subproductos de cervecería Llamas, (2008) al evaluar la concentración de Ácidos Grasos Volátiles del Líquido Ruminal de toretes Charoláis en engorda, alimentados con -masilla y levadura-, en distintos niveles de inclusión en su dieta, no encontró diferencias significativas ($P > 0.05$) en la concentración molar de acetato para el factor A (nivel de inclusión de levadura). Sin embargo, para el caso del factor B (nivel de inclusión de masilla) se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$). En cuanto a la interacción (A X B), se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$). En cuanto a la concentración molar de propionato, no apreció

diferencias significativas ($P > 0.05$) para el factor A (nivel de inclusión de levadura). Sin embargo, tanto para el caso del factor B (nivel de inclusión de masilla), como para la interacción A X B (levadura X masilla), se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$).

En la concentración molar de butirato, no se encontraron diferencias significativas ($P > 0.05$) para el factor A (nivel de inclusión de levadura), tanto para el caso del factor B (nivel de inclusión de masilla), en la interacción A X B (levadura X masilla), se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$).

Algo muy semejante observó en cuanto a la concentración molar de ácidos grasos totales ya que al igual que en todos los casos anteriores (acetato, propionato y butirato), no se aprecian diferencias significativas ($P > 0.05$), para el factor A (nivel de inclusión de levadura). Mientras que, tanto para el caso del factor B (nivel de inclusión de masilla), como para la interacción A X B (levadura X masilla), se observaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$).

Particularidades de la levadura, *Saccharomyces cerevisiae* (Sc)

Levadura es un nombre genérico que agrupa a una variedad de hongos, incluyendo especies patógenas para plantas y animales, como especies no solamente inocuas si no de gran utilidad. Dentro del género *Saccharomycae*, la especie *cereviceae* constituye la levadura y el microorganismo más estudiado (González y Valenzuela, 2003). La levadura puede proveer nutrientes como nucleótidos, aminoácidos y vitaminas para los microorganismos ruminales, promoviendo el crecimiento de bacterias a través de la autólisis en el ecosistema ruminal (Giger *et al.*, 1996).

Entre las particularidades González *et al.*, (2007) encontraron que la adición de levadura activa en la dieta favoreció la respuesta a un tratamiento de estímulo superovulatorio en ovejas. La tasa de recuperación de ovocitos fue mayor (93.9 %) con 5 g d⁻¹ por animal de Sc y significativamente diferente (P <.05) a una dosis de levaduras + minerales orgánicos; 4 g d⁻¹ por oveja (56.9 %) y al tratamiento testigo (61.8 %).

Según Rivas *et al.* (2006) la administración del *Saccharomyces cerevisiae*, produjo cambios en vacas Holstein del grupo experimental (10 g d⁻¹ Sc por animal), el intervalo del parto-primer cuerpo lúteo, fue menor (P<0.05) que en el grupo control (28.2 vs. 33.7 días). No obstante, el 100 % de las vacas Holstein y Caroca del grupo experimental tuvieron su primer cuerpo lúteo antes de los 70 días posparto. Igualmente, el 59,1 % y el 75 % de las vacas Hosltein y Caroca tratadas expresaron su primer estro postparto antes de los 70 días posparto. Los resultados indican que el uso estratégico del Sc al inicio de la lactancia mejora el comportamiento reproductivo, posiblemente por la acción del Sc en el rumen, incrementando la tasa de degradación de la fibra y la proporción de propionato.

De acuerdo con Carballo (2000) su clasificación sistemática es la siguiente:

Reino: *Hongo* :
División: *Amastogomycota*
Clase: *Ascomycetes*
Subclase: *Hemiascomycetidae*
Orden: *Endomycetales*
Familia: *Saccharomycetaceae*
Subfamilia: *Saccharomycetaidea*
Género: *Saccharomyces*
Especie: *Cerevisiae*

***Saccharomyces cerevisiae* en la digestibilidad de la fibra**

Ayala *et al.*, (1994) con el fin de evaluar el efecto (.5 %) de la adición *Saccharomyces cerevisiae* en la digestibilidad de fibra detergente neutro (FDN) de la paja de cártamo. Encontraron un incremento ($P < .05$) sobre la degradación *in situ* en todos los tiempos de incubación, 0, 6, 24, 48, 72 y 96 hrs. en raciones con (70 %) de paja de cártamo y (30 %) de concentrado. Macedo *et al.* (2009) observaron una interacción significativa, en el caso de la degradabilidad de la FDN, cuya tasa disminuyó de 68 a 59 % en una ración para corderos Pelibuey de rápido potencial de crecimiento (350 g d^{-1}) al incorporar Sc y se mantuvo sin cambio (39-42 %) en una ración de moderado potencial de crecimiento (250 g d^{-1}). Ambas dietas fueron suplementadas con dos niveles de un cultivo de *Saccharomyces cerevisiae*, sin (0) y con (1), esta última con un nivel de 10 g por kg de alimento terminado. Rojo *et al.*, (2000) no observaron efecto del tipo de ración ni de la adición del cultivo microbiano sobre la degradabilidad de la FDA. Sin embargo la digestibilidad ruminal aparente de la FDA de pastos tropicales en toretes Holstein-Cebú, se incrementó ($P < .05$) en 4.7 % con suplementación nitrogenada y en 1.72 % con Sc (10 g de cultivo de levadura por animal d^{-1}).

Estrada, (2003) sugiere que existe una influencia de la suplementación de levadura y bicarbonato de sodio, sobre la tasa de degradación de la fibra en dietas para borregos, la adición de levadura y bicarbonato, mejoró el Kd hasta .5%/h al agregar ambos aditivos (NaHCO_3 0.5 % y Cl .012 %), en raciones que contenían aprox. 17.1 % de PC.

***Saccharomyces cerevisiae* sobre cambios pH ruminal**

Guedes *et al.*, (2008) al incluir Sc encontraron efectos significativos, aumentó el pH ruminal, sobre la fermentación ruminal y la degradación *in situ* en vacas lecheras lactantes, de la fibra de maíz ensilado, concentrado y heno, disminuyó ($P < 0.01$) la concentración de lactato y la proporción acetato: propionato ($P < 0.01$), pero no tuvo ningún efecto sobre la concentración de amoníaco. El consumo de Sc 1 g d^{-1} tuvo una mayor concentración de AGV frente a la dieta control ($P < 0.01$), redujo la producción de acetato: propionato y aumento la actividad fibrolítica de las bacterias del rumen evaluado. Aparecida *et al.*, (2008) no hallaron influencia en dietas con dos niveles *Leucaena leucocephala* (20 y 50 % de MS) adicionadas con 10 g de levadura por animal sobre el valor medio del pH ruminal (6.82), no se encontró efectos en niveles de leucena ($P < 0.05$) e interacción entre niveles de levadura ($P < 0.05$), sobre valores del pH ruminal. Valores uniformes fueron reportados por Ayala *et al.*, (1994) en dietas con relación; forraje-concentrado, 70:30 con o sin cultivos de levadura (0.5 g d^{-1} por animal), el pH (6.8) ruminal para ambos casos fue el idéntico.

***Saccharomyces cerevisiae* en el consumo de materia seca**

Zaragoza *et al.*, (2001) no encontraron efectos de aditivos (ninguno, 10 g d^{-1} de *Saccharomyces cerevisiae*, 30 ppm de monoensina sódica) en dietas balanceadas a (12, 14 y 16 % de PC) para vaquillas Hostein de remplazo, sobre el consumo de materia seca, ganancia de peso, conversión alimenticia y condición corporal. No hubo interacción entre el nivel de proteína y aditivo en ninguna de las variables. Ayala *et al.*, (1994) con 0.5 g d^{-1} Sc por animal encontraron una disminución de 2.74 % en el consumo de MS en comparación con raciones tratadas sin Sc, pero se observa la

influencia del probiótico sobre la digestibilidad de la MS 51.4 vs 60.2 y la FDA 41.6 vs 52.2.

***Saccharomyces cerevisiae* y su efecto sobre parámetros productivos**

El consumo de materia seca CMS y la ganancia diaria de peso GDP (Macedo *et al.*, 2009) fueron afectados positivamente por la adición de cultivos de levadura, observándose en corderos alimentados con raciones adicionadas (10 g por kilogramo de alimento terminado), lograron un incremento de peso de 50 g d⁻¹, así como de consumo promedio de MS 0.20 kg d⁻¹. Así mismo, el análisis de correlación arrojó un índice igual a 0.6264, lo que demostró la existencia de una correlación positiva significativa (P <.01) entre el consumo diario de materia seca y la ganancia diaria de peso. Según Lesmeister *et al.*, (2004), la inclusión de 2 % de cultivos de levadura en la ración para terneros aumentan significativamente el consumo de MS, ganancia diaria de peso, existe un beneficio promedio de 15.6 % para el tratamiento de levadura, el cambio de la altura a la cruz, también fue considerablemente mayor para terneros que fueron suplementados con cultivos de levadura al 2 % en comparación con terneros que reciben el 1 %. Por el contrario, Zaragoza *et al.*, (2001) no reportan beneficios al usar aditivos como *Saccharomyces cerevisiae* y monoensina sódica en raciones para vaquillas de reemplaza, no encontraron efectos benéficos en el aprovechamiento de la proteína.

Armendáriz *et al.*, (2005) en cabras adicionadas con 10 g d⁻¹ y 20 g d⁻¹ por animal de un cultivo microbiano (*Saccharomyces cerevisiae*) obtuvieron los siguientes promedios de producción lechera: 1.78 y 1.74 kg d⁻¹ por animal, y con una dieta basal sin probiótico 1.38 kg d⁻¹. Cuantitativamente, en la etapa de lactancia, se encontró que existe una mayor producción en los tratamientos adicionados con probiótico, en comparación con solo una dieta basal, durante el segundo y tercer mes de lactancia, a partir del cuarto mes decrece significativamente. Se concluyó que no existe una diferencia estadística significativa entre tratamientos; sin embargo, existe una diferencia numérica en producción de leche de importancia, la cual por efecto de la alta variabilidad observada en el experimento no permitió manifestar dicha significancia.

***Saccharomyces cerevisiae* en la concentración de AGV**

Aparecida *et al.*, (2008) reportan valores medios para AGV totales en dietas para bovinos con: 80 % heno de gramínea + 20 % heno de *Leucaena leucocephala* + 10 g de levadura y 50 % heno de gramínea + 50 % heno *Leucaena leucocephala* + 10 g de levadura, de; 92.64 mM y 89.59 mM. Las concentraciones de ácido acético no difirieron ($P < 0.05$) entre dietas. El valor más bajo obtenido del porcentaje molar de ácido propiónico (19.14 mM) fue observado en animales que consumieron niveles bajos de leucena (20 %) adicionados con levadura. No hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) en las concentraciones medias de ácido butírico entre niveles de *Leucaena* y levadura.

Assumpção *et al.*, (2008) evaluaron los efectos de cultivos de levadura Sc sobre parámetros de fermentación en bovinos de carne, la relación forraje-concentrado en la dieta fue; 50-50. Las concentraciones ruminales de acetato, propionato, butirato y AGV totales fueron afectadas ($P < 0.01$) de forma cuadrática por los tiempos de colecta (06:00, 10:00, 14:00, 18:00, 22:00 y 02:00 hrs). Los valores máximos de concentraciones molares de acetato, propionato y AGV totales ajustados a los tiempos correspondientes para los grupos suplementados con (1 g/100 kg de peso vivo de Sc) y sin Sc fueron: 65.02 vs 60.30 mMol/mL a las 2 y 22 hrs; 14.66 vs 11.54 mMol/mL a las 22 y 18 hrs y 93.51 vs 88.38 mMol/mL a las 2 y 22 hrs respectivamente.

Particularidades de la melaza

Los residuales y subproductos de la industria azucarera son relativamente contaminantes, al mismo tiempo que contienen una gran cantidad de nutrientes orgánicos e inorgánicos que permiten su reciclaje en la elaboración de otros productos como son alimento para ganado, así como en la producción industrial de tableros aglomerados, papel, cartón, etc. (Castro *et al.*, 2008).

Sobre las cualidades de la melaza que propician su uso en el sector pecuario, resaltan su valor como fuente económica de energía para el ganado, mejora la palatabilidad de las raciones, misma que brinda la posibilidad de incorporar insumos poco aceptados, su adición como fuente de azúcares en silos estimula la fermentación anaeróbica. Ha sido utilizada (Ariza y González 1997) como vehículo en varios tipos de alimentos líquidos; como suplemento para el ganado en pastoreo solo o adicionado con otros componentes como urea y ácido fosfórico. Por ejemplo; Castillo *et al.*, (1999) determinaron el tipo de suplementos con base a melaza y urea (MU3) más apropiado para vacas de doble propósito, cuando estos se dan *ad libitum* durante el tiempo de ordeño. El (INB) ingreso bruto disminuyó al incrementarse la melaza ofrecida, y origino que los tratamientos de complementación presentaran una eficiencia económica menor que la del testigo (solo pastoreo a base de; *Cynodon nlemfuensis*, 2 vacas ha⁻¹) altamente significativa (P<.01). La (PLV) producción de leche vendible en vacas, con Melaza-3 % urea (90 % de melaza de caña de azúcar, 7 % de agua y 3 % de urea), fue 0.5 kg d⁻¹ por vaca, mayor que las que recibieron (CON) concentrado casero (45 % de pulpa deshidratado, 35 % de pollinaza, 19 % de grano de sorgo molido y 1 % de mezcla mineral). La diferencia de (PLT) producción total de leche fue; de 0.8 kg d⁻¹ por vaca en favor de MU3. Las vacas suplementadas con MU3 ganaron 0.62 kg d⁻¹ por vaca más que las complementadas con CON. El consumo de MS de MU3 fue 0.65 kg d⁻¹ por vaca menor que en las vacas que recibieron CON; esta diferencia fue altamente significativa (P<.01). Sin embargo Lozano y Ferreiro, (1991) no detectaron diferencias significativas (P>.05) en la digestibilidad aparente de la materia seca (72.39 %) y proteína cruda (22.71 %), con dietas altas de melaza/urea (2.5 % melaza/urea + heno

de alfalfa y pasta de soya al 1.5 y .3 %), el pH ruminal (5.95) se mantuvo estable en diferentes niveles de melaza/urea.

Valor nutricional de la Melaza

De acuerdo con Castro (1993) la composición de la melaza es muy heterogénea y puede alterar considerablemente dependiendo de la variedad de caña de azúcar, suelo, clima, periodo de cultivo, eficiencia de la operación de la fábrica, sistema de ebullición del azúcar entre otros. Los principales azúcares en la melaza son la sacarosa (6 %-9 % en peso), y la fructosa o levulosa (5 %-10 % en peso). Bulut *et al.*, (2004) reportan la siguiente composición; sólidos totales 23.2 %, humedad 36.7 %, cenizas 5.6 %, azúcares totales 866.3 g/L de los cuales, glucosa 93.76 g/L, fructosa 143.94 g/L y sacarosa 628.59 g/L. Son ligeramente ácidas, tienen un pH entre 5.5 y 6.5; un pH bajo es atribuible a la presencia de ácidos alifáticos (Swan y Karalazos, 1990).

La melaza de remolacha tiene un contenido en proteína bruta superior a la de caña (9 vs 4 %). En ambos casos, la fracción nitrogenada es totalmente soluble, estando constituida en un 50 % por aminoácidos (principalmente aspártico y glutámico) y en un 50 % por nitrógeno no proteico. La proporción de aminoácidos esenciales es muy baja. La melaza de remolacha es particularmente rica en betaína, un compuesto nitrogenado donador de grupos metilo en diversas reacciones metabólicas. Por ello, el uso de melaza de remolacha en la dieta puede reducir las necesidades de colina FEDNA (2003).

Efecto de la melaza en el proceso de ensilado

La melaza es ampliamente utilizada como materia prima para las fermentaciones tales como la producción del etanol y ácido láctico debido a su abundancia y precio bajo comparado con otras materias primas disponibles. La producción del ácido láctico por fermentación es interesante debido a la perspectiva de usar las materias primas baratas. Las fuentes del carbono para el proceso de fermentación del ácido láctico pueden ser la glucosa, la maltosa, la sacarosa o

materias primas como melaza y suero de queso o algunos subproductos agrícolas (Bulut *et al.*, 2004).

Guerra, (1995) investigo el efecto de la melaza en el ensilado, encontró que el pH a los treinta días en ensilados de alfalfa y avena adicionados con melaza, no difirió ($P < 0.05$), con valor promedio de 4.15, hubo una pérdida de materia seca durante el ensilaje 7.808 %, el comportamiento general de la FDN, mostro que al finalizar el ensilaje fue mayor ($P < 0.01$) con respecto al inicio (40.58-41.99 %). El comportamiento promedio general de la digestibilidad *in situ* de la MS fue menor después del ensilaje que antes del mismo, lo cual era de esperarse dado el aumento de la FDN, durante el ensilaje.

Betancourt *et al.*, (2003) evaluaron el efecto de la melaza, ácido fórmico y tiempo de fermentación sobre el contenido de proteína cruda y nitrógeno amoniacal de microsillos de *Leucaena leucocephala*, el porcentaje de proteína cruda mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) para la interacción de los diferentes niveles de melaza y ácido, observándose que el valor más alto fue obtenido con el tratamiento 0 % de melaza y 0.25 % de ácido fórmico (22.17 ± 0.34 % PC) y el más bajo con los niveles más altos de melaza y ácido. Esta respuesta puede deberse a que al incrementarse el nivel de melaza ocurre una disminución importante de la MS, lo cual diluye el valor de la proteína.

El estado fisiológico del pasto, el tamaño de la partícula cosechada y la adición de melaza, originan cambios en la composición química y digestibilidad del ensilado de pasto guinea, demostrándose que un pasto en prefloración (28 días de rebrote), cosechado y troceado en partículas de 2.5 cm. aproximadamente y adicionándole 2 % de melaza en la biomasa ensilada, permite obtener un ensilado con; 20.2 % de materia seca, 12.19 % de proteína bruta, calcio 0.29 % y fósforo 0.22 % (Caraballo *et al.*, 2007).

Efecto de la melaza sobre parámetros productivos.

La intención de adicionar ingredientes menos costosos dentro de una ración, es alcanzar resultados comparables a los insumos habituales, es decir, obtener ganancias legibles para el propósito requerido. Soto y Martínez (2001) observaron que mediante el uso de bloques con; melaza, urea y rastrojo, mejoraron la ganancia de peso aún en becerros cuya dieta satisfacía sus necesidades alimenticias para una engorda comercial (ganancia de 1.0 kg d⁻¹). Por lo tanto la ganancia de peso adicional de 0.2 kg d⁻¹ se puede atribuir al consumo de unos 0.3 kg d⁻¹ del bloque. Araque *et al.*, (2008) reportan en cuanto a la ganancia de peso en caprinos para un grupo tratado con; T₂: pastoreo y ramoneo (53.19 %) + heno (42.55 %) + (4.26 %) melaza-urea, un mayor resultado (P<0.05) 91.61 g d⁻¹ por animal, cuando es comparado con los grupos tratados con T₁: pastoreo y ramoneo + heno (55.55 %)-melaza (44.45 %) 75.0 g d⁻¹ por animal y T₀: (pastoreo y ramoneo solamente) 25.40 g d⁻¹ por animal, debiéndose en gran parte, al aporte de proteína cruda, con media de 16.60 %, proveniente de la mezcla heno-melaza-urea, mejoro cualitativa y cuantitativamente el ambiente ruminal de estos animales. La producción láctea promedio de las cabras (P>0.05) fue de 16.30; 17.51 y 18.70 Kg/semana, para los tratamientos T₀, T₁ y T₂, respectivamente, donde el grupo T₂, resultó ser el más sobresaliente, debido posiblemente al mayor aporte proteico, particularmente urea, cuando las fuentes energéticas, como la melaza, fueron adicionadas a la dieta. Al respecto Sánchez y García, (1994) observaron en cabras alimentadas con; bagacillo de caña + 1.4% urea (28.75 % PC) + 15 % melaza, incremento de 1.10 kg de peso, en contraste con las cabras alimentadas con las otras fuentes de fibra que mostraron disminución del peso inicial. Pietrosevoli *et al.*,(1997) notaron que la adición de melaza al 4 % mejoró el consumo en relación al ensilado (*Brachiaria brizantha*) preparado sin melaza (2.399 vs 1.728 kg d⁻¹ por animal respectivamente). Por otra parte la disponibilidad de carbohidratos fácilmente disponibles posiblemente permitió a la micro flora iniciar sus ataques a la pared celular con mayor rapidez, reduciéndose la tasa de pasaje a través del tracto gastrointestinal viéndose incrementado el consumo. Los mayores consumos los presentaron los ensilado preparados con 4 % de melaza sin urea.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

- A) Localización del área de estudio, descripción de los tratamientos, preparación del sustrato, ensilado, y determinación bromatológica.

El trabajo fue realizado en el Laboratorio de Nutrición, del Departamento de Nutrición y Alimentos, de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicada en Buenavista, Municipio de Saltillo, Estado de Coahuila. El nopal utilizado (*Opuntia ficus-indica*) fue colectado en una huerta de traspatio colindante a la Universidad e identificado en el Departamento de Recursos Naturales, durante el mes de Septiembre de 2008.

El primer factor en estudio fue el material vegetativo en dos procesos: la biomasa ensilada e *in natura*. El segundo factor corresponde al nopal (*Opuntia ficus-indica*), tratado con subproductos de cervecería; levadura (*Sacharomices cerevisiae*) y masilla, en diferentes niveles, arreglados de la siguiente manera; t₁: 100 % Nopal -testigo-, t₂: 80 % Nopal + levadura 10 %, t₃: 70 % Nopal + GHC 20 %, t₄: 60 % Nopal + levadura 10 % + GHC 20 %, -excepto al testigo, los tratamientos restantes fueron adicionados con 10 % de melaza-.

Metodología: El nopal fue picado y adicionado con cada uno de los tratamientos anteriores, la mitad fue ensilada, a temperatura ambiente, en frascos de cristal con capacidad aproximada de 1.5 kg, (a los cuales se les adapto una tapa con pivote de vacío), durante un lapso de 30 días, transcurrido ese tiempo se midió el pH a cada microsilo. La otra mitad fue puesta sobre charolas de aluminio, en una estufa a (50-55°C), durante 48 hrs. A partir de obtener la materia seca parcial en ambas, fueron molidas bajo una criba de 2 mm. Las siguientes variables: materia seca, cenizas, fibra cruda, proteína cruda, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno se analizaron de acuerdo la AOAC (1990). Los contenidos de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) se determinaron por la técnica descrita por Goering y Van Soest (1970).

Diseño experimental. Para analizar el contenido bromatológico, FDN y FDA, se realizó un diseño experimental en bloques completamente al azar con un arreglo factorial de 2 x 4 por tres repeticiones. Factor **A.**- Biomasa ensilada e *in natura*. Factor **B.**- Los cuatro niveles en los que se evaluó al nopal adicionado con sub productos de cervecería.

B) Tasa de degradación *in vitro*

La segunda fase de la investigación fue generada, en el laboratorio de Calidad Nutritiva, del Instituto Mexicano del Maíz, de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

El sustrato y material vegetativo usado fue proporcional a la descripción anterior. Factores en estudio para la tasa de degradación: **A.**- Biomasa ensilada e *in natura*. Factor **B.**- Los cuatro niveles en los que se evaluó al nopal adicionado con sub productos de cervecería (t_1 : 100 % Nopal -testigo-, t_2 : 80 % Nopal + levadura 10 %, t_3 : 70 % Nopal + GHC 20 %, t_4 : 60 % Nopal + levadura 10 % + GHC 20 %, -excepto al testigo, los tratamientos restantes fueron adicionados con 10 % de melaza-)

La tasa de degradación *in vitro* de la materia orgánica DIVMO y DIVMS se determinó según Tilley y Terry (1963), con las modificaciones de Goering y Van Soest (1970) la cual se interrumpió en los siguientes tiempos de incubación (0, 12, 24, 48, 72 y 96 hrs.) con los ajustes de ANKOM DAISY^{II} (1998).

Metodología: El principio de funcionamiento del DaisyII® consiste en establecer condiciones de incubación semejante a las condiciones *in vivo*, de tal manera que el procedimiento incluye soluciones compuestas por minerales, fuentes de nitrógeno y agentes reductores que ayudan a la anaerobiosis necesaria en el proceso (Giraldo *et al.*, 2007). Las muestras .5 g aproximadamente se introdujeron en bolsas de nylon, - cada tratamiento se corrió por triplicado, para cada tiempo-, posteriormente fueron depositadas en recipientes de vidrio con capacidad de 4 lts, en los que se añadieron 2 lts. de una mezcla: líquido ruminal de bovino de carne estabulado y medio de cultivo (1:4 v/v) descrito por (Goering y Van Soest, 1970) y 25 muestras, con un blanco por frasco. La preparación del medio de cultivo y la mezcla con el líquido ruminal se

realizaron en condiciones anaerobias, gaseado continuo (CO₂) y conservadas a temperatura de 39±2°C. Los frascos se introdujeron en el incubador DAISY^{II} durante (96, 72, 48, 24, 12, 0 hrs.), bajo una rotación lenta y temperatura constante de 39.5°C. Al término de cada tiempo las bolsas fueron lavadas cuidadosamente, puestas a secado (55-60°C) durante 24 hrs. y pesadas nuevamente.

Diseño experimental. Para analizar la cinética de digestión ruminal, se empleó un diseño completamente al azar, con un arreglo factorial 2x4x6. Donde, A= Biomasa al natural y ensilada, B= Porcentajes de nopal para cada tratamiento (t₁: 100 % Nopal - testigo-, t₂: 80 % Nopal + levadura 10 %, t₃: 70 % Nopal + GHC 20 %, t₄: 60 % Nopal + levadura 10 % + GHC 20 %, -excepto al testigo, los tratamientos restantes fueron adicionados con 10 % de melaza-) y C=Horas de incubación 0, 12, 24, 48, 72, y 96 hr.

Para analizar las variables registradas se utilizó el procedimiento PROC GLM de SAS (1999).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación bromatológica de nopal adicionado con subproductos de cervecería

El cuadro 4.1, muestra la evaluación bromatológica del nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en donde se encontraron diferencias altamente significativas entre la biomasa ensilada e *in natura* (Factor A), para las variables; MS, Cenizas, PC, MO, FC, FDN, el contenido de EE, ELN y FDA no mostró diferencias significativas previas o posteriores al ensilaje. La MS, C, MO, FC, FDN, presentan un aumento porcentual sucesivo al ensilaje, por el contrario de PC que presenta mejor contenido *in natura*, lo que concuerda con, Pinos *et al.*, (2008) en la composición química de *Agave salmiana* ya que reporta mayores porcentajes de fibra insoluble en detergente neutro (FDN), en detergente ácido (FDA) 24.6-33.0 %, 21.7-31.1 % y de Cenizas 8.3-9.04 %, en Agave ensilado que previo al mismo, por otra parte, Arique y Paz (2002) encontraron en silos de pomasa de manzana un aumento en la concentración de MS, PC, FC y FDA respecto de la pomasa no ensilada de (43.7, 13.0, 14.3 y 18.4 %) respectivamente.

Para el factor B (% de nopal en tratamientos) se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$), tal respuesta indica que la adición de subproductos cerveceros influyó en la calidad nutritiva del nopal en este sentido; la MS, Cenizas, FC y FDA, a menor uso de subproductos aumento su contenido, es decir, el mejor tratamiento para las anteriores variables implica al nopal tal cual es ofrecido, sin la necesidad de adicionarlo con subproductos, el caso de PC, MO, FDN, EE y ELN, fue inverso, ya que a mayor concentración de GHC, levadura y melaza, produjo mejores resultados. La interacción del factor A \times B muestra diferencias altamente significativas para; MS, PC, FC, EE, ELN y FDA, el contenido de C, MO, FDN no difirió ($P < 0.05$), en cualquier porcentaje de nopal y subproductos (tratamiento).

Cuadro 4.1. Evaluación bromatológica del nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza.

| Variable % | Factor A | | Factor B ¹ | | | | Significancia (P>F) | | |
|---------------|---------------------|-----------|-----------------------|----------|----------|---------|---------------------|-------|-------|
| | Ensilaje | in natura | 100 | 80 | 70 | 60 | A | B | A × B |
| MS | 92.21a [†] | 87.06 b | 92.36 a | 89.08 b | 82.81 b | 89.28 b | .0001 | .0003 | .0001 |
| C | 19.09 a | 17.31 b | 29.04 a | 17.30 b | 13.72 c | 12.73 d | .0005 | .0001 | .1250 |
| MO | 69.75 a | 60.53 b | 56.92 c | 66.69 ab | 63.70 bc | 73.24 a | .0003 | .0003 | .1493 |
| PC | 11.11 b | 12.60 a | 8.25 d | 9.27 c | 13.70 b | 16.18 a | .0001 | .0001 | .0028 |
| FC | 13.84 a | 12.17 b | 15.32 a | 11.00 c | 12.74 b | 12.97 b | .0003 | .0001 | .0016 |
| EE | 4.02 a | 3.81 a | 2.58 b | 4.20 a | 4.52 a | 4.35 a | .1381 | .0001 | .0167 |
| ELN | 47.12 a | 48.16 a | 40.19 c | 53.09 a | 49.18 b | 48.10 b | .1331 | .0001 | .0042 |
| FDN | 31.59 a | 25.13 b | 34.64 a | 18.19 b | 28.69 a | 31.93 a | .0015 | .0001 | .3167 |
| FDA | 19.13 a | 19.15 a | 22.55 a | 17.86 b | 18.46 b | 17.68 b | .9735 | .0001 | .0034 |

[†]Medias con la misma literal son estadísticamente iguales según Tukey (P< 0.05).

MST=Materia Seca total. C= Cenizas. PC=Proteína Cruda. EE=Extracto Etéreo. ELN= Extracto Libre de Nitrógeno. MO=Materia Orgánica. FDN=Fibra Detergente Neutro. FDN= Fibra Detergente Neutro

¹(%) de Nopal en cada tratamiento.

El cuadro 4.2 presenta las medias ajustadas y error estándar de la media para las fracciones químicas de nopal ensilado e *in natura* adicionado con subproductos, mas adelante cada una de las variables obtenidas será detallada.

Cuadro 4.2. Evaluación bromatológica del nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en dos procesos y ocho tratamientos.

| Variable % | Tratamientos ¹ | | | | | | | | EEM |
|---------------|---------------------------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|
| | <i>in natura</i> | | | | Ensilado | | | | |
| | 100 | 80 | 70 | 60 | 100 | 80 | 70 | 60 | |
| MS | 90.63 | 89.23 | 82.75 | 85.56 | 94.08 | 88.89 | 92.84 | 92.99 | ± 0.82 |
| C | 28.89 | 16.39 | 12.09 | 11.79 | 29.13 | 18.18 | 18.18 | 13.68 | ± 0.58 |
| MO | 61.69 | 72.77 | 70.66 | 73.77 | 51.64 | 60.52 | 56.32 | 72.65 | ± 2.84 |
| PC | 8.98 | 10.19 | 13.67 | 17.50 | 7.52 | 8.34 | 13.69 | 14.87 | ± 0.29 |
| FC | 16.64 | 9.86 | 10.63 | 12.51 | 14.96 | 12.03 | 14.84 | 13.42 | ± 0.51 |
| EE | 2.28 | 4.51 | 4.81 | 4.43 | 2.87 | 3.87 | 4.18 | 4.27 | ± 0.19 |
| ELN | 37.23 | 53.99 | 50.13 | 45.95 | 41.99 | 52.18 | 48.19 | 50.24 | ± 0.93 |
| FDN | 28.36 | 15.15 | 26.64 | 29.60 | 40.52 | 21.05 | 30.17 | 33.83 | ± 2.39 |
| FDA | 20.23 | 18.16 | 19.97 | 17.99 | 24.00 | 17.45 | 16.92 | 17.24 | ± 0.87 |

EEM: Error estándar de la media.

¹(%) de Nopal en cada tratamiento.

La figura 4.1, muestra el contenido de MS de nopal ensilado e *in natura* respecto a los 8 tratamientos, contrasta el aumento de la materia ensilada, sobre todo en los niveles de nopal tres y cuatro, que involucran igual contenido de GHC y melaza. Sin embargo, tanto el nopal como testigo en fresco y ensilado demuestran mayor contenido de MS, esto debido quizá, al estado líquido de la levadura empleada y al bajo contenido de sólidos totales de la melaza 23.2 % reportado por, Bulut *et al.*, (2004) en los tratamientos a los que fueron adicionados. Se comprueba (Cuadro, 4.2) que el tratamiento cinco -100 % nopal- fue el mejor porcentaje de MS (90.63 %). Sánchez (2001) reporta 90.94 por ciento de MS en *O. ficus indica*, valor similar con el nopal *in natura* de la presente investigación, ya que las ambas cosechas fueron en otoño y con material extraído de un mismo sitio geográfico (Saltillo, Coahuila), podría comprenderse dicha similitud.

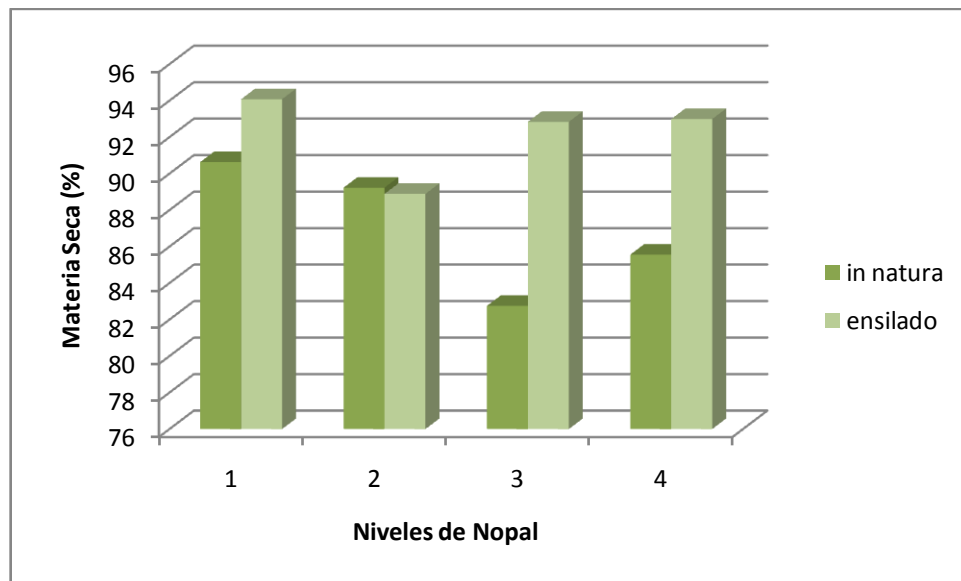


Fig.4.1. Materia Seca de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería y melaza (%).

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4: 60 %

En la figura 4.2, presenta un descenso porcentual de cenizas en todos los tratamientos con respecto al testigo, existe una notable disminución de casi cincuenta por ciento del nivel de nopal cuatro en ambos factores (proceso y porcentaje de nopal en tratamiento) con relación al testigo, esto va acorde según, Gutiérrez (2005) menciona que una de las principales características del nopal es su alto contenido de cenizas. Los porcentajes de cenizas del tratamiento uno (29.13 %) y dos (18.18 %) ensilados, coincide con los reportes de Murillo (2001) en estudios bromatológicos de silos de nopal solo (28 % Cenizas) y con 10 % de levadura + 10 % de Sulfato de amonio + 10 % de Melaza (25 % Cenizas). El proceso de ensilaje fue un factor explícito para incrementar el contenido de cenizas, puesto que en todos los tratamientos, fue mayor que la materia *in natura* y concuerda con las respuestas observadas en otros estudios (Pinos *et al.*, 2008) en silos de *Agave salmiana*.

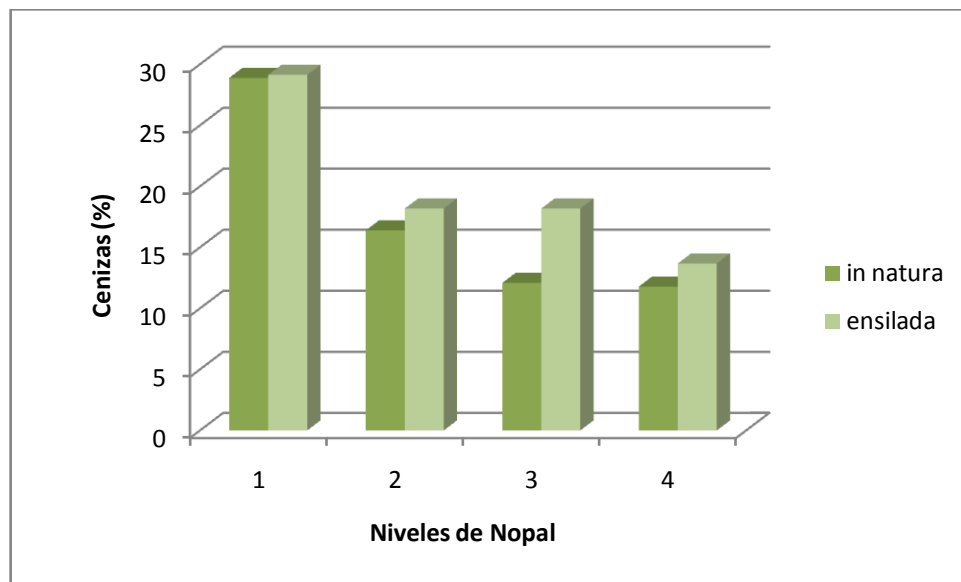


Fig. 4.2. Cenizas de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con sub productos de cervecería y melaza (%).

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4: 60 %

La figura 4.3, muestra el incremento de PC entre los tratamientos que involucran GHC-melaza, con o sin levadura, niveles tres y cuatro, con respecto al nopal

solo y con levadura-melaza, dicho aumento incluso duplica el contenido proteico del testigo y concuerda con, Sauvant *et al.*, (2004); De Breabander *et al.*, (1999) pues reportan un contenido 24.1-28.5 % de PC para los GHC, respectivamente. Estudios bromatológicos de *O. ficus indica* (Salas, 2004; Sánchez, 2001; Montes 2003) reportan; 8.71, 9.14, y 8.48 % de PC, valoración semejante al nopal *in natura* de la presente investigación (8.98 % PC). El contenido de PC del nopal adicionado con levadura-melaza (T₂) 10.19 %, concierta al valor (9.17 % PC) en cladodios de *O. ficus indica* enriquecidos con 3 % *Sacharomyces cerevisiae* comercial, realizado por (Araújo *et al.*, 2008). Podemos decir exclusivamente que si se desea utilizar nopal, con subproductos cerveceros su cantidad proteica es mejor *in natura*, ya que durante el proceso normal de ensilaje el material sufre una serie de cambios bioquímicos importantes, de los cuales resultan pérdidas de hasta un 60% de la proteína digestible como consecuencia de las transformaciones bacterianas y enzimáticas que ocurren durante el proceso. El uso de aditivos o perseverantes tiene como finalidad no sólo mejorar la calidad fermentativa, sino también mantener el valor nutritivo que presenta el forraje al momento de ser introducido al silo (Ojeda *et al.*, 1990).

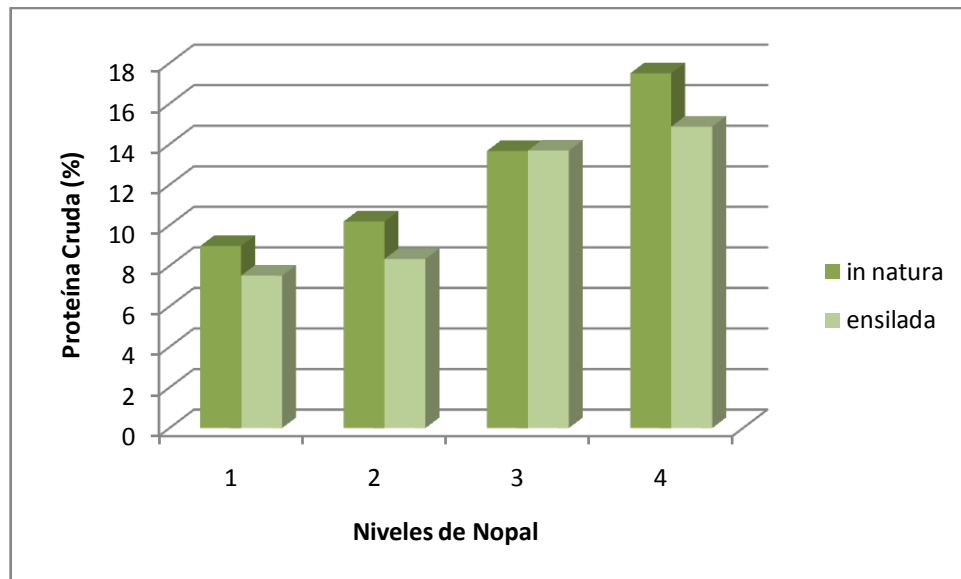


Fig. 4.3. Proteína Cruda de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería y melaza (%).

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4; 60 %

El cuadro 4.4, muestra el contenido de EE, el cual es menor en la materia ensilada, en todos los tratamientos que incluyeron algún subproducto (masilla, levadura y melaza), fueron los niveles de nopal más bajos (3 y 4) los que mayor porcentaje de EE tuvieron, esto se podría fundamentar con el alto contenido de grasa cruda (9.1%) en la masilla (De Breabander *et al.*, 1999). Sin embargo no se encontraron diferencias ($P < 0.05$) entre los porcentajes de masilla, levadura y melaza -tratamientos-, pero existe significancia ($P < 0.05$) en el contenido de grasas con respecto al testigo, para tener una mejor perspectiva del contenido de EE del tratamiento -testigo- *in natura* (2.28 %), se comparó con la determinación de, Montes (2003), quien reportó 2.58 por ciento de EE, para la especie *ficus indica* cortada en invierno.

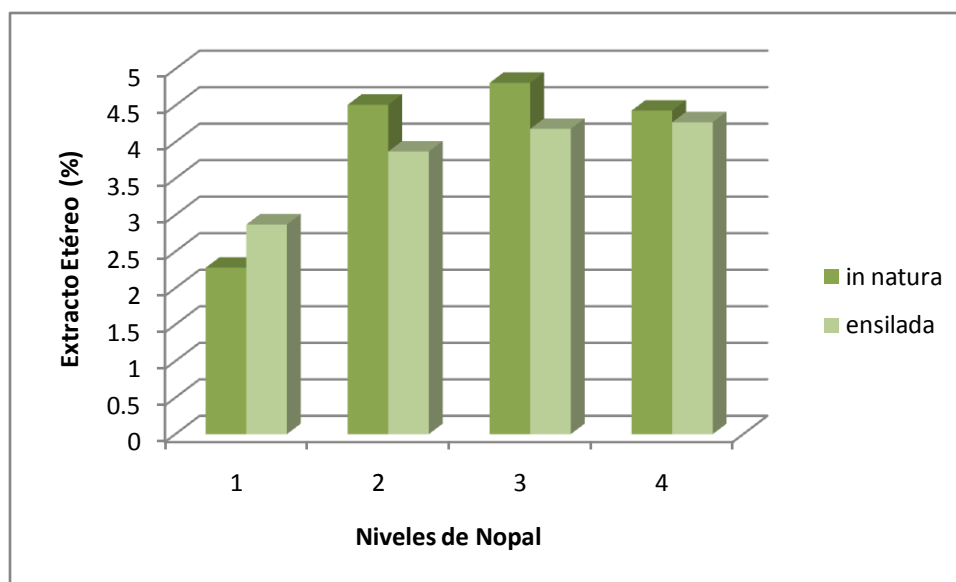


Fig. 4.4. Extracto Etéreo de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería y melaza (%).

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4: 60 %

Al analizarse la FDN (figura 4.5), se puede observar que todos los niveles de nopal ensilados incrementaron su contenido, con respecto a la biomasa previa al ensilaje, lo cual concuerda con Guerra (1995) en estudios de maíz y avena ensilados, con y sin melaza, reporta que el comportamiento general de la FDN, mostró al finalizar el ensilaje, que la FDN fue mayor ($P < .01$) con respecto al inicio. El bajo nivel de FDN

en los silos de nopal con melaza puede deberse a que ocurre una dilución de está en los residuos durante el proceso de digestión en la solución detergente neutro en la técnica para determinarla.

Acerca del la FDN testigo *in natura* (28.36 %), fue ligeramente superior a lo expuesto por Duque, (2003) en cladodios de *O. ficus indica* mayores a tres años de edad (27.3 %). El contenido de FDN en el nopal adicionado con 10 % de levadura + 10 % de melaza *in natura*, tratamiento dos (15.15 %), fue muy similar a la respuesta en la variedad de nopal AN-FV1 adicionada con 10 % levadura + 10 % de Sulfato de Amonio + 10 % de melaza, para FDN (16%) realizada por Murillo (2001).

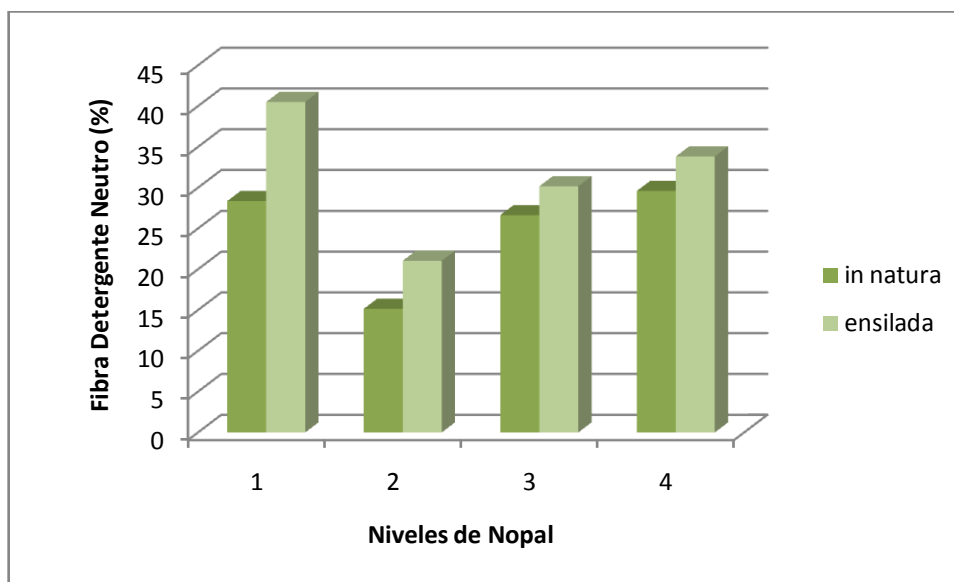


Fig. 4.5. Fibra Detergente Neutra de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con sub productos de cervecería y melaza (%).

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4; 60 %

En la figura 4.6, se puede observar que el contenido de FDA posterior al ensilaje es inferior solo en los tratamientos con algún tipo de subproducto, por ejemplo; el nopal con levadura (10 %) y melaza (10 %) ensilado, (17.45 % FDA) tuvo una disminución de 4 % respecto a la biomasa previa al ensilaje, lo que coincide con (Murillo, 2001), en las variedades de nopal AN-FV1 y ANTV-6 adicionadas con 10 % de levadura, 12.8 y 16.2 % de FDA, respectivamente. Duque, (2003) en cladodios de *O.*

ficus indica de uno, dos y tres años de edad reporta; 17.5, 18.7 y 18.5 % de FDA, valores ligeramente inferiores al contenido del nopal tal cual es ofrecido (T_1) 20.23 %. Ramírez (2007); Mondragón *et al.*, (2003) bajo condiciones hidropónicas, obtuvieron porcentajes de fibra insoluble en detergente ácido de, 17.6-18.53%, respectivamente, lo que hace suponer que no existió un efecto sustancial del cultivo hidroponía en el contenido de FDA.

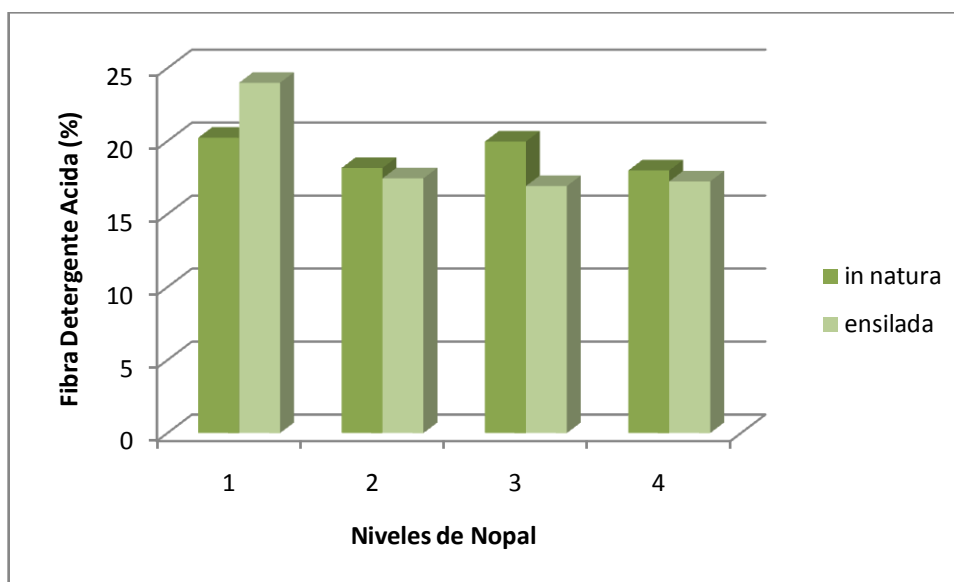


Fig. 4.6. Fibra Detergente Acida de Nopal ensilado y Nopal fresco adicionados con subproductos de cervecería y melaza (%).

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4: 60 %

En la figura 4.7, se observa que el pH en los silos; dos, tres y cuatro, a los 30 días no difirieron ($P < 0.05$) a diferencia del silo únicamente con nopal. Guerra (1995) evaluó el pH en silos de alfalfa y avena con melaza, encontró un valor promedio de 4.15 a los treinta días de fermentación, no difirió ($P < 0.05$) en ambos silos, valor semejante con lo sucedido en los diferentes silos de nopal con melaza, lo anterior podría deducirse en un aumento de ácido láctico y como resultado una disminución del pH, según (Swan y Karalazos, 1990) las melazas de caña de azúcar, son ligeramente

ácidas, un pH bajo es atribuible a la presencia de ácidos alifáticos, por lo que es conveniente ensilar nopal, utilizando tan solo (10 % de melaza + 10 % de levadura) para encontrar un pH óptimo de conservación.

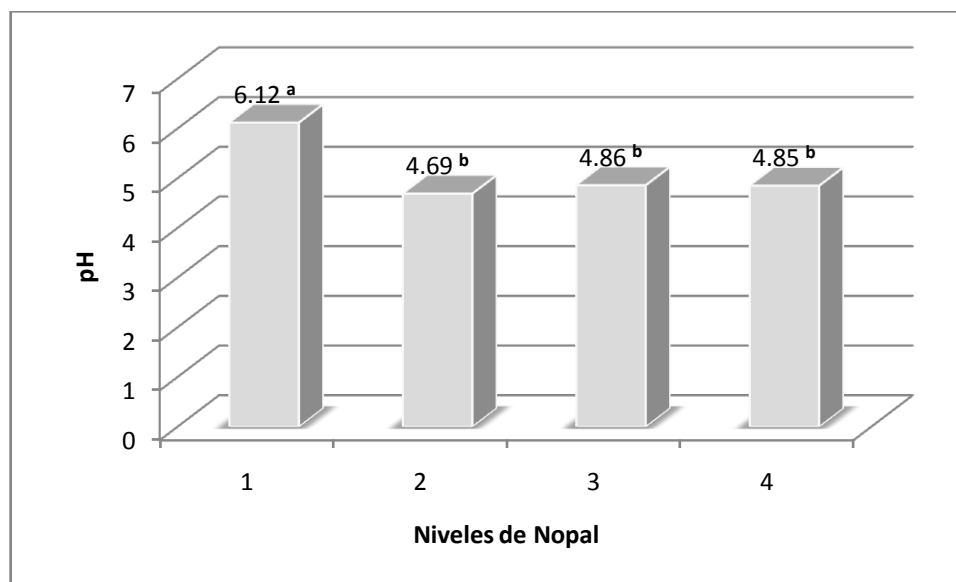


Fig. 4.7. pH Nopal ensilado adicionado con subproductos de cervecería y melaza a los 30 días. ^{ab} en barra son diferentes (P<0.05).

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4: 60 %

Tasa de Degradación *in vitro* de la Materia Seca

El cuadro A.2, muestra el análisis de varianza para la variable; degradación *in vitro* de la MS de nopal adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en donde se encontraron diferencias (P<0.0001) entre la biomasa ensilada e *in natura*, los tratamientos previos al ensilaje presentaron mejores porcentajes de digestibilidad, por tanto fue el mejor proceso (factor A). Al respecto, Anrique y Paz, (2002) encontraron que la degradación *in situ* de la MS, fue mayor (P>0.05) en pomasa fresca que en pomasa ensilada. Guerra (1995) en silos de maíz y avena reporta una menor digestibilidad *in situ* de la MS pos ensilaje, que previa al mismo, estas dos

observaciones son concordantes con los resultados obtenidos. La menor digestibilidad de la MS de nopal solo o adicionado, puede deberse a que durante el tiempo de ensilaje, en todos los tratamientos aumento el contenido de FDN (fig. 4.5), ya que según Church *et al.*,(2002) mientras mayor sea la digestibilidad de la fibra presente en un forraje mayor será su calidad. Para el factor B se encontraron diferencias ($P < 0.0001$) entre los porcentajes de nopal y subproductos –tratamientos-, es decir, las cantidades de nopal y subproductos evaluados, derivaron incrementos y en algunos casos disminuciones en cada tiempo de digestibilidad, la respuesta observada sugiere que los tratamientos con algún tipo de subproducto, con respecto al testigo, alcanzaron mejores coeficientes de digestibilidad, donde sobresale el T₂ (80 % de nopal + 10 % de levadura + 10 % de melaza) *in natura*, quizá este aumento se deba en parte a la considerable digestibilidad de la melaza y a que la levadura mejoro la tasa de degradación de la fibra del nopal, Guedes *et al.*, (2008) encontraron efectos significativos sobre la degradación *in situ* de la fibra de maíz ensilado, concentrado y heno en vacas lecheras lactantes enriquecido con cultivos de levadura, mientras que en el factor C (Tiempo de incubación hr) los tiempos 72, 96, 48, 24 hrs, no mostraron significancia, pero presentan diferencias altamente significativas con los tiempos 12 y 0, siendo estos los tiempos con menores porcentajes de digestibilidad. La interacción A × C no difirió ($P < 0.05$), lo que prueba que la digestibilidad de los silos en cada tiempo de incubación en general podrían ser similares con la biomasa al natural, la interaccione A × B presento diferencias altamente significativas, es decir, el proceso previo a evaluación dependió del contenido de nopal y subproductos en el porcentaje de digestibilidad, por ejemplo; la evaluación del nopal al cien por ciento, mostro los menores coeficientes de digestibilidad, por el contrario del nopal con aditivos como la levadura y melaza. La interacción B × C mostro diferencias ($P < 0.01$), según la prueba de Tukey, ya que los porcentajes de nopal, levadura, masilla y melaza, en cada tratamiento fueron parcialmente determinantes para cada tiempo de incubación.

En la figura 4.8, aparece la digestibilidad de la MS de Nopal *in natura* adicionado con sub productos de cervecera y melaza, en seis tiempos de incubación, se puede observar que el mayor porcentaje de digestibilidad para los tratamientos uno, dos y cuatro fue similar a las 72 horas, y fue el nopal sin ningún subproducto el que adquirió la mejor digestibilidad (80.31 %), seguido del tratamiento dos (77.95 %), mientras el tratamiento tres lo obtuvo a las 24 horas (71.79 %), dicha aseveración se

ajusta a los resultados de Murillo (2001), puesto que reporta mayor porcentaje de digestibilidad *in situ* en dos variedades de nopal AN-FV1 y AN-TV6, sin aditivo, que al adicionar con (10 % de levadura + 20 % de Sulfato de amonio). Por otra parte, Duque, (2003) para *O ficus indica*, obtuvo los máximos porcentajes de degradación *in vitro* de MS a las 48 y 72 hrs de incubación, 64.4 y 71.1%, respectivamente, tiempos homólogos en los que el tratamiento testigo alcanza su máxima degradación (Cuadro 4.3), un aspecto que concilia dicha similitud quizá sea porque en ambas degradaciones se utilizó la misma especie de nopal.

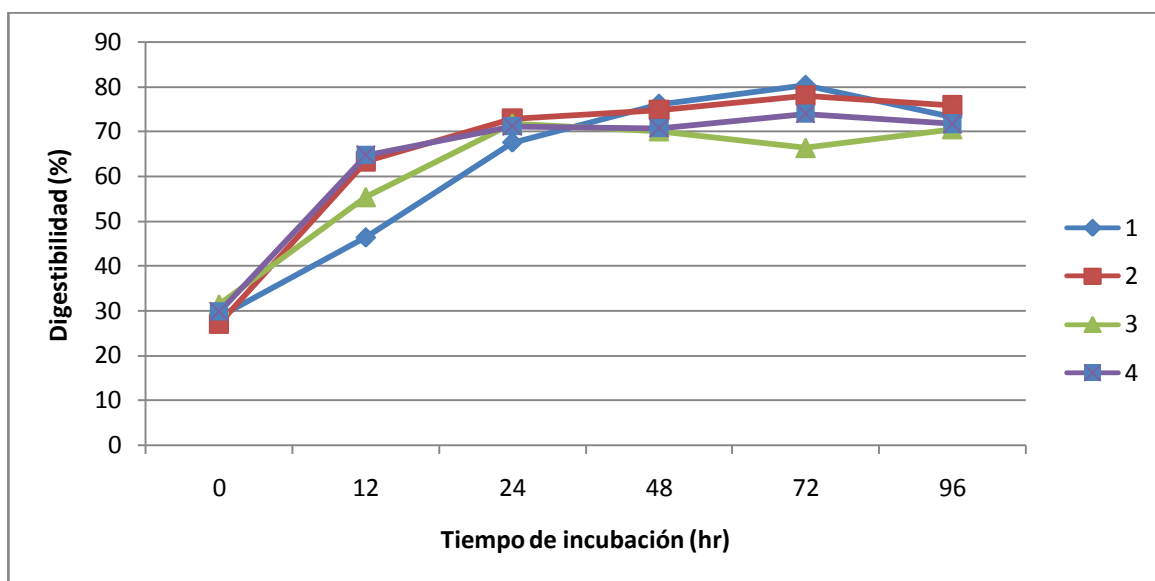


Fig. 4.8. Digestibilidad de la MS de Nopal *in natura* adicionado con subproductos de cervecería, en seis tiempos de incubación.

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4; 60 %

Cuadro 4.3. Digestibilidad de la MS de Nopal *in natura* adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en seis tiempos de incubación (%).

| Tratamiento | Tiempo de incubación (hr) | | | | | | EEM | Pr > t |
|-------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
| | 0 | 12 | 24 | 48 | 72 | 96 | | |
| 1 | 28.59 | 46.31 | 67.51 | 76.10 | 80.32 | 73.18 | 2.54 | <.0001 |
| 2 | 27.13 | 63.36 | 72.89 | 74.81 | 77.95 | 75.71 | 2.54 | <.0001 |
| 3 | 31.44 | 55.37 | 71.79 | 70.06 | 66.33 | 70.53 | 2.54 | <.0001 |
| 4 | 29.86 | 64.73 | 71.23 | 70.77 | 73.93 | 71.75 | 2.54 | <.0001 |

EEM: Error estándar de la media

En la figura 4.9, se observan la digestibilidad de la MS ensilada, donde el tratamiento tres obtuvo el mejor porcentaje de digestibilidad 76.28 por ciento a las 72 horas, seguido por el tratamiento cuatro con 75.18 por ciento a las 24 hrs, en cuanto al tratamiento dos registra un máximo porcentaje de digestibilidad a las 72 hrs y fue hasta las 96 horas pos incubación donde el tratamiento testigo alcanzo su máxima degradación 61.32 por ciento, asimismo presento las digestibilidades más bajas para todos los tiempos de incubación, -pues su contenido de FC, FDN y cenizas (Cuadro, 4.2) fueron los más altos-. Respecto a la biomasa de nopal ensilada sin aditivos (Murillo, 2001) en investigaciones sobre degradación *in situ* en la variedad AN-TV6 reporta la máxima digestibilidad a las 72 hrs (77.21 %) valor superior al tratamiento testigo ensilado.

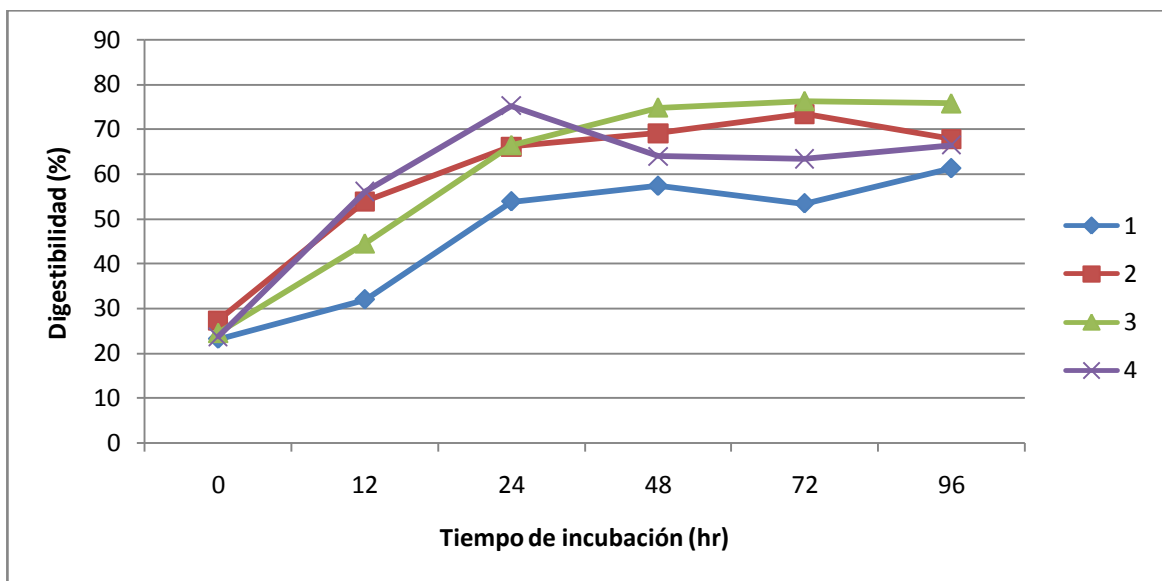


Fig. 4.9. Digestibilidad de la MS de Nopal ensilado adicionado con subproductos de cervecería, en seis tiempos de incubación.

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4; 60 %

Cuadro 4.4. Digestibilidad de la MS de Nopal ensilada adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en seis tiempos de incubación (%).

| Tratamiento | Tiempo de incubación (hr) | | | | | | EEM | Pr > t |
|-------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
| | 0 | 12 | 24 | 48 | 72 | 96 | | |
| 1 | 23.19 | 32.00 | 53.91 | 57.37 | 53.47 | 61.32 | 2.54 | <.0001 |
| 2 | 27.32 | 53.86 | 66.09 | 69.16 | 73.38 | 67.85 | 2.54 | <.0001 |
| 3 | 24.52 | 44.50 | 66.44 | 74.87 | 76.28 | 75.76 | 2.54 | <.0001 |
| 4 | 23.73 | 56.05 | 75.18 | 63.95 | 63.40 | 66.42 | 2.54 | <.0001 |

EEM: Error estándar de la media

Tasa de Degradación *in vitro* de la Materia Orgánica

En la figura 4.10, se muestra la degradación de la MO en fresco, a excepción del tratamiento tres que alcanzo la máxima digestibilidad a las 24 horas, los tratamientos; uno, dos y cuatro la obtuvieron a las 72 horas de incubación, siendo el nopal sin subproductos (testigo) el mejor tratamiento con 78.26 % de digestibilidad, después del (tratamiento dos) con 75.33 %, seguidos de los tratamientos tres y cuatro; que presentan 65.87 % y 69.40 % como máxima digestibilidad de la MO, respectivamente. Cabe señalar que existe un porcentaje de digestibilidad homogéneo en el tiempo 0, en un rango que oscila entre 17.23 a 21.04 %, Sánchez, (2001) y Montes, (2003) reportan una DIVMO de nopal *O. ficus indica* de 65.96 y 84.46 %, durante el otoño e invierno, lo que reafirman la alta digestibilidad del nopal y los resultados expuestos de la presente investigación. De Breabander *et al.*, (1999) reporta para los GHC una DIVMO de 47.9%, comparativamente baja con la de *O. ficus indica*, lo que podría ser un factor que influyo en la baja digestibilidad del tratamiento tres (70 % nopal + GHC 20 % + 10 % Melaza).

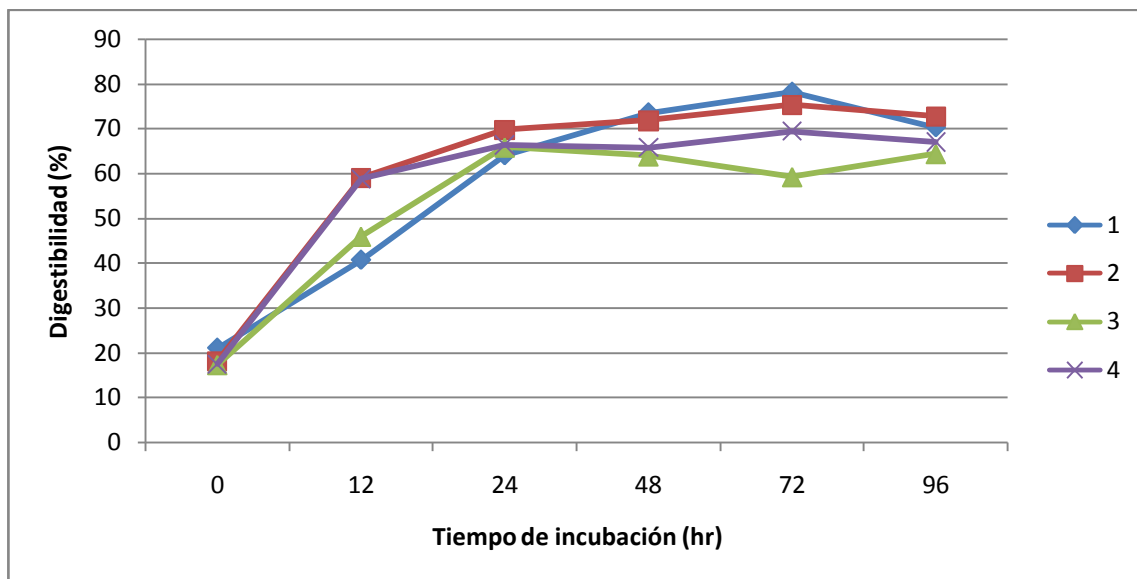


Fig. 4.10. Digestibilidad de la MO de Nopal *in natura* adicionado con subproductos de cervecería, en seis tiempos de incubación.

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4; 60 %

Cuadro 4.5. Digestibilidad de la MO de Nopal *in natura* adicionado con subproductos de cervecería y melaza, en seis tiempos de incubación (%).

| Tratamiento | Tiempo de incubación (hr) | | | | | | EEM | Pr > t |
|-------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
| | 0 | 12 | 24 | 48 | 72 | 96 | | |
| 1 | 21.04 | 40.71 | 64.09 | 73.65 | 75.26 | 70.36 | 2.78 | <.0001 |
| 2 | 18.08 | 58.99 | 69.72 | 71.83 | 75.33 | 72.80 | 2.78 | <.0001 |
| 3 | 17.23 | 45.93 | 65.87 | 63.89 | 59.25 | 64.42 | 2.78 | <.0001 |
| 4 | 17.57 | 58.80 | 66.37 | 65.81 | 69.40 | 66.97 | 2.78 | <.0001 |

EEM: Error estándar de la media

En la figura 4.11, se puede observar que a excepción del tratamiento cuatro que presenta la máxima digestibilidad a las 24 hrs, los tratamientos uno, dos y tres ensilados obtuvieron la máxima digestibilidad de MO a las 72 hrs. Dado el aumento de fibra en la biomasa ensilada en el tratamiento –testigo–, se distingue por presentar la más baja digestibilidad entre tratamientos. Por otra parte, los tratamientos tres y cuatro durante las primeras horas de incubación presentan (Cuadro 4.6) los porcentajes de digestibilidad más altos.

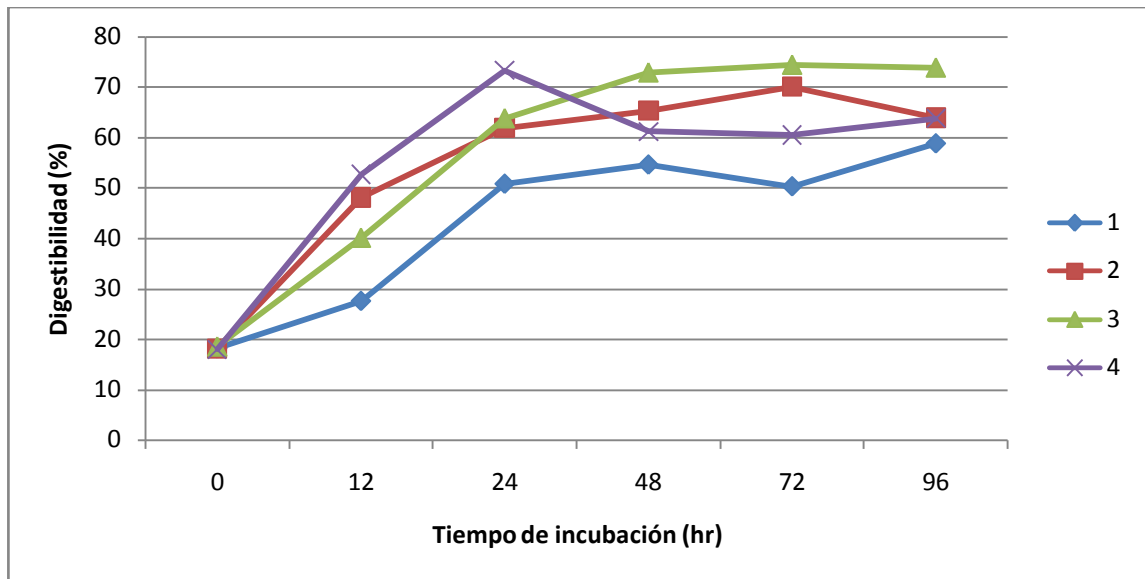


Fig. 4.11. Digestibilidad de la MO de Nopal ensilado adicionado con subproductos de cervecaría, en seis tiempos de incubación.

Niveles de Nopal: 1: 100 %, 2: 80 %, 3: 70 %, 4; 60 %

Cuadro 4.6. Digestibilidad de la MO de Nopal ensilada adicionado con subproductos de cervecaría y melaza, en seis tiempos de incubación (%).

| Tratamiento | Tiempo de incubación (hr) | | | | | | EEM | Pr > t |
|-------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|---------|
| | 0 | 12 | 24 | 48 | 72 | 96 | | |
| 1 | 18.27 | 27.67 | 50.89 | 54.69 | 50.39 | 58.89 | 2.78 | <.0001 |
| 2 | 18.25 | 48.15 | 61.86 | 65.30 | 70.03 | 63.88 | 2.78 | <.0001 |
| 3 | 18.68 | 40.21 | 63.86 | 72.93 | 74.45 | 73.89 | 2.78 | <.0001 |
| 4 | 18.03 | 52.70 | 73.34 | 61.25 | 60.50 | 63.89 | 2.78 | <.0001 |

EEM: Error estándar de la media

5. CONCLUSIONES

Entre las características nutricionales del nopal (*O. ficus indica*) evaluadas, se hace notar un bajo contenido proteico, en este sentido los tratamientos que mejor efecto tuvieron al adicionar subproductos de cervecería y melaza son los que contienen; masilla y melaza con o sin levadura, por otra parte la cantidad proteica resulto ser mejor *in natura* que ensilada. El aumento de fibra pos ensilaje en todos los tratamientos, determino una menor digestibilidad, por lo que es más conveniente usar los ingredientes tal cual son ofrecidos para ser aprovechados al máximo. El contenido de materia seca en el ensilaje mejoro al adicionar tan solo; melaza (10 %) y levadura (10 %), respuesta homogénea en el pH, pues fue el tratamiento dos el que presento un grado de acides optimo de conservación

La digestibilidad de la materia seca y materia orgánica fue superior previa al ensilaje *versus* ensilada, esta aumento de la biomasa fresca, también se asocia con una tasa de digestibilidad más rápida, por otra parte el tratamiento con mayor degradación ruminal *in vitro* de MS fue con; nopal 80 % + levadura 10 % + melaza 10 %, en fresco a las 72 horas de incubación. En la biomasa ensilada fue el tratamiento tres el que presento la mayor digestibilidad *in vitro* de MS. Sin embargo ambos procesos presentaron buenos porcentajes de digestibilidad a las 48 y 72 hr.

El contenido de nutrientes en la biomasa ensilada con, nopal (60 %), levadura (10 %), masilla (20 %) y melaza (10 %), su digestibilidad *in vitro*, presenta una alternativa de alimentación, donde se utilizan altas cantidades de nopal, pero con un contenido proteico adecuado ya no solo para cubrir los requerimientos de mantenimiento para el ganado durante épocas de seca, como tradicionalmente se ha utilizado al nopal, sino para periodos productivos y de mayor demanda nutricional en rumiantes al mínimo costo. El ensilado de esta biomasa puede ser un método de conservación sobre todo cuando se tienen grandes cantidades de masilla, levadura y el nopal se encuentre en un estado fisiológico óptimo para consumo animal.

6. LITERATURA CITADA

AOAC. 1990. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th Ed. Assoc. Off. Anal. Chem. Arlington, USA.

Ankom Technology. 1998. In vitro true digestibility using the Daisy II incubator. Frequently Asked Questions. Ankom Technology, Fairport, NY.
http://www.ankom.com/10_faqs/faqs.shtm. Acensado el 25 de enero de 2009

Aparecida, P. R., R. Franzolin, E. Aparecida S., J. J. Assumpção D., R. Toyoko S. F., M. Aparecida L. 2008. Efeitos de dietas contendo *Leucaena leucocephala* e *Saccharomyces cerevisiae* sobre a fermentação ruminal e a emissão de gás metano em bovinos. R. Bras. Zootec. 37(8):1509-1516.

Araújo, L. F., F.LH. Silva, E.A Brito, S. Oliveria Junior y E.S. Santos. 2008. Enriquecimento protéico da palma forrageira com *Saccharomyces cerevisiae* para alimentação de ruminantes. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec. 60(2): 401-407

Araque, C., R. D'Aubeterre., T. Quijada, I. Dickson, G. Muñoz y A. Sánchez. 2008. Efectos de la complementación con heno-melaza-urea sobre parámetros productivos en cabras criollas a pastoreo. Revista Científica, FCV-LUZ. 18(4):398-402

Anrique, R. y M. V. Paz. 2002. Efecto del ensilado sobre la composición química y degradabilidad ruminal de la pomasa de manzana. Arch. med. vet. 34 (2):189-197

Ariza, B. y L. González. 1997. Producción de Proteína Unicelular a partir de levaduras y melaza de caña de azúcar como sustrato. Tesis Maestría. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. p 22

Armendáriz, M. J., A. Apodaca S., J. Ayala O., y R. Rangel S. 2005. Efecto de un cultivo microbiano (*saccharomyces cerevisiae*) en la producción de leche de cabra. XIX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Tampico, Tamaulipas, México. Del 26 al 28 de octubre de 2005.

Assumpção, G. C. B., M. da Graça M., U. Gomes P., G. Lorian F., J. Stein, B. Lempp. 2008. Efeito da suplementação com cultura de levedura na fermentação ruminal de bovinos de corte. R. Bras. Zootec. 37(4)711-716

Ayala, O. J., G. D. Mendoza M., R. Bárcena G., S. S. González M. 1994. Efecto de la adición de *Saccharomyces cerevisiae* y melaza-urea sobre la digestibilidad *in vivo* e *in situ* en dietas para ovinos basadas en paja de cártamo. Vet. Méx. 25 (3): 221-226

Baraza, R. E., S. Ángeles, C., A. García, P., y A. Valiente, B. 2008. Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época seca, en el Valle de Tehuacán, México. *INCI*. 33(12): 892-896

Betancourt, M., M. Martínez de Acurero, J. Bravo, R. Razz y T. Clavero. 2003. Efecto de la melaza, ácido fórmico y tiempo de fermentación sobre el contenido de proteína cruda y nitrógeno amoniacal en silaje de *Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Trop*. 21(3):289-300.

Bulut, S., M. Elibol, D. Ozer. 2004. Effect of different carbon sources on l (+) – lactic acid production by *Rhizopus oryzae*. *Biochemical Engineering Journal* 21: 33–37

Caraballo, A., M. Betancour y J. Florino. 2007. Efecto de la melaza, estado fisiológico del pasto y tamaño del material cosechado sobre el ensilado de pasto guinea (*Panicum maximum*, Jacq.). *Ciencia*, mar. 15(1):35-46.

Carballo, F. 2000. Microbiología industrial: microorganismos de interés industrial. Ed. Acribia. España. p. 20.

Castillo, G. E., E. Ocaña Z., C. Mendoza P., R. Gómez S., I. Rubio G., F. Livas C. y A. Aluja S. 1999. Complementos con base en melaza-urea para vacas de doble propósito del trópico veracruzano. *Vet Mex*. 30(2):125-133

Castro, F. 1993. Microbiología industrial: microorganismos en el interés industrial. Ed. Acribia. España. pp. 20-22.

Church, C. D. G. W. Pond y R. K. Pond. 2002. Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales 2ª Edición Editorial LIMUSA. México DF. pp.60

De Brabander, D. L., J. L. De Boever, A. M. De Smet, J. M. Vanacker, and C. V. Boucque. 1999. Evaluation of the Physical Structure of Fodder Beets, Potatoes, Pressed Beet Pulp, Brewers Grains, and Corn Cob Silage. *J Dairy Sci*. 82:110–121

Dhiman, R. T., H. Bingham R. and H. Radloff D. 2003. Production response of lactating cows fed dried versus wet brewers' grain in diets with similar dry matter content. *J Dairy Sci*. 86(9):2914-2921

Duque, B. R. 2003. Valoración nutricional del nopal forrajero para rumiantes. Tesis Lic. U.A. de San Luis Potosí. Soledad de Graciano Sánchez, S. L. P. pp.11-19.

Estrada, V. J. 2003. Tasa de degradación *in vitro* de la fibra de dietas para borregos adicionadas con Levadura y/o Bicarbonato de Sodio. Tesis Lic. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 35-39

FEDNA. 2003. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de alimentos para la formulación de piensos compuestos (2ª ed.) C. de Blas, G.G. Mateos y P.G. Rebollar (Eds.). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 423 p.

FEDNA. 2004. Tablas FEDNA de composición y valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos. II. SUBPRODUCTOS HUMEDOS. S. Calsamiglia, A. Bach y A. Ferret (Eds.). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. Madrid, España. 28 p.

Guedes, C. M., M.A. Rodríguez and A. Dias-da-Silva. 2008. Effects of a *Saccharomyces cerevisiae* yeast on ruminal fermentation and fibre degradation of maize silages in cows. *Anim Feed Sc and Technol.* 145:27-40

Guerra, R. P. 1995. Efecto de la adición de melaza e inoculante bacteriano en el ensilaje *in vitro* de tres forrajes convencionales. Tesis Lic. UNAM. México, D.F. pp. 32,38,48-49.

Gutiérrez, O. E. y R. Vázquez, A. 2005. Uso del nopal en la alimentación de ovinos. Memorias: 3er Ciclo de conferencias "La producción ovina en Nuevo León". Cd Guadalupe, Nuevo León, México. pp 32-33

Giger, R., S., N. Bezault, D. Sauvant, and G. Bertin, 1996. Effects of a probiotic yeast in lactating ruminants. Interaction with dietary nitrogen level. *Anim. Feed Sci. Technol.* 63: 149-162.

Giraldo, L. A., A Gutiérrez L. y C. Rúa. 2007. Comparación de dos técnicas: *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Rev Col Cienc Pec.* 20: 269-279

Goering, H. K. and P. J. Van Soest. 1970. Forage fiber analysis. USDA. Handb. No. 379. U. S. Government Printing Office. Washington , D.C.

Gopar, E. E. A. 2001. Tasa de degradación *in vitro* de la fibra de algunas especies del genero *Opuntia*, cosechadas en primavera. Tesis Lic. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp 32-33

González, A. y L. Valenzuela. 2003. *Saccharomyces cerevisiae*. La levadura *Saccharomyces cerevisiae*: un modelo de estudio desde hace más de cien años. (Eds): E. Martínez-Romero y J. C. Martínez-Romero. Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrogeno, UNAM. Cuernavaca, Morelos, México. p 1.

González, P. E.I., L. F. Navarrete S., A. A. Cruz T., A. Domínguez R., J. R, Sanginés G. y J. P. Ramón U. 2007. Influencia de la suplementación con levaduras y minerales sobre la producción de ovocitos de ovejas púberes estimuladas ováricamente. *Revista Científica FCV-LUZ* 8(1):77-82

Gutiérrez, A. R. 1994. Incremento de Proteína y Digestibilidades *in vitro* de 2 Genotipos de nopal (*O. ficus-indica*) bajo condiciones de laboratorio. Tesis Lic. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp 36-37

Gusman, L. D. y J. Chávez. 2007. Estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Rev Soc. Quím. Perú.*1:41-45

Granados, D. S. y A. D. Castañeda P. 1996. El nopal, historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Ed. Tillas. México, D. F. p 65.

Lesmeister, E. K., A. Heinrichs J. and T. Gabler M. 2004. Effects of Supplemental Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) Culture on Rumen Development, Growth Characteristics, and Blood Parameters in Neonatal Dairy Calves. J. Dairy Sci. 87:1832-1839

López, G., J. J. 2004. Evaluación agroecológica y nutricional del nopal forrajero (*Opuntia* spp) en Coahuila, México. Tesis Doctorado. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp 140-141

Lozano, E. y H. M. Ferreiro. 1991. Efecto del nivel de alcohol y glicerol sobre el consumo voluntario y digestibilidad *in vivo* en ovinos alimentados con Melaza/urea a voluntad. Producción animal en zonas áridas. 9(1):21-23

Llamas, R. J. A. 2008. Concentración de ácidos grasos volátiles en líquido ruminal de toretes Charoláis en engorda alimentados con diferentes niveles de masilla y levadura de cerveza. Tesis Lic. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp 47-51

Macedo, B. R., V. Arredondo R., R. Rodríguez R., J. A. Rosales S. y A. Larios G. 2009. Efecto de la adición de un cultivo de levaduras y de la ración sobre la degradación *in vitro* y productividad de corderos Pelibuey. Tec Pecu Méx. 47(1):41-53

Martínez, T. A., J. Madrid S., M.D. Mejías R., J.A. Gallego B., A. Rouco Y. y F. Hernández R. 1998. Uso de forrajes y subproductos en las explotaciones de vacuno de leche de la región Murcia. Arch. Zootec. 44: 33-42

Medina, R. M., G. E. Tirado, I. H. Mejía, I. S. Camarillo y C. V. Cruz. 2006. Digestibilidad *in situ* de dietas con harina de nopal deshidratado conteniendo un preparado de enzimas fibrolíticas exógenas. Pesq. agropec. bras. 41:1173-1177.

Méndez, E. 2006. *Opuntia sulphurea*, un indicador de sobrepastoreo en matorrales de *larrea divaricata*. oeste de mendoza (Argentina). Rev. FCA UNCuyo. 38 (1): 27-34

Mondragón, J. C., S. J. Méndez, G y G. Olmos, O. 2003. El cultivo de *Opuntia* para la producción de forraje: de la deforestación al cultivo hidropónico. En Mondragón-Jacobo C y S. Perez-González (Eds). Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. El Nopal (*Opuntia* spp) como Forraje. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. pp 142-143.

Montes, I. C. E. 2003. Tasa de degradación *in vitro* de la fibra de algunas especies del genero *Opuntia*, cosechadas en invierno. Tesis Lic. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp 33-34

Murillo, S., M. E. 2001. Evaluación bioquímica degradación pruebas de alimentación y costos de biomasa de nopal (*Opuntia* spp.) como forraje, tratada con diferentes aditivos. Tesis Doctorado. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Nefzaoui, A. y Ben Salem H. 2003. Opuntia forraje estratégico y herramienta eficiente para combatir la desertificación en la región de wana. En Mondragón-Jacobo C y S. Perez-González (Eds). Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. El Nopal (Opuntia spp) como Forraje. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. pp 99-101.

Ojeda, F., D. Díaz y L. González. 1990. Estudio del ácido fórmico como conservante del género *Pennisetum*. Pastos y Forrajes 13:93-100

Padron, P. C. A., M. J. Moreno A. y C. A. Media M. 2008. Composición química, análisis estructural y factores antinutricionales de filocladios de Epiphyllum Phyllanthus (L.): Haw. Var. Hookeri (link & otto) kimn. (cactaceae). *INCI*. 33(6): 443-448

Pietrosevoli, S. M. Ventura y G. Gutiérrez. 1997. Adición de urea y melaza en la preparación de silaje de *Brachiaria brizantha* para bovinos en crecimiento. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 5(1): 205-207

Pinos, R. J.M., S.M. González, B. Badillo, J.C. García, J.R. Aguirre, S. Infante. 2008. Chemical Composition and Ruminant *in vitro* Degradation of Fresh or Silage of *Agave salmiana* Otto. Ex. Salm-Dick. J. Appl. Anim. Res. 33:45-48

Ramírez, T. H.M, J.A. A. Reyes, J. M. R. Pinos y J. R. R. Aguirre. 2007. Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. Agrociencia. 41:619-626.

Ramos, J. A., G. D. Mendoza M. I. Aranda E., C. García B., R. Barcelona G. y J Alanís R. 1998. Escape protein supplementation of growing steers grazing stargrass. Anim Feed Sci Technol. (70):257-264

Reyes, A., J.A. 2005. Variación morfológica de Opuntia (cactácea) y su relación con la domesticación en la altiplanicie meridional de México. Tesis Doctorado. UNAM. México, DF. P. 4

Reyes, A., J.A., J.R. Aguirre, H.M. Hernández. 2005. Notas sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill (CACTACEAE). Agrociencia.39:395-408

Rivas, J., P. Bastidas, T. Díaz, M. Hahn y A. Moya. 2006. Efecto de la suplementación con *Saccharomyces cerevisiae* sobre el comportamiento reproductivo en rebaños lecheros de la zona alta del estado Mérida. Zootecnia Trop. 24 (3):379-391.

Rojo, R. R., G. D. Mendoza M., C. M. García B., J. R Bárcena G. y E. M. Aranda I. 2000. Consumo y digestibilidad de pastos tropicales en toretes con suplementación nitrogenada y *Saccharomyces cerevisiae*. Revista Científica FCV-LUZ 17(4):358-370

Rosquero, P. E. 2001. Determinación de minerales en nopal forrajero. Tesis Lic. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 40,44.

Sáenz, C. 1997. Cladodes: a source of dietary fiber. *J. Prof. Assoc. Cactus Dev.* 2: 117-123.

Sánchez, C. y M. García. 1994. Sustitución del heno de gramínea por bagacillo de caña enriquecido con melaza y urea o gallinaza para evaluar comportamiento productivo en cabras. *Zootecnia Trop.* 12(2):225-240

Sánchez, H. M. 2001. Tasa de degradación de la Fibra de algunas especies de nopal del género *Opuntia* in vitro cortadas en otoño. Tesis Lic. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 38-39

SAS Institute. 1999. The SAS System for Windows. V. 8. SAS Institute. Inc. Cary, N. C. USA.

Salas, G. G. 2004. Tasa de degradación *in vitro* de la fibra de algunas especies del genero *Opuntia*, cosechadas en verano. Tesis Lic. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp 49-50

Sauvant, D., J. M. Perez, G. Tran. 2004. Tablas de composición y de valor nutritivo de las materias primas destinadas a los animales de interés ganadero. Ed. Mudi-Prensa. Castello, Madrid, España. p 130.

Soto, C. R. y R. D. Martínez R. 2001. Utilización de bloques de melaza y urea en la engorda intensiva de becerros criollos. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.* 9(2): 99-103

Stintzing, F.C. and R. Carle. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Mol. Nutr. Food Res.* 49: 175-194.

Swan, H. y A. Karalazos. 1990. Las melazas y sus derivados. *Revista Tecnología. Geplacea.* No. 19. España. p 78

Tegegne, F. 2003. Valor utricional de *Opuntia ficus indica* como forraje de rumiantes en Etiopia. En Mondragón-Jacobo C y S. Perez-González (Eds). Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 169. El Nopal (*Opuntia* spp) como Forraje. Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. p 118.

Tilley, J. M. y Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for *in vitro* digestion of forages crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 18:104-111

Zaragoza, H. C., J. Ayala O., G. D. Mendoza M. 2001. Uso de *Saccharomyces cerevisiae* y monoensina sódica en raciones con distinto nivel de proteína para vaquillas Holstein. *Tec. Pec. Méx.* 39(3):207-214

7. ANEXO

Cuadro A.1. Análisis de varianza del análisis bromatológico de nopal adicionado con subproductos de cervecería

| Fuente de variación | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | F | Pr > F |
|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------|--------|
| A | 1 | 159.135000 | 159.135000 | 79.08 | <.0001 |
| B | 3 | 67.0841500 | 22.3613833 | 11.11 | 0.0003 |
| A * B | 3 | 93.9877000 | 31.3292333 | 15.57 | <.0001 |
| Error | 16 | 32.1989333 | 2.0124333 | | |
| Total | 23 | 352.4057833 | | | |
| C.V. | | 1.582717 | | | |

C.V.= Coeficiente de variación.

Cuadro A.2. Análisis de varianza de la degradación ruminal *in vitro* de la materia seca de nopal adicionado con sub productos de cervecería y melaza.

| Fuente de variación | Grados de libertad | Sumatoria de cuadrados | Cuadrados medios | Valor de F | Pr > F |
|---------------------|--------------------|------------------------|------------------|------------|--------|
| A | 1 | 1625.56800 | 1625.56800 | 84.55 | <.0001 |
| B | 3 | 1316.05042 | 438.68347 | 22.82 | <.0001 |
| C | 5 | 36800.43056 | 7360.08611 | 382.80 | <.0001 |
| A * B | 3 | 967.19397 | 322.39799 | 16.77 | <.0001 |
| A * C | 5 | 162.33429 | 32.46686 | 1.69 | 0.1447 |
| B * C | 15 | 1381.74179 | 92.11612 | 4.79 | <.0001 |
| A * B * C | 15 | 997.32851 | 66.48857 | 3.46 | 0.0001 |
| Error | 96 | 1845.80507 | 19.22714 | | |
| Total | 143 | 45096.45260 | | | |
| C.V. | | 7.341366 | | | |

C.V.= Coeficiente de variación.

