

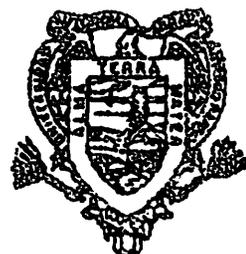
EVALUACION BIOQUIMICA, DEGRADACION,
PRUEBAS DE ALIMENTACION Y COSTOS DE
BIOMASA DE NOPAL (Opuntia spp) COMO FORRAJE,
TRATADA CON DIFERENTES ADITIVOS.

MARIA MARGARITA MURILLO SOTO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: PRODUCCION AGRICOLA



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.N.

Universidad Autónoma Agraria

"Antonio Narro"

PROGRAMA DE GRADUADOS

Buena Vista, Saltillo, Coah.

MAYO DE 2001



12063

**EVALUACION BIOQUIMICA, DEGRADACION, PRUEBAS DE
ALIMENTACION Y COSTOS DE BIOMASA DE NOPAL
(*Opuntia spp*) COMO FORRAJE, TRATADA
CON DIFERENTES ADITIVOS.**

MARIA MARGARITA MURILLO SOTO

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
obtener el grado de :**

DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS

Area: Producción Agrícola



**Universidad Autónoma Agraria
"Antonio Narro"**

Programa de Graduados

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Mayo de 2001**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"

SUBDIRECCION DE POSTGRADO

EVALUACION BIOQUIMICA, DEGRADACION, PRUEBAS DE ALIMENTACION
Y COSTOS DE BIOMASA DE NOPAL (*Opuntia spp*) COMO
FORRAJE, TRATADA CON DIFERENTES ADITIVOS.

TESIS

POR

MARIA MARGARITA MURILLO SOTO

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada como
requisito parcial para optar al grado de:

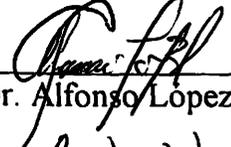
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: PRODUCCION AGRICOLA

COMITE PARTICULAR

Asesor Principal:


Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez

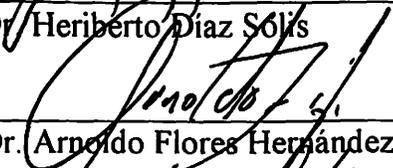
Asesor:


Dr. Alfonso López Benítez

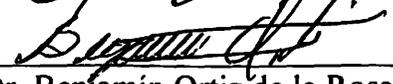
Asesor:


Dr. Heriberto Díaz Sols

Asesor:

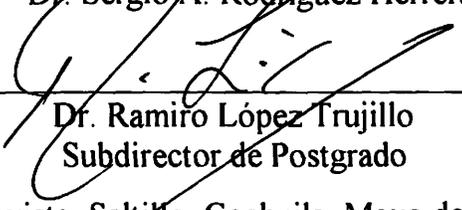

Dr. Arnaldo Flores Hernández

Asesor:


Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa

Asesor:


Dr. Sergio A. Rodríguez Herrera


Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mayo de 2001.

DEDICATORIA

A mis Padres: Gabriel Murillo Peralta (+) y Ma. Elena Soto de Murillo (+) quienes con su amor y ejemplo me guiaron.

A Fernando, mi esposo, que me ha brindado, además de su amor, apoyo y guía durante gran parte de mi vida profesional y que por él estoy a punto de finalizar una etapa más de mi vida.

A mis hijos: David Fernando, Daniel Alberto y Emanuel Alejandro, que son mi inspiración.

A mis hermanos: Francisco, Gabriel, Gerardo y Maria Elena.

A mis hermanos políticos: Rebeca, Soledad, Rafael, Hilda, Rogelio (+) y Yolanda.

AGRADECIMIENTOS

A mis asesores:

Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez, asesor principal, por sus sugerencias y revisión de este trabajo.

Dr. Alfonso López Benitez, por su gran apoyo y sugerencias.

Dr. Heriberto Díaz Solís, por sus valiosas sugerencias a este trabajo, principalmente en el análisis estadístico y revisión final.

Dr. Arnoldo Flores Hernández, quien con sus consejos ayudó en mucho en este trabajo.

Dr. Benjamín Ortiz de la Rosa, por sus sugerencias y ayuda en el análisis de este trabajo.

Dr. Sergio Rodríguez Herrera, por su amistad y sugerencias al escrito.

M.C. Manuel Torres Hernández, por su valiosa cooperación al facilitarme su material bibliográfico durante mis estudios de postgrado, y sus sugerencias en el trabajo de la posta porcina.

M.C. Fernando Ruíz Zarate, por el apoyo brindado en la posta caprina.

COMPENDIO

1. TRATAMIENTOS DE BIOMASA DE NOPAL (*Opuntia* spp) CON DIFERENTES ADITIVOS Y SU ANALISIS QUIMICO Y DEGRADACION *in situ*.

POR:

MARIA MARGARITA MURILLO SOTO

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

AREA: PRODUCCION AGRICOLA

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MAYO DE 2001**

Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez –Tutor-

Palabras Clave: Nopal (*Opuntia* spp), Biomasa, Aditivos, Análisis Químico, Degradación *in situ*.

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 alimentación del ganado de noviembre a mayo, en que no hay precipitación pluvial. Sin embargo, es un forraje de bajo valor energético. Con los objetivos de producir biomasa de nopal con mayor valor alimenticio, y determinar las degradaciones *in situ*, se

utilizaron dos genotipos de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y un ecotipo de nopal (Liebres) con la adición de levadura, sulfato de amonio, urea y melaza en concentraciones de 10 y 20% (9 niveles, mas el testigo, sin aditivos). A los tratamientos se les realizó el análisis proximal (Método de Wendee) y el análisis de fracciones de fibra (Método de Van Soest). Los análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Bioquímica de la UAAAN y en el Departamento de Control de Calidad de LALA Alimentos. Se encontraron diferencias ($p < 0.01$) en todas las características bromatológicas. Se encontró una disminución en materia seca (MS) en los tratamientos levadura 10%, levadura 10% + urea 10% y levadura 10% + urea 20%. Se encontró una disminución del contenido de cenizas en todos los tratamientos con respecto al testigo. Se encontraron diferencias ($p < 0.05$) para Nitrógeno total, en el genotipo ANTV-6, siendo los mejores tratamientos levadura 10% + sulfato de amonio 20%, con 70%, y el levadura 10% + sulfato de amonio 10% + melaza 10%, con 60%, en comparación con el testigo (sin aditivos) con el 14%. En cuanto a la interacción variedad x tratamiento, fue significativo ($p < 0.01$) en fibra detergente ácida (FDA) mostrando una disminución en todos los tratamientos respecto al testigo, y fibra detergente neutra (FDN), en este caso el mejor tratamiento fue levadura 10% + urea 10% en ambos genotipos. El tratamiento levadura 10% + urea 10% en los dos genotipos y el tratamiento levadura 10% + sulfato de amonio 20% en el genotipo ANFV-1 mostraron los valores más altos de hemicelulosa, 12.5 – 14%.

Para determinar las degradaciones *in situ* de 3 genotipos de nopal (*Opuntia* spp) con y sin aditivo (levadura 10% y sulfato de amonio 20%) a través de 8 intervalos de tiempo, se utilizaron bolsas de dacrón con los tratamientos, en vacas fistuladas. La mayor degradación de Materia Seca (DMS) en el nopal sin aditivo, se observó en el genotipo AN-TV6, el cual en todas las horas presentó los mayores valores. El AN-FV1

presentó valores intermedios, y el ecotipo Liebres presentó los valores más bajos; con aditivo, el AN-FV1 presentó las degradaciones mayores, con 80%, pero con respecto al testigo, el genotipo AN-TV6 presenta las degradaciones menores, a partir de la hora 12, y el ecotipo Liebres presentó las degradaciones menores, con 70%. En la degradación de proteína (DPC), el ecotipo Liebres sin aditivo presenta mayores degradaciones en las primeras 12 horas, mientras que el AN-TV6 con aditivo a las 24 y 48 horas, muestra los valores más altos, con 89 y 94%. Todos los tratamientos a las 72 horas, presentaban 100% de la degradación de proteína. En la degradación de fibra detergente ácida (FDA) los genotipos AN-TV6 y AN-FV1 sin aditivo, presentan los mayores valores, del 90 y 88%, al final del período, mientras que con aditivo, presenta degradaciones del 74 y 70%; el ecotipo Liebres, presenta los menores valores, con y sin aditivo, con una degradación del 63%.

2. ALIMENTACION DE GANADO CAPRINO Y PORCINO CON BIOMASA DE NOPAL (*Opuntia spp*) CON LEVADURA Y SULFATO DE AMONIO, Y SU ANALISIS DE COSTOS.

Palabras Clave: Nopal (*Opuntia spp*), Biomasa, Alimentación, Cabras, Cerdos, Análisis de Costos.

Utilizando nopal con levadura y sulfato de amonio como aditivos, se realizaron pruebas de alimentación por un período de 9 semanas, en caprinos (razas Nubia y Granadina, 2 animales por tratamiento) y cerdos (desde iniciación hasta finalización, 10

animales por tratamiento). El alimento base de nopal substituyó al 10 (T2), 15 (T3) y 20% (T4) de la proteína total de la ración, más el tratamiento testigo (T1). Los experimentos se llevaron a cabo en las postas pecuarias de la UAAAN, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. En cabras, se encontraron diferencias ($p < 0.05$) para la variable peso corporal a través de las evaluaciones, y diferencias ($p < 0.01$) para las fuentes de variación de Razas, Raciones y la Interacción Razas x Raciones, alcanzando el máximo peso corporal con las raciones 3 y 4, en la raza Nubia, y el menor peso con las raciones 2 y 3 con la raza Granadina. El tratamiento testigo (alfalfa) ocupó los lugares 3 y 5 (Tukey, $p < 0.05$). Se realizó análisis de calidad de leche con 10 variables, encontrando solamente significancia ($p < 0.05$) en contenido de células somáticas (CCS), para las fuentes de variación de Raciones y la Interacción Razas por Raciones (A x B). En cerdos, se encontraron diferencias ($p < 0.01$) para peso corporal, en las fuentes de variación de Tiempo de alimentación (A), Raciones (B) y la interacción A x B, encontrándose mejor ración la 4 y 3, en la evaluación de 3ª de finalización. El tratamiento testigo quedó en 2º lugar (Tukey, $p < 0.05$). En general, las 4 raciones siguen una tendencia similar, en cuanto a ganancia de peso, encontrando un coeficiente de determinación mayor en la ecuación de regresión de 6º orden; sin embargo, en algunos casos se presenta ya un buen ajuste en ecuación cuadrática o cúbica. Se realizó un análisis de costos (\$ pesos mexicanos) en la alimentación, en función del precio del forraje base de la alimentación, así como del nopal y sus aditivos, considerando el peso de los animales durante el período de prueba. En el ganado caprino raza Nubia se encontró que el costo/kg/animal, el T4 fue el más bajo, con \$3.25, y el más caro fue el testigo, con \$4.077; en el caso de la raza Granadina también el T4 ocupó el primer lugar con un costo de \$3.46, quedando en segunda posición el testigo, \$3.87; el tercer y

cuarto lugar fueron el T3 y T2 respectivamente. En el caso del ganado porcino, se tomó el costo del concentrado en función de los componentes del mismo, costos de la biomasa de nopal y el costo del aditivo y se encontró que el T4 quedó en primer lugar, con \$2.90, seguido por el testigo, con \$2.91; en tercer lugar el T3, con \$3.13, y el T2 en cuarto, con \$3.19.

ABSTRACT

1. BIOMASS PRICKLY PEAR (*Opuntia* spp) TREATMENTS WITH SEVERAL ADDITIVES AND ITS CHEMICAL ANALYSIS AND *in situ* DEGRADATIONS.

BY:

MARIA MARGARITA MURILLO SOTO

DOCTOR IN AGRICULTURAL SCIENCE

AREA: AGRICULTURE PRODUCTION

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. MAY 2001**

Dr. Jesús Manuel Fuentes Rodríguez –Adviser-

Key Words: Prickly pear (*Opuntia* spp), Biomass, Additives, Chemical Analysis, *In situ* Degradation.

In México, more than 66% of its territory are arid and semiarid zones, where good winter forage is scarce and expensive, therefore the feeding of animals is difficult. Prickly pear is a plant due to adaptative morphological, and physiological characteristics can grow under this agroclimatic conditions, and is used as forage for animals from november to may, where there is no precipitation. Nevertheless, is a low energy forage. With the main purpose to produce prickly pear, high in nutrient content biomass and to determine *in situ* degradations, using 2 genotypes of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*)

and one ecotype (Liebres) biomass was produced adding yeast, ammonium sulfate, urea and molasses in 10 and 20% concentrations (9 treatments and the control treatment, without additives). Proximal analysis (Wendee Methodology) and Fiber Fractions (Van Soest Methodology), were done in the Biochemistry Laboratory at UAAAN and at the Quality Control Department at LALA Alimentos. Differences were found ($p < 0.01$) in all chemical characteristics. Dry matter (DM) was lower ($p < 0.05$) in treatments 2 (yeast 10%), 5 (yeast 10% + urea 10%) and 6 (yeast 10% + urea 20%). All treatments respect to control were lower in ash. Differences ($p < 0.05$) were found for Nitrogen, in ANTV-6 genotype, the best treatments were 4 (yeast 10% + ammonium sulfate 20%) with 70%, and 7 (yeast 10% + ammonium sulfate 10% + molasses 10%) with 60%, in comparison with control (without additives) with 14%. Genotype x treatment interaction was different ($p < 0.01$) in Acid Detergent Fiber (ADF), showing lower values in all treatments respect to control; and Neutral Detergent Fiber (NDF) were found differences ($p < 0.05$) in treatment 5 in both genotypes AN-TV6 and AN-FV1. Treatment 5 in both genotypes and treatment 4 in ANFV-1 genotype showed the highest values of hemicellulose, 12.5-14%.

Degradation *in situ* determinations of three prickly pear genotypes (*Opuntia* spp) with and without additives (yeast 10% and ammonium sulfate 20%) were done through 8 time intervals, using dacron bags in fistulated cows. Higher degradation of dry matter (DDM) of prickly pear without additives was observed in AN-TV6 genotype, in all time intervals. AN-FV1 showed intermedium values, and ecotype Liebres showed the lower values; with additives, AN-FV1 showed greater degradations with 80%, but respect control, genotype AN-TV6 showed lower degradations since 12 hour time and ecotype Liebres showed the lower degradations, with 70%. In crude protein degradation (DCP),

ecotype Liebres without additives showed greater degradations in the first 12 hours, meanwhile AN-TV6 with additive in 24 and 28 hours showed the higher values, with 89 and 94%. All treatments at 72 hour shown 100% of protein digestibility. In acid detergent fiber digestibility (ADFD), genotypes AN-TV6 and AN-FV1 without additive, show the higher values, 90 and 88%. At period end, meanwhile with additives, shown digestibilities of 74 and 70%; Liebres ecotype show the lower values, with and without additives, with a digestibility of 63%.

2. GOAT AND SWINE FEEDING WITH PRICKLY PEAR (*Opuntia spp*) BIOMASS WITH YEAST AND AMMONIUM SULFATE AND ITS COST.

Key Words: Prickly pear (*Opuntia spp*), Biomass, Feeding, Goat, Swine, Cost Analysis.

Using yeast and ammonium sulfate as additives with prickly pear, feed trials were done for a period of 9 weeks, in goats (Nubia and Granadine breed, 2 animals by treatment) and swine (initiation trough finishing, 10 animals by treatment). 10 (T2), 15 (T3) and 20% (T4) of total protein from concentrate (T1) was substituted by prickly pear biomass. The experiments were run at the University Campus (UAAAN), in Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. In goats, differences were found ($p < 0.05$) for body weight through evaluations, and differences ($p < 0.01$) for Breeds, Rations and the interaction Breed x Rations, reaching a maximum body weight with rations 3 and 4, in Nubia, and the minimum weight with rations 2 and 3 in Granadine. The ration 1 (T1 0%, as a control) were in 3rd and 5th places (Tukey, $p < 0.05$). Milk analysis was done with 10

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xv
INDICE DE FIGURAS.....	xvii
INTRODUCCION.....	1
1. TRATAMIENTOS DE BIOMASA DE NOPAL (<i>Opuntia</i> spp) CON DIFERENTES ADITIVOS Y SU ANALISIS QUÍMICO Y DEGRADACION <i>in situ</i>	4
INTRODUCCION.....	4
MATERIALES Y METODOS.....	10
RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
CONCLUSIONES.....	21
LITERATURA CITADA.....	22
2. ALIMENTACION DE GANADO CAPRINO Y PORCINO CON BIOMASA DE NOPAL (<i>Opuntia</i> spp) CON LEVADURA Y SULFATO DE AMONIO Y SU ANALISIS DE COSTOS.....	45
INTRODUCCION.....	45
MATERIALES Y METODOS.....	49
RESULTADOS Y DISCUSION.....	51
CONCLUSIONES.....	57
LITERATURA CITADA.....	58
DISCUSION.....	76
CONCLUSIONES.....	84
LITERATURA CITADA.....	85

variables, founding differences ($p < 0.05$) in Somatic Cells Content (SCC), for sources of variation of Rations and interaction Breeds by Rations (A x B). In swine, differences were found ($p < 0.01$) for live weight, in source of variation of Feeding period (A) Rations (B) and interaction A x B; rations 4 and 3 were the best in 3rd evaluation of finishing. The control treatment was in 2nd place (Tukey $p < 0.05$). In general, the four treatments followed a similar trend on weight increment, founding a higher determination coefficient in regression equation of 6th order, nevertheless in some cases were found a good adjustment in quadratic or cubic equation. A feed costs analysis was done (\$ mexican pesos), in function of feed base forage price, as prickly pear and additives, considering animal weight trough trial period. Goat livestock Nubia breed was found that cost/kg/animal, T4 was cheaper with \$ 3.25, and the most expensive was control, (T1) with \$ 4.077; Granadina breed, also T4 was cheaper being the first place with a cost of \$ 3.46, second place was control T1, \$3.87; third and fourth place were T3 and T2, respectively. In Swine, costs of concentrate was in function of ingredients, prickly pear biomass and additives, and was found that T4 was at first place with \$2.90, followed by control, with \$ 2.91; in third place T3 with \$3.13, and T2 in fourth place with \$ 3.19.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xv
INDICE DE FIGURAS.....	xvii
INTRODUCCION.....	1
1. TRATAMIENTOS DE BIOMASA DE NOPAL (<i>Opuntia</i> spp) CON DIFERENTES ADITIVOS Y SU ANALISIS QUÍMICO Y DEGRADACION <i>in situ</i>	4
INTRODUCCION.....	4
MATERIALES Y METODOS.....	10
RESULTADOS Y DISCUSION.....	13
CONCLUSIONES.....	21
LITERATURA CITADA.....	22
2. ALIMENTACION DE GANADO CAPRINO Y PORCINO CON BIOMASA DE NOPAL (<i>Opuntia</i> spp) CON LEVADURA Y SULFATO DE AMONIO Y SU ANALISIS DE COSTOS.....	45
INTRODUCCION.....	45
MATERIALES Y METODOS.....	49
RESULTADOS Y DISCUSION.....	51
CONCLUSIONES.....	57
LITERATURA CITADA.....	58
DISCUSION.....	76
CONCLUSIONES.....	84
LITERATURA CITADA.....	85

INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pág. No.
1.1	Análisis de varianza (Cuadrados medios) de características bromatológicas de 2 variedades de nopal y 10 tratamientos para mejorar el contenido nutritivo. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 1997.....	27
1.2	Composición de nutrientes de raciones (% de materia seca)..	27
1.3	Porcentajes de degradación ruminal de materia seca (MS) de AN-FV1, AN-TV6 y Liebres.....	27
1.4	Porcentajes de degradación ruminal de Proteína Cruda (PC) de AN-FV1, AN-TV6 y Liebres.....	28
1.5	Porcentajes de Fibra Detergente Acida (FDA) de AN-FV1, AN-TV6 y Liebres.....	28
1.6	Constantes de degradación ruminal de materia seca (MS), Proteína Cruda (PC) y Fibra Acido Detergente (FDA) de biomasa de nopal con y sin sulfato de amonio al 20%, incubadas en bovinos.....	28
2.1	Análisis de Varianza para peso corporal en cabras estabuladas alimentadas con raciones de biomasa de nopal..	61
2.2	Medias para peso corporal en cabras utilizando nopal como complemento alimenticio, para la interacción Razas por Raciones.....	61
2.3	Análisis de Varianza (Cuadrados medios) para las variables de calidad de leche de cabras estabuladas, alimentadas con raciones de nopal.....	62
2.4	Correlaciones entre componentes de la calidad de leche en cabras, raza Nubia, alimentadas con raciones de nopal.	62
2.5	Correlaciones entre componentes de la calidad de leche en cabras, raza Granadina, alimentadas con raciones de	

	biomasa de nopal.....	63
2.6	Correlaciones entre componentes de calidad de leche en cabras, raza Nubia y Granadina, alimentadas con raciones de biomasa de nopal.....	63
2.7	Análisis de Varianza para peso corporal en cerdos alimentados con raciones de nopal.....	64
2.8	Promedios para peso corporal en cerdos, a través de 9 evaluaciones y 4 raciones de nopal.	64
2.9	Costos de alimentación utilizando biomasa de nopal como suplemento en dos razas de cabras en lactancia. Total del experimento.....	64
2.10	Pesos promedio catorcenales de cerdos suplementados con biomasa de nopal en las etapas de crecimiento y finalizacion.....	65
2.11	Costos de alimentación en cerdos suplementados con biomasa de nopal, durante la etapa de crecimiento.....	65
2.12	Costos de alimentación en cerdos suplementados con biomasa de nopal. etapa de finalizacion.....	65
2.13	Costos de alimentación utilizando biomasa de nopal como suplemento en cerdos.....	66

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pág. No.
1.1	Características Bromatológicas (promedio de 10 tratamientos y 3 repeticiones) en 2 variedades de nopal, para estudio de sustentabilidad del nopal como forraje en el norte de México.....	29
1.2	Materia Seca de 2 Variedades de Nopal con 9 Tratamientos Aditivos para Mejorar el Contenido Nutritivo (promedio de 3 repeticiones).....	29
1.3	Ceniza de 2 Variedades de Nopal con 10 Tratamientos. Aditivos para Mejorar el Contenido Nutritivo (promedio de 3 repeticiones).....	30
1.4	Proteína de 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos para Mejorar el Contenido nutritivo.....	30
1.5	Fibra Detergente Acida de 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.....	31
1.6	Fibra Detergente Neutra de 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.....	31
1.7	Fibra Detergente Acida de 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.....	32
1.8	Fibra Detergente Acida Determinada a los Mejores Tratamientos de Proteína en 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.....	32
1.9	Fibra Detergente Neutra Determinada a los Mejores Tratamientos de Proteína en 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el	

	Contenido Nutritivo.....	33
1.10	Hemicelulosa Determinada a los Mejores Tratamientos de Proteína en 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.....	33
1.11	Degradación observada de materia seca en tres genotipos de nopal, considerando dos tratamientos (testigo y Lev. 10% + Sulf. Am. 20%) a través de 8 intervalos de tiempo.....	34
1.12	Degradación observada de proteína en tres genotipos de nopal, considerando dos tratamientos (testigo y Lev. 10% + Sulf Am. 20%) a través de 8 intervalos de tiempo.	34
1.13	Degradación observada de FDA en tres genotipos de nopal, considerando dos tratamientos (Testigo y Lev. 10% + Sulf. Am. 20%) a través de 8 intervalos de tiempo.	35
1.14	Curva de Degradación MS de biomasa de Nopal AN-FV1, con Sulfato de Amonio 20%.....	35
1.15	Curva de Degradación MS de biomasa de Nopal AN-FV1, testigo.....	36
1.16	Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal AN-FV1, con Sulfato de Amonio 20 %.....	36
1.17	Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal AN-FV1 testigo).....	37
1.18	Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal AN-FV1, con Sulfato de Amonio 20%.....	37
1.19	Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal AN-FV1 (testigo).....	38
1.20	Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal AN-TV6, con Sulfato de Amonio 20 %.....	38
1.21	Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal AN-TV6 (testigo).....	39

1.22	Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal AN-TV6, con Sulfato de Amonio 20 %.....	39
1.23	Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal An-TV6 (testigo).....	40
1.24	Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal AN-TV6, con Sulfato de Amonio 20 %.....	40
1.25	Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal AN-TV6 (testigo).....	41
1.26	Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal Liebres, con Sulfato de Amonio 20 %.....	41
1.27	Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal Liebres (testigo).....	42
1.28	Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal Liebres, con Sulfato de Amonio 20 %.....	42
1.29	Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal Liebres (testigo).....	43
1.30	Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal Liebres, con Sulfato de Amonio 20 %.....	43
1.31	Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal Liebres (testigo).....	44
2.1	Peso Corporal de cabras, raza Nubia, alimentadas con alfalfa y biomasa de Nopal.....	67
2.2	Peso Corporal de cabras, raza Granadina, alimentadas con alfalfa y biomasa de Nopal.....	67
2.3	Peso corporal de cabras raza Nubia, alimentadas con alfalfa.....	68
2.4	Peso corporal de cabras raza Nubia, alimentadas con alfalfa y 10 % de biomasa de Nopal.....	68
2.5	Peso corporal de cabras raza Nubia, alimentadas con alfalfa y 15 % de biomasa de Nopal.....	69
2.6	Peso corporal de cabras raza Nubia, alimentadas con alfalfa y 20 % de biomasa de Nopal.....	69

2.7	Peso corporal (kg día ⁻¹) de cabras raza Granadina, alimentadas con alfalfa (testigo).....	70
2.8	Peso corporal (kg día ⁻¹) de cabras raza Granadina, alimentadas con alfalfa y 10 % de biomasa de nopal....	70
2.9	Peso corporal (kg día ⁻¹) de cabras raza Granadina, alimentadas con alfalfa y 15 % de biomasa de nopal....	71
2.10	Peso corporal (kg día ⁻¹) de cabras raza Granadina, alimentadas con alfalfa y 20 % de biomasa de nopal....	71
2.11	Incremento de peso en cerdos alimentados con biomasa de nopal a través de las etapas de crecimiento y finalización.....	72
2.12	Incremento de peso (kg) en cerdos alimentados con 4 raciones de biomasa nopal.....	72
2.13	Incremento de peso (kg) en cerdos alimentados con concentrado y biomasa de nopal (substitución de 10% de proteína total alimenticia).....	73
2.14	Incremento de peso (kg) en cerdos alimentados con concentrado y biomasa de nopal (substitución de 15 % de proteína total alimenticia).....	73
2.15	Incremento de peso (kg) en cerdos alimentados con concentrado y biomasa de nopal (substitución de 20% de proteína total alimenticia).....	74
2.16	Costos de alimentación por semana de ganado caprino (Raza Nubia) en lactancia, suplementado con biomasa de nopal.....	74
2.17	Costos de alimentación por semana de ganado caprino (Raza Granadina) en lactancia, suplementado con biomasa de nopal.....	75

1. TRATAMIENTOS DE BIOMASA DE NOPAL (*Opuntia spp*) CON DIFERENTES ADITIVOS Y SU ANALISIS QUIMICO Y DEGRADACION *in situ*.

INTRODUCCION

Las zonas áridas y semiáridas de México ocupan más de dos terceras partes del territorio nacional, en donde las condiciones agroclimáticas son adversas para la producción agrícola convencional, haciéndose prácticamente imposible la agricultura de temporal de granos básicos, y en las áreas de riego, explotar exitosamente cultivos intensivos de alta rentabilidad (Borrego y Burgos, 1986). También la producción pecuaria es cara y difícil, sobre todo en invierno, en donde el forraje de calidad escasea, haciéndose necesario mayor inversión para sostener una explotación pecuaria, sea de leche o de carne (Murillo *et al.*, 1994). Ante la gran cantidad de ganado que se encuentra en el norte de México es indispensable encontrar alternativas rentables de sustentación alimenticia del ganado para estas regiones, siendo el nopal forrajero (*Opuntia rastrera*) un vegetal de amplia utilización por los ganaderos. Sin embargo, por su bajo contenido de humedad y escaso valor nutritivo, su utilización es marginal en épocas invernales. Los nopales rastreros silvestres presentan una baja tasa de crecimiento y recuperación al corte; sin embargo, son resistentes a heladas severas, altos en fibra y materia seca (MS).

En el centro-norte de México se encuentran áreas productoras de nopal, como son el área Potosino-Zacatecana que incluye los estados de Coahuila, Chihuahua,

Durango, Nuevo León, San Luis Potosí y Zacatecas; el área del Noreste de México que incluye el Norte de Tamaulipas y Norte y Oeste de Nuevo León, y el área difusa, que incluye los Estados de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, Durango, Chihuahua y Coahuila (Marroquín, 1964).

Algunas de las características que han hecho al nopal un alimento importante para el ganado bovino, caprino, ovino, equino, asnal y fauna silvestre en las zonas áridas y semiáridas del país en el invierno, son su disponibilidad como único recurso forrajero silvestre, además de su alta digestibilidad; así mismo, ofrece facilidades de manejo accesible en el campo, resistencia al transporte, abundancia y productividad, tolerante al frío y al calor, bajo costo de mantenimiento y alta disponibilidad. Su uso es común entre los pequeños productores, ya que en ocasiones es la única alternativa para el mantenimiento de los animales en las épocas críticas del año. Los nopales cultivados, si se seleccionan para uso forrajero, presentan alta tasa de crecimiento y recuperación, algo de tolerancia a heladas severas, bajos en fibra y proteína, y alto contenido de humedad; puede planificarse un sistema de explotación racional e intensiva (Borrego y Burgos, 1986). Debido a que raramente el nopal es fertilizado, es esencial proveer cantidades significativas de suplemento de proteína para el ganado (Felker, 1995; Murillo *et al.*, 1994).

Existen tres métodos conocidos para aumentar el contenido de proteína en el nopal. El primero es utilizando fertilizantes con nitrógeno y fósforo. Se ha encontrado que la proteína cruda (PC) aumentó de 4.5% con cero fertilización a 10.15% con 224 kg de N y 112 kg P ha⁻¹. Esto, además de aumentar el contenido de PC, aumenta el rendimiento de 7 t MS ha⁻¹ año⁻¹ a 60 t MS ha⁻¹ año⁻¹, (González, 1989). La aplicación foliar de urea muestra también un aumento de N (Belasco, *et al.*, 1958). Otro método es

la utilización de clones que presenten mayor contenido de PC (Borrego y Burgos, 1986). La tercera posibilidad para aumentar la PC en el forraje es inoculando las plantaciones con *Azospirillum* (bacteria fijadora de nitrógeno). Mascaraua-Esparza, *et al.*, (1988) y Caballero (1990) encontraron un aumento hasta del 34% en el peso seco y 63% del contenido de N en las raíces.

Se han elaborado silos con variedades COPENA F1 y COPENA V1, agregándosele aditivos: gallinaza, urea, melaza, grano de sorgo molido y pasta de girasol. Se prepararon minisilos, obteniendo una fermentación adecuada, dando un silo de buen olor y color, excepto con la gallinaza. Todos los aditivos aumentaron en forma significativa la materia seca y la proteína de los ensilajes. Los mejores resultados se obtuvieron con aditivos de sorgo molido, pasta de girasol, urea y melaza (Lastra, 1978).

En el proceso de ensilado, el forraje es picado, lo cual permite la liberación de enzimas proteolíticas (proteínas degradadoras) y nutrientes de las células vegetales. Durante este tiempo, el material vegetal permanece vivo y libera enzimas activas, pero en general, las reacciones que se llevan a cabo no ayudan a conservar el forraje. El empacar y apretar rápidamente ayuda a eliminar el oxígeno residual. Entonces, si las condiciones lo permiten, las bacterias ácido-lácticas utilizan los carbohidratos solubles para producir ácido láctico, lo cual produce una disminución en el pH, permitiendo una mejor conservación del ensilado.

Es común el añadir aditivos a los silos, como urea, y en ocasiones se utilizan bacterias y enzimas, para mejorar el valor nutritivo. Cuando se utilizan bacterias como aditivos, se ha encontrado que proveen factores de crecimiento solubles (i.e. ácidos orgánicos, vitaminas B y aminoácidos) que son requeridos por las bacterias ruminales para crecimiento (Nisbet y Martin, 1990, 1991 y 1993; Waldrip y Martin, 1993, Kung,

1999). Al utilizar inoculantes bacterianos se mejora la fermentación y el comportamiento animal con silos de cereales (Kung *et al.*, 1993) silos de pastos (Harrison *et al.*, 1994) y silos de alfalfa (Kung *et al.*, 1987).

Al utilizar cultivos de levadura en la dieta en vacas lecheras, se ha encontrado que se aumenta el porcentaje de bacterias celulolíticas y proteolíticas (Harrison *et al.*, 1988; Wiedmeier *et al.*, 1987), pero la respuesta a la digestibilidad ha sido inconsistente (Harrison *et al.*, 1994; Kim *et al.*, 1992; Yoon *et al.*, 1996). Shaver y Garret (1999), al utilizar cultivos de levadura en la dieta de vacas lecheras en Wisconsin, encontraron incrementos en la producción de leche, así como también en el contenido de proteína.

El nopal es una fuente de energía digestible, con cerca del 70% de materia seca digestible, que es normalmente baja en proteína (cerca del 6%). Los rangos comunes para el nopal son: humedad 85-90%, proteína cruda 5-12%, fósforo 0.08-0.18%, calcio 4.2%, potasio 2.3%, magnesio 1.4%, energía 2.6 Mcal kg⁻¹, carotenoides 29 mg 100 g⁻¹ y ácido ascórbico 13 mg 100 g⁻¹. Los valores de la digestibilidad *in vitro* son 72% para proteína, 62% MS, 43% PC y 67% MO (Gregory y Felker, 1992). En Coahuila, se reportan las digestibilidades de 4 variedades de *Opuntia* (Espinoza, 1987) variando de 89.7 a 94.1%.

El azufre elemental (S) en la degradación (Hunt, 1954) estimula muy poco a la síntesis de riboflavina, no estimula la degradación de la celulosa, la utilización de la urea, ni aparentemente la inhibición de la síntesis de ác. pantoténico. El azufre inorgánico como Na₂SO₄ y azufre en metionina, estimularon la actividad de los microorganismos del rumen, sintetizando más riboflavina y vitamina B12, más celulosa fué digerida y más urea utilizada que cuando las fuentes de azufre fué cisteína o azufre elemental. En este estudio, el azufre del sulfato no mejora la degradación de la materia

seca de los genotipos, en grandes rumiantes, al parecer debido a la mayor acidez del alimento ocasionado por el azufre, lo que provocó una inhibición de la actividad bacteriana del rumen y ya que las bacterias ruminales contienen 62.5% de PC, pero 25% de la proteína está en la pared celular y es indigerible en el intestino delgado. Los ácidos nucleicos (15%) y proteína verdadera (60%) son completamente digeridos en el intestino, pero solamente la proteína verdadera bacteriana es la fuente de aminoácidos. La producción de proteína bacteriana está inversamente relacionada a la concentración de FDN, reflejando altas concentraciones de carbohidratos. Debido a que al ensilar forrajes aumenta la cantidad de proteínas solubles y proteínas no disponibles y esto da por resultado una disminución de crecimiento bacteriano, la proteína metabolizable y los aminoácidos aumentan casi al doble al alimentar con heno de alfalfa, que cuando se alimenta con alfalfa en la forma de silo (Chalupa y Sniffen, 1998).

Albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas son las proteínas primarias contenidas en la fracción proteínica de alimentos, siendo más degradables en el rumen las albúminas y globulinas. Las prolaminas y glutelinas son menos degradables en el rumen, debido a que contienen enlaces disulfuro (Kung, 1999). Cerca del 50% de la proteína metabolizable y aminoácidos son proveídos por ingredientes ricos en energía y 50% por ingredientes ricos en proteína (Chalupa y Sniffen, 1998). Las raciones basadas en silos deben contener altos niveles de proteína cruda con una velocidad de paso alta. La producción de proteína bacteriana es regulada por la cantidad y fermentación ruminal de los carbohidratos de la ración.

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue obtener biomasa de nopal con mayor cantidad de nutrientes, principalmente proteína, usando como aditivos la levadura

(*Sacharomices cerevisiae*), sulfato de amonio, melaza y urea, así como la determinación de la degradación *in situ* de los mejores tratamientos.

MATERIALES Y METODOS

A) Obtención y análisis de Biomasa. Localidad de estudio: 1) La obtención de biomasa se realizó en el Laboratorio de Fisiotecnia del Departamento de Fitomejoramiento en el Campus Universitario de Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, 2) Los análisis químicos fueron realizados en el Laboratorio de Bioquímica de la misma Universidad, y 3) Las fracciones de fibra se realizaron en el Laboratorio de control de Calidad de LALA Alimentos, en Gómez Palacio, Dgo., Méx. **Factores en estudio:** **Factor A:** material vegetativo, con dos niveles: a₁: genotipo AN-FV1; a₂: genotipo AN-TV6, Flores (1992) describe estos genotipos detalladamente; el ecotipo Liebres se utilizó para comparación de algunas variables (sin incluirse en el análisis de varianza), con los 2 genotipos cultivados. **Factor B:** Tratamientos al nopal con 10 niveles, a todos los tratamientos a excepción del testigo, se les adicionó con levadura al 10%: b₁: testigo; b₂ levadura 10% (L); b₃: sulfato de amonio 10% (LSA₁₀); b₄: sulfato de amonio 20% (LSA₂₀); b₅: urea 10% (LU₁₀); b₆: urea 20% (LU₂₀); b₇: sulfato de amonio 10% + melaza 10% (LSAM₁₀), b₈: sulfato de amonio 20% + melaza 20% (LSAM₂₀), b₉: urea 10% + melaza 10% (LUM₁₀) y b₁₀: urea 20%+ melaza 20% (LUM₂₀). **Metodología:** Los tres genotipos de nopal, se picaron, se colocaron en frascos con tapas adaptadas con válvulas de escape y se les agregó el aditivo correspondiente y se dejaron fermentar por un lapso de 15 días en una cámara (Scientific Products) de temperatura constante, a 25°C; posteriormente a cada tratamiento, se le determinó: 1.-Análisis proximal completo (Wendee, descrito por A.O.A.C., 1980); 2.- Fracciones de fibra (Van Soest, 1975). Las

variables que se tomaron en cuenta para el análisis estadístico son: materia seca total (MST), cenizas (CEN), proteínas (PROT), fibra detergente acida (FDA), fibra detergente neutra (FDN) y hemicelulosa (HEMIC). **Análisis estadístico:** para el análisis del valor nutricional, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar, con arreglo de parcelas divididas, para tener una mayor estimación del efecto del factor aditivos, y tres repeticiones: Factor A: genotipos de nopal, con dos niveles; Factor B: tratamientos al nopal con diez niveles. Se usó la prueba de diferencia de medias: Tukey ($p < 0.5$), en las fuentes de variación con diferencias significativas. El paquete estadístico utilizado fue el de la Universidad de Michigan (Mstat).

B) Degradación *in situ*. Localidad de estudio: 1) para la producción de biomasa, laboratorio de Fisiotecnia del Departamento de Fitomejoramiento en el Campus Universitario en Buenavista en Saltillo, Coah. 2) para la degradación *in situ*, establo experimental de LALA Alimentos, en Torreón, Coahuila. **Factores en estudio:** **Factor A:** material vegetativo, con tres niveles: a_1 : genotipo AN-FV1; a_2 : genotipo AN-TV6 descritos por Flores, (1992); a_3 : ecotipo LIEBRES; **Factor B:** Tratamientos al nopal con 2 niveles: b_1 : testigo; b_2 levadura 10% + sulfato de amonio 20%. **Metodología:** En los 3 genotipos, se les aplicó el mejor tratamiento (Murillo *et al.*, 1997) aditivo (levadura 10% + sulfato de amonio 20%) en frascos a temperatura constante (28°C en cámara bioclimática, Scientific Products por 15 días) y el tratamiento testigo (sin aditivo) para determinarles su Degradación *in situ* (bolsa de dacrón, Mehrez y Orskov, 1977) en dos vacas fistuladas, se utilizaron bolsas de dacrón; cada tratamiento se corrió por triplicado, se pesaron aproximadamente 5 g de muestra y se incubaron por tiempos de 0, 2, 6, 12, 24, 48, 72 y 96 h. Se determinó por medio de análisis de laboratorio la degradación de materia seca (DMS), degradación de proteína (DP) y degradación de

fibra detergente ácida (DFDA). **Análisis Estadístico.** Para el ajuste de la curva de Degradación se aplicó la ecuación exponencial $p = A + B (1 - e^{-ct})$, para derivar las constantes de degradación A, B, A + B y c, donde A es la fracción soluble, B la fracción potencialmente degradable que no es soluble, A + B es el potencial de degradación del material evaluado, c es la tasa de degradación de B y t el tiempo de incubación (Orskov y Mc Donald, 1979), se utilizó el paquete NEWAY (Rowett Research Institute).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro No. 1.1 se muestra el análisis de varianza de las características bromatológicas de los 2 mejores genotipos de nopal, AN-FV1 y AN-TV6 y los 9 tratamientos aditivos, más el testigo. Se encontraron diferencias ($p < 0.01$) en todas las características bromatológicas en cuanto a tratamientos, lo que indica que los aditivos tuvieron un efecto marcado en las características nutritivas, y para la interacción variedad por tratamiento, se encontraron diferencias ($p < 0.01$) en fibra detergente ácida (FDA) y fibra detergente neutra (FDN), y diferencias para proteína (PC) ($p < 0.05$).

La figura No. 1.1 muestra las características bromatológicas para los 2 genotipos de nopal, en el que no se encontraron diferencias entre genotipos en cuanto al por ciento de proteína, fibra detergente neutra (FDN) y cenizas (CEN). Estos valores son los promedios de los 10 tratamientos, por lo que se hizo necesario realizar el análisis de la interacción, puesto que los niveles específicos para cada tratamiento, están enmascarados.

La figura No. 1.2 muestra el contenido de MST de las dos variedades de nopal respecto a los 9 tratamientos, no encontrando diferencias significativas en cuanto a variedades, pero diferencias significativas en cuanto a los tratamientos L, LSA₂₀ y LU₁₀ que muestran una disminución de MST, con valores del 89%, lo cual coincide con lo reportado por Sharp *et al.*, (1994) y Gordon (1989) usando bacterias acidolácticas (LAB por sus siglas en inglés), en silos de pastos. Sin embargo los tratamientos con melaza: LSAM₁₀, LSAM₂₀, LUM₁₀ y LUM₂₀, muestran un mayor valor de MST, con 97%.

Según la prueba de Tukey al 5% los mejores tratamientos son los que involucran sulfato de amonio sólo y con melaza, ya que, al parecer el azufre, al bajar un poco el pH del medio de fermentación, permite mejores condiciones como sustrato de crecimiento de la levadura.

En la figura No. 1.3 se observa que hay una disminución de cenizas respecto al testigo, lo cual coincide con lo reportado por Keady *et al.*, (1994) en estudios de diferentes silos de rye grass tratados con *Lactobacillus plantarum*. Esta característica, que representa a los minerales, tuvo mayor valor en el testigo y en general una disminución en los tratamientos con sulfato de amonio, lo que puede indicarnos una mayor disponibilidad de otros nutrientes.

En la figura No. 1.4, se puede observar que todos los tratamientos produjeron un incremento en proteína con respecto al testigo, siendo el tratamiento LSA₂₀ superior (66.5%) en el genotipo AN-TV6, así como también se tiene un mayor incremento en el tratamiento LSAM₁₀ con la variedad ANTV6, concordando con lo reportado por Keady *et al.*, (1994). El aditivo de sulfato de amonio propicia una mayor actividad bacteriana que la urea en los dos genotipos. El reporte de proteína es en N total y en ésta figura se observa que el tratamiento LSA₂₀ aumenta 4 veces el N con respecto al testigo. Felker, (1995), y Gregory y Felker (1992), reportan el contenido de proteína de nopal forrajero, sin ningún aditivo, en un rango de 5-12%; Shoop *et al.*, (1977) reportan que en análisis realizados a *O. polyacantha* encontraron 5.3% de PC en Colorado, variando este valor de acuerdo a la edad del cladodio. En este estudio, el tratamiento testigo tuvo valores de proteína de 13% (base seca), muy similar a lo reportado, por lo que se observa un aumento sustancial de PC en la biomasa de nopal.

En la figura No. 1.5, se muestra que en algunos tratamientos hubo disminución de la fibra detergente ácida (FDA) respecto al testigo, dándose una respuesta heterogénea con respecto a los genotipos, es decir, en algunos tratamientos un genotipo responde mejor que otro, coincidiendo con lo reportado por Selmer-Olsen *et al.*, (1993), Keady *et al.*, (1994) y por Okulie y Ugochukwu (1988), en estudios de silos tratados con LAB. Los tratamientos con esta característica más alta tendrían menor calidad nutritiva, ya que aún cuando los rumiantes degradan la celulosa, lo hacen con mayor gasto energético, y su disponibilidad no es inmediata. Shoop *et al.*, (1977) reporta contenidos de FDA de un 70% en *O. polyacantha*, lo cual no concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, probablemente esto es debido a que los cladodios utilizados en la presente investigación son jóvenes y el contenido de fibra es menor. Vazquez y de la Garza (1999) reportan determinaciones de FDA, encontrando valores de hasta 17.08% en la variedad COPENA F1, no encontrando diferencias en FDN, con valores de hasta 36.06%, en el cultivar Pabellón.

En la figura No. 1.6 se muestran las diferencias entre tratamientos y la interacción variedades por tratamientos en la característica de fibra detergente neutra (FDN). En esta variable no hay una tendencia definida, de ahí la interacción. Esta variable indica la fracción soluble de los carbohidratos, siendo mejor el tratamiento LU₁₀. Se ha encontrado la misma tendencia que reportan Keady *et al.*, (1994), Selmer-Olsen *et al.*, (1993) y Weinberg *et al.*, (1993), que al aumentar la proteína y el FDN disminuye la concentración de FDA, considerándose la hidrólisis de la celulosa.

La figura No. 1.7 muestra las concentraciones de hemicelulosa en los diferentes tratamientos en estudio, y se puede observar que en cuanto al testigo, hay un aumento en algunos de los tratamientos, siendo estas concentraciones pequeñas con respecto a la

fracción de fibra que representan, lo cual concuerda con Jaakola y Huahtanen (1993). Si esta fracción representa una parte de la fibra que puede ser digestible, los tratamientos LSA₂₀ y LU₁₀ respecto al testigo, representan los mejores valores. Esto coincide con lo reportado por Hooper y Armstrong (1987) usando LAB en silos de rye grass y trébol.

En las figuras No. 1.8, 1.9 y 1.10, se muestran los resultados del análisis para FDA, FDN y hemicelulosa en aquellos tratamientos con mayor contenido de proteína, derivado del estudio inicial. Los tratamientos LSA₁₀ y LU₂₀ con el ecotipo de nopal forrajero rastrero “Las liebres” muestran altos contenidos de FDA, lo que disminuye los carbohidratos solubles.

La mayor degradación de materia seca observada en los testigos (tratamiento 1) fue en el genotipo AN-TV6, el cual en todas las horas presentó los mayores valores, finalizando con 90%. El AN-FV1 presentó valores intermedios con 82%, mientras que el ecotipo Liebres presentó los valores más bajos, con 70% (Figura 1.11). En éste caso, se observa que el ecotipo Liebres, al presentar mayores características de rusticidad para zonas áridas, presenta mayor cantidad de fibra y cutícula más dura, lo que retarda la degradación de materia seca. Debido a que no existen reportes de degradaciones *in situ* en nopal, se hacen comparaciones con digestibilidades en nopal y degradaciones en otros forrajes. Se presentan diferencias genotípicas para la producción de nopalitos entre las 2 variedades mejoradas, siendo la AN-TV6 la de mayor productividad (Flores, 1992) posiblemente, por no sintetizar tejidos insolubles o duros. Espinoza (1987) en un estudio realizado para evaluar los efectos de diferentes niveles de harina de nopal suplementado a vacas Holstein, encontró que la digestibilidad *in vitro* de la materia seca fue de 56.84%, 66.8% y 61.71% para los niveles 0, 2.0 y 4.0 kg de harina de nopal, respectivamente, concluyendo que la harina de nopal en la producción de leche pudiera

ser sólo en forma natural y no en harina. En 1958, Belasco *et al.*, (1958), reportan que la digestibilidad *in vivo* de MS y celulosa de nopal asperjado con urea, fue 20% mayor que el control, lo cual concuerda con este trabajo.

En el caso del tratamiento 2, con aditivo, el AN-FV1 presentó las degradaciones mayores, con 75%, pero con respecto al testigo con AN-TV6 las degradaciones son menores, a partir de la hora 12 (figura 1.11). El ecotipo Liebres presentó las degradaciones menores en los dos casos (con y sin aditivo).

En la figura 1.12, se muestra la degradación de la proteína, en la cual se puede observar que el ecotipo Liebres con aditivo, presenta mayores degradaciones en las primeras 6 h con 70%, mientras que el AN-TV6 con aditivo a las 24 y 48 h muestra los valores más altos con 94%. Todos los tratamientos, a las 72 hs, presentaban 100% de la degradación de proteína. La degradación en el rumen de la proteína de la dieta, es influida por varios factores, relativos a la dieta y al animal (Weakley *et al.*, 1983). Everitt y González (1981), encontraron que *O. lindheimerii* en Texas presentó un contenido muy bajo de proteína (6%) en muchas de las especies, y presentó una alta degradación de MS (76%) de todas las especies analizadas, y esto concuerda también con los datos presentados por Meyer y Brown (1985) en especies analizadas de *O. lindheimerii* con digestibilidades altas (75%) a través del año. Belasco *et al.*, (1958) reporta una digestibilidad de proteína (*in vitro*) de 0.27 a 4.15% por 100 libras de nopal seco. Dos importantes factores dietéticos son las propiedades físico-químicas de la proteína alimenticia, y el método de procesamiento.

En la figura 1.13, se observa que los genotipos sin aditivo presentaron valores más altos de degradación de FDA, y que el AN-TV6 sin aditivo mostró el valor más alto respecto a los tres materiales con y sin aditivo desde las 48 h, con 87%, y finalizando a

las 96 h, con 90%. El ecotipo Liebres (con y sin aditivo) fue el que presentó los valores más bajos, finalizando con 62%. Muñoz *et al.*, (1997) mencionan que los valores de FDN y FDA encontrados en un estudio realizado en nopal forrajero Pelón-Liso (*Opuntia ficus-indica*) son bajos en comparación con otros forrajes, por lo que se pueden esperar consumos elevados y digestibilidad de la materia orgánica, por lo que se puede asumir una buena disponibilidad de energía. Se conocen algunos factores que favorecen la acción de los microorganismos como coadyuvantes de la digestión y que las diferentes proporciones de los nutrientes en la dieta, aumentan o disminuyen su degradación (González, 1964). Se sabe que a mayor proporción de azúcar y almidones, hay menor digestión de la fibra. Es decir, los microorganismos atacan más rápidamente la celulosa mientras menos acceso tienen a los hidratos de carbono de fácil digestión, además de que a mayor proporción de proteína, mayor es el vigor de los microorganismos y su ataque sobre la fibra, lo cual lo confirma González (1964), quien menciona que a mayor porcentaje de proteína en el alimento, se aumenta el consumo y la digestibilidad de la materia seca y proteína. Solamente los carbohidratos o productos de la fermentación de carbohidratos proveen energía (ATP) en tasas suficientes para permitir el crecimiento de la mayoría de los microbios ruminales. Además, la cantidad de proteína metabolizable y aminoácidos derivados de las bacterias depende principalmente de la cantidad de carbohidratos fermentados. Para que la fermentación ruminal sea eficiente, es necesario que la digestión de carbohidratos y proteínas esté sincronizada para una máxima producción bacteriana y la digestión de las fibras son alcanzadas. El crecimiento bacteriano requiere de energía y de unidades de carbono de los carbohidratos y amonio de la proteína o NNP (nitrógeno no protéico) que se encuentren disponibles

simultáneamente (Chalupa y Sniffen, 1998). Por lo que inferimos que los resultados obtenidos en este punto coinciden con todo lo anterior.

En los cuadros 1.2 al 1.6 se presentan los resultados de las degradaciones, primero relacionando el nopal con otros forrajes, y luego los diferentes tratamientos de este estudio. En las figuras 1.14 a 1.31, se muestran las curvas de degradaciones ajustadas por la ecuación semilogarítmica de Orskov y Mc Donald (1979) para los diferentes tratamientos, concordando las tendencias con valores de degradación observados ya discutidos.

García *et al.*, (1999), realizaron análisis de digestibilidad *in vitro* a diferentes variedades de nopal, encontrando que la digestibilidad de materia seca variaba de 72.5% a 92.90%, concluyendo que la digestibilidad de la materia seca es alta en general y que se puede considerar al nopal como un concentrado diluído en agua, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en este estudio.

La adición de extractos de cultivos de *Aspergillus orizae* y *Saccharomyces cerevisiae* a dietas para rumiantes han mejorado la digestibilidad de la MS, PC, y hemicelulosa, han incrementado las bacterias ruminales; y han incrementado la producción de leche en las primeras etapas de lactancia (Frumholtz *et al.*, 1989; y Weidmeier *et al.*, 1987). Reportes de investigación sobre la utilización de cultivos de levadura en raciones para vacas lecheras han encontrado que aumentan el porcentaje celulolítico ruminal y bacterias proteolíticas y la hemicelulosa aparente total del tracto, pero la digestibilidad no es consistente (Harrison *et al.*, 1988; Kim *et al.*, 1992; Weidmeier *et al.*, 1987; y Yoon y Stern, 1996). Inoculantes bacterianos han mejorado la fermentación y el comportamiento animal en silos de cereales (Kung *et al.*, 1993), silos de pastos (Harrison *et al.*, 1994) y silos de alfalfa (Kung *et al.*, 1987). Cambios en el

producto final de fermentación, digestibilidad, o consumo deben de ser acompañados de: aumento en la recuperación de MS, mejoras en el comportamiento animal, ganancia de peso, condiciones corporales, reproducción; y durante el almacenamiento del silo, disminución de calor y reproducción de bacterias no deseadas. El uso de enzimas como aditivos no ha dado buenos resultados en la calidad de los silos. Las bacterias inoculantes mejoran la fermentación y la calidad de silos de cereales, pastos y alfalfa, comparados con silos no tratados. El uso de compuestos nitrogenados no proteicos (NPN), dan buenos resultados en la fermentación como la adición de una fuente económica de proteína cruda, prolonga la vida del silo durante la alimentación (estabilidad aeróbica), disminuye la formación de hongos durante el ensilado y disminuye la degradación de la proteína en el silo (Kung, 1999).

CONCLUSIONES

- Las propiedades bromatológicas y de fibra, debido a la utilización de aditivos en fermentación del nopal, fueron modificadas, siendo los mejores tratamientos los de levadura + sulfato de amonio 20%, con y sin melaza.
- El genotipo de nopal que mejor respondió a los aditivos, fue el ANTV-6
- Los genotipos AN-TV6 y AN-FV1 presentan mejores degradaciones que el ecotipo Liebres, en Materia Seca, Proteína Cruda y Fibra Detergente Acida.
- La adición de Levadura 10% + sulfato de amonio 20%, no mejoró la degradación del nopal en Materia Seca y sí en Proteína Cruda y Fibra Detergente Acida.
- La degradación de Proteína Cruda, en los 3 genotipos, con y sin aditivo, se completaba al 100% , a las 72 hs de suplementada la ración en la bolsa de dacrón, no habiendo diferencias entre genotipos.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1980. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Thirteenth Edition. Publ. The Association of Official Analytical Chemists.
- Belasco, I.J., M.F. Gribbins and D.W. Kolterman. 1958. The response of rumen microorganisms and pasture grasses and prickly pear cactus following foliar application of urea. *J. Anim. Sc.* 17:209-217.
- Borrego E. F. y N. Burgos-Vázquez 1986. El Nopal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, México. 201 p.
- Caballero, M. J. 1990. Potential use of the bacteria *Azospirillum* in association with prickly pear cactus. Proceeding of First Annual Texas Prickly Pear Council. 14-21.
- Chalupa, W. and CH.J. Sniffen. 1998. Matching Protein Delivery to Milk Production. The Veterinary Clinics of North America- Food Animal Practice: Dairy Nutrition Management. W.B. Saunders Co. Philadelphia.
- Espinoza, G., D. 1985. Efectos de Diferentes Niveles de Harina de Nopal (*Opuntia rastrera*) Sobre la Producción y Composición de la Leche en Vacas Holstein. Tesis Programa de Graduados. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah., México.
- Espinoza, A., J. 1987. Características Morfológico-Bromatológicas del Nopal Forrajero en Diferentes Ambientes de la Sierra de Paila, Coah. Tesis Programa de Graduados. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah., México.
- Everitt, J.H., and C.L. González. 1981. Seasonal Nutrient Content in Food Plants of White-Tailed Deer on the South Texas Plains. *J. Range Manage.* 34: 506-510.
- Felker, P. 1995. Forage and Fodder Production and Utilization. Agro ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper. 132. 144-154 pp.
- Flores, V.G. 1992. Respuesta de Producción de Nopalito y pH, de Cuatro Genotipos de Nopal (*Opuntia* spp) Tolerantes a Heladas a Tres Densidades en Invierno. Tesis de Licenciatura, U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. México.

- Frumholtz, P. P., C.J. Newbold, and R.J. Wallace. 1989. Influence of *Aspergillus oryzae* Fermentation Extract on the Fermentation of a Basal Ration in the Rumen Simulation Technique (Rusitec). *J. Agric. Sci. (Camb.)* 113: 169.
- Fuentes, J.M. 1991. A Survey of the Feeding Practices, Costs and Production of Dairy and Beef Cattle in Northern Mexico. Proceedings, 2nd Texas Prickly Pear Council. McAllen, Texas. U.S.A. 118-123.
- García, U.G., O.G. Aranda, y C.A. Flores V. 1999. Digestibilidad *in vitro* (DIVMS) de Algunos Cultivares de Nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de el Nopal. San Luis Potosí. 105-106.
- González, C.L. 1989. Potential of Fertilization to Improve Nutritive Value of prickly pear cactus (*Opuntia linheimeri* Engelm). *J. Arid Environ.* 16: 87-94.
- González, M.J. 1964. Digestibilidad del nopal (*Opuntia chrysacantha berg*). Tesis Profesional. I.T.E.S.M. Monterrey, N.L.
- Gordon F.J. 1989. An evaluation through lactating cattle of a bacterial inoculant as an additive for grass silage. *Grass and Forage Science.* 44, 169-179.
- Gregory, R.A. and P. Felker. 1992. Crude protein and phosphorus contents of eight contrasting *Opuntia* forage clones. *J. Arid Environ.* 22:323-331 pp.
- Harrison, G.A., R.W. Hemken, K.A. Dawson, R.J. Harmon, and K.B. Barker. 1988. Influence of addition of yeast culture supplement to diets of lactating cows on ruminal fermentation and microbial populations. *J. Dairy Sci.* 71:2967.
- Harrison, J.H., R. Blauwiekel, and M.R. Stokes. 1994. Fermentation and Utilization of grass silage. *J. Dairy Sci.* 77:3209.
- Hooper, P. G. and D.G. Armstrong. 1987. The chemical composition of silages made with and without an inoculant, their digestibility and voluntary food intake by sheep. 8th Silage Conference, Institute of Grassland and Animal Production. pp 17-18.
- Hunt, C. H., O. G. Bentley, T. V. Hershberger and J. H. Cline. 1954. The effect of carbohydrate and sulfur in B-vitamin synthesis, cellulose digestion, and urea utilization by rumen microorganisms *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 13:570.
- Jaakola, S. and P. Huahtanen. 1993. The effects of forage preservation method and proportion of concentrate on nitrogen digestion and rumen fermentation in cattle. *Grass and Forage Science.* 48, 146-154.

- Keady, T.W.J., R.W.J. Steern, D.J. Kilpatrick and C.S. Mayne. 1994. Effects of inoculant treatment on silage fermentation, digestibility and intake by growing cattle. *Grass and Forage Science*. 49, 225-304.
- Kim, D. Y., M.R. Figueroa, D.P. Dawson, C.E. Batallas, M.J. Arambel, and J.L. Walters. 1992. Efficacy of Supplemental Viable Yeast Culture With or Without *Aspergillus oryzae* on Nutrient Digestibility and Milk Production in Early to Midlactation Dairy Cows. 75(Suppl.,1):206. (Abs.).
- Kim, D.Y., M.R. Figueroa, D.P. Dawson, C.E. Batallas, M.J. Arambel, and J.L. Walters. 1992. Efficacy of supplemental viable yeast culture with or without *Aspergillus oryzae* on nutrient digestibility and milk production in early to midlactation dairy cows. 75(Suppl. 1):206. (Abs.).
- Kung, L. Jr. 1999. Silage Additives Profit Makers or Profit Takers?. Dept. of Animal Science & Agriculture Biochemistry, University of Delaware. Newark, DE, U.S.A. Email, lkung@chopin.udel.edu.
- Kung, L. Jr., J.H. Chen, E.M. Kreck, and K. Knutsen. 1993. Effect of Microbial Inoculants on the Nutritive Value of Corn Silage for Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 76:3763.
- Kung, L. Jr., J.H. Chen, E.M. Kreck, and K. Knutsen. 1993. Effect of Microbial Inoculants on the Nutritive Value of Corn Silage for Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 76:3763
- Kung, L. Jr., L.D. Satter, B.A. Jones, K.W. Genin, G.L. Enders. Jr., and H.S. Kim. 1987. Microbial Inoculation of low moisture alfalfa. *J. Dairy Sci.* 70:2069.
- Lastra, E., J. 1978. Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de Ensilaje de Nopal *Opuntia ficus-indica*. Tesis Profesional. Chapingo, Méx. ENA.
- Marroquín, J.S., 1964. Estudio Ecológico y Dasonómico de las Zonas Aridas del Norte de México, México. INIF. Publ. Esp. 2:166 pp.
- Mascarua-Esparza, M.A., R. Villa-González and J. Caballero-Mellado. 1988. Acetylene reduction and indoleacetic acid production by *Azospirillum* isolates from Cactaceous plants. *Plant and Soil.* 106:91-95 pp.
- Meyer, M.M., and R.D. Brown. 1985. Seasonal Trends in the Chemical Composition of Ten Range Plants in South Texas. *J. Range Manage.* 38: 154-157 pp
- Muñoz G., V., A. Morales R., y H. Blanco G. 1997. Experiencias de la Comisión para el Desarrollo Agropecuario del Estado de Aguascalientes en el Establecimiento, Manejo y Producción de Nopal Forrajero en Aguascalientes. Memorias del VII Congreso Nacional y V Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de el Nopal. Monterrey, N.L.

- Murillo S., M., J. Fuentes, M. Torres, F. Borrego y R. Gutiérrez. 1994. *In Vitro* Protein Digestibility of Two *Opuntia* Genotypes After the Addition of Yeast, Ammonia and Urea. Proceedings 5th Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas. U.S.A.
- Murillo, S.M., J.M. Fuentes, y F. Borrego. 1997. Sustentabilidad del Nopal como Forraje en el Norte de México. Memorias del VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Monterrey, N.L.
- Nisbet, D.J. and S.A. Martin. 1990. Effect of dicarboxylic acids and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on lactate uptake by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. Appl. Environ. Microbiol. 56:3515.
- Nisbet, D.J., and S.A. Martin. 1993. Effects of fumarate, L. malate, and an *Aspergillus oryzae* fermentation extract on D-lactate utilization by ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. Curr. Microbiol. 26:133.
- Nisbett, D.J., and S.A. Martin. 1991. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. J. Anim. Sci. 69:4628
- Okulie, P.N. and E.N. Ugochukwu. 1988. Changes in activities of cell wall degrading enzymes during fermentation of Cassava with *Citrobacter freundii*. J. Science Food Agric. 44, 51-61.
- Orskov. E. R., and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. Camb. 92:499.
- Selmer-Olsen, Y., A.R. Henderson, S. Robertson and R. McGinn. 1993. Cell wall degrading enzyme for silage. 1. The fermentation of enzyme-treated ryegrass in laboratory silos. Grass and Forage Science. 48, 45-54.
- Sharp, R., P.G. Hooper and D.G. Armstrong. 1994. The digestion of grass silages produced using inoculants of lactic acid bacteria (LAB). Grass and Forage Science. 49, 42-53.
- Shaver, R.D., and J.E. Garret. 1999. Effect of Dietary Yeast Culture on Milk Yield, Composition, and Component Yields at Commercial Dairies. The Professional Animal Scientist 13:204-207.
- Shoop, M.C., E.J. Alford and H.F. Mayland. 1977. Plains prickly pear is a good forage for cattle. J. Range Manage. 30: 12-17.

- Van Soest P.J. 1975. Physio-chemical aspects of fiber digestion. En Digestion and Metabolism in the Ruminant. Univ. of New England Publ. Unit., Armidale, Australia.
- Vázquez, A., R.E. y R.J. De la Garza V. 1999. Caracterización de Cinco Cultivares de Nopal Forrajero. Memorias de VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de el Nopal. 107-108 pp.
- Villarreal, A. 1958. El Nopal como Forraje para el Ganado. En primer Congreso de Investigación Agrícola en México. Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura. 7(2):296-300.
- Waldrip, H.M., and S.A. Martin. 1993. Effects of an *Aspergillus oryzae* fermentation extract and other factors on lactate utilization by the ruminal bacterium *Megasphaera elsdenii*. J. Anim Sci. 71:2770.
- Weakley, D. C., M. D. Stern, and L. D. Satter. 1983. Factors affecting disappearance of feedstuffs from bags suspended in the rumen. J. Anim. Sci. 56:493.
- Weidmeier, R.D., M.J. Arambel, and J.L. Walaters. 1987. Effect of yeast culture and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on ruminal characteristics and nutrient digestibility. J. Dairy Sci. 70:2063.
- Weinberg, Z., G. Ashbell, A. Azriely and Y. Brukental. 1993. Ensiling peas, ryegrass and Wheat with additives of lactic acid bacteria (LAB) and cell wall degrading enzymes. Grass and Forage Science. 48, 70-78.
- Yoon, I.K., and M.D. Stern. 1996. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* Cultures on Ruminal Fermentation in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 79:411.

Cuadro No. 1.1. Análisis de varianza (Cuadrados medios) de característica bromatológicas de 2 variedades de nopal y 10 tratamientos para mejorar el contenido nutritivo. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 1997.

F.V.	G.L.	M.S.T.	CEN.	PROT.	F.D.A.	F.D.N.	HEMIC.
Repetición	2	4.73	1.18	35.36	6.04	42.78	12.65
Variedades	1	0.84	4.98	195.37	27.16	145.52	42.23
E(a)	2	0.83	26.45	27.88	10.89	44.81	16.43
Trats	9	86.54**	61.42**	1075.94**	18.81**	117.63**	79.65**
VxT	9	0.87	11.88	215.68*	35.34**	80.17**	20.45
E(b)	36	2.24	12.46	81.30	3.57	18.42	10.11
C.V. (%)		1.61	14.42	20.45	13.64	22.17	3.01

* y ** significativos ($p < 0.05$) y ($p < 0.01$).

Cuadro No. 1.2. Composición de nutrientes de raciones (% de materia seca)

Forraje	TRITICALE	Mezcla de Sorgo	Biomasa de nopal	Nopal
Forraje % MS	39.0	29.0	12.0	10.0-15.0
MS Digestible %	58.1	57.2	76.0	62.0
Proteína cruda %	15.7	16.0	68.0	5.0-12.0
NDF %	32.7	31.5		70.0
Carbohidratos no fibrosos %	40.7	41.2		40.0

Fuentes: Weiss *et al.*, 1999 y Murillo *et al.*, 1997.

Cuadro No. 1.3 Porcentajes de degradación ruminal de materia seca (MS) de AN-FV1, AN-TV6 y Liebres.

Hrs.	AN-FV1 MS		DE		AN-TV6 MS		DE		LIEBRES MS		DE	
	A	T	A	T	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	4.10	20.61	0.00	0.00
2	46.79	35.55	1.90	1.73	44.02	38.55	2.67	5.33	43.31	43.05	1.24	2.29
6	57.73	46.59	4.01	3.86	49.88	46.59	2.02	3.86	47.07	55.74	0.21	5.11
12	65.29	57.89	1.05	3.24	58.12	61.30	1.73	4.35	51.64	73.23	0.53	5.79
24	74.48	68.94	0.81	4.40	68.75	73.24	0.30	1.04	61.71	83.32	0.25	0.56
48	74.21	78.05	0.87	4.89	71.58	73.26	2.42	0.78	64.18	83.28	0.89	0.21
72	75.13	80.28	2.28	0.11	74.35	77.21	3.66	1.63	70.18	89.61	0.49	0.30
96	74.29	81.98	3.12	1.64	74.60	75.81	1.11	0.92	68.59	89.67	2.05	0.95

A. Con aditivo

T. Testigo

DE. Desviación Estandar

Cuadro No. 1.4. Porcentajes de degradación ruminal de Proteína Cruda (PC) de AN-FV1, AN-TV6 y Liebres

Hrs.	AN-FV1 PC		DE		AN-TV6 PC		DE		LIEBRES PC		DE	
	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T
0	0.10	0.08	0.00	0.00	0.95	0.81	0.00	0.00	0.18	0.95	0.00	0.00
2	23.36	36.78	4.93	3.37	17.09	23.86	3.25	5.25	59.75	16.08	0.81	3.28
6	34.83	42.38	5.36	0.38	36.73	42.31	7.71	0.37	70.68	41.69	0.46	3.77
12	74.63	50.81	3.76	1.50	55.05	40.74	1.04	4.58	71.80	41.79	0.59	0.90
24	84.28	80.64	0.43	6.81	88.96	89.07	0.00	0.47	75.03	49.69	0.21	3.77
48	90.26	75.84	0.11	6.83	93.54	87.65	2.28	6.60	84.86	83.31	0.96	13.98
72	100	100	0.00	0.00	100	100	0.00	0.00	100	100	0.00	0.00
96	100	100	0.00	0.00	100	100	0.00	0.00	100	100	0.00	0.00

A. Con aditivo. T. Testigo. DE. Desviación Estandar

Cuadro No. 1.5. Porcentajes de Fibra Detergente Acida (FDA) de AN-FV1, AN-TV6 y Liebres

Hrs.	AN-FV1 FDA		DE		AN-TV6 FDA		DE		LIEBRES FDA		DE	
	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T	A	T
0	3.14	5.37	0.00	0.00	8.28	4.39	0.00	0.00	2.32	5.21	0.00	0.00
2	6.88	9.63	2.58	1.58	11.95	7.80	1.08	4.53	9.88	9.81	1.47	1.75
6	37.97	25.64	6.90	6.04	34.47	25.64	11.19	6.04	37.47	25.19	1.15	5.10
12	49.25	55.77	9.45	5.60	45.46	48.42	1.67	16.54	38.29	59.98	4.58	3.20
24	58.90	62.12	0.77	7.63	75.13	71.91	5.26	3.63	47.90	82.71	5.62	1.79
48	65.72	76.62	2.60	8.35	76.61	70.59	3.74	1.72	59.14	86.12	5.54	1.89
72	73.73	83.69	7.54	6.44	76.94	69.85	7.60	4.26	64.20	89.72	4.36	2.88
96	70.55	86.71	4.30	6.44	77.82	75.76	5.66	0.38	58.82	89.57	5.67	2.01

A. Con aditivo. T. Testigo. DE. Desviación Estandar

Cuadro No. 1.6. Constantes de Degradación ruminal, por ciento de Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC) y Fibra Detergente Acida (FDA) de Biomasa de Nopal con y sin sulfato de Amonio al 20 %, incubada en Bovinos.

Variables	Constantes	AN-FV1		AN-TV6		Liebres		P>F	E.E.	C.V (%)
		A	T	A	T	A	T			
MS	A	12	9.2	8.3	9.9	4.1	20.6			
	B	74.3	82.0	74.6	75.8	68.6	89.7	**	2.99	9.48
	A+B	86.3	91.1	82.9	85.7	72.7	100	**	3.68	10.44
	C(h)	0.005	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	NS	0.0	0.0
	DER	21.05	13.8	18.77	16.18	20.45	17.69	**	1.05	14.36
PC	A	0.1	0.01	1.0	0.8	0.2	1			
	B	100	100	100	100	100	100	NS	0.0	0.0
	A+B	100	100	100	100	100	100	NS	0.0	0.0
	C(h)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	NS	0.0	0.0
	DER	16.04	16.68	0.55	12.74	32.46	12.45	**	4.21	65.23
FDA	A	3.1	5.4	8.3	4.4	6.4	5.2			
	B	70.5	86.7	77.8	75.8	94	89.6	**	3.63	10.79
	A+B	73.7	92.1	86.1	80.2	100	94.8	**	3.98	11.11
	C(h)	0.05	7.05	0.05	0.05	0.05	0.05	NS	0.00	0.0
	DER	10.4	7.31	8.05	9.12	55.91	9.81	**	7.84	114.54

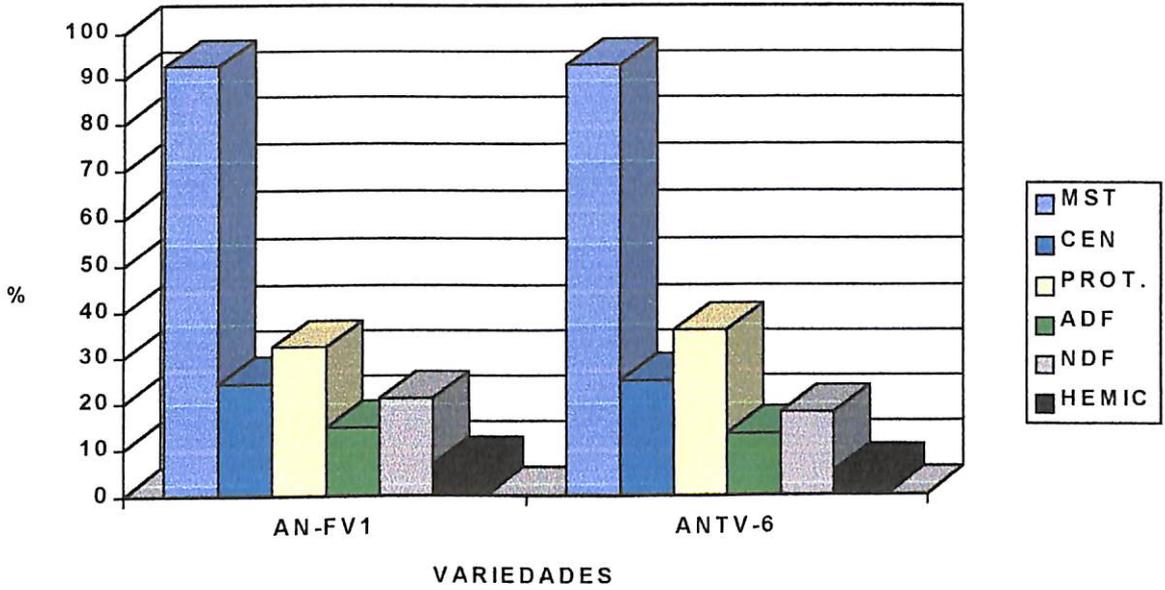


Figura No 1.1. Características Bromatológicas (promedio de 10 tratamientos y 3 repeticiones) en 2 variedades de nopal, para estudio de sustentabilidad del nopal como forraje en el norte de México.

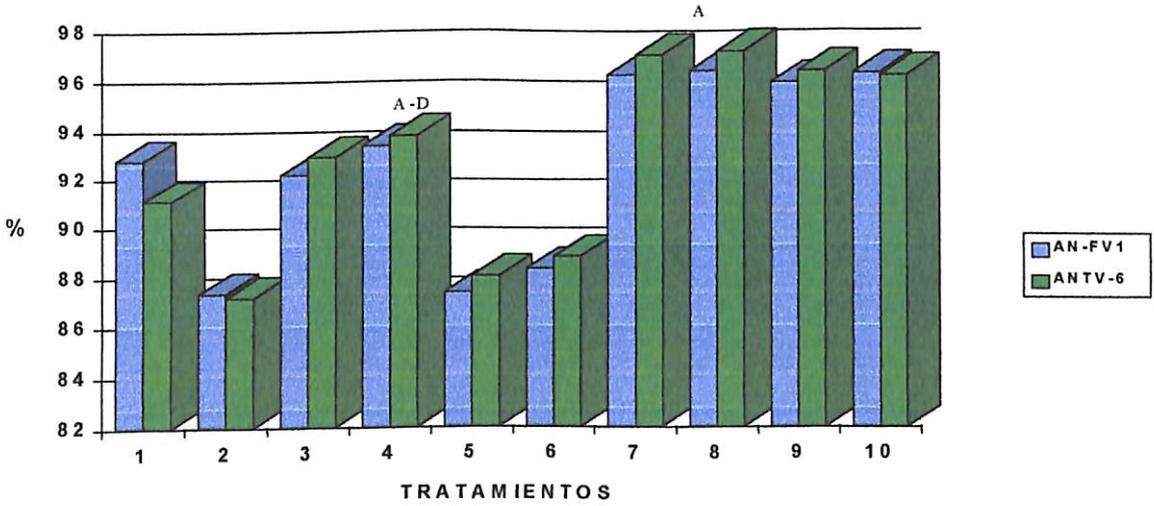


Figura No 1.2. Materia Seca de 2 Variedades de Nopal con 9 Tratamientos Aditivos para Mejorar el Contenido Nutritivo. (promedio de 3 repeticiones).

1. T, 2. L, 3. LSA₁₀, 4. LSA₂₀, 5. LU₁₀, 6. LU₂₀, 7. LSAM₁₀, 8. LSAM₂₀, 9. LUM₁₀, 10. LUM₂₀.

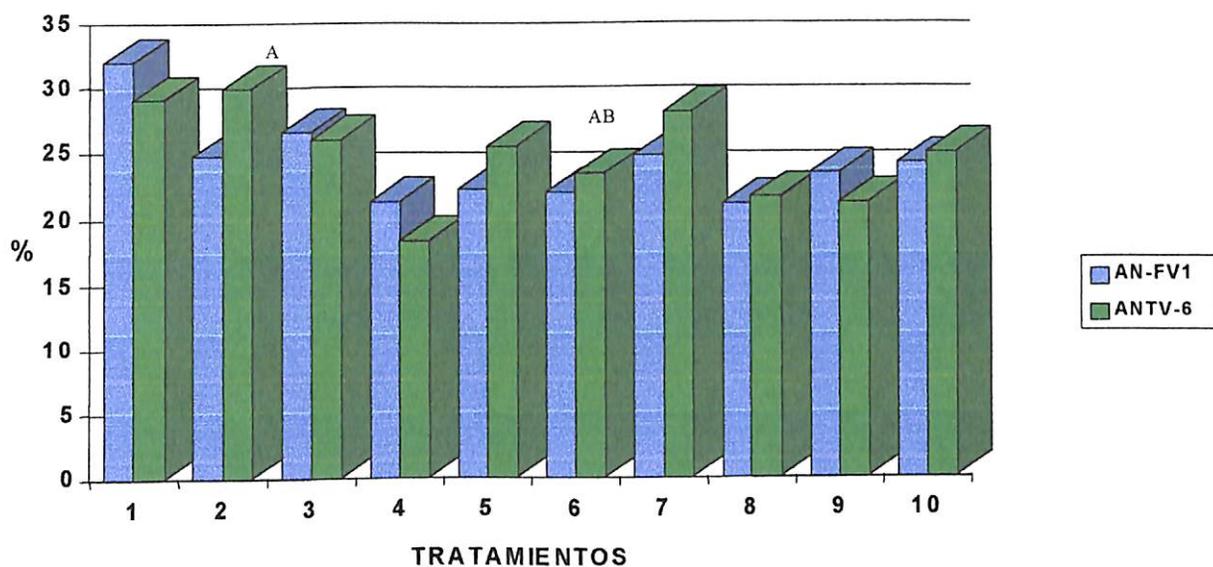


Figura No 1.3. Ceniza de 2 Variedades de Nopal con 10 Tratamientos. Aditivos para Mejorar el Contenido Nutritivo (promedio de 3 repeticiones)

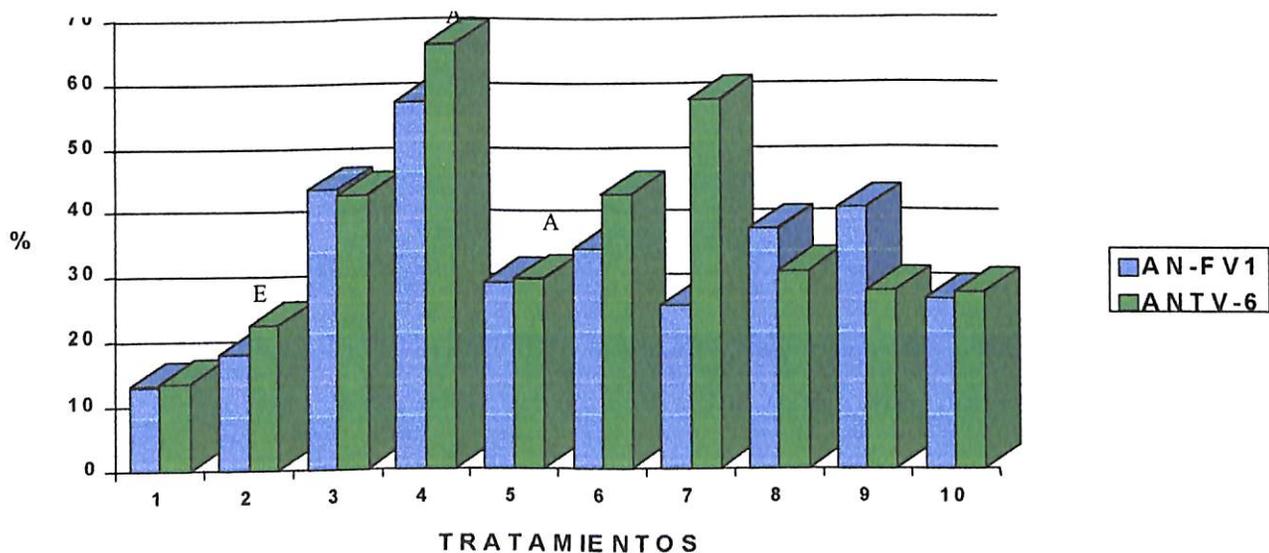


Figura No 1.4. Proteína de 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos para Mejorar el Contenido nutritivo.

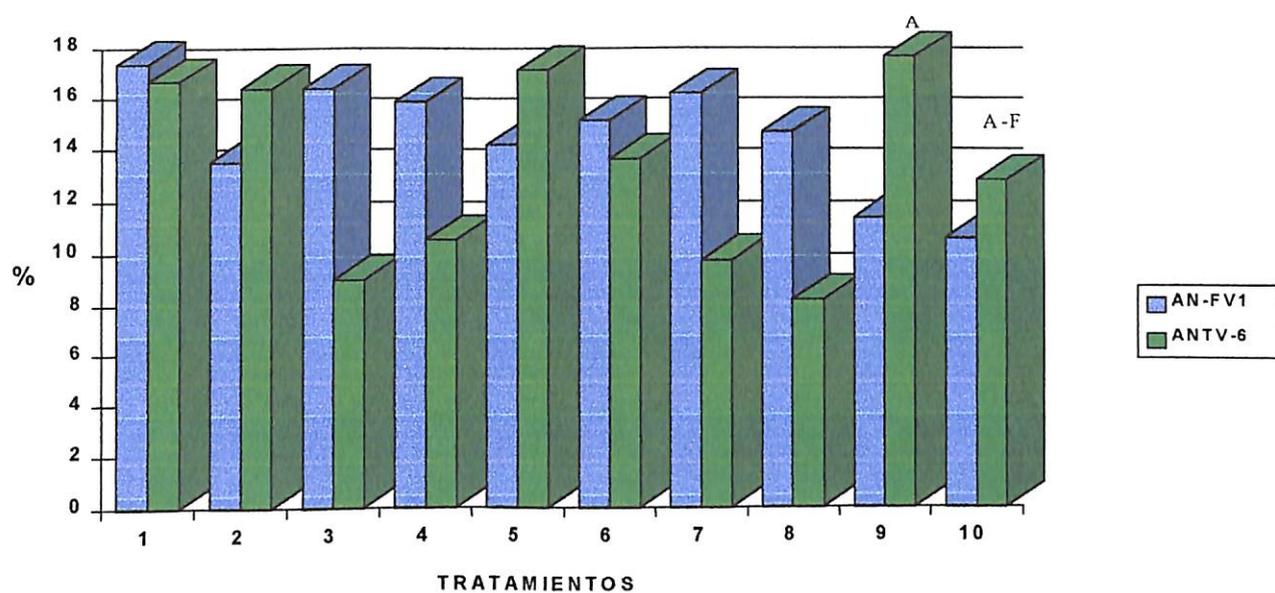


Figura No 1.5. Fibra Detergente Acida de 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.

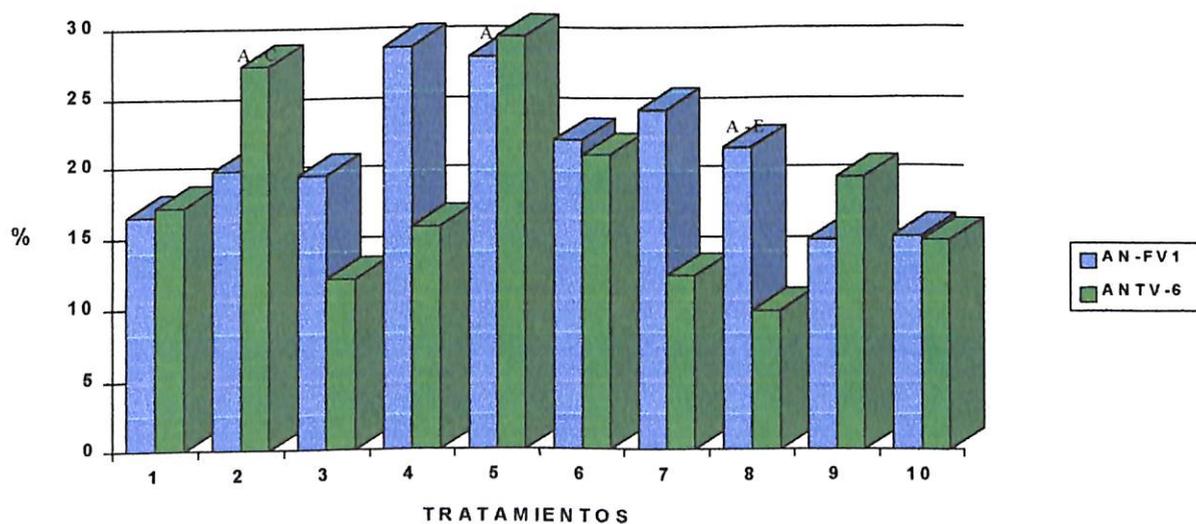


Figura No 1.6. Fibra Detergente Neutra de 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.

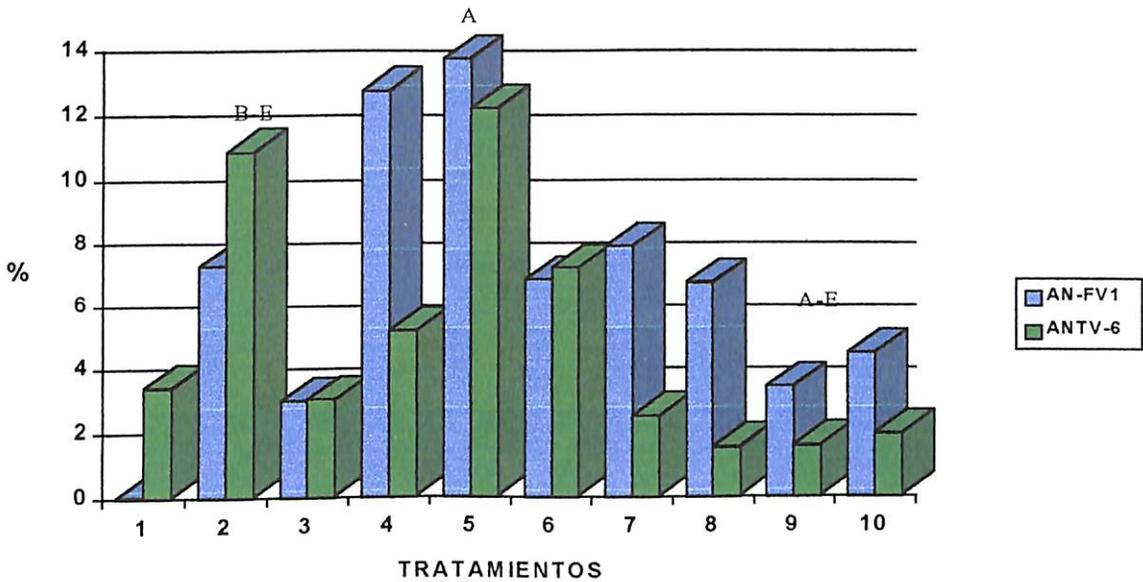


Figura No 1.7. Fibra Detergente Acida de 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.

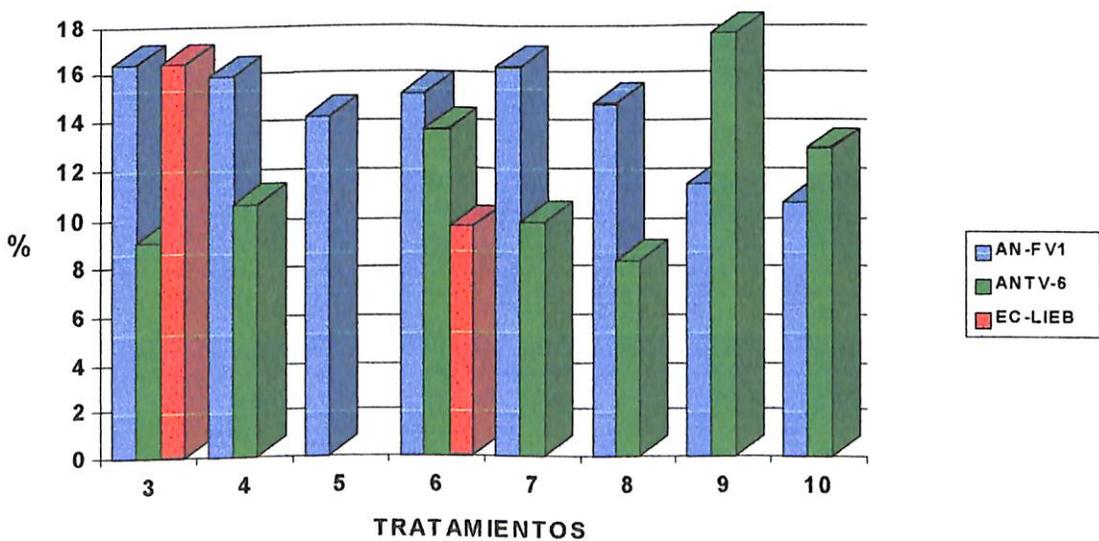


Figura No 1.8. Fibra Detergente Acida Determinada a los Mejores Tratamientos de Proteína en 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.

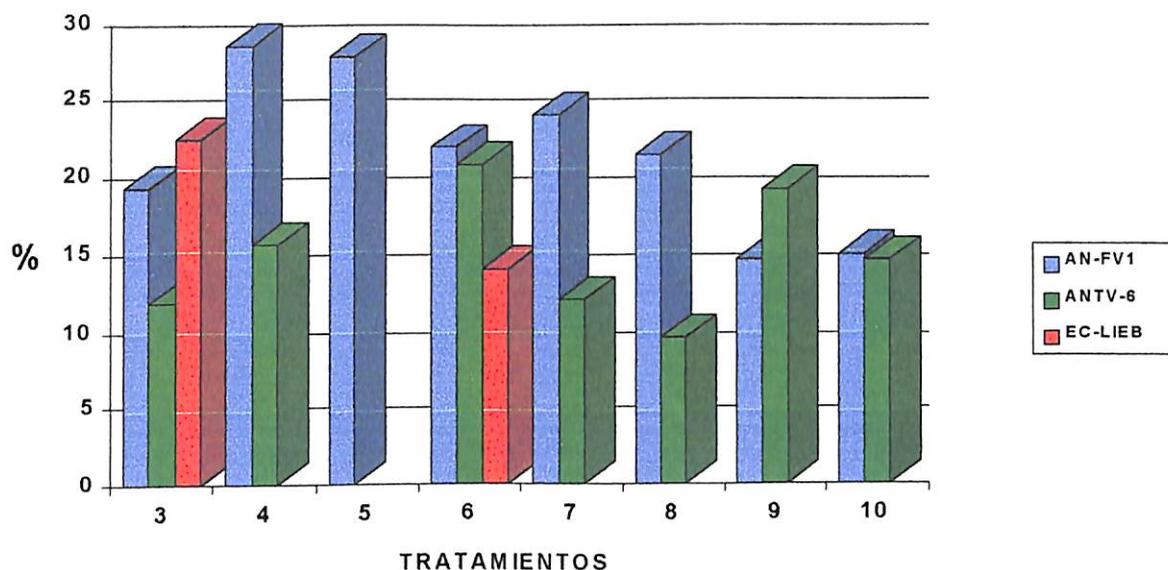


Figura No 1.9. Fibra Detergente Neutra Determinada a los Mejores Tratamientos de Proteína en 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.

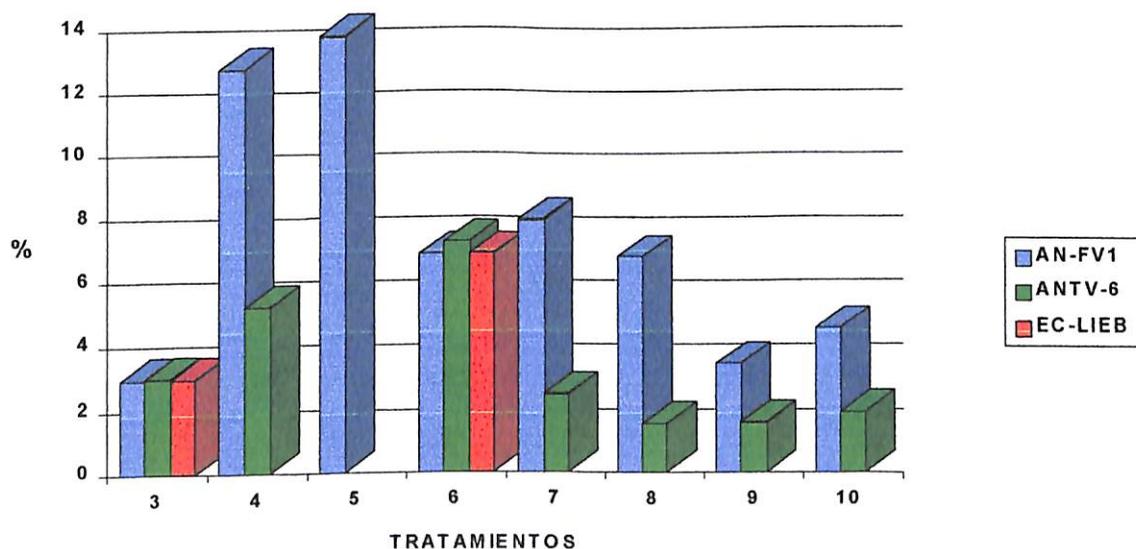


Figura No 1.10. Hemicelulosa Determinada a los Mejores Tratamientos de Proteína en 2 Genotipos de Nopal con 10 Tratamientos Aditivos Para Mejorar el Contenido Nutritivo.

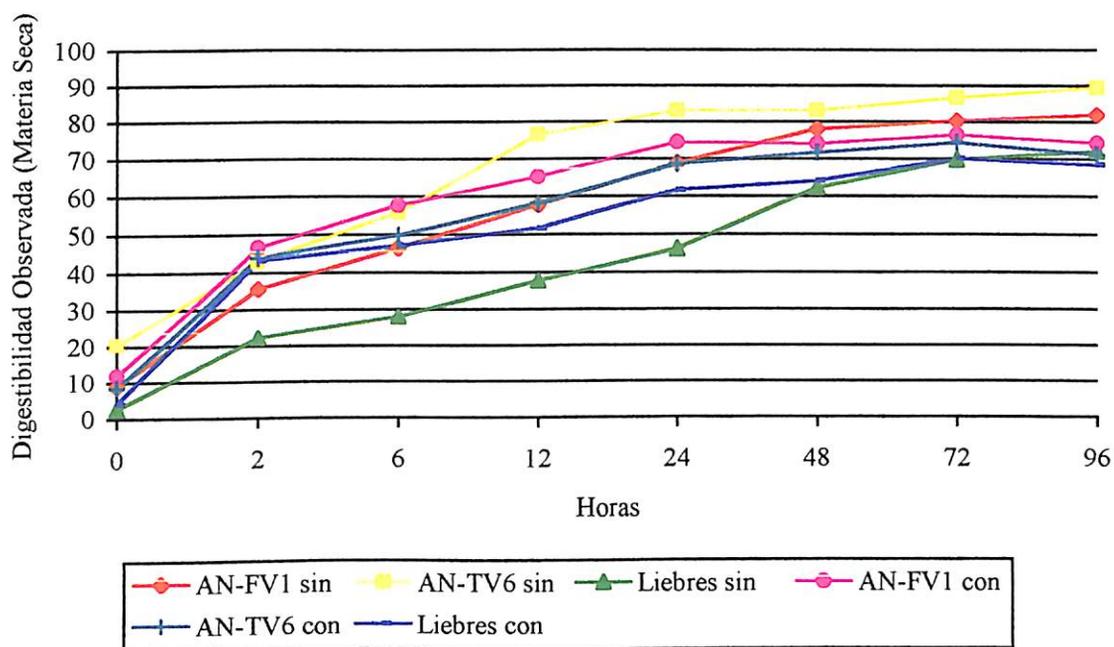


Figura No. 1.11. Digestibilidad observada de materia seca en tres genotipos de nopal, considerando dos tratamientos (testigo y Lev. 10% + Sulf. Am. 20%) a través de 8 intervalos de tiempo. Buenavista, Saltillo, Coah, 1998.

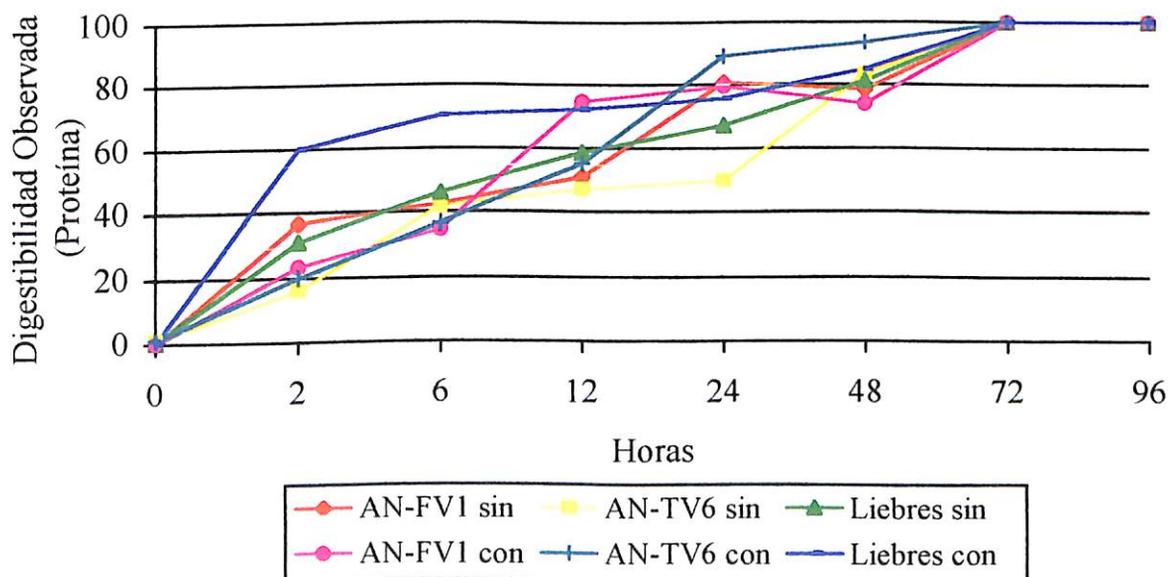


Figura No. 1.12. Digestibilidad observada de proteína en tres genotipos de nopal, considerando dos tratamientos (testigo y Lev. 10% + Sulf. Am. 20%) a través de 8 intervalos de tiempo. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 1998.

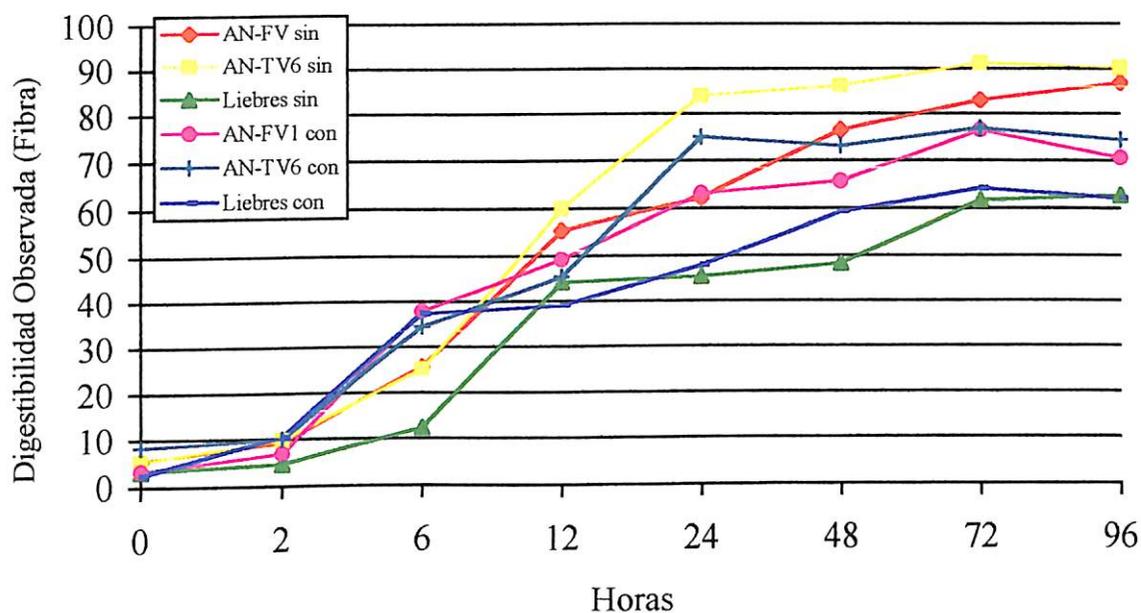


Figura No. 1.13. Digestibilidad observada de FDA en tres genotipos de nopal, considerando dos tratamientos (Testigo y Lev. 10% + Sulf. Am. 20%) a través de 8 intervalos de tiempo. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 1998

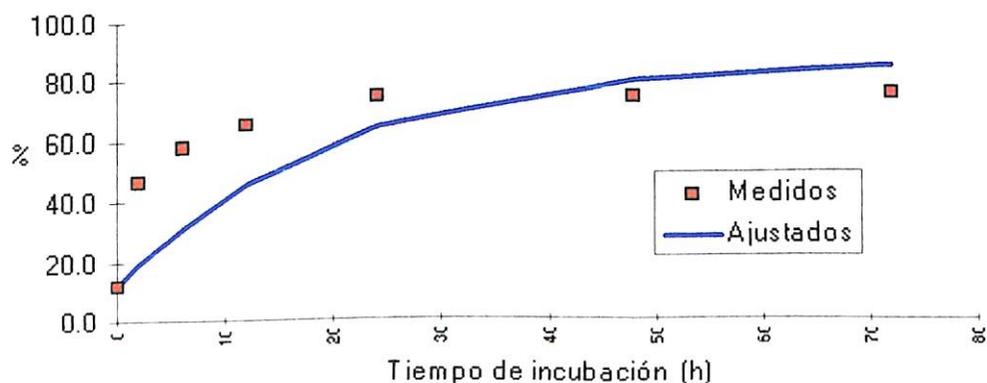


Fig. 1.14. Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal AN.FVI, con Aditivo Sulfato de Amonio 20%.

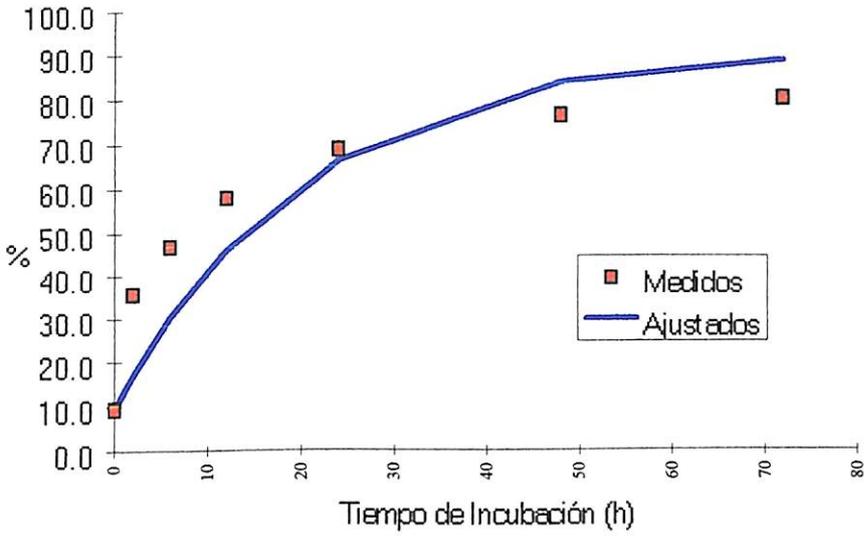


Figura 1.15. Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal AN-FV1, Sin Aditivo

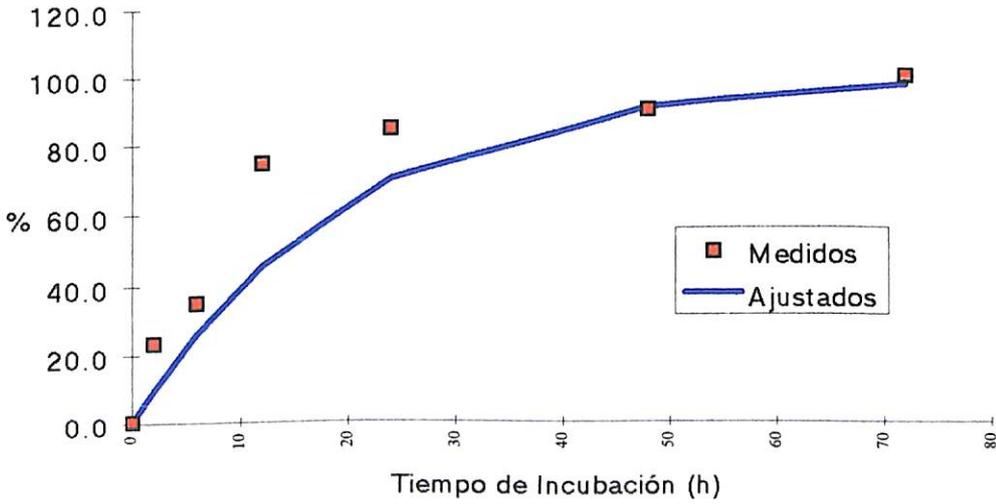


Figura 1.16. Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal AN-FV1, con Aditivo Sulfato de Amonio 20%.

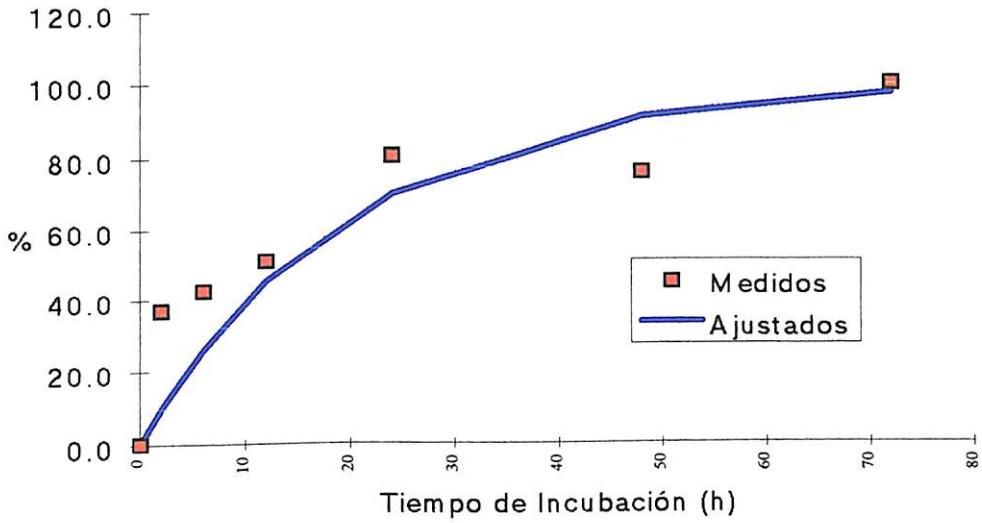


Figura 1.17. Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal AN-FV1, Sin Aditivo

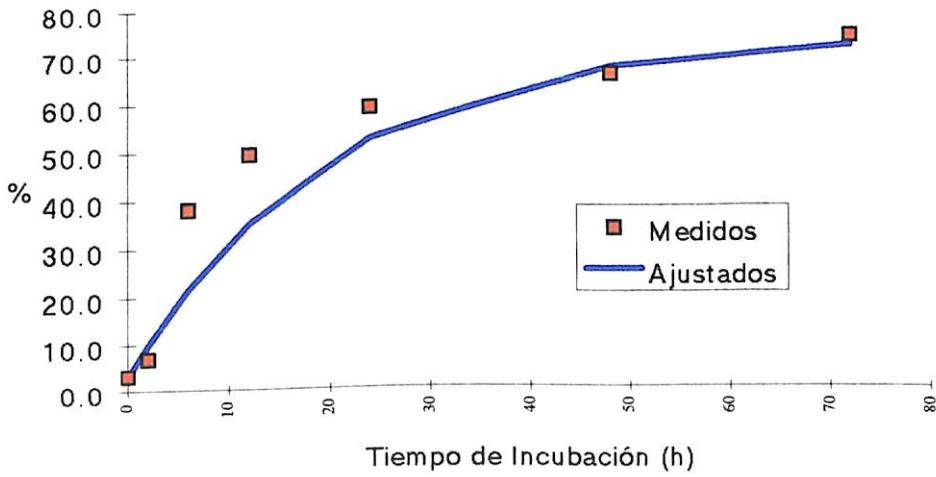


Figura 1.18. Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal AN-FV1, con Aditivo Sulfato de Amonio 20%.

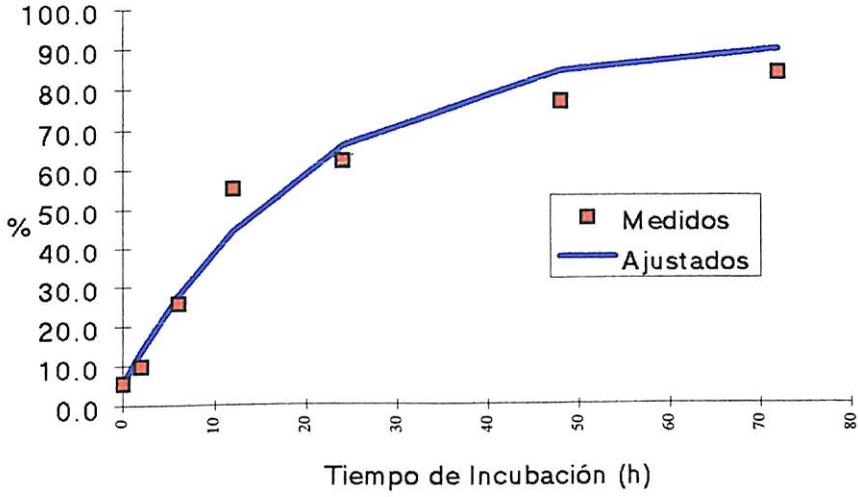


Figura 1.19. Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal AN-FV1, sin aditivo

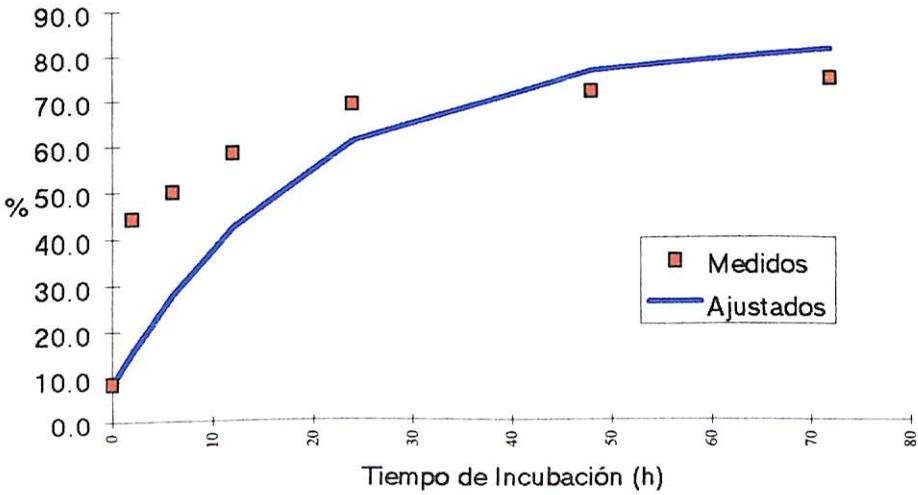


Figura 1.20. Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal AN-TV6 , con Aditivo Sulfato de Amonio 20%.

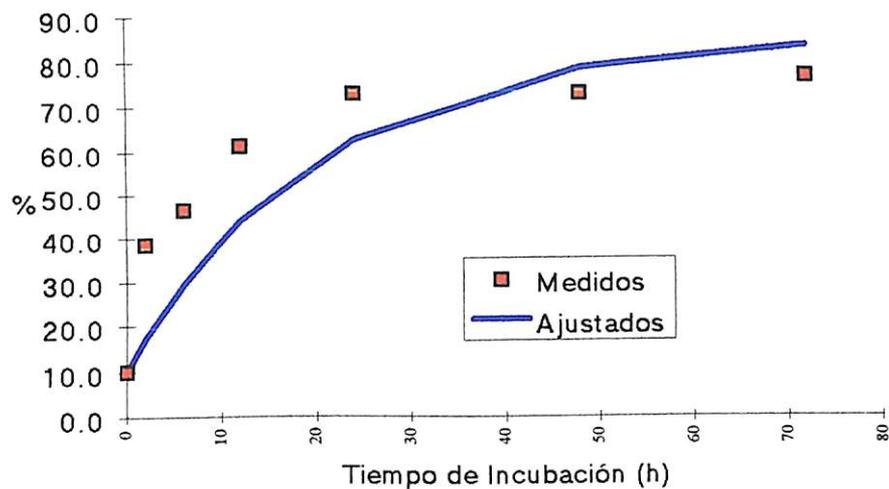


Figura 1.21. Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal AN-TV6, sin Aditivo.

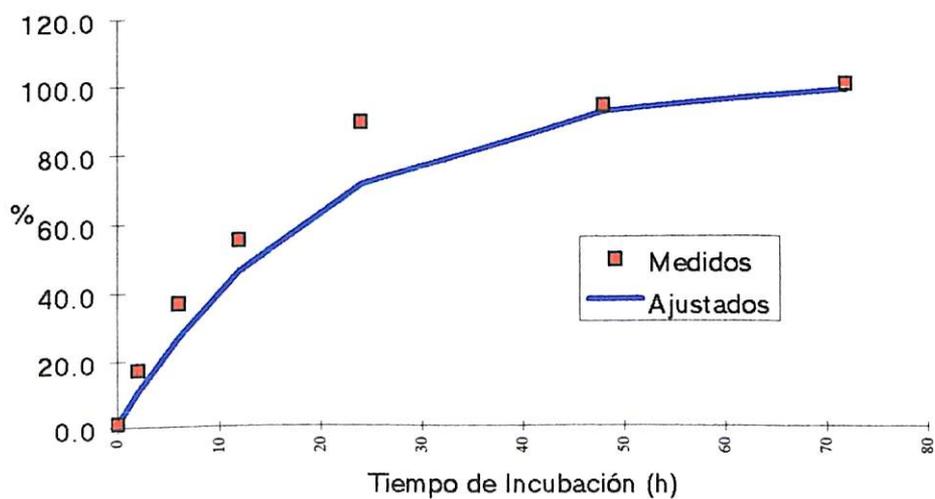


Figura 1.22. Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal AN-TV6, con Aditivo Sulfato de Amonio 20%.

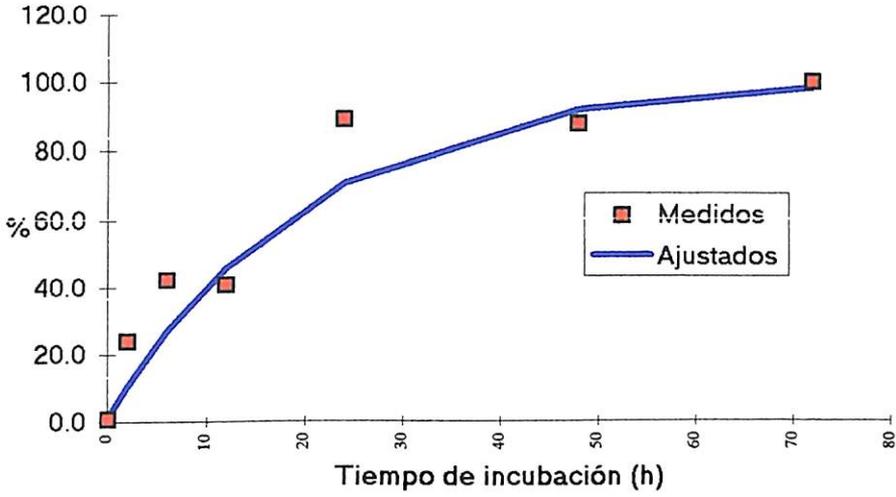


Figura 1.23. Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal AN-TV6, sin Aditivo

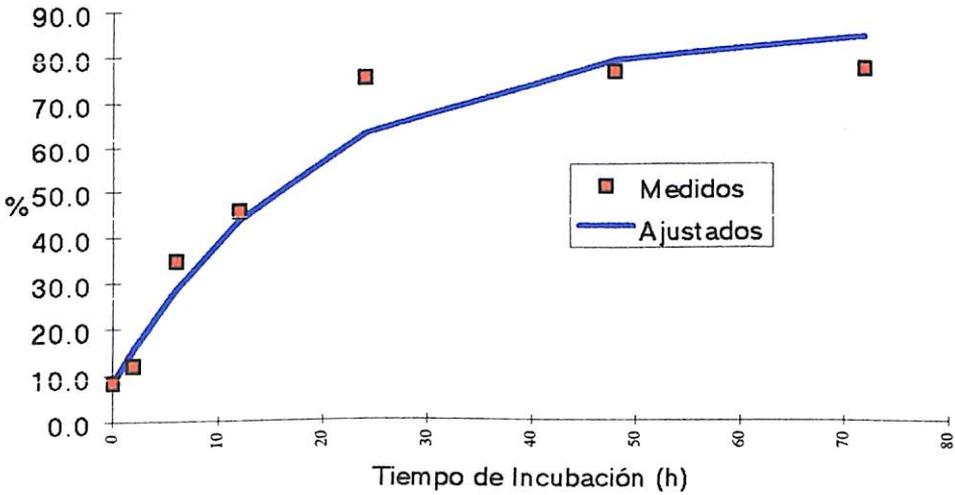
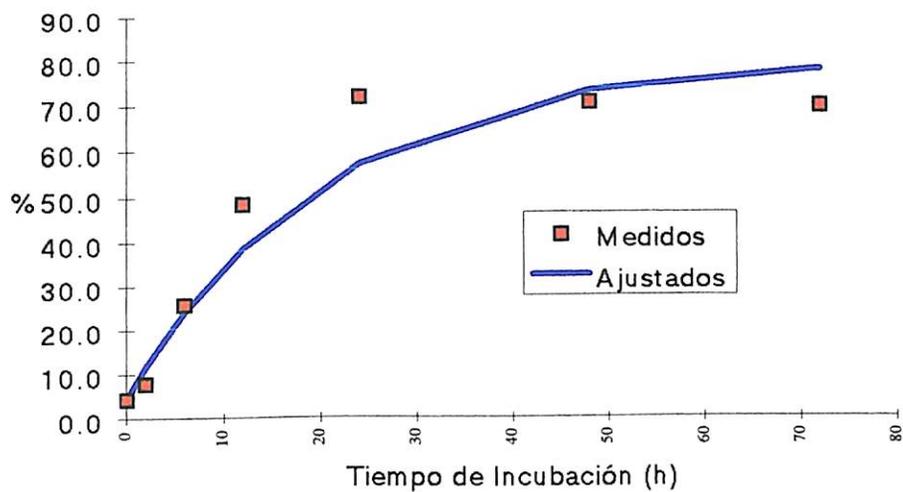


Figura 1.24. Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal AN-TV6, con Aditivo Sulfato de Amonio 20 %



1.25. Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal AN-TV6, sin Aditivo

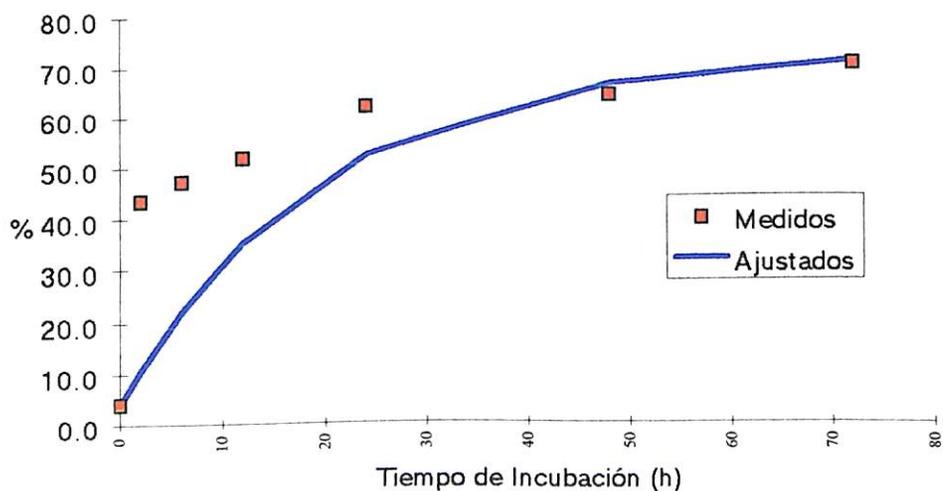


Figura 1.26. Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal Liebres, con Aditivo Sulfato de Amonio 20 %

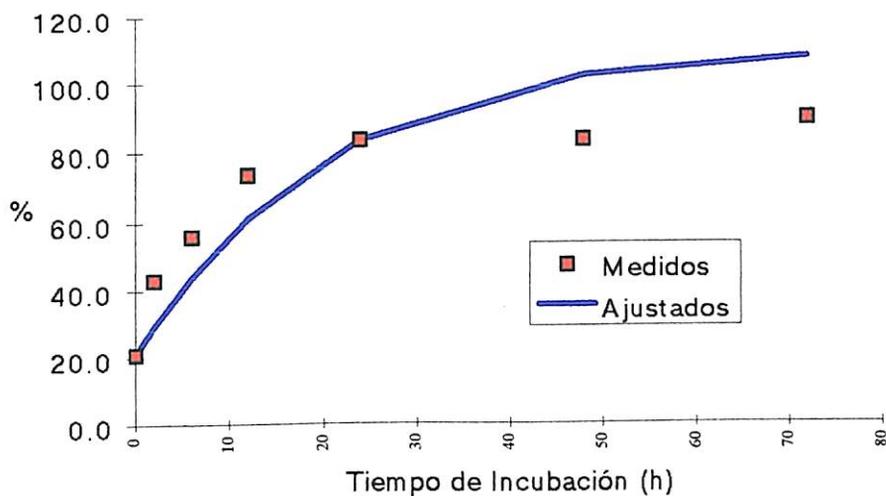


Figura 1.27. Curva de Degradación de MS de Biomasa de Nopal Liebres, sin Aditivo

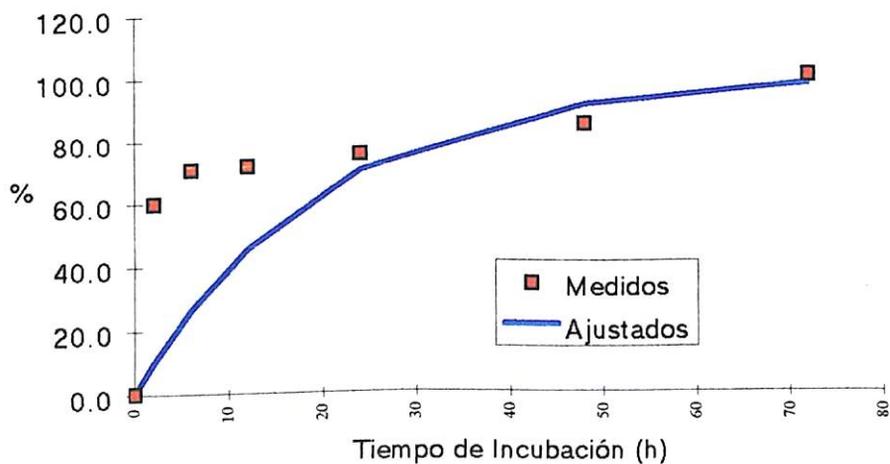


Figura 1.28. Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal Liebres, con Aditivo Sulfato de Amonio 20 %

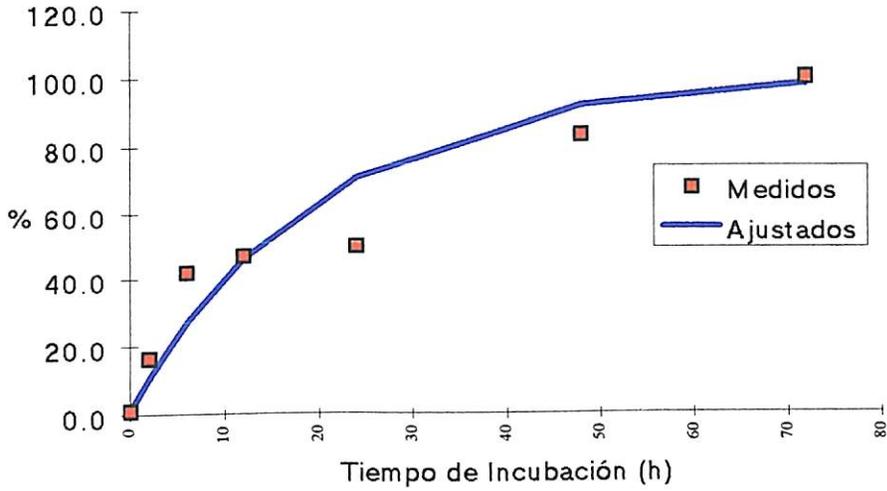


Figura 1.29. Curva de Degradación de PC de Biomasa de Nopal Liebres, sin Aditivo

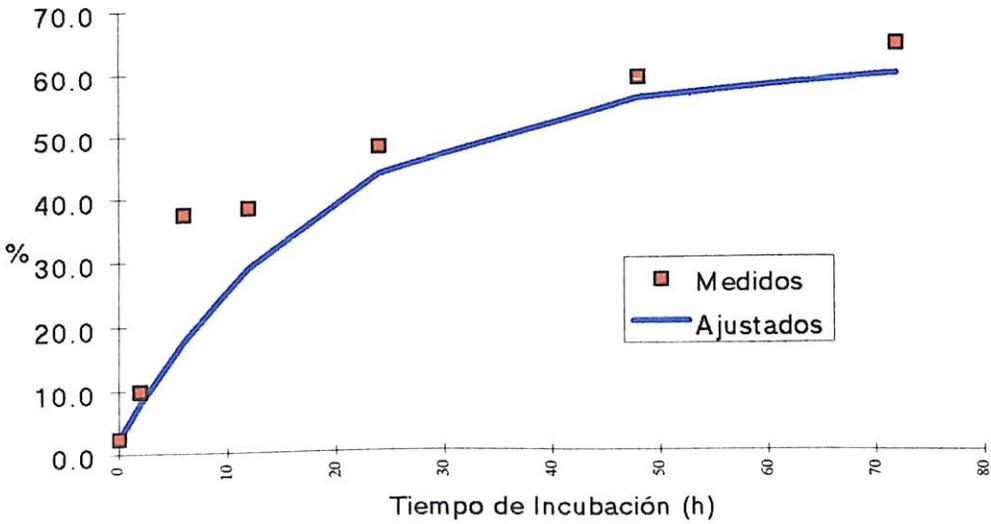


Figura 1.30 Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal Liebres, con Aditivo Sulfato de Amonio 20 %

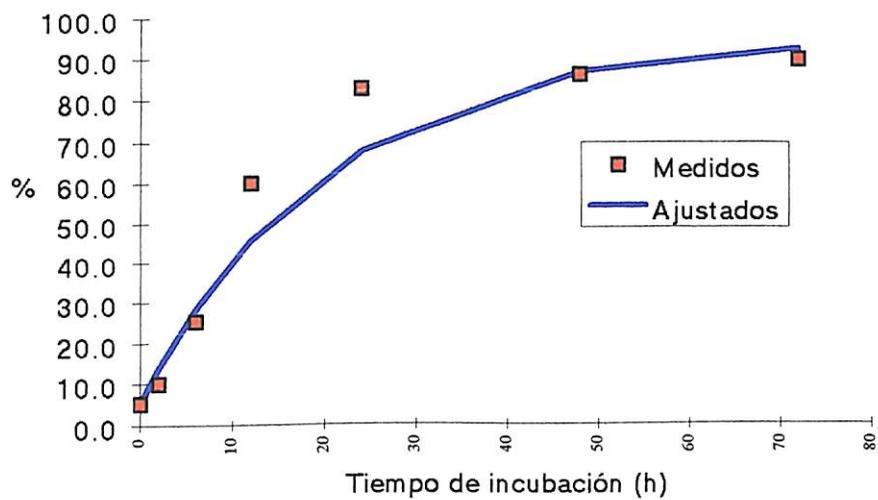


Figura 1.31. Curva de Degradación de FDA de Biomasa de Nopal Liebres, sin Aditivo

2. ALIMENTACION DE GANADO CAPRINO Y PORCINO CON BIOMASA DE NOPAL (*Opuntia spp*) CON LEVADURA Y SULFATO DE AMONIO, Y COSTOS

INTRODUCCION

La alimentación de ganado en zonas áridas y semiáridas representa una parte sustancial de los costos de producción, puesto que, dependiendo del tipo de ganado y recursos, será la práctica más adecuada, haciéndose necesario, en caso de ovinos y caprinos, traslados cotidianos a los lugares de pastoreo con el consiguiente gasto energético, que se refleja en menor producción, así como degradación de la vegetación por sobrepastoreo, (Borrego y Burgos, 1986). En caso de ganado bovino, para carne o leche, es necesario dar suplemento alimenticio, sobre todo en invierno y primavera, en que el forraje de calidad escasea y se encarece la producción. Para cerdos, dependiendo de la etapa de crecimiento o engorda, será el tipo de alimento a suplementarse.

Por tal motivo, la búsqueda de alimentos forrajeros de calidad, más baratos y que no disminuyan el valor energético, es prioritaria para estas zonas. El nopal forrajero es ampliamente utilizado por su contenido de fibra y agua, aunque es un forraje de mala calidad, es un auxiliar alimenticio importante en invierno; sin embargo, este vegetal es de una tasa de crecimiento lenta, por lo que se busca utilizar nopal cultivado, que tiene una tasa de crecimiento mucho más rápida. Sin embargo, su contenido de fibra es menor, así como mayor es su contenido de agua y proteína.

También se busca que los productos reúnan características nutritivas, energéticas y saludables. El nopal presenta cualidades antidiabéticas y de reducción de colesterol

(Frati-Munari *et al.*, 1983), El nopal se ha venido utilizando en alimentación de cerdos para una producción especial de jamón serrano Pata Negra, que es una pierna magra y que alcanza altos precios en el mercado, \$1,290.00 por kg (Vuelo, 1998)

Para mejorar el nivel energético de este vegetal, se ha seguido una metodología que utiliza levadura, urea y sulfato de amonio en diferentes proporciones, con niveles energéticos y digestibilidades variables, (Murillo *et al.*, 1997) haciéndose necesario realizar las pruebas de campo.

En el Norte de México, en la región llamada Altiplanicie Septentrional, situada entre las 2 cordilleras principales del país, la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental, se presenta una región árida y semiárida de considerable extensión e importancia, llamada Desierto Chihuahuense; las actividades productivas agropecuarias en ésta región, son sumamente difíciles, enfocándose primero a la recolección de plantas útiles del desierto, como orégano, lechuguilla, candelilla, etc., (Borrego y Burgos, 1986). La agricultura de temporal las más de las veces fracasa, por lo errático y escaso de las precipitaciones, así como la temporada de crecimiento corta, por la presencia de heladas severas (de hasta -16°C) tempranas y tardías. La agricultura y ganadería extensiva o intensiva, al final de cuentas lo que busca, como toda actividad económica utilitarista, es generar beneficios excedentes, o utilidades (Carvajal, 1994). Toda explotación agropecuaria rentable busca minimizar costos y maximizar producción, por unidad de tiempo y unidad de inversión, lo que da como resultado una explotación eficiente (FIRA, 1986).

García y Gall (1981), reportan importante el análisis de la calidad de la leche de cabra, y que los 4 componentes principales de la materia seca de la leche de cabra, son lactosa, grasa, compuestos nitrogenados y minerales; las vitaminas tienen una

importancia dietética particular. a) Lactosa: Es el principal constituyente de la materia seca. Se forma por la unión de una molécula de α D-glucosa, a una molécula de β -galactosa. La lactosa de leche de cabra no difiere mucho de la de leche de vaca, variando muy poco durante el curso de la lactancia. b) La grasa está compuesta principalmente de glicéridos y esteroides (99%). La grasa forma glóbulos, los que se suspenden en la leche como una emulsión. Es de mejor digestibilidad que la leche de vaca, debido probablemente a la mayor presencia de glóbulos pequeños. c) Compuestos nitrogenados: Forman la parte más compleja de la leche de cabra, debido a su diversidad y su compleja estructura físico-química. Sus principales constituyentes son: caseína, proteínas solubles no coagulables y, a muy baja concentración, las proteosomas-peptonas. d) Minerales, representan una fracción menor de la leche de cabra, (7-7.5 g l⁻¹). La leche de cabra y vaca tienen, en general, la misma composición. Los principales elementos son el potasio, calcio y fósforo. e) Vitaminas: el contenido vitamínico de la leche de cabra varía con la estación, alimentación y otros factores. Con la excepción de un contenido menor de ácido fólico, vitamina C e Inositol, la leche de cabra tiene un contenido vitamínico similar a la humana. La leche de cabra tiene menos vitaminas B₆ y B₁₂ que la de vaca, pero no significa problemas nutricionales; la de cabra tiene más vitaminas B₂ (Riboflavina), niacina, biotina, vitamina D y colina.

La producción de forrajes para ganado se dificulta en época invernal, por las condiciones agroclimáticas adversas; bajo riego, muchas veces es antieconómico, por el alto costo de extracción del agua del subsuelo, presentándose abatimiento constante del manto freático. Los ganaderos buscan alternativas de bajo costo, como puede ser la utilización del nopal (*Opuntia* spp) que por sus adaptaciones morfológicas y fisiológicas,

requiere poca agua para crecer (CODAGEM, 1979). Sin embargo, por lo escaso de su capacidad nutritiva (Hoffman y Darrow, 1958), es necesario suplementar la alimentación del ganado con harinolina, pasta de soya, alfalfa, etc., lo que disminuye el beneficio económico buscado (Murillo *et al.*, 1994, 1997). En la actualidad buscamos alimentos que aparte de ser de bajo costo y nutritivos no sean perjudiciales a la salud, y en este caso el nopal presenta bondades para diabéticos y personas que tienen problemas con el colesterol. Otra alternativa para mejorar la calidad alimenticia del nopal, es haciendo silos con aditivos, utilizándose levaduras, sorgo, maíz, urea, melaza, etc., con resultados preliminares promisorios, pues se ha elevado la proteína cruda hasta un 70% (base seca) en comparación con 15% en nopal cultivado, y 7% en nopal rastrero silvestre, haciéndose necesario continuar los estudios con alimentación real con ganado, así como un análisis preliminar de los costos de producción, por lo que los objetivos del presente trabajo son:

- 1) Determinar el peso corporal y la calidad de la leche en cabras Nubia y Granadina, suplementadas con biomasa de nopal.
- 2) Determinar la ganancia de peso en cerdos suplementados con biomasa de nopal.
- 3) Comparar los costos de alimentación utilizando biomasa de nopal con aditivos, sustituyendo el 10, 15 y 20 % de la proteína de la alfalfa (17% proteína cruda), en cabras (razas Nubia y Granadina), con respecto a la alimentación normal (0% de sustitución de proteína)
- 4) Determinar los costos de alimentación utilizando biomasa de nopal con aditivos, en cerdos, en sus diferentes etapas de crecimiento y finalización.

MATERIALES Y METODOS

Localidad de Estudio: Postas pecuarias de la UAAAN, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Factores en Estudio: En **cabras**, los factores fueron: **Factor A**: Tiempo de suplementación, con 9 niveles (semanas). **Factor B**: Razas con 2 niveles: Nubia y Granadina; y **Factor C**: Raciones, con 4 niveles: 0, 10, 15 y 20% de substitución de la proteína total de la alfalfa (17%) con alimento a base de nopal, levadura 10% y sulfato de amonio 20%. Se utilizaron 2 animales (repeticiones) para los diferentes tratamientos. Para **cerdos**, los factores fueron: **Factor A**: Periodos de suplementación, con 9 niveles, y **Factor B**: Raciones con 4 niveles: 0, 10, 15 y 20% de substitución de la proteína total de la ración (concentrado preparado en la misma posta con una composición de sorgo, soya, chocolate, harina de alfalfa, fósforo monodivale, sal, vitaminas y antibióticos y con una concentración del 15.40% de proteína cruda) con biomasa de nopal, levadura 10% y sulfato de amonio 20%. Cada tratamiento se aplicó a 10 animales (repeticiones).

En el caso del ganado caprino, se tomaron muestras de leche de las dos razas y se analizó grasa (GRASA), proteína (PROT), lactosa (LACT), sólidos no grasos (SNG), sólidos totales (ST), urea (UREA), conteo de células somáticas (CCS), crioscopia (CRIOS), acidez (ACIDEZ), alcohol (ALC), y conteo de bacterias (BACT), en el laboratorio de Lácteos de LALA, en Gómez Palacio, Dgo.

Los costos preliminares consideraron únicamente el valor de los alimentos (alfalfa henificada, concentrado, biomasa de nopal, levadura y sulfato de amonio) a

precio de mercado, calculándose la cantidad relativa de la biomasa fermentada en minisilos, en función de la proteína base a substituir, así como el peso semanal de cabras y cerdos, durante el período de estudio, y que son adecuados en un estudio exploratorio. (Antonio, 1985; Zelaya, 1995).

El **análisis estadístico** se realizó con el paquete computacional MStat. En cabras para peso corporal, bajo un diseño de Bloques al azar con arreglo de parcelas subdivididas; para calidad de la leche, un arreglo de parcelas divididas, correlaciones simples y ecuaciones lineales de máximo ajuste. En cerdos, bajo un Diseño de Bloques al azar con arreglo de parcelas divididas, y ecuaciones lineales de máximo ajuste; tanto en cabras como en cerdos, a las fuentes de variación con significancia, se les realizó la prueba de diferencia de medias de Tukey ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

En el cuadro No. 2.1, se presenta el análisis de varianza para peso corporal en cabras, en donde se encontraron diferencias ($p < 0.05$) para el factor A, tiempo de suplementación, y diferencias ($p < 0.01$) para Razas, Raciones y la interacción B x C. En el cuadro No. 2.2, se presenta el promedio para los tratamientos en la interacción B x C, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). El máximo peso corporal durante el período de lactancia se alcanza en las raciones 3 y 4, en la raza Nubia, con 45.88 y 45.43 kg y el menor peso con las raciones 3 y 2, con 39.29 y 37.87 kg, respectivamente, con la raza Granadina. El tratamiento testigo (alfalfa), ocupó los lugares 3 y 5. Las figuras 2.1-2.10, permiten visualizar lo anterior con mejor precisión, en las dos razas en las figuras 2.1 y 2.2, y las 4 raciones para las dos razas, respectivamente. Felker (1995) reporta que en Sudáfrica utilizaron cladodios sin espinas de *O. robusta* para alimentar borregos; el nopal era de baja proteína (4%) de manera que el animal tuvo que comer de 5 a 6 kg de nopal por día; por cuestiones de volumen utilizaron sólo 4 kg diarios, más suplemento de harina de huevo, sal y biuret; sin embargo, el mejor suplemento fue 100 g de heno de alfalfa por día, con ingesta libre de nopal; menciona que el uso de suplementos alimenticios en las zonas áridas es limitado, puesto que muchas veces no es económico hacerlo, al alimentarlos con fósforo y cobalto no afectó significativamente la condición y rendimiento de leche, pero suplementos de maíz o sorgo, así como pasta de semilla de algodón, parcialmente suplementada con urea, sí incrementó la producción; así mismo, incrementó el número de cabritos en 50%, y con mayor tasa de ganancia en peso.

También se reportan ganancias en atributos de carne y leche, utilizando alfalfa henificada. Maltzberger (1991), para corregir y eliminar deficiencias de minerales, para un total de 901 kg de suplemento, utiliza diferentes concentrados. Para aumentar la proteína del forraje de nopal, se puede utilizar: 1) Fertilizar el suelo o pencas con N y P; 2) Explotar los clones que, genéticamente, tengan mayor contenido de proteínas; y 3) Inocular con bacterias nitrificantes que crecen cerca de las raíces del nopal, como *Azospirillum* (González, 1989; Gregory y Felker, 1992). García y Gall (1981) menciona que sobre los mecanismos de tolerancia al calor en cabras en zonas áridas, parecen indicar que las características más importantes son la habilidad para mantener la ingestión de alimentos, reducir la tasa metabólica y pérdida de agua, así como patrones de comportamiento adaptativo. En el presente estudio, la ingestión de nopal encuentra los mismos resultados, en general, permitiendo el mantenimiento de peso corporal en las cabras.

En el cuadro No. 2.3, se reporta la calidad de la leche en cabras; se analizaron 10 variables, encontrando diferencias ($p < 0.05$) en C.C.S (conteo de células somáticas) para las fuentes de variación de raciones y la interacción razas por raciones (A x B). Así mismo, se realizaron las correlaciones entre las 10 variables, por raza por separado y las 2 razas en conjunto, mismas que se reportan en los cuadros No. 2.4 , 2.5 y 2.6, con diferentes resultados. Shaver y Garret, (1998), también sólo encontraron diferencias en CCS al alimentar vacas con raciones enriquecidas con levadura.

En cerdos, cuadro No. 2.11, se encontraron diferencias ($p < 0.01$) para peso corporal, en las fuentes de variación de evaluaciones (A), Raciones (B) y la interacción (A x B), encontrándose mejor ración la 4 y 3, en la evaluación de la 3^a etapa de finalización. El tratamiento testigo quedó en 3^{er} lugar (cuadro No. 2.12). Carballo (1996), realizó

estudios en cerdos y menciona que los no rumiantes no requieren azufre alimenticio de origen orgánico para su metabolismo posterior. En la figura 2.11, se puede observar que las 4 raciones siguen una tendencia más o menos similar, a lo largo de las 9 semanas del estudio, y en las figuras 2.12-2.15, se muestra la tendencia de cada ración (repeticiones). Se presenta así mismo la predicción para la tendencia promedio hasta el nivel de 6° orden. Se puede observar que desde el 2° o 3^{er} orden, se tendría un buen ajuste. En rumiantes, el azufre puede provenir de fuentes inorgánicas, principalmente como sulfatos. Las bacterias (más no los protozoos) del rumen, incorporan el azufre a partir de sulfatos, a la proteína microbiana, en forma de aminoácidos azufrados (cistina, cisteína y metionina), y posteriormente son empleados por el animal para la síntesis de sus proteínas séricas y lácticas (Uribe, 1995).

Teles *et al.*, (1984), mencionan que el patrón de aminoácidos de los tallos de *Opuntia* no son de importancia, si se alimenta a rumiantes, puesto que los microorganismos de los rumiantes pueden sintetizar los aminoácidos requeridos. Si se utilizan los tallos de *Opuntia* para monogástricos, la composición de aminoácidos de la proteína podría ser de interés. La composición de los aminoácidos libres, mas los hidrolizados, de tallos inmaduros de *Opuntia* tuvieron un valor biológico de 0.72 en relación al huevo. En condiciones de campo, es muy importante seleccionar la época en que se va a utilizar el nopal, puesto que varía su contenido alimenticio (Retamal *et al.*, 1987), En este estudio, se emplearon silos con aditivos, lo que homogeniza el valor estacional. Los nopales se utilizan en la época de sequía, y para evitar daños, se tatemán las espinas con quemadores de gas, lo que incrementa los costos, por el equipo, combustibles y mano de obra (Belasco, *et al.*, 1958). En Saltillo, Coah. la cantidad promedio de nopal consumida por día en vacas, fue de 25.7 kg (7 establos, 447

animales) con una producción promedio de leche, de 15.4 kg día⁻¹, con nopal tatemado y cortado, suplementado con silo de maíz, sorgo y/o alfalfa; se utilizó principalmente en Enero-Mayo (Fuentes, 1991). Shoop, *et al.*, 1977, condujeron un análisis concienzudo de forraje de *Opuntia polyacantha*, que se encuentra en los ranchos de Colorado. En tanto que el forraje de *Opuntia* fue menor en proteína cruda (5.3%) que pastizal henificado (5.7%) ó alfalfa henificada (16.8%) se tuvo una energía digestible equivalente (2.61, 2.08 y 2.64 Mcal kg⁻¹ respectivamente). Al comparar con heno de alfalfa, *Opuntia poliakantha* tuvo 85% más fibra detergente neutra, 70% más fibra detergente ácida y 15% más celulosa, pero contenía 55% más hemicelulosa y 40% más carbohidratos solubles. El contenido de *O. ficus- indica* (proteínas, minerales, extracto etéreo, fibra cruda y energía) se examinó, en función de etapas de desarrollo, varias veces, en el año. Hubo poca variación en los valores de energía, con valores que varían de 14 000 a 14 900 kJ kg⁻¹ de peso seco.

En el cuadro 2.9, se presenta el resumen de los costos de las 8 semanas del experimento en las 2 razas de cabras, Nubia y Granadina. El consumo de alfalfa y el costo del alimento desciende conforme se sustituye el 10, 15 y 20 % de la proteína del alimento normal, por biomasa de nopal con aditivos, de \$165.93 del testigo y con un consumo de 92.1875kg de alfalfa, 10% de sustitución a \$160.78 y consumo de 84.2638 k de alfalfa y 7.9237 de nopal, 15% a \$155.47, con 76.0805 k de alfalfa y 16.1070 k de nopal substituidos, y 20% a \$147.56 y el consumo de 68.2188 k de alfalfa y 23.9688 k de nopal. En la raza Nubia, no se presenta una disminución del peso final entre el tratamiento testigo 40.68 kg y el 20 % de sustitución 46.43 k, siendo menor el costo por kg del animal, por el menor costo del alimento, y el aumento de peso final observado en el T4, con un costo de \$3.25, en relación al testigo, de casi 5 k, con un costo de \$4.077.

En la figura 2.12, se observa que el tratamiento Testigo (sin sustitución de proteína), presenta los valores más altos por kg del animal durante las 8 semanas del estudio, en la raza Nubia, presentando los menores valores los tratamientos con 15 y 20 % de sustitución de proteína con biomasa de nopal. En la figura 2.13, se observa el comportamiento para la raza Granadina. En este caso, el mayor costo lo tiene el tratamiento de sustitución del 10 %, siendo menor, durante todas las semanas, el de sustitución del 20 % de la proteína por biomasa de nopal. Se presenta un aumento en el costo final de los animales en el T2 y T1, posiblemente debido a que las condiciones en que esta raza se encontraba al inicio del experimento (bajas de peso) y tenían más tiempo con ellas al cabrito, hubo disminuciones de peso en varias semanas, lo cual se refleja en el costo de alimentación en relación a la ganancia diaria de peso, lo que no sucede con la raza Nubia, que a lo largo del experimento mantuvo su peso casi uniforme. La disminución en costos es la menor en la interacción de razas por raciones, al sustituir el 20 % de la proteína por biomasa de nopal, en la raza Nubia. Al considerar los costos de alimentación del ganado con nopal en las zonas áridas, los ganaderos de la región soslayan muchos factores, como el transporte y acarreo al establo, el chamuscado y picado, y acarreo al comedero, por lo que estos costos ocultos pueden encarecer notablemente la explotación pecuaria (Fuentes, 1991). En otras partes del mundo, los ganaderos buscan solamente la supervivencia de los animales, en espera de que mejoren las condiciones agroclimáticas para que se recuperen los pastizales, orientando la explotación hacia el autoconsumo, y el manejo a cargo de las mujeres y niños (Felker, 1995). En este estudio el cálculo preliminar da como resultado un ahorro con el T4; sin embargo, es necesario realizar un estudio más extenso y detallado, considerando todos los costos de infraestructura física y humana, así como el costo de animales e insumos,

para calcular a 10 años, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) de la explotación pecuaria, para determinar la Rentabilidad Final (FIRA, 1993 y 1994).

En el cuadro 2.10, se presenta el peso promedio de los cerdos en las etapas de crecimiento (54 días) y finalización (43 días), dando como resultado final, un incremento de 2.3 kg (el 2.73%) en el tratamiento de sustitución del 20% de la proteína del concentrado por la biomasa de nopal. En los cuadros 2.11 y 2.12, se presenta el consumo de concentrado de biomasa, así como su costo parcial y total. La información de los anteriores cuadros, sirve para que, en el cuadro 2.13 se presente el costo final por kg de peso vivo de cerdo.

El tratamiento 4 (sustitución del 20 % de la proteína) tiene menores costos de producción aunque no significativos. Sin embargo, hay que considerar que la producción de biomasa de nopal es considerablemente más barata (Lastra, 1978), puesto que se utiliza tierra e infraestructura agrícola en menor cantidad que los forrajes tradicionales, sobre todo la alfalfa. Además, la producción de biomasa de nopal es una manera de detener y revertir la desertificación y el abatimiento continuo de los mantos freáticos (Flores y Aguirre, 1992; Delgado y Delgado, 1997).

CONCLUSIONES

- a) En cabras, la raza Nubia no presentó disminución de peso al sustituir el 20 % de la proteína de la alfalfa por biomasa de nopal. La raza Granadina, presentó un aumento de peso con éste mismo tratamiento. No se encontraron diferencias en la calidad de la leche con raciones a base de nopal. En ambas razas, es más barato el peso del animal, utilizando la sustitución del 20% de la proteína.
- b) En cerdos, se encontraron diferencias en las raciones, siendo el mejor numéricamente, aunque igual estadísticamente, la ración 4 (sustitución del 20 % de la proteína normal del concentrado por biomasa de nopal con aditivos), que la ración 1 (0 % de nopal). Este aumento no se refleja en los costos finales de alimentación al ser un poco más caro producir la biomasa de nopal necesaria, que alimentar cerdos con 100% concentrado.
- c) En cabras y cerdos, se determinaron ecuaciones de regresión con un alto coeficiente de determinación ($r^2 = 0.99$) hasta de 6º orden, sin embargo, se tiene buen ajuste desde el nivel cuadrático ó cúbico.
- d) Por ser una planta con menores requerimientos agronómicos que los forrajes tradicionales, y en base a los resultados del presente trabajo, es conveniente alimentar cabras y cerdos con biomasa de nopal con aditivos.

LITERATURA CITADA

- Antonio, A.J. 1985. Introducción a la Evaluación Económica y Financiera de Inversiones Agropecuarias. Manual de Instrucción Programada. Primera Edición. Editorial IICA. San José, Costa Rica.
- Belasco, I. J., M.F. Gribbins and D.W. Kolterman. 1958. The response of rumen microorganisms and pasture grasses and prickly pear cactus following foliar application of urea. J. Anim. Sci. 17:209-217.
- Borrego, E.F. y N. Burgos. (1986). El Nopal. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Carballo M., S. 1996. Castración de Cerdos a Diferentes Edades y su Efecto en el Comportamiento Productivo y Características de la Canal. Tesis de Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, México.
- Carvajal A., A. 1994. Análisis de Rentabilidad en el Cultivo del Tomate en Invernadero, considerando Acolchado y Riego por Goteo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México.
- CODAGEM. 1979. Cultivo, Explotación y Aprovechamiento del Nopal. Folleto Informativo No. 58. México.
- Delgado H., J. y J. Delgado S. 1997. Evaluación de las Cualidades Forrajera de Cinco Variedades de Nopal *Opuntia* spp. Para Aguascalientes. Memorias del VII Nacional V Internacional Congreso sobre Conocimiento y aprovechamiento del Nopal. Pp 123-124. Monterrey, México.
- Felker, P. 1995. Forage and Fodder Production and Utilization. Agro ecology, cultivation and uses of cactus pear. FAO Plant Production and Protection Paper. 132. 144-154.
- FIRA. 1986. Forrajes. Instructivos Técnicos para la Formulación de Proyectos de Financiamiento y Asistencia Técnica. División de Ganadería. México 255.
- FIRA. 1993. Aplicación de la Tasa de Rentabilidad Financiera en Proyectos Agropecuarios. Boletín Informativo, No. 255, Vol. XXVI, 76 p.
- FIRA. 1994. Pastoreo Intensivo Tecnificado de Praderas Tropicales. Boletín Informativo, No. 259. Vol. XXVI 64 p.

- Flores V., C.A. y R. Aguirre. 1992. El Nopal como Forraje. CIESTAAM-UACH. Chapingo, Edo. de México. Segunda reimpresión. 80 pp.
- Frati-Munari, A., J.A. Fernández-Hard, M. Bañales y R. Ariza-Andraca. 1983. Decreased Blood glucose and insuline by nopal (*Opuntia* spp). Arch. Invest. Med. 14: 269-273.
- Fuentes, J.M. 1991. A Survey of the Feeding Practices, Costs and Production of Dairy and Beef Cattle in Northern Mexico. Proceedings, 2nd Texas Prickly Pear Council. McAllen, Texas. U.S.A. 118-123 pp.
- Garcia, O. and C. Gall. 1981. Goats in The Dry Tropics. In: Goat Prouction. C. Gall (Ed). Academic Press Inc.
- González, C.L., 1989. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimeri* E.) J. Arid Environ. 16:87-94
- Gregory, R.A. and P. Felker. 1992. Crude Protein and phosphorus contents of eight contrasting *Opuntia* forage clones. J. Arid Environ. 22:323-331.
- Hoffman, G., D. y R.A. Darrow. 1958. Prickly-pear, Good or Bad? Texas Agricultural, Extension Service College Station. Texas Bull. B-806.
- Lastra, E., J. 1978. Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de Ensilaje de Nopal *Opuntia ficus-indica*. Tesis Profesional. Chapingo, Méx. ENA
- Maltsberger, W.A., 1991. Feeding and suplementing prickly pear cactus to beef cattle. In: Proceedings of Second Annual Texas Prickly Pear Council. 104-117.
- Murillo S. M. J. Fuentes, M. Torres, F. Borrego, y R. Gutiérrez. 1994. *In vitro* Protein Digestibility of Two *Opuntia* Genotypes after the Addition of Yeast, Ammonia and Urea. Proceedings 5th Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas, U.S.A.
- Murillo, S.M., J.M. Fuentes, y F. Borrego. 1997. Sustentabilidad del Nopal como Forraje en el Norte de México. Memorias del VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Monterrey, N.L.
- Retamal, N., J.M. Durán and J. Fernández. 1987. Seasonal variation of chemical composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) J. Sci. Food Agric. 38:303-311.
- Shaver, R.D., and J.E. Garret. 1998. Effect of Dietary Yeast Culture on Milk Yield, Composition, and Component Yields at Commercial Dairies. The professional Animal Scientist. 13:204-207.

- Shoop, M.C., E.J. Alford and H.F. Mayland. 1977. Plains Prickly pear is a good forage for cattle. *J. Range Manage.* 30:12-17.
- Teles, F.F.F., J.W. Steell, W.H. Brown and F.M. Whiting. 1984. Amino and Organic Acids of the Prickly Pear Cactus (*Opuntia ficus-indica*) *J. Sci. Fd. Agric.* 35:421-425.
- Uribe G., J. 1995. Evaluación de dos Productos como Promotores de Crecimiento (POCR-1 POCR-2) y el aminoácido Lisina, sobre el comportamiento Productivo de Cerdos en Crecimiento-Desarrollo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, México.
- Vuelo. 1998. *Revista Mexicana de Aviación*. Año 5 No 58. Noviembre 1998. Ed. Guillermo Pérez Vargas.
- Weiss, J., A. Nerd and Y. Mizrahi. 1993. Vegetative parthenocarphy in the cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) *Ann. Bot.* 71.
- Zelaya, de la P., E. 1995. Evaluación Económica de Proyectos de Inversión con su PC. Grupo Editorial Iberoamérica. 57 p.

Cuadro No 2.1. Análisis de Varianza para peso corporal en cabras estabuladas alimentadas con raciones de biomasa de nopal.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Probabilidad
Repeticiones	1	5.82	5.82	4.06	.078
Evaluaciones (A)	8	51.08	6.385	4.46	.024 *
Error (a)	8	11.46	1.432		
Razas (B)	1	271.84	271.84	18.18	.002 **
A x B	8	36.67	4.584	0.31	
Error (b)	9	134.55	14.951		
Raciones (C)	3	345.19	115.064	12.61	.000 **
A x C	24	199.62	8.32	0.91	
B x C	3	362.52	120.839	13.25	.000 **
A x B x C	24	83.05	3.46	0.38	
Error (c)	54	492.62	9.123		
C.V %			7.19		

C. V. = Coeficiente de Variación.

Valores con * y **, Significativos al .05 y al .01 de Probabilidad , respectivamente.

Cuadro No 2.2. Medias para peso corporal en cabras utilizando nopal como complemento alimenticio, para la interacción Razas por Raciones.

Tratamiento	Media (Kg)
Nubia T3	45.88 a
Nubia T4	45.43 ab
Granadina T1	42.86 a-c
Granadina T4	42.63 bc
Nubia T2	41.61 cd
Nubia T1	40.68 c-e
Granadina T3	39.29 d-e
Granadina T2	37.87 e

Nivel de comparación (Tukey ≤ 0.05) = 0.7119

Promedios con la misma literal, iguales estadísticamente.

Cuadro No 2.5. Correlaciones entre componentes de la calidad de leche en cabras, raza Granadina, alimentadas con raciones a base de nopal.

	P	LACT	SNG	ST	UREA	CCS	CRIOSC	ACID	BACT
GRAS	0.87	0.39	0.82	0.98	0.78	-0.31	0.10	0.47	0.76
PROT	1.00	0.60	0.98	0.92	0.61	-0.45	-0.03	0.43	0.54
LACT	0.60	1.00	0.75	0.50	0.02	-0.70	0.18	0.54	0.36
SNG	0.98	0.75	1.00	0.89	0.51	-0.55	0.02	0.49	0.54
ST	0.92	0.50	0.89	1.00	0.70	-0.40	0.04	0.47	0.67
UREA	0.61	0.02	0.51	0.70	1.00	0.25	-0.07	0.02	0.69
CCS	-0.45	-0.70	-0.55	-0.40	0.25	1.00	-0.17	-0.72	-0.17
CRISC	-0.03	0.18	0.02	0.04	-0.07	-0.17	1.00	0.75	0.60
ACID	0.43	0.54	0.49	0.47	0.02	-0.72	0.75	1.00	0.66
BACT	0.54	0.36	0.54	0.67	0.69	-0.17	0.60	0.66	1.00

Valor de comparación ($p < .05$): 0.707

* P (Proteína); Lact. (Lactosa); SNG (Sólidos no Grasos); ST (Sólidos totales); CCS (Conteo Células Somáticas); Criosc. (Crioscopia); Bact. (Bacterias)

Cuadro No. 2.6. Correlaciones entre componentes de calidad de leche en cabras, razas Nubia y Granadina, alimentadas con raciones a base de nopal. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 1999.

	P	LACT	SNG	ST	UREA	CCS	CRIOSC	ACID	BACT
GRAS	0.59	-0.40	0.66	0.95	0.66	0.40	0.39	0.27	0.20
PROT	1.00	-0.89	0.92	0.77	0.27	0.86	0.82	-0.05	-0.05
LACT	-0.89	1.00	-0.64	-0.53	-0.25	-0.92	-0.82	0.30	0.13
SNG	0.92	-0.64	1.00	0.85	0.24	0.67	0.68	0.17	0.03
ST	0.77	-0.53	0.85	1.00	0.54	0.53	0.52	0.25	0.13
UREA	0.27	-0.25	0.24	0.54	1.00	0.07	0.21	0.00	0.27
CCS	0.86	-0.92	0.67	0.53	0.07	1.00	0.73	-0.34	-0.16
CRISC	0.82	-0.82	0.68	0.52	0.21	0.73	1.00	0.18	0.16
ACID	-0.05	0.30	0.17	0.25	0.00	-0.34	0.18	1.00	0.38
BACT	-0.05	0.13	0.03	0.13	0.27	-0.16	0.16	0.38	1.00

Valor de comparación ($p < .05$): 0.4793

* P (Proteína); Lact. (Lactosa); SNG (Sólidos no Grasos); ST (Sólidos totales); CCS (Conteo Células Somáticas); Criosc. (Crioscopia); Bact. (Bacterias)

Cuadro No. 2.7. Análisis de Varianza para peso corporal en cerdos alimentados con raciones de nopal.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Probabilidad
Repeticiones	9	3573.42	397.047	26.19	.000 **
Evaluaciones (A)	8	173977.98	21747.247	1434.40	.000 **
Error (a)	72	1091.61	15.161		
Raciones (B)	3	1978.47	659.490	7.65	.000 **
A x B	24	672.04	28.002	0.32	
Error (b)	243	20958.87	86.250		
C.V %			19.30		

C.V. = Coeficiente de Variación.

Valores con **, Significativos al .01 Probabilidad.

Cuadro No 2.8. Promedios para peso corporal en cerdos, a través de 9 evaluaciones y 4 raciones de nopal.

Evaluación	Ración (% proteína sustituida)			
	0	10	15	20
Peso Inicial	14.45	14.80	15.40	15.20
1ª Crec.	23.80	23.10	28.20	27.70
2ª Crec.	28.65	26.90	33.30	32.45
3ª Crec.	34.80	31	41	38.70
5ª Crec.	46.35	40.40	50.20	48.50
Fin Crec.	58.38	53.90	59.85	58.30
1ª Fin.	64.50	60.20	65.45	62.35
2ª Fin.	77.15 (ab)	71.10 (a-e)	76.40 (a-d)	76.80 (a-e)
3ª Fin.	84.10 (a)	77.80 (ab)	84.60 (a)	86.40 (a)

Valores con la misma literal, iguales estadísticamente Tukey, ($p < .05$)

Cuadro 2.9. Costos de alimentación utilizando biomasa de nopal como suplemento en dos razas de cabras en lactancia. Total del experimento.

	Consumo Alfalfa	Consumo Biomasa de Nopal	Costo Total Alimento	Peso Prom Raza 2 Nubia	Costo Cabra/kg R2 Nubia	Peso Prom Raza 1 Granadina	Costo Cabra/kg R1 Granadina
Testigo	92.1875	-----	165.9375	40.68	4.077	42.86	3.87
10 %	84.2638	7.9237	160.7871	41.61	3.86	37.87	4.24
15 %	76.0805	16.1070	155.4679	45.88	3.89	39.29	3.96
20 %	68.2188	23.9688	147.5578	45.43	3.25	42.63	3.46

Cuadro No. 2.10. Pesos promedio catorcenales de cerdos suplementados con biomasa de nopal en las etapas de crecimiento y finalización

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
TESTIGO	14.5	23.8	35	46.35	58.4	64.5	77.15	84.1
10 %	14.8	23.1	31	40.4	54.8	60.2	71.1	77.8
15 %	15.4	28.2	41	50.2	59.9	65.45	71.9	79.6
20 %	15.2	27.7	38.7	48.5	58.3	62.35	76.8	86.4

Cuadro No. 2.11. Costos de alimentación en cerdos suplementados con biomasa de nopal, durante la etapa de crecimiento.

	Consumo conc. kg	Consumo biomasa kg	\$ concentrado	\$ biomasa	\$ TOTAL	Kg P.V. producidos
TESTIGO	1568.31	-----	1652.15	-----	1652.15	463.5
10 %	1521.096	48.786	1601.71	53.64	1656.83	404.0
15 %	1469.037	96.070	1550.27	114.16	1666.41	502.0
20 %	1420.082	142.74	1501.13	172.56	1673.69	485.0

Cuadro No. 2.12. Costos de alimentación en cerdos suplementados con biomasa de nopal. etapa de finalización

	Consumo conc. kg	Consumo biomasa kg	\$ concentrado	\$ biomasa	\$ Total	Kg P.V. producido
TESTIGO	874.14	-----	789.09	-----	789.09	377.5
10 %	819.61	54.384	745.29	63.62	808.62	374.0
15 %	763.47	110.666	697.05	129.47	826.52	294.0
20 %	709.58	164.419	647.85	192.37	840.22	379.0

Cuadro 2.13. Costos de alimentación utilizando biomasa de nopal como suplemento en cerdos

	Consumo Concentrado	Consumo Biomasa de Nopal	Costo Total \$	Kg Peso Vivo Producido	Costo kg \$
TESTIGO	2442.45	-----	2450.24	773	3.18
10 %	2340.71	118.65	2465.45	716	3.44
15 %	2235.714	241.43	2492.93	766	3.24
20 %	2135.15	358.70	2513.91	796	3.45

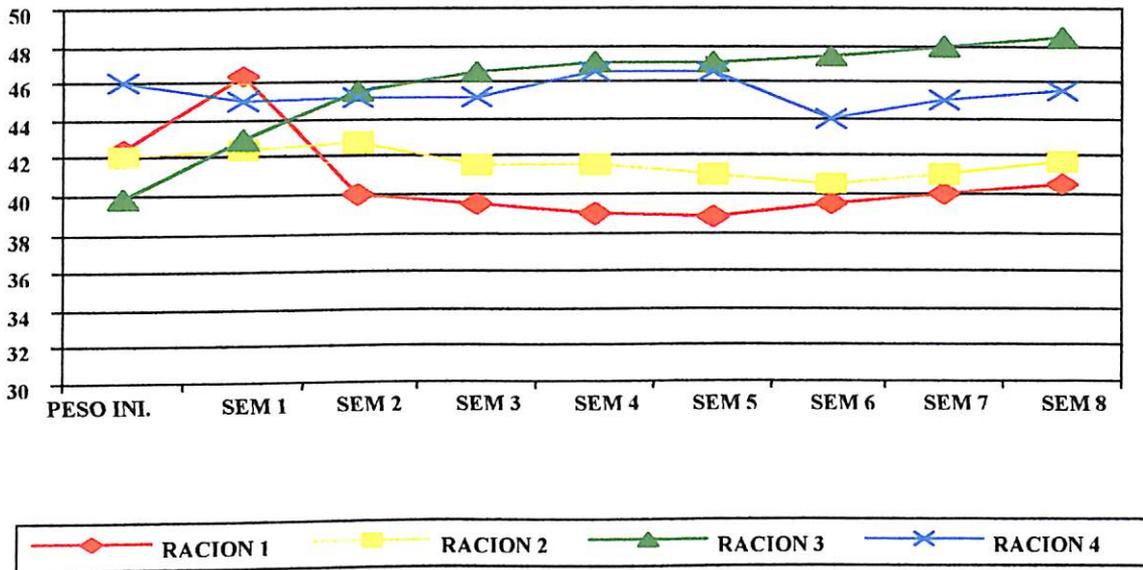


Figura No 2.1. Peso Corporal (kg día^{-1}) en cabras de la raza Nubia, alimentadas con alfalfa y biomasa de Nopal.

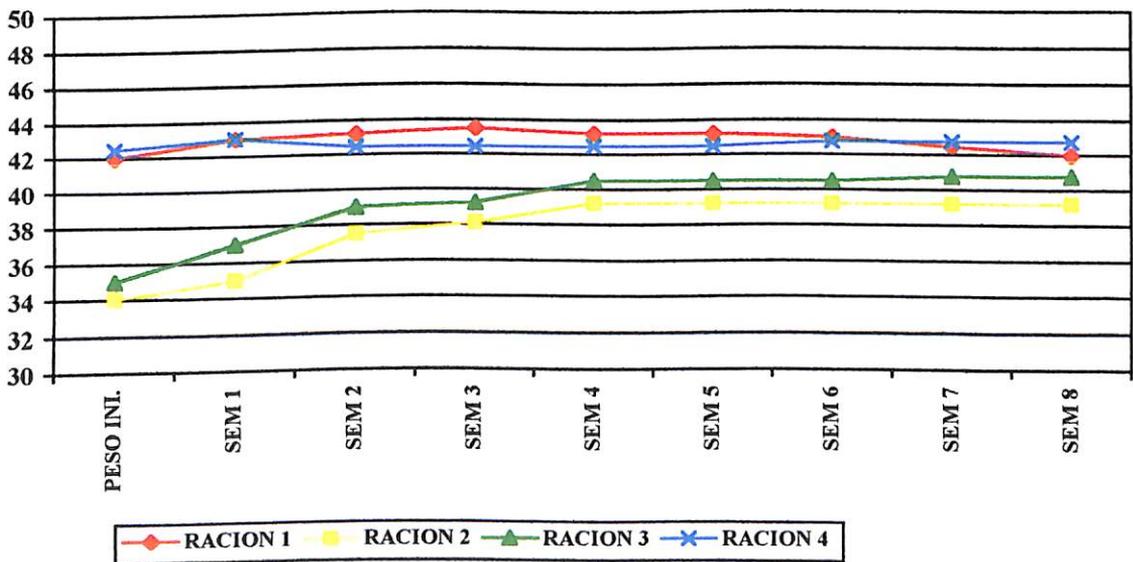


Figura No. 2.2. Peso Corporal (kg día^{-1}) en cabras de la raza Granadina, alimentadas con alfalfa y biomasa de Nopal.

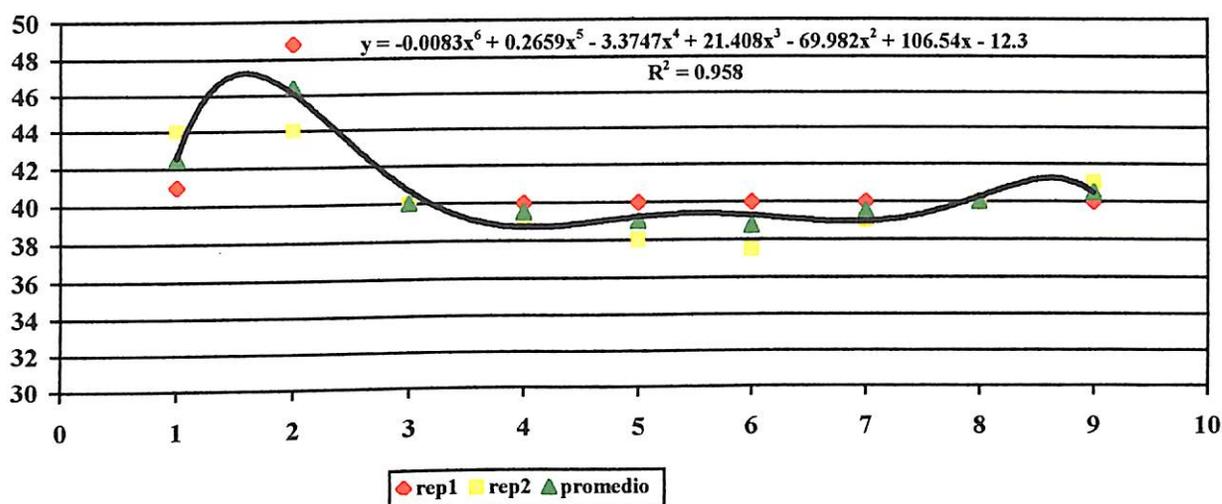


Figura No 2.3. Peso corporal (kg día^{-1}) de cabras raza Nubia, alimentadas con alfalfa.

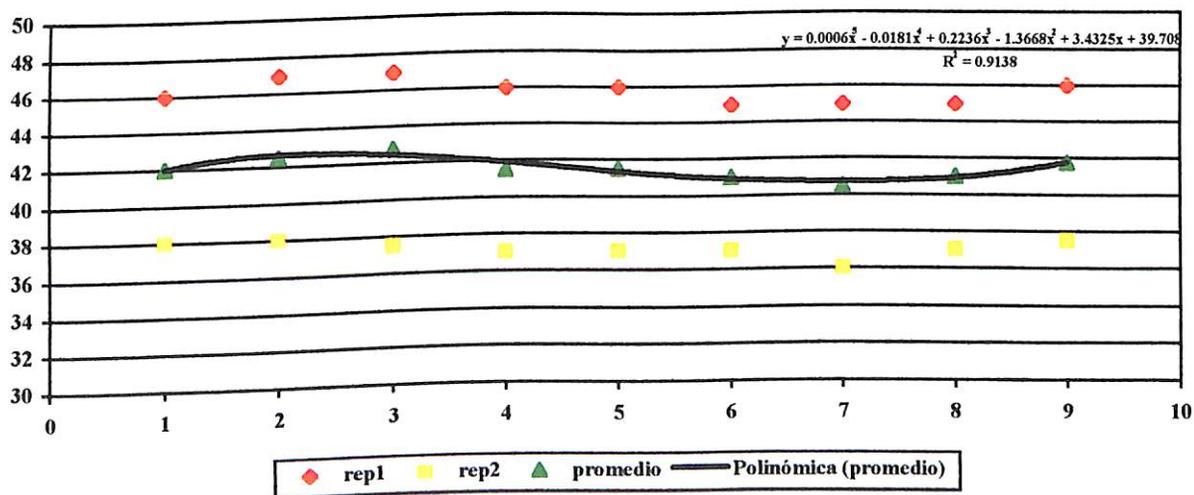


Figura No 2.4. Peso corporal (kg día^{-1}) de cabras raza Nubia, alimentadas con alfalfa y 10 % de biomasa de nopal.

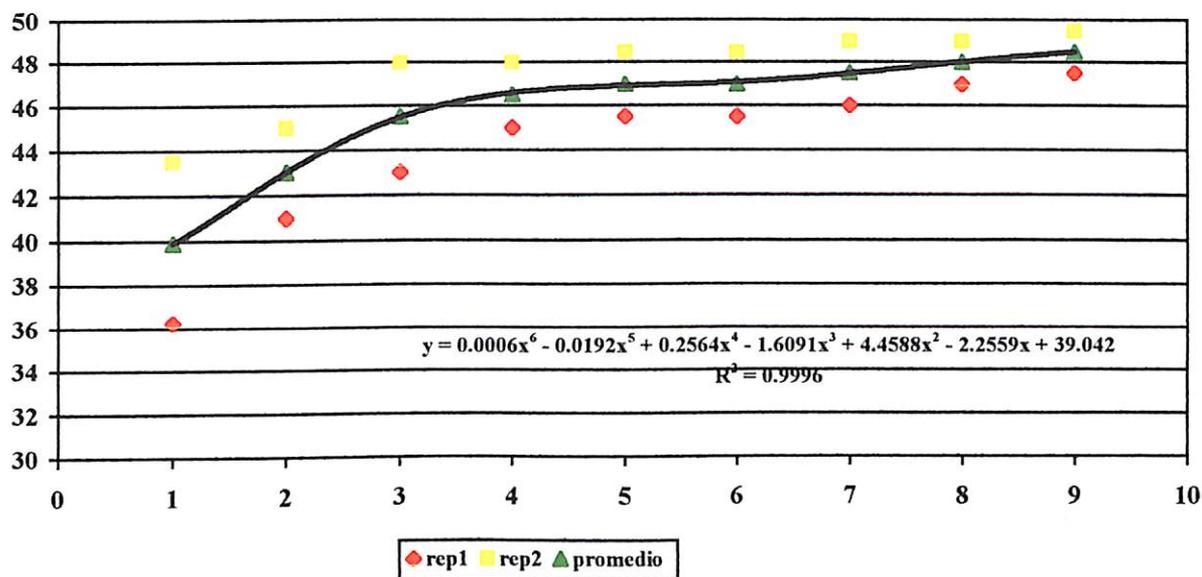


Figura No 2.5. Peso corporal (kg día^{-1}) de cabras raza Nubia, alimentadas con alfalfa y 15 % de biomasa de nopal.

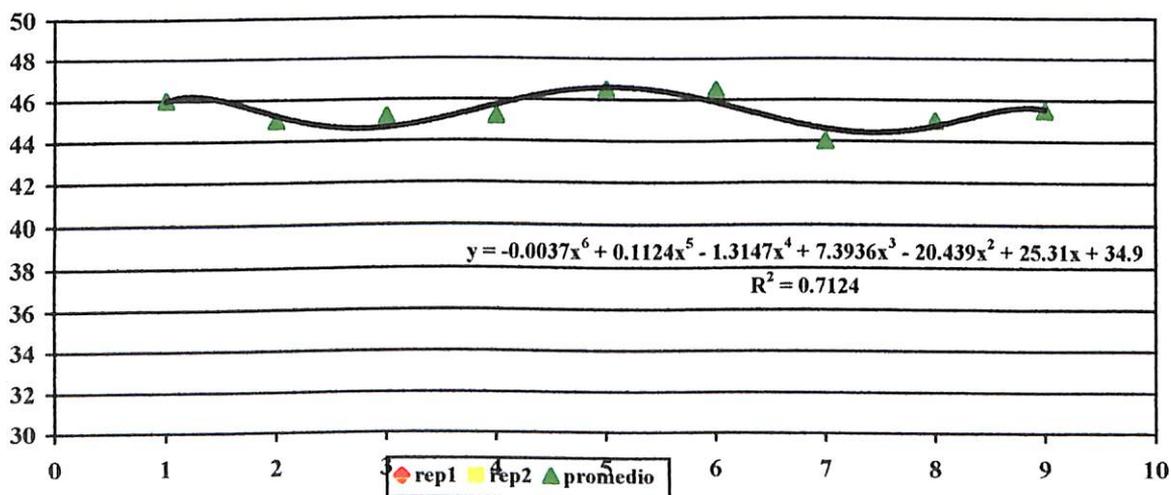


Figura No 2.6. Peso corporal (kg día^{-1}) de cabras raza Nubia, alimentadas con alfalfa y 20 % de biomasa de nopal.

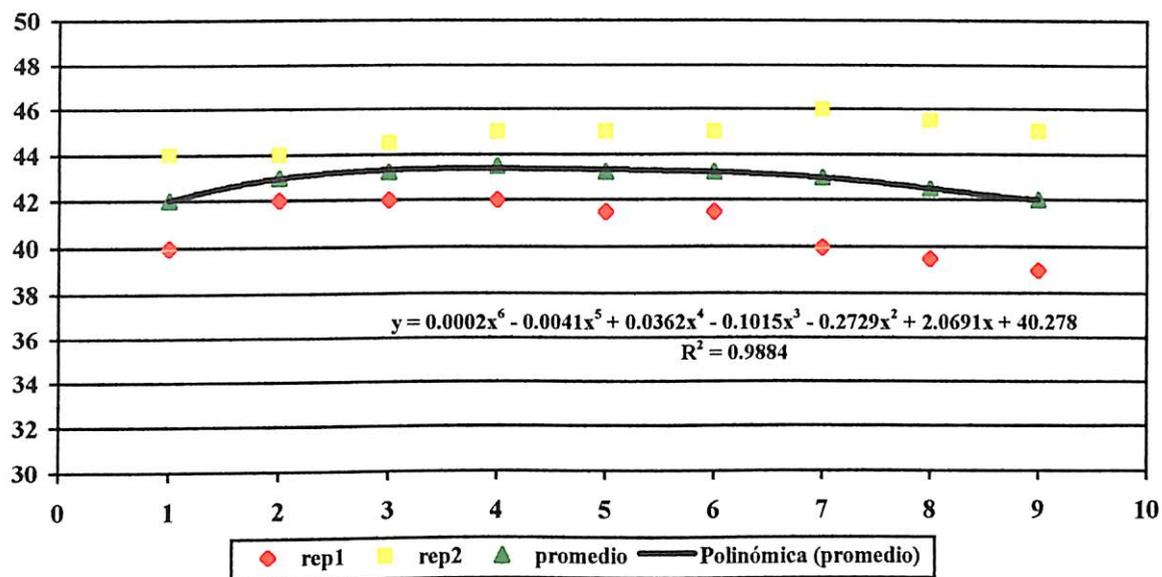


Figura No 2.7. Peso corporal (kg día^{-1}) de cabras raza Granadina, alimentadas con alfalfa.

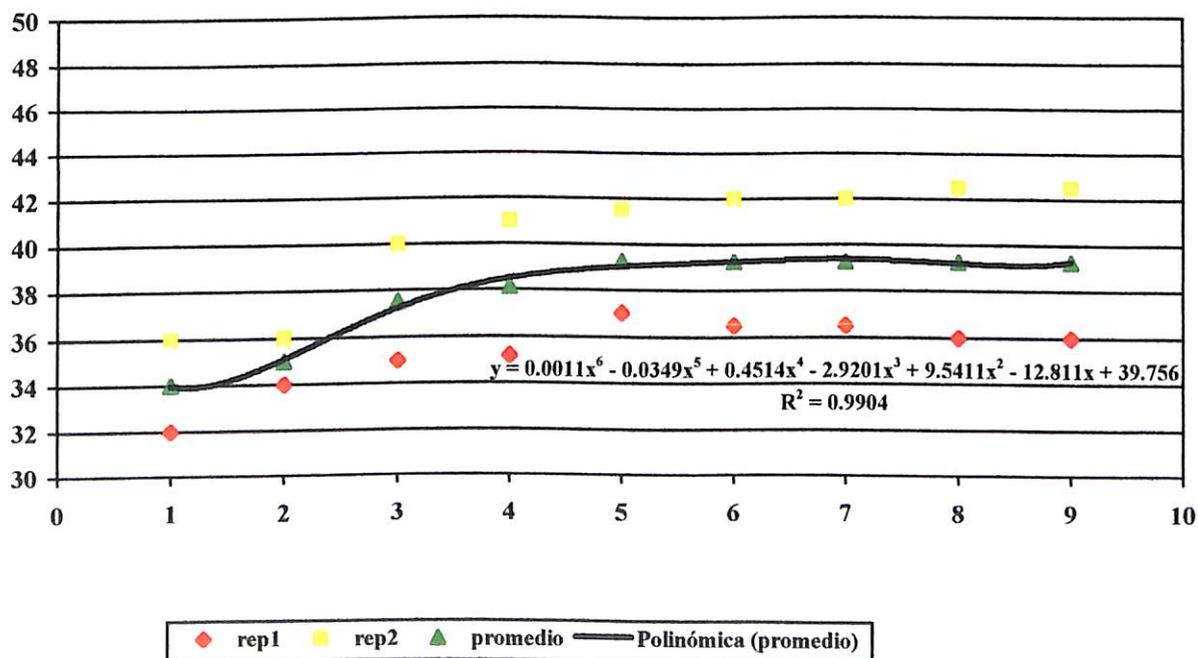


Figura No 2.8. Peso corporal (kg día^{-1}) de cabras raza Granadina, alimentadas con alfalfa y 10 % de biomassa de nopal.

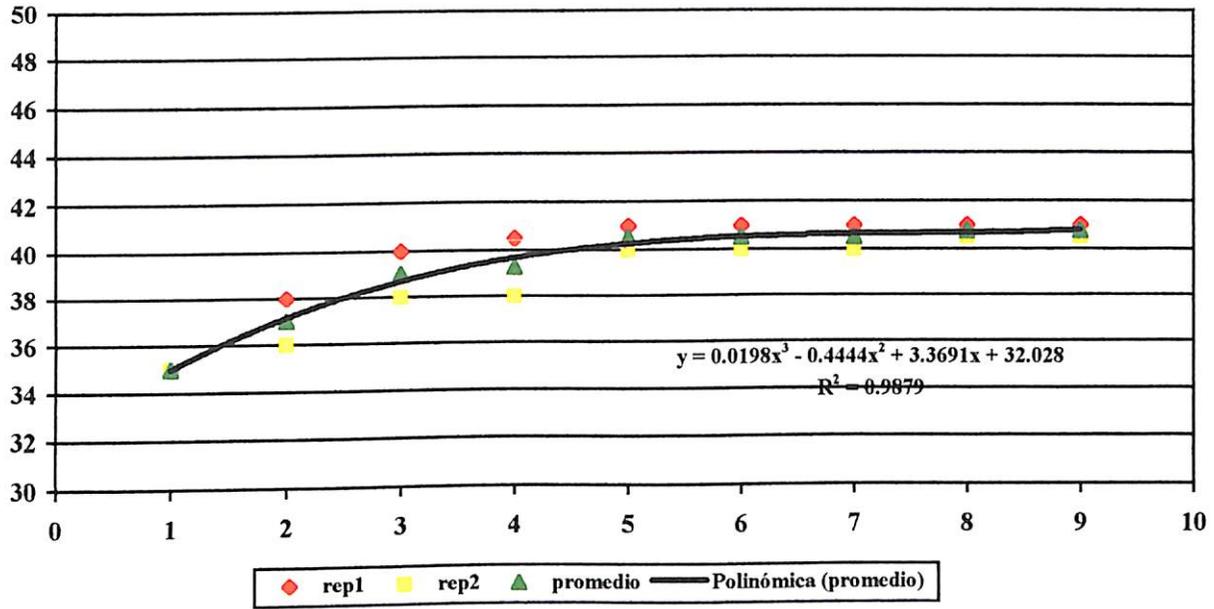


Figura No 2.9. Peso corporal (kg día⁻¹) de cabras raza Granadina, alimentadas con alfalfa y 15 % de biomasa de nopal.

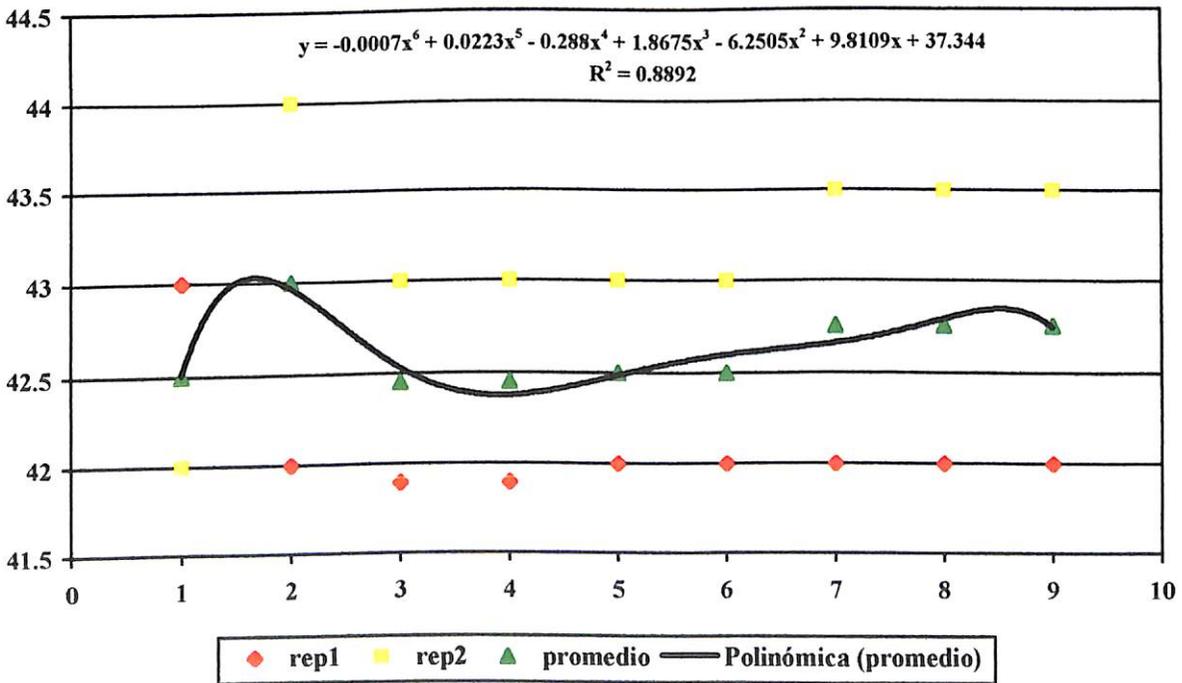


Figura No 2.10. Peso corporal (kg día⁻¹) de cabras raza Granadina, alimentadas con alfalfa y 20 % de biomasa de nopal.

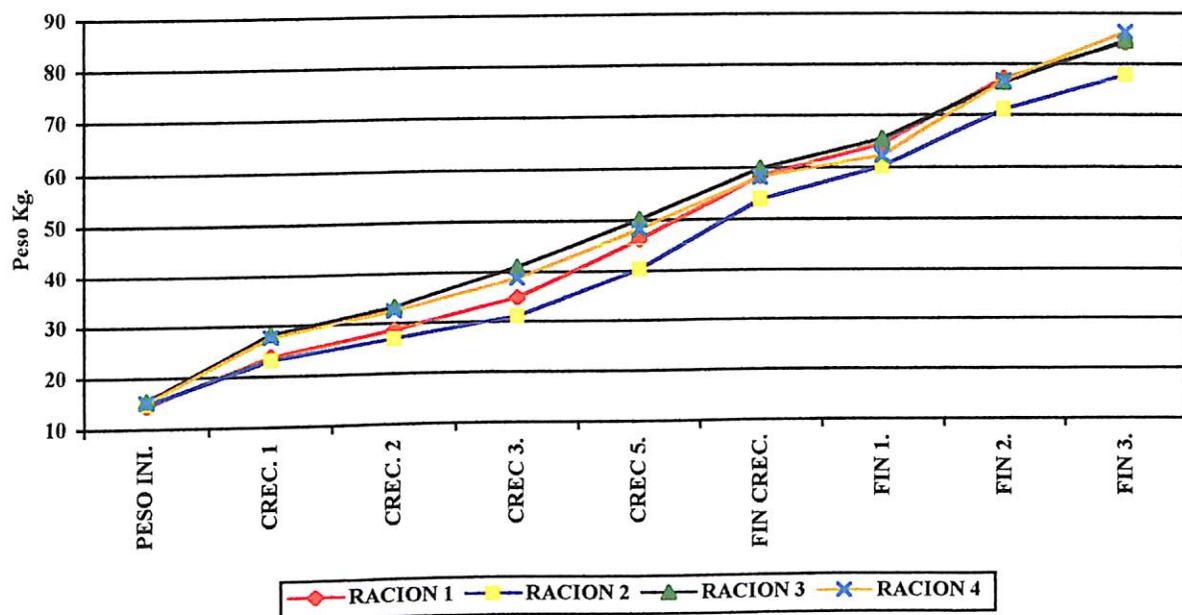


Figura No. 2.11. Incremento de peso en cerdos alimentados sin y con biomasa de nopal a través de las etapas de crecimiento y finalización.

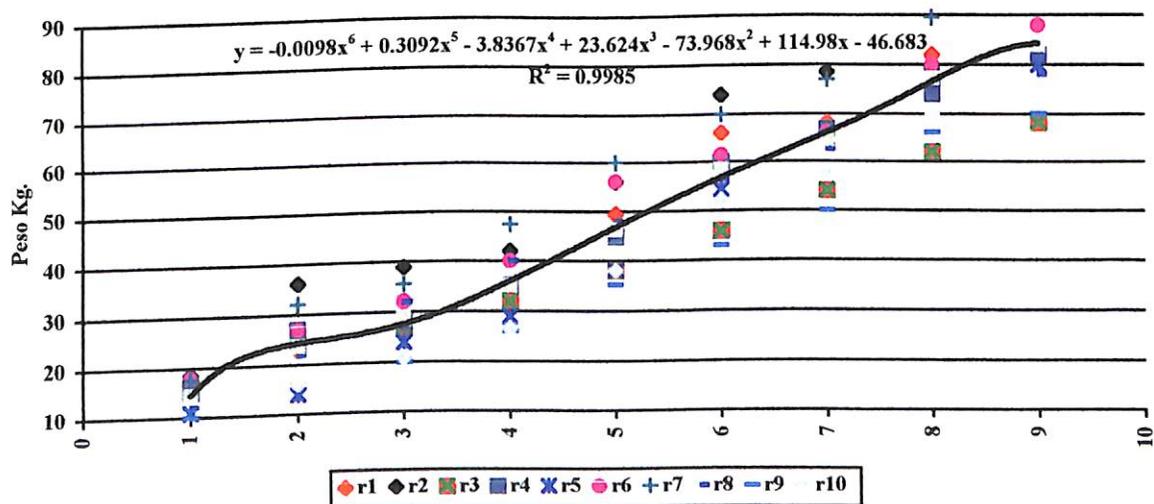


Figura No. 2.12. Incremento de peso (kg) en cerdos alimentados con concentrado (ración 1).

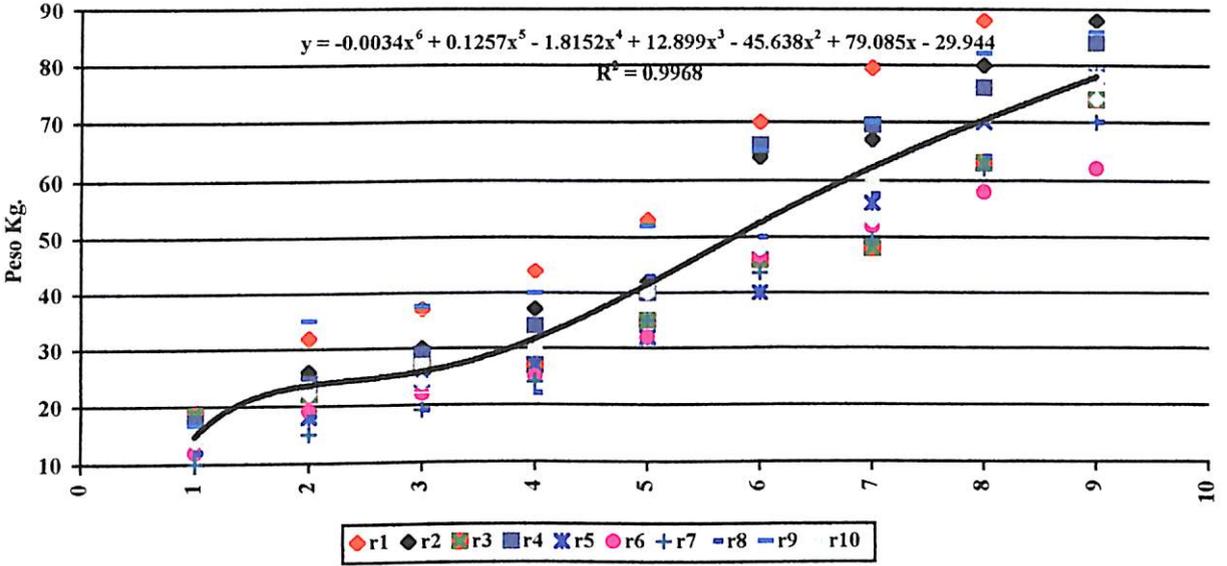


Figura No. 2.13. Incremento de peso (kg) en cerdos alimentados con concentrado y biomasa de nopal (substitución de 10 % de proteína total alimenticia).

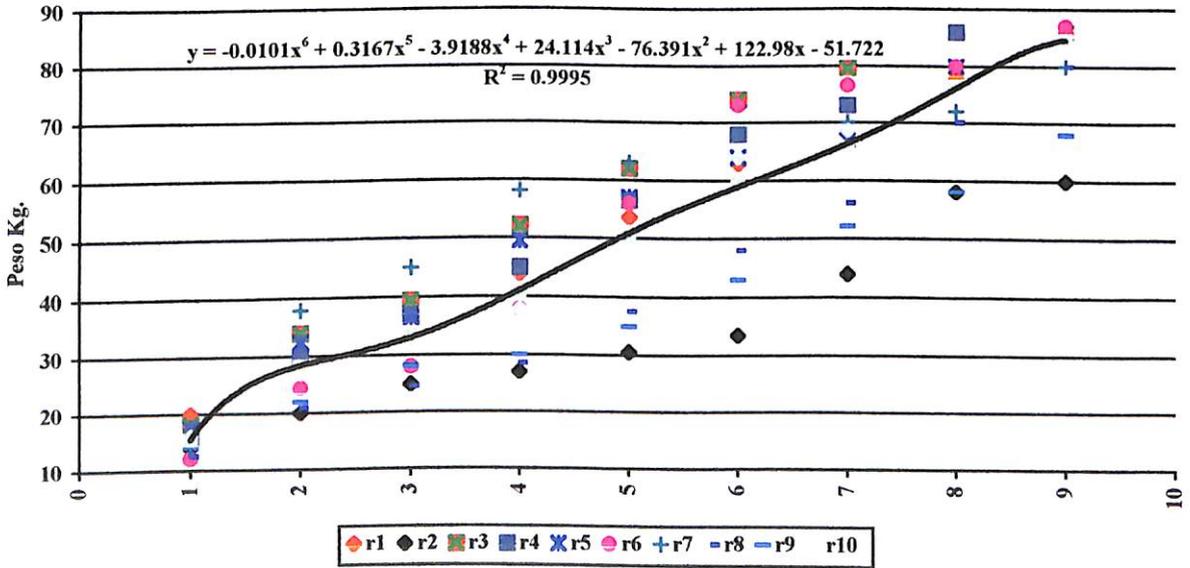


Figura No. 2.14. Incremento de peso (kg) en cerdos alimentados con concentrado normal y biomasa de nopal (substitución de 15 % de proteína total alimenticia)

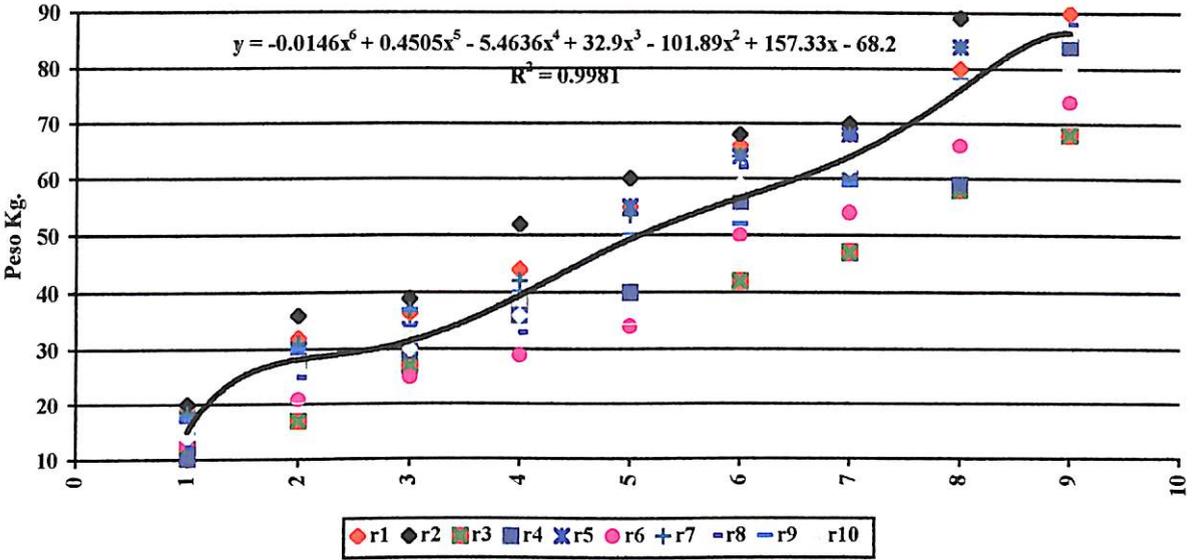


Figura No. 2.15. Incremento de peso (kg) en cerdos alimentados con concentrado normal y biomasa de nopal (substitución de 20% de proteína total alimenticia).

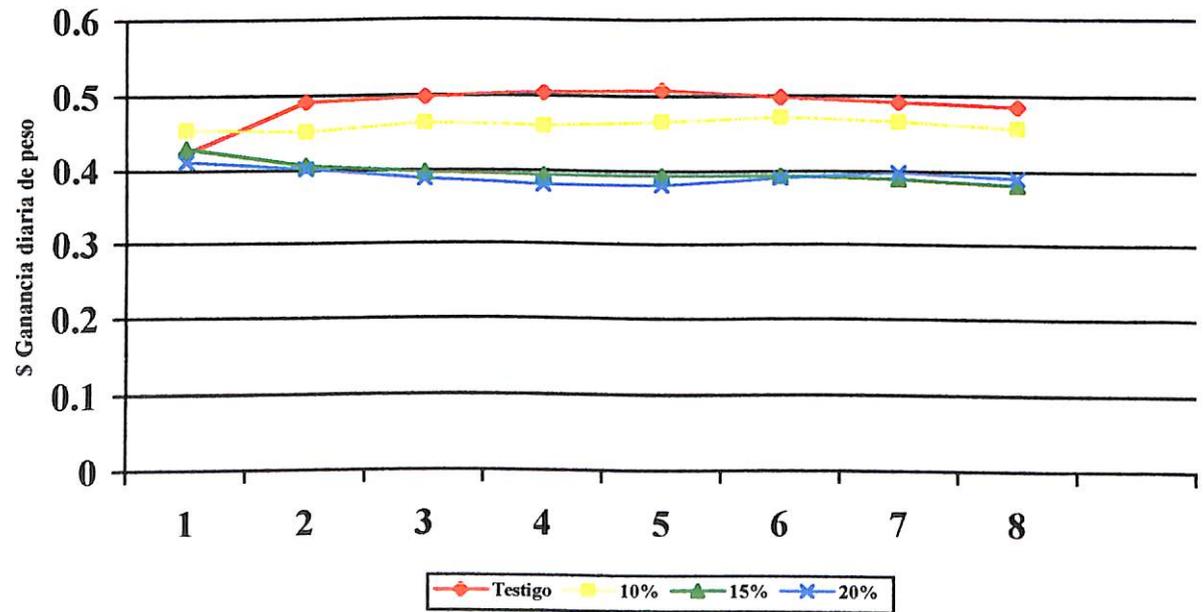


Figura No. 2.16. Costos de alimentación por semana de ganado caprino (Raza Nubia) en lactancia, suplementado con biomasa de nopal.

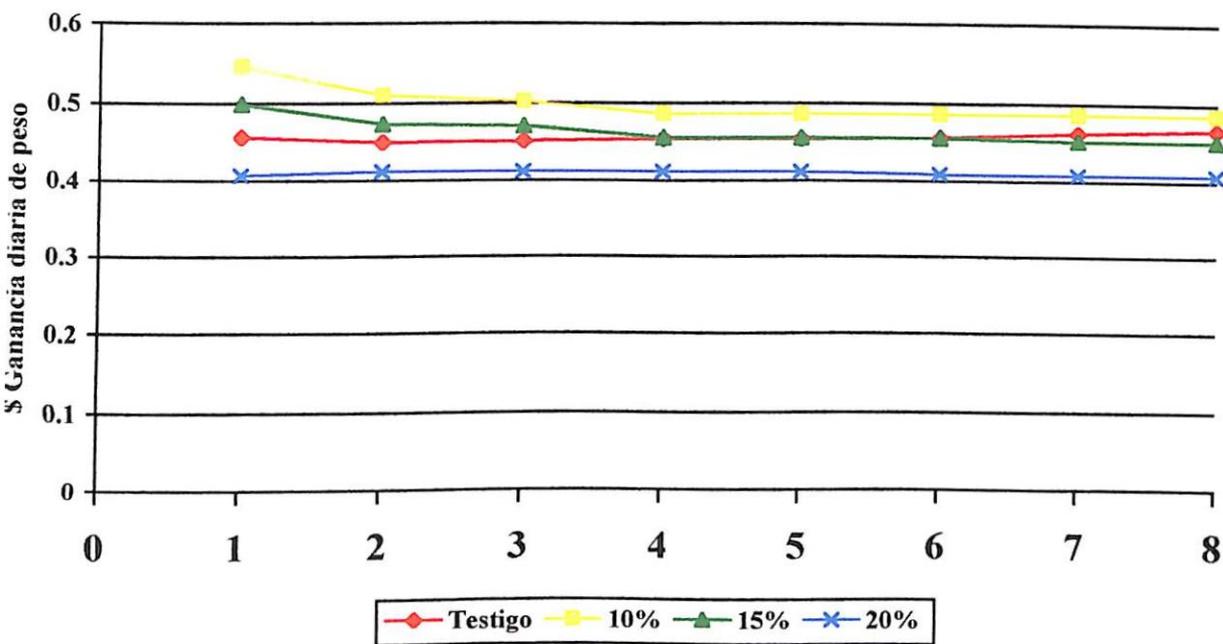


Figura No. 2.17. Costos de alimentación por semana de ganado caprino (Raza Granadina) en lactancia, suplementado con biomasa de nopal.

DISCUSION

La sustentabilidad en los sistemas de producción agropecuaria debe ser eficiente, acorde con los principios generales aceptados, para asegurar que la generación presente tenga los alimentos necesarios, sin arriesgar la producción de las generaciones venideras, cuidando al máximo todos los factores de la producción agropecuaria (Hudson *et al.*, 1998) de manera que puedan también encontrarse alternativas de utilización a cultivos susceptibles de ser explotados ampliamente, o a subproductos derivados de la utilización de alimentos (Westendorff *et al.*, 1998).

El nopal (*Opuntia* spp) es una planta de la familia de las cactáceas, al que se le han encontrado una gran cantidad de usos; desde épocas precolombinas, representa una alternativa de alimentación humana y animal muy importante (Borrego y Burgos, 1986). Recientemente, se ha despertado un gran interés a nivel mundial, debido al aumento de la erosión y escasez de insumos de producción, así como al aumento poblacional (Felker, 1995). Para utilización por ganado, la controversia se ha suscitado por su baja energía metabolizable, y el trabajo que representa el desespine y la utilización de alimentos complementarios (Hoffman y Darrow, 1958). Debido a sus adaptaciones morfológicas y fisiológicas, esta planta se encuentra ampliamente distribuida en México y el mundo (Marroquín *et al.*, 1964) por lo que recurrentemente se le utiliza para alimentación humana (fruto, verdura, enlatados, pigmentos, medicinal, etc.) y alimentación de ganado bovino y

caprino, y, recientemente porcino (Shoop *et al.*, 1997; Fuentes, 1991; Flores y Aguirre, 1992; Muñoz *et al.*, 1997).

Para aumentar la calidad alimenticia, palatabilidad y suavidad, el nopal se puede ensilar y añadir aditivos. En este estudio, la adición de levaduras y sulfato de amonio presentó los mejores resultados, al aumentar la proteína cruda principalmente. La utilización de aditivos en forrajes está ampliamente documentada (Kung *et al.*, 1993; Keady *et al.*, 1994; Harrison *et al.*, 1994; Heldt *et al.*, Kung *et al.*, 1999; Grinstead *et al.*, 2000 y Greenwood *et al.*, 2000). La combinación de levaduras ú otras bacterias inoculantes, con las bacterias del rumen, permite un aumento considerable en la capacidad de descomposición de fracciones insolubles (Gordon, 1989; Frumholtz *et al.*, 1998). Las levaduras adicionadas dan como resultado un aumento total de las bacterias anaeróbicas, incluyendo celulolíticas (digestión de fibra) y bacterias que utilizan lactato en el rumen de animales alimentados con levadura (Kim *et al.*, 1992; Harrison *et al.*, 1988). Se han propuesto 2 propiedades de la levadura que podrían contribuir a este efecto. Las levaduras producen vitamina B, proteínas y otros nutrientes esenciales que podrían ser utilizados por bacterias benéficas para el crecimiento, y la levadura podría utilizar el oxígeno en el rumen, mejorando el crecimiento de bacterias estrictamente anaeróbicas, mejorando la tasa de digestión de la fibra, al causar un aumento de bacterias con enzimas celulolíticas, al modificar el pH y temperatura de su ambiente de crecimiento, estimulando la producción y consumo alimenticio (Nisbett y Martin, 1991; Yoon y Stern, 1996; Robinson y Garret, 1999). Las levaduras son heterofermentativas, por que al momento de la fermentación producen ácido láctico, etanol y bióxido de carbono. Al utilizar en este estudio sulfato de amonio, la

levadura utiliza el amonio, así como el azufre del sulfato del aditivo como sustrato primario, el ácido láctico de la fermentación provoca que el pH del rumen caiga a niveles de acidosis, aumentando el número de bacterias celulolíticas, permitiendo la degradación de la fibra de los concentrados y forrajes; el amonio como sustrato primario, por las levaduras, es utilizado por estas en la síntesis de proteína unicelular, al acelerar el crecimiento y reproducción de las levaduras iniciales, permitiendo también el suplemento subsecuente de aminoácidos en el intestino delgado (Mahan *et al.*, 1999). La proteína bacteriana actúa de manera similar a la proteína de paso del suplemento de la proteína normal del duodeno, permitiendo una asimilación más eficiente (Robinson y Garret, 1999).

Otros aditivos pueden ser el nitrógeno no proteico (NNP) a ensilados, ha sido una práctica de manejo utilizada ampliamente. El amoniaco anhidro no es muy utilizado en México, por su costo y debido a que requiere de equipo especial y es recomendado en silos de torre, y a que puede causar daño a los pulmones, si es inhalado. Contiene 82 por ciento de N, y suplementa 512 por ciento de proteína cruda, y en silos tratados se ha encontrado un contenido de proteína no degradable ligeramente superior que en silos no tratados, posiblemente por inhibición de enzimas debido a un pH inicial, y el uso preferencial de NNP por bacterias fermentativas que degradan proteínas preformadas en silos no tratados (Rodenburg, 1997). La utilización de urea es cara, en comparación con el amoniaco anhidro, pero no es peligrosa en el manejo, y es fácil de aplicar, con menor potencial de evaporación de gases de amonio en silos secos, pero con riesgos más grandes de toxicidad si es aplicada en exceso. Debido a que su pH no aumenta como en el amoniaco anhidro, la urea provee una fuente rápida de nitrógeno para las bacterias,

por lo que reduce la degradación de proteína y la reproducción de bacterias celulolíticas, lo que ocasiona que el silo tarde más en degradarse. Otra ventaja es que en el proceso de fermentación el amonio se convierte en dióxido, el cual no es tóxico. Se pueden utilizar aditivos como ácidos minerales, ácido fórmico, ácido propiónico o ácido láctico para reducir el pH. La adición de metabisulfito de sodio puede prevenir la formación de bacterias indeseables (Hannaway, 1996). El uso de inoculantes o aditivos pueden substancialmente mejorar el comportamiento animal sin alterar la calidad a la hora de la alimentación. El comportamiento animal es la medida más importante de la eficacia de un aditivo, en la mayor o menor tasa metabólica, que se traduce en mayor o menor aumento de producción y calidad de leche, carne, lana, etc., así como desordenes fisiológicos, como timpanismo, diarreas, fiebres, etc. (Selmer-Olsen *et al.*, 1993; Sharp *et al.*, 1994; Shaver y Garret, 1998).

El mejoramiento en el comportamiento animal, seguido del tratamiento con un inoculante efectivo debido a los cambios que se presentan durante la fermentación, sobre todo si son favorables. Esto ocurre como resultado de un proceso de fermentación más rápido y eficiente, lo cual resulta en un aumento en la digestibilidad. Los efectos positivos de los aditivos pueden ser el de reducción del pH, aumentar el contenido de ácido láctico, disminuir el ácido acético y ácido butírico, mejora la recuperación de materia seca, mejora la degradación de los alimentos, permitiendo una mayor producción y calidad, mejora la estabilidad del ensilado, acelera el proceso de fermentación y reduce la pérdida de nutrientes, mejora la digestibilidad de la fibra y reduce la degradación de la proteína (Elizalde *et al.*, 1999; Ferrell *et al.*, 1999).

En este estudio, se encontraron diferencias genotípicas en la capacidad de degradación de la materia seca, proteína y fibra detergente ácida, siendo mejor el AN-TV6 sin aditivo para la MS y la FDA; lo anterior, puede deberse al hecho de que este genotipo es el que mejor responde a las condiciones agronómicas de producción intensiva y sustentable de nopalitos (fertilización orgánica, densidades de siembra, riego por goteo, túneles bajos de polietileno) además es de amplia aceptación por el mercado; todos los anteriores atributos, se deben a que la cutícula es más delgada (menor cantidad de celulosa), baja acidez a la hora del corte, menor cantidad de mucílago y mayor contenido de humedad; luego, al haber menor materia seca y fibra, se degrada más rápido en el rumen, sin necesidad de aditivos. Lo anterior, es mucho más demostrable al utilizar el ecotipo Liebres de *Opuntia rastrera*, que es el nopal silvestre que se encuentra ampliamente distribuido en la región central de Coahuila, y es utilizado por los ganaderos en épocas de emergencia (Espinoza, 1987). Como es un material vegetativo con menos agua y mayor contenido de fibras, la degradación de la MS y FDA sin aditivos es lenta, mejorando considerablemente con el aditivo, como se ha encontrado en otros estudios con nopal (González, 1964; Lastra, 1978). La degradación observada de la proteína se ve mejorada substancialmente con la suplementación del aditivo, sobre todo en el ecotipo Liebres en las primeras 6 horas de alimentación; posteriormente, el genotipo AN-TV6 presenta la mayor digestibilidad con aditivo. La utilización del aditivo al parecer permitió una mayor reproducción y crecimiento de las bacterias, utilizando el amonio como sustrato inicial, y el sulfato para bajar el pH, permitiendo mejores condiciones ambientales de crecimiento de las levaduras, aumentando hasta un 70% (base seca) el contenido de PC. Al haber mayor cantidad de proteína, y éste

ser más digestible a las 48 hs, con este genotipo, concuerda con otros investigadores, de la necesidad de evaluar genotipos por sus cualidades forrajeras (Gregory y Felker, 1992; Delgado y Delgado, 1997, Bach *et al.*, 1998; y García *et al.*, 1999).

El utilizar forrajes tradicionales o alternativos para alimentación de las dietas de los animales, para optimizar recursos (Hristov *et al.*, 1999; Hooper y Armstrong, 1987 y Loginbuhl *et al.*, 2000), Con nopal, los resultados no han sido consistentes (Blanco, 1958; Espinoza, 1985). En este estudio en cabras, la raza Nubia presentó mejor respuesta al forraje con un 15 y 20 por ciento de la proteína normal del alimento substituida por la proteína producida por el nopal con el aditivo. El alimento testigo (alfalfa 100 por ciento, sin nopal) ocupó el 4° y 6° lugar. En la raza Granadina, no hubo diferencias en peso corporal entre el alimento y el substituido con el 20 por ciento de proteína de nopal. En calidad de la leche, no hubo diferencias, salvo para la característica de Conteo de Células Somáticas, característica relativamente con importancia para casos de herida o mastitis (Oman *et al.*, 1999). En cerdos, la alimentación con forrajes tradicionales suplementados con aditivos está encontrando importancia creciente (Grala *et al.*, 1998; Kerr *et al.*, 1998 a y b; Chen *et al.*, 1999). En este estudio, se encontraron mejores resultados con las raciones de substitución del 20 y 15 por ciento de la proteína normal del concentrado por proteína del nopal con aditivo, aunque igual estadísticamente que el tratamiento testigo, sin nopal. El uso de aditivos con inóculo bacteriano ha tenido en cerdos aplicación favorable (Lin *et al.*, 1998; Stahl *et al.*, 2000) y, por la facilidad de preparación de silos enriquecidos con levaduras comerciales de

panificación, esta misma, junto con otros minerales (Mathew *et al.*, 1998; Mahan *et al.*, 1999). Los cerdos en este estudio, no tuvieron reacciones desfavorables, como podría esperarse con el posible exceso de azufre (Loughmiller *et al.*, 1998) o por el exceso de proteína con el uso del mejor tratamiento con aditivo, posiblemente debido a que se tomó en cuenta el por ciento de contenido total de proteína del concentrado, para ser substituida por la proteína cruda producida por el nopal con aditivo; es decir, no se presentó un exceso de proteína (Chen *et al.*, 1999), o de fibra (Ramonet *et al.*, 1999).

El consumo de nopal para alimento por el ganado, ha sido marginal, habiendo preocupación por la calidad alimenticia del mismo, en función de la época del año en que se consuma naturalmente, sobre todo en las épocas de Noviembre a Mayo, en que por las bajas temperaturas en el Hemisferio Norte, así como por la ausencia de precipitación, el pastizal se agota y la disponibilidad de forraje de mejor calidad se encarece. Al producir silos con nopal cultivado, que también por su variación de oferta-demanda pierda su oportunidad de comercialización, es posible homogenizar la calidad alimenticia del silo, sin variación estacional en el contenido de nutrientes naturales en el nopal (Retamal *et al.*, 1987; Everitt y González, 1981; Meyer y Brown, 1985). En términos de rentabilidad simple, a igualdad de condiciones, el substituir el 20 por ciento de la proteína normal con el nopal con aditivos, tuvo ligermanete mejores resultados y fue más rentable (FIRA, 1993) que al alimentar a cabras o cerdos con alimento normal. Otras variables ambientales, como el tamaño de los comederos, espacio de desarrollo (Gronyou *et al.*, 1998; Michel *et al.*, 1999), disponibilidad de agua en zonas áridas y semiáridas (Gonyou and Lou, 2000) el ruido y contaminación diurna y nocturna, temperaturas altas

nocturnas, así como sobresaltos constantes en los comederos (Hyun *et al.*, 1998) tienen un efecto marcado en la tasa metabólica de los animales, que deben ser considerados para estar en condiciones de una producción sustentable (Sundrum *et al.*, 2000; Olesen *et al.*, 2000).

CONCLUSIONES

- Las propiedades nutricionales de la biomasa de nopal fueron modificadas al utilizar aditivos, siendo los mejores tratamientos los de levadura + sulfato de amonio 20 por ciento, con y sin melaza.
- Los genotipos AN-TV6 y AN-FV1 presentan mejores digestibilidades que el ecotipo Liebres, en materia seca, proteína cruda y fibra detergente ácida.
- La adición de levadura 10 por ciento + sulfato de amonio 20 por ciento no mejoró la digestibilidad de la materia seca, pero sí en proteína cruda y fibra detergente ácida.
- En cabras, la Raza Granadina presentó un aumento de peso al sustituir el 20 por ciento de la proteína de la alfalfa por la biomasa de nopal; en la raza Nubia no hubo cambios en peso. En ambas razas es más barato el peso del animal, al sustituir el 20 por ciento de la proteína.
- En cerdos se encontraron diferencias en las raciones, siendo el mejor numéricamente, aunque igual estadísticamente, la ración 4 (sustitución del 20 por ciento de la proteína del concentrado por biomasa de nopal con aditivos) que la ración 1 (testigo).
- En base a los resultados de este trabajo y debido a que el nopal es una planta que presenta menores requerimientos que los forrajes tradicionales, se recomienda alimentar cabras y cerdos con biomasa de nopal con aditivos.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C. 1980. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Thirteenth Edition. Publ. The Association of Official Analytical Chemists.
- Antonio, A.J. 1985. Introducción a la Evaluación Económica y Financiera de Inversiones Agropecuarias. Manual de Instrucción Programada. Primera Edición. Editorial IICA. San José, Costa Rica.
- Bach, A., D. Marshall., S. Stern., N.R. Merchen, and J. K. Drackley. 1998. Evaluation of Selected Mathematical Approaches to the Kinetics of Protein Degradation in situ. J. Anim. Sci. 76:2885-2893.
- Belasco, I. J., M.F. Gribbins and D.W. Kolterman. 1958. The response of rumen microorganisms and pasture grasses and prickly pear cactus following foliar application of urea. J. Anim. Sci. 17:209-217.
- Borrego, E.F. y N. Burgos. (1986). El Nopal. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Buenavista, Saltillo, Coah., México.
- Caballero, M. J. 1990. Potential use of the bacteria *Azospirillum* in association with prickly pear cactus. Proceeding of First Annual Texas Prickly Pear Council. 14-21 pp.
- Carballo M., S. 1996. Castración de Cerdos a Diferentes Edades y su Efecto en el Comportamiento Productivo y Características de la Canal. Tesis de Maestro en Ciencias. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, México.
- Carvajal A., A. 1994. Análisis de Rentabilidad en el Cultivo del Tomate en Invernadero, considerando Acolchado y Riego por Goteo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México.
- CODAGEM. 1979. Cultivo, Explotación y Aprovechamiento del Nopal. Folleto Informativo No. 58. México.
- Chalupa, W. and CH.J. Sniffen. 1998. Matching Protein Delivery to Milk Production. The Veterinary Clinics of North America- Food Animal Practice: Dairy Nutrition Management. W.B. Saunders CO. Philadelphia.

- FIRA. 1993. Aplicación de la Tasa de Rentabilidad Financiera en Proyectos Agropecuarios. Boletín Informativo, No. 255, Vol. XXVI, 76 p.
- FIRA. 1994. Pastoreo Intensivo Tecnificado de Praderas Tropicales. Boletín Informativo, No. 259. Vol. XXVI 64 p.
- Flores V., C.A. y R. Aguirre. 1992. El Nopal como Forraje. CIESTAAM-UACH. Chapingo, Edo. de México. Segunda reimpresión 80 p.
- Flores, V.G. 1992. Respuesta de Producción de Nopalito y pH, de Cuatro Genotipos de Nopal (*Opuntia* spp) Tolerantes a Heladas a Tres Densidades en Invierno. Tesis de Licenciatura, U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. México.
- Frati-Munari, A., J.A. Fernández-Hard, M. Bañales y R. Ariza-Andraca. 1983. Decreased Blood glucose and insuline by nopal (*Opuntia* spp). Arch. Invest. Med. 14: 269-273.
- Frumholtz, P. P., C.J. Newbold, and R.J. Wallace. 1989. Influence of *Aspergillus oryzae* Fermentation Extract on the Fermentation of a Basal Ration in the Rumen Simulation Technique (Rusitec). J. Agric. Sci. (Camb.) 113:169.
- Fuentes, J.M. 1991. A Survey of the Feeding Practices, Costs and Production of Dairy and Beef Cattle in Northern Mexico. Proceedings, 2nd Texas Prickly Pear Council. McAllen, Texas. U.S.A. 118-123 pp.
- Garcia, O. and C. Gall. 1981. Goats in The Dry Tropics. In: Goat Prouction. C. Gall (Ed). Academic Press Inc.
- García, U.G., O.G. Aranda, y C.A.. Flores V. 1999. Digestibilidad *in vitro* (DIVMS) de Algunos Cultivares de Nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de el Nopal. San Luis Potosí. 105-106 pp.
- García, U.G., O.G. Aranda, y C.A.. Flores V. 1999. Digestibilidad *in vitro* (DIVMS) de Algunos Cultivares de Nopal. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de el Nopal. San Luis Potosí. 105-106 pp.
- Gonyou H.W. and Z. Lou. 2000. Effects of Eating and Availability of Water in Feeders on Productivity and Eating Behavior of Grower/Finisher Pigs. J. Anim. Sci. 78:865-870.
- Gonyou. H. W. and W. R. Stricklin. 1998. Effects of Floor Area Allowance and Group Size on the Productivity of Growing/Finishing Pigs. J. Anim. Sci. 76:1326-1330.

- González, C.L. 1989. Potential of Fertilization to Improve Nutritive Value of prickly pear cactus (*Opuntia linheimeri* Engelm). *J. Arid Environ.* 16: 87-94 pp.
- González, M.J. 1964. Digestibilidad del nopal (*Opuntia chrysacantha berg*). Tesis Profesional. I.T.E.S.M. Monterrey, N.L.
- Gordon F.J. 1989. An evaluation through lactating cattle of a bacterial inoculant as an additive for grass silage. *Grass and Forage Science.* 44, 169-179.
- Grala W., M.W.A. Verstegen., A.J.M. Jansman., J. Huisman and J. Wasilewko. 1998. Nitrogen Utilization in Pigs Fed Diets with Soybean and Rapeseed Products Leading to Different Ileal Endogenous Nitrogen Losses. *J. Anim. Sci.* 76:569-577.
- Gregory, R.A. and P. Felker. 1992. Crude protein and phosphorus contents of eight contrasting *Opuntia* forage clones. *J. Arid Environ.* 22:323-331 pp.
- Grenwood R.H., E.C. Titgemeyer and J.S. Drouillard. 2000. Effects of Base Ingredient in Cooked Molasses Block on Intake and Digestion of Prairie Hay by Beef Steers. *J. Anim. Sci.* 78:167-172.
- Grinstead G.S., R.D. Goodband., S.S. Dritz., M.D. Tokach., J.L. Nelssen., J.C. Woodworth and M. Molitor. 2000. Effects of a Whey Protein Products and Spray-Dried Animal Plasma on Growth Performance of Weanling Pigs. *J. Anim. Sci.* 78:647-657.
- Harrison, G.A., R.W. Hemken, K.A. Dawson, R.J. Harmon, and K.B. Barker. 1988. Influence of Addition of Yeast Culture Supplement to Diets of Lactating Cows on Ruminal Fermentation and Microbial Population. *J. Dairy Sci.* 71:2967.
- Harrison, J.H., R. Blauwiekel, and M.R. Stokes. 1994. Fermentation and Utilization of grass silage. *J. Dairy Sci.* 77:3209.
- Heldt, J.S., R.C. Cochran., G.L. Stokka., C.C. Farmer., C.P. Mathis., E.C. Titgemeyer and T.G. Nagaraja. 1999. Effects of Different Supplemental Sugar and Starch Fed in Combination with Degradable Intake Protein on Low-Quality Forage Use by Beef Steers. *J. Anim. Sci.* 77:2793-2802.
- Hoffman, G., D. y R.A. Darrow. 1958. Prickly-pear, Good or Bad. Texas Agricultural, Extension Service College Station. Texas Bull. B-806.
- Hooper, P. G. and D.G. Armstrong. 1987. The chemical composition of silages made with and without an inoculant, their digestibility and voluntary food intake by sheep. 8th Silage Conference, Institute of Grassland and Animal Production. pp 17-18.

- Hristov A., A. Timothy., A. McAllister., F. H. VanHerk., K.-J. Cheng., C. J. Newbold. and P. R. Cheeke. 1999. Effect of *Yuca schidigera* on Rummian Fermentation and Nutrient Digestion in Heifers. *J. Anim. Sci.* 77:2554-2563.
- Hudson, A.G., M.J. Haverkamp and S. Larson. 1998. The Role of Animal Science in Natural Resource Management: Current Decision Making Models and Future Needs. *J. Anim. Sci.* 76:948-953.
- Hunt, C. H., O. G. Bentley, T. V. Hershberger and J. H. Cline. 1954. The effect of carbohydrate and sulfur in B-vitamin synthesis, cellulose digestion, and urea utilization by rumen microorganisms *in vitro*. *J. Anim. Sci.* 13:570.
- Hyun Y., M. Ellis., G. Riskowski. and R.W. Johnson. 1998. Grown Performance of Pigs Subjected to Multiple Concurrent Environmental Stressors. *J. Anim. Sci.* 76:721-727.
- Jaakola, S. and P. Huahtanen. 1993. The effects of forage preservation method and proportion of concentrate on nitrogen digestion and rumen fermentation in cattle. *Grass and Forage Science.* 48, 146-154.
- Keady, T.W.J., R.W.J. Steern, D.J. Kilpatrick and C.S. Mayne. 1994. Effects of inoculant treatment on silage fermentation, digestibility and intake by growing cattle. *Grass and Forage Science.* 49, 225-304.
- Kerr, C.A., R.D. Goodband., J.W. Smith, R. E. Musser., J.R. Bergstrom., W. B. Nessmith, Jr., M.D. Tokach. and J.L. Nelssen. 1994. Evaluation of Potato proteins on the Growth Performance of Early-Weaned Pig. *J. Anim. Sci.* 76:3024-3033.
- Kerr, C.A., R.D. Goodband., M.D. Tokach., J.L. Nelssen., S.S. Dritz., B.T. Richert. and J.R. Bergstrom. 1995. Evaluation of Enzymatically Modified Potato Starches in Diet for Weaning Pigs. *J. Anim. Sci.* 76:2838-2844.
- Kim, D. Y., M.R. Figueroa, D.P. Dawson, C.E. Batallas, M.J. Arambel, and J.L. Walters. 1992. Efficacy of Supplemental Viable Yeast Culture With or Without *Aspergillus oryzae* on Nutrient Digestibility and Milk Production in Early to Midlactation Dairy Cows. 75(Suppl.,1):206. (Abs.).
- Kung, L. Jr. 1999. Silage Additives, Profit Makers or Profit Takers?. Dept. of Animal Science & Agriculture Biochemistry, University of Delawer. Newark, DE, U.S.A. Email, lkung@chopin.udel.edu.
- Kung, L. Jr., J.H. Chen, E.M. Kreck, and K. Knutsen. 1993. Effect of Microbial Inoculants on the Nutritive Value of Corn Silage for Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 76:3763

- Kung, L. Jr., L.D. Satter, B.A. Jones, K.W. Genin, G.L. Enders. Jr., and H.S. Kim. 1987. Microbial Inoculation of low moisture alfalfa. *J. Dairy Sci.* 70:2069.
- Lastra, E., J. 1978. Digestibilidad *in vivo* e *in vitro* de Ensilaje de Nopal *Opuntia ficus-indica*. Tesis Profesional. Chapingo, Méx. ENA.
- Liu, J., D.W. Bollinger., D.R. Ledoux. and T.L. Veum. 1998. Lowering the Dierary Calcium to Total Phosphorus ratio Increases Phosphorus Utilization in Low-Phosphorous Corn-Soybean Meal Diets Supplemented with Microbial Phytase for Growin-Finishing Pigs. *J. Anim. Sci.* 76:808-813.
- Loginbuhl, J.-M., M.H. Poore. and A.P. Conrad. 2000. Effects of Leavel of Whole Cottonseed on Intake, Digestibility, and perfomance of Growing male Goats Fed Hay-Based Diets. *J. Anim. Sci.* 78:1677-1683.
- Loughmiller, J.A., J.L. Nelssen., R.D. Goodband., M. D. Tokach., E. C. Titgemeyer. and I. H. Kim. 1998. Influence of Dietary Total Sulfur Amino Acids. and Methionine on Growth Performance and Carcass Chacacteristics of Finishing Gilts. *J. Anim. Sci.* 76:2129-2137.
- Mahan, D.C., T.R. Cline. and B. Richert. 1999. Effects of Dietary Leaves of Selenium-Enriched Yeast and Sodium Selenite as Selenium Sources Fed to Growing-Finishing Pigs on Performance, Tissue Selenium, Serum Glutathione Peroxidase Activity, Carcass Characteristics, and Loin Quality. *J. Anim. Sci.* 77:2172-2179.
- Maltsberger, W.A., 1991. Feeding and suplementing prickly pear cactus to beef cattle. En: Proceedings of Second Annual Texas Prickly Pear Council. 104-117.
- Marroquín, J.S. 1964. Estudio Ecológico y Dasonómico de las Zonas Aridas del Norte de México, México. INIF. Publ. Esp. 2:166 pp.
- Mascarua-Esparza, M.A., R. Villa-González and J. Caballero-Mellado. 1988. Acetylene reduction and indoleacetic acid production by *Azospirillum* isolates from Cactaceous planst. *Plant and Soil.* 106:91-95 pp.
- Mathew A.G., S.E. Chatin., C.M. Robbind. and D.A. Golden. 1998. Effects of a Direct-Fed Yeast Culture on Enteric Microbial Populations, Fermentation Acids, and Performance of Weanling Pigs. *J. Anim. Sci.* 76:2138-2141.
- Meyer, M.M., and R.D. Brown. 1985. Seasonal Trends in the Chemical Composition of Ten Range Plants in South Texas. *J. Range Manage.* 38: 154-157 pp

- Michel S., E. Bruce., E. Arentson and G. A. Mente. 1999. Effect of Protein Leaves and Space Allocation on Performance of Growin-Finishing Pigs. *J. Anim.Sci.*
- Mohn, S., A.M. Gillis., P.J. Moughan. and C.F.M. de Lange. 2000. Influence of Dietary Lysine and Energy on Body Protein Deposition and Lysine Utilization in the Growing Pig.
- Mooney, K.W. and G.L. Cromwell. 1999. Efficacy of Chromium Picolinate on Performance and Tissue Accretions in Pigs with Different Lean Gain Potential. *J. Anim. Sci.* 77:1188-1198.
- Muñoz G., V., A. Morales R., y H. Blanco G. 1997. Experiencias de la Comisión para el Desarrollo Agropecuario del Estado de Aguascalientes en el Establecimiento, Manejo y Producción de Nopal Forrajero en Aguascalientes. Memorias del VII Congreso Nacional y V Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de el Nopal. Monterrey, N.L.
- Murillo S. M. J. Fuentes, M. Torres, F. Borrego, y R. Gutiérrez. 1994. *In vitro* Protein Digestibility of Two *Opuntia* Genotypes after the Addition of Yeast, Ammonia and Urea. Proceedings 5th Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas, U.S.A.
- Murillo, S.M., J.M. Fuentes, y F. Borrego. 1997. Sustentabilidad del Nopal como Forraje en el Norte de México. Memorias del VII Congreso Nacional y V Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Monterrey, N.L.
- Nisbet, D.J. and S.A. Martin. 1990. Effect of dicarboxylic acids and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on lactate uptake by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 56:3515.
- Nisbett, D.J., and S.A. Martin. 1991. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* culture on lactate utilization by the ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *J. Anim. Sci.* 69:4628
- Nisbet, D.J., and S.A. Martin. 1993. Effects of fumarate, L. malate, and an *Aspergillus oryzae* fermentation extract on D-lactate utilization by ruminal bacterium *Selenomonas ruminantium*. *Curr. Microbiol.* 26:133.
- Okulie, P.N. and E.N. Ugochukwu. 1988. Changes in activities of cell wall degrading enzymes during fermentation of Cassava with *Citrobacter freundii*. *J. Science Food Agric.* 44, 51-61.
- Olesen, I., A.F. Groen. and B. Gjerde. 2000. Definition of Animal Breeding Goals for Sustainable Production System. *J. Anim. Sci.* 78:570-582.

- Oman, J.S., D.F. Waldron., D.B. Griffin. and J.W. Savell. 1999. Effect of Bread-Type and Feeding Regimen on Goat Carcass Traits. *J. Anim. Sci.* 77:3215-3218.
- Orskov. E. R., and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. Camb.* 92:499.
- Ramonet, Y., M.C. Meunier-Salaun. and J.Y. Dourmad. 1999. High-Fiber Diets in Pregnant Sows: Digestive Utilization and Effects on the Behaviour of the Animal. 1999. 77:591-599.
- Retamal, N., J.M. Durán and J. Fernández. 1987. Seasonal variation of chemical composition of prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) *J. Sci. Food Agric.* 38:303-311.
- Robinson, P.H., and J. E. Garrett. 1999. Effects of Yeast Culture (*Saccharomyces cerevisiae*) on Adaptation of Cows to Postpartum Diets and on Lactational Performance. *J. Anim. Sci.* 77:988-999.
- Selmer-Olsen, Y., A.R. Henderson, S. Robertson and R. McGinn. 1993. Cell wall degrading enzyme for silage. 1. The fermentation of enzyme-treated ryegrass in laboratory silos. *Grass and Forage Science.* 48, 45-54.
- Selmer-Olsen, Y., A.R. Henderson, S. Robertson and R. McGinn. 1993. Cell wall degrading enzyme for silage. 1. The fermentation of enzyme-treated ryegrass in laboratory silos. *Grass and Forage Science.* 48, 45-54.
- Sharp, R., P.G. Hooper and D.G. Armstrong. 1994. The digestion of grass silages produced using inoculants of lactic acid bacteria (LAB). *Grass and Forage Science.* 49, 42-53.
- Shaver, R.D., and J.E. Garret. 1999. Effect of Dietary Yeast Culture on Milk Yield, Composition, and Component Yields at Commercial Dairies. *The Professional Animal Scientist* 13:204-207.
- Shimada, A. 1984. *Fundamentos de Nutrición Animal Comparativa. Consultores en Producción Animal S.C. México.* 371pp.
- Shoop, M.C., E.J. Alford and H.F. Mayland. 1977. Plains prickly pear is a good forage for cattle. *J. Range Manage.* 30: 12-17 pp.
- Stahl, C.H., K.R. Roneker., J.R. Thornton, and X. G. Lei. 2000 A New Phytase Expressed in Yeast Effectively Improves the Bioavailability of Phytate Phosphorus to Weanling Pigs. *J. Anim. Sci.* 78:668-674.

- Sundrum, A., L. Butfering., M. Henning and K.H. Hoppenbrock. 2000. Effects of On-Farm Diets for Organic Pig Production on Performance and Carcass Quality. *J. Anim. Sci.* 78:1199-1205.
- Teles, F.F.F., J.W. Steell, W.H. Brown and F.M. Whiting. 1984. Amino and Organic Acids of the Prickly Pear Cactus (*Opuntia ficus indica*) *J. Sci. Fd. Agric.* 35:421-425.
- Uribe G., J. 1995. Evaluación de dos Productos como Promotores de Crecimiento (POCR-1 POCR-2) y el aminoácido Lisina, sobre el comportamiento Productivo de Cerdos en Crecimiento-Desarrollo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Saltillo, México.
- Van Soest P.J. 1975. Physio-chemical aspects of fiber digestion. En *Digestion and Metabolism in the Ruminant*. Univ. of New England Publ. Unit., Armidale, Australia.
- Vázquez, A., R.E. y R.J. De la Garza V. 1999. Caracterización de Cinco Cultivares de Nopal Forrajero. Memorias de VIII Congreso Nacional y VI Internacional Sobre Conocimiento y Aprovechamiento de el Nopal. 107-108 pp.
- Villarreal, A. 1958. El Nopal como Forraje para el Ganado. En primer Congreso de Investigación Agrícola en México. Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura. 7(2):296-300.
- Vuelo. 1998. Revista Mexicana de Aviación. Año 5 No 58. Noviembre 1998. Ed. Guillermo Pérez Vargas.
- Waldrip, H.M., and S.A. Martin. 1993. Effects of an *Aspergillus oryzae* fermentation extract and other factors on lactate utilization by the ruminal bacterium *Megasphaera elsdenii*. *J. Anim Sci.* 71:2770.
- Weakley, D. C., M. D. Stern, and L. D. Satter. 1983. Factors affecting disappearance of feedstuffs from bags suspended in the rumen. *J. Anim. Sci.* 56:493.
- Weidmeier, R.D., M.J. Arambel, and J.L. Walaters. 1987. Effect of yeast culture and *Aspergillus oryzae* fermentation extract on ruminal characteristics and nutrient digestibility. *J. Dairy Sci.* 70:2063.
- Weinberg, Z., G. Ashbell, A. Azriely and Y. Brukental. 1993. Ensiling peas, ryegrass and Wheat with additives of lactic acid bacteria (LAB) and cell wall degrading enzymes. *Grass and Forage Science.* 48, 70-78.
- Weiss, J., A. Nerd and Y. Mizrahi. 1993. Vegetative parthenocarphy in the cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) *Ann. Bot.* 71.

- Westendorf, M.L., Z. C. Dong. and P.A. Schoknecht. 1998. Recycled Cafeteria Food Waste as a Feed For Swine: Nutrient Content, Digestibility, Growth, and Meat Quality.
- Yoon, I.K., and M.D. Stern. 1996. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* Cultures on Ruminal Fermentation in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 79:411.
- Yoon, I.K., and M.D. Stern. 1996. Effects of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aspergillus oryzae* Cultures on Ruminal Fermentation in Dairy Cows. J. Dairy Sci. 79:411.
- Zelaya, de la P., E. 1995. Evaluación Económica de Proyectos de Inversión con su PC. Grupo Editorial Iberoamérica. 57 p.