

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**POTENCIAL DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FORRAJE DE
NUEVE HÍBRIDOS DE SORGO GRANO (*Sorghum vulgare Pers.*)
EN LA REGIÓN LAGUNERA**

POR:

FERNANDO HERNANDEZ ARELLANO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE:**

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

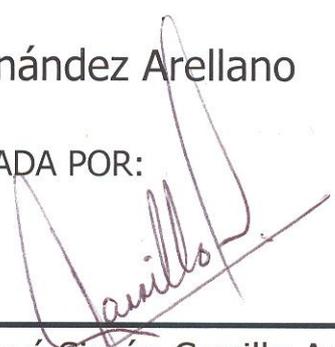
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
TESIS REALIZADA BAJO LA SUPERVISIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA

Por:

Fernando Hernández Arellano

APROBADA POR:

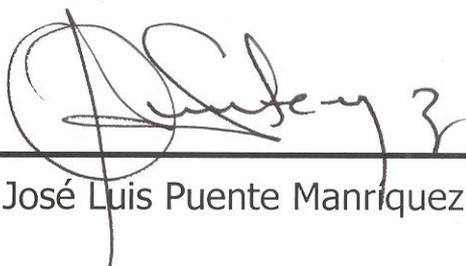
ASESOR PRINCIPAL


MC. José Simón Carrillo Amaya

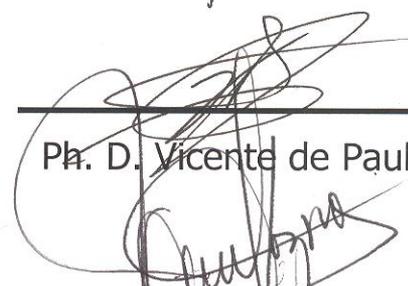
ASESOR

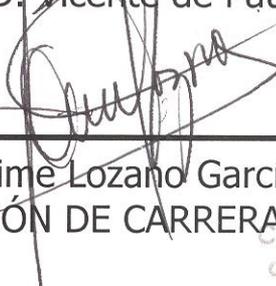

MVZ. Jaime I. Romero Paredes Rubio

ASESOR


Dr. José Luis Puente Manríquez

ASESOR


Ph. D. Vicente de Paul Álvarez Reyna


M. C. José Jaime Lozano García
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREON COAH. MÉXICO


Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas
MARZO 2005

TESIS

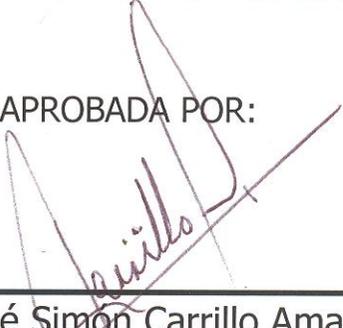
POR:

Fernando Hernández Arellano

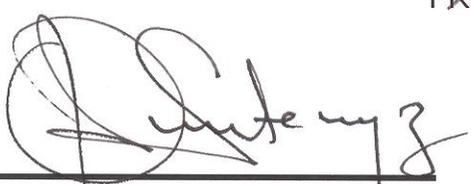
QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN POR EL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

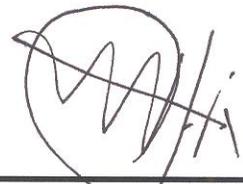
APROBADA POR:



MC. José Simón Carrillo Amaya
PRESIDENTE



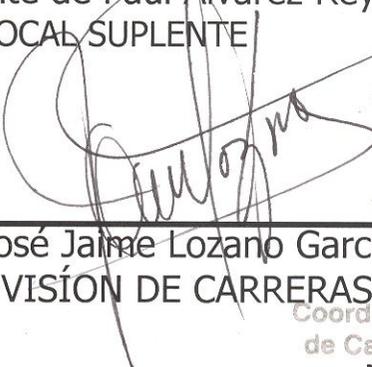
Dr. José Luis Puente Manríquez
VOCAL



MVZ. Jaime I. Romero Paredes R.
VOCAL



Ph. D. Vicente de Paul Álvarez Reyna
VOCAL SUPLENTE



M. C. José Jaime Lozano García
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

DEDICATORIAS

A Dios por darme una salud plena y unos padres a los que quiero mucho. También por darme la oportunidad de cumplir una de mis mayores metas.

A mis padres Sabino Hernández Martínez y Ma del Refugio Arellano de Hernández por traerme al mundo, por todo su cariño, tiempo y dedicación, que gracias a sus consejos y correcciones hicieron de mi un hombre con sentimientos y principios.

A mis hermanos Martha Cecilia, Blanca Estela, Manuel, Sabino, Francisco por el tiempo y experiencias compartidas y los muchos momentos especiales de mi vida.

A mis sobrinos por su comprensión con quienes también compartí tiempo en el que aprendíamos juntos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida, guiarme por el buen camino y permitirme llegar a mis objetivos.

A mi Alma Mater porque durante mi estancia en ella nunca me faltaron las oportunidades de superación y el apoyo de las personas que ahí laboran y que como mi Alma Mater son apreciadas por su nobleza.

Al Campo Experimental de la Laguna por la oportunidad de realizar la presente en sus instalaciones y la amabilidad de sus trabajadores.

Al M.C J. Simón Carrillo Amaya por su tiempo, dedicación y asesoría en la realización del presente trabajo.

Al Ph. D. Vicente de Paul Álvarez Reyna por su colaboración y revisión del presente documento.

Al MVZ. Jaime Romero Paredes Rubio por su tiempo y ayuda en la realización de la presente también

A mis compañeros de la generación XXXII, de Ingenieros Agrónomos con especialidad en Irrigación, Ma. de Lourdes, Edgar M., Elvis, Maurilio, Simón, Jesús Manuel, Juan y Eduardo, por la unidad que siempre mantuvimos durante la carrera y que de alguna manera me ayudaron a la culminación de mis estudios. A Luis Jerónimo que por motivos personales no terminó, pero que está en el recuerdo de grupo.

A los profesores del Departamento de Riego y Drenaje que gracias a sus conocimientos y experiencias compartidas me ayudaron a que sea un profesionalista.

A los maestros de las diferentes especialidades como Parasitología, Fitomejoramiento, Horticultura y Biología quienes también aportaron su conocimiento para mi formación académica.

A todos los amigos que hice afuera y dentro de la escuela de diferentes especialidades y lugares, pues con los ratos en que convivimos ayudaron en mi formación personal.

A la maestra Sonia Aurora Luna Ramírez por su apoyo al momento de iniciar mi carrera y que siempre me impulsó a seguir.

Al C. P. Jorge Niño Patiño por su convivencia, experiencias y consejos compartidos que me ayudaron a salir adelante.

A la Ing. Martha Vianey Perales García por su tiempo, atención y facilidades en el laboratorio a su cargo y por su colaboración en la realización del presente trabajo.

A todas las personas que de alguna manera marcaron puntos importantes en el desarrollo del presente trabajo, pero sobre todo en transcurso de mi carrera.

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
IMPORTANCIA MUNDIAL.....	1
IMPORTANCIA NACIONAL.....	2
ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN.....	3
JUSTIFICACIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	7
HIPÓTESIS.....	7
METAS.....	7
REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN LAGUNERA.....	8
Clima.....	8
Temperatura.....	8
Precipitación.....	8
Suelos.....	9
FISIOTECNIA DEL SORGO.....	10
CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	10
FACTORES CLIMÁTICOS QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE SORGO..	10
Energía radiante.....	10
Espectro solar.....	11
Temperatura.....	12
Precipitación.....	12
REQUERIMIENTOS Y SISTEMAS DE ADAPTACIÓN DEL CULTIVO.....	12
SUSTANCIAS TÓXICAS DEL SORGO.....	15
CALIDAD DE FORRAJE.....	16
FORRAJES.....	16
ENSILAJE.....	16

SORGO FORRAJERO.....	17
CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL FORRAJE.....	21
LA ESTRUCTURA DE LA CÉLULA.....	22
CONTENIDO CELULAR.....	23
INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS: Método de Van Soest o de Fibra Detergente.....	24
LA ENERGÍA.....	26
Materia Seca Digestible.....	27
Materia Seca Consumida.....	27
Energía Digestible.....	28
Energía Metabolizable.....	28
Energía Neta de Lactancia.....	28
Valor Relativo del Forraje.....	28
RELACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA VACA LECHERA.....	29
MATERIALES Y METODOS.....	31
DATOS DE CAMPO.....	33
ANÁLISIS DE VARIANZA.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS.....	36
CALIDAD NUTRITIVA DE FORRAJE.....	41
CONCLUSIONES.....	48
LITERATURA CITADA.....	50

INDICE DE CUADROS

Cuadro1. Características que determinan la calidad del ensilaje.....	17
Cuadro 2. Híbridos evaluados en condiciones de riego de la región lagunera. CELALA - INIFAP, 2002.....	31
Cuadro 3. Especificaciones del lote experimental, donde fueron evaluados nueve nuevos híbridos de sorgo grano vs un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA – INIFAP 2002.....	32
Cuadro 4. Distribución de tratamientos en base al diseño experimental bloques al azar, para la evaluación de nueve híbridos de sorgo en comparación con un testigo comercial, en la Región Lagunera. CELALÁ, 2002.	32
Cuadro 5. Promedio de cuatro características agronómicas de nueve híbridos de sorgo grano evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA INIFAP 2002.....	38
Cuadro 6. Promedio de cuatro características agronómicas de nueve híbridos de sorgo grano evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA INIFAP 2002.....	40
Cuadro 7. Promedio de tres características agronómicas de nueve híbridos de sorgo grano evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA INIFAP 2002.	41
Cuadro 8. Valores porcentuales del análisis químico proximal y fracciones de fibra de Van Soest (FDN y FDA), de la alfalfa en diferentes estados fenológicos, obtenidos de tablas del NRC.	42

CUADRO 9. Resultados del análisis químico proximal y fracciones de fibra de Van Soest (FDN y FDA) de ocho híbridos de sorgo grano evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA – INIFAP 2002..... 42

CUADRO 10. Valores de energía de la alfalfa obtenidos de tablas del NRC (1988). 43

Cuadro 11. Materia seca total, energía y valor relativo forrajero (VRF) de ocho híbridos de sorgo grano, evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA – INIFAP 2002..... 43

Cuadro 12. Coeficiente de correlación y la ecuación de regresión entre los valores de fibra y la proteína cruda.. 44

INTRODUCCION

IMPORTANCIA MUNDIAL

En el ámbito mundial, el sorgo es un cultivo importante, ocupa el quinto lugar en superficie sembrada con 6.35 %, después del trigo, arroz, maíz y cebada, los cuales ocupan el 32, 22, 21 y 8 %, respectivamente, de la superficie total mundial de cereales. Aporta el 2.72 % de la producción total de cereales, por abajo del maíz, arroz, trigo y cebada, los cuales aportan el 30, 29, 28 y 7 %, respectivamente.

De los cereales, el sorgo es el que muestra menor capacidad de rendimiento, dado que produce 1.31 toneladas por hectárea, a diferencia del mijo que genera 6.35 toneladas por hectárea y en tanto que el maíz produce 4.34 ton/ha. Esto explica porque la aportación del sorgo es menor en la producción total de cereales teniendo una superficie mayor con relación al volumen de producción que aporta.

En un contexto mundial Estados Unidos en el 2002, con una superficie de 7.24%, aporta 17.51% de la producción total, en tanto que la India y Nigeria, con 23.5 y 17.3%, aportan el 14.81% y 14.46% de la producción mundial, respectivamente.

En el 2002 México se ubicó en el quinto lugar en cuanto a superficie cultivada de sorgo, el primer lugar lo ocupó la India con el 23.51% de la superficie total, seguido de Nigeria, Sudán y Estados Unidos con el 17.29%, 9.5% y 7.24%, respectivamente. Pese a que en la India, Nigeria y Sudán se siembra de sorgo el 50% de la superficie total mundial, sus rendimientos son inferiores al promedio mundial, con 0.81, 1.13 y 0.78 ton/ha, respectivamente y aportan el 34.8% de la producción total. Los países que aportan mayores rendimientos son Argentina, China, Estados Unidos y México, con 4.69, 3.62, 3.18 y 2.97 ton/ha, respectivamente.

A principios de los setentas, gran parte de la producción de sorgo grano se destinaba a la alimentación humana; Sin embargo, en la actualidad se utiliza principalmente para formular alimentos balanceados para ganado, siendo así que la utilización de sorgo para consumo animal, se duplicó, pasando del 30 al 60% (Arias, 1995).

En la actualidad se siembran más de 40 millones de hectáreas en la faja comprendida entre los 50° latitud norte y 50° latitud sur y sobresale en importancia en países en vías de desarrollo en África, Asia y Latinoamérica.

En 1992, Estados Unidos aparece como el mayor productor de sorgo grano, con cerca de 5 millones de hectáreas y una producción aproximada de 22 millones de toneladas. Es seguido por México y Argentina con 5.1 y 2.8 millones, respectivamente, Venezuela y Colombia con 528.000 y 752.000 Toneladas, respectivamente.

En regiones ganaderas el sorgo cobra mayor importancia, al formar parte de los sistemas de producción agropecuarios por ser un cultivo de doble propósito. En este sentido, el sorgo es factor fundamental en el desarrollo de importantes regiones productoras del país (Arias, 1995).

IMPORTANCIA NACIONAL

En México se siembran aproximadamente 16.4 millones de hectáreas de cultivos anuales, donde destaca el maíz con una proporción de 46.6%, seguido por el sorgo grano con 13.5%, lo cual equivale a 2.2 millones de hectáreas en el año 2001. La importancia económica de estos cultivos radica en que, el maíz aporta 24,200.66 millones de pesos, equivalente al 25% del valor de la producción total de cultivos anuales, en tanto que el sorgo contribuye con el 6.7%, con un valor de 6,507 millones de pesos.

Durante el mismo año México alcanzó una producción de 6'566,535 toneladas de sorgo, donde Tamaulipas ocupó el primer lugar con 2.1 millones de toneladas, seguido

por Guanajuato con 1'615,337 toneladas, Michoacán con 852,677 toneladas y Sinaloa con 482,676 toneladas, que representan el 32.4%, 24.6%, 13.0% y 7.4% de la producción total, respectivamente. De la superficie nacional destinada al cultivo de sorgo para grano, únicamente 373,091 hectáreas correspondieron a zonas agrícolas de riego, mismas que representaron el 16.9% de la superficie total.

Tomando en cuenta lo anterior se consideró importante realizar la evaluación de híbridos comerciales de sorgo, en busca de materiales con características sobresalientes en cuanto a rendimiento de grano y forraje, alta calidad nutricional y adaptados a las condiciones agro-ecológicas de la Región Lagunera.

ORIGEN Y DISTRIBUCION

El sorgo *Sorghm vulgare* Pers., es originario de África. Su propagación a otras partes del mundo se atribuye al hombre. El dato mas antiguo sobre su cultivo corresponde a una escultura Asiria aproximadamente del año 700 a de C. Al comienzo de la Era Cristiana el cultivo era conocido en la India, Plinio menciona que en el siglo I fue traído a Roma procedente de esa región. En América el sorgo fue introducido por los esclavos negros procedentes de África, probablemente a través de las Antillas, en los siglos XVIII y XIX (López. 1990).

Algunas variedades de sorgo blanco han sido usadas en platillos finos y especiales en China; En tanto que en África los nativos llegaron a elaborar cerveza con el grano del sorgo.

El sorgo fue domesticado por el hombre para áreas cálidas y secas, practicando selección para diversos fines (grano, forraje, materia prima de bebidas alcohólicas, fibras y otros usos especiales). El sorgo como cultivo doméstico llegó a Europa aproximadamente en el año 60 DC. pero nunca se extendió ampliamente en este continente (Martin y MacMaster, 1956).

Se dice que en la primera década de ser introducido en América sustituyó a los pastos nativos y además representó una buena alternativa como heno, utilizándose durante el invierno o el mal tiempo. El uso del sorgo como silo se llevó a cabo por primera vez en el año 1900 aproximadamente.

En Estados Unidos se usaban deshidratadoras para la henificación del sorgo, el cual de esta forma es suave al tacto, con olor y apariencia agradable. Es secado hasta un 8 o 10% de humedad y contiene de 75 a 85% de carbohidratos totales, 3.5 a 6% de proteína y 2 a 2.5% de grasas, además el contenido de azúcar fluctúa entre 25 y 35%, esto en comparación con el peso base en verde (Swanson, 1956).

El forraje de granos oscuros y panojas pequeñas usualmente son altos en el contenido de azúcar, particularmente si son de ciclo tardío. Las variedades de Sorghum difieren en cantidad de azúcares totales en tallo, hojas (las hojas contienen menos azúcar que los tallos) y en proporción de dextrosa y levulosa o sacarosa.

En la planta de sorgo los órganos reproductivos están en una misma flor, para obtener híbridos en forma económica, tuvo que lograrse la producción de tipos androestériles. J.C Stephens, inició las investigaciones sobre sorgos híbridos, cuando descubrió en el pasto sudán un carácter sin anteras. Pero fue hasta el año 1952 cuando Stephens y Holland descubrieron la androesterilidad citoplasmática, que facilitó mucho la obtención de híbridos (Citado por Guerrero, 1992).

La producción de semilla de los híbridos obtenidos se inició a gran escala en 1956, después de haber logrado la esterilidad masculina citoplásmica y haber determinado las líneas progenitoras adecuadas. Actualmente el aumento del cultivo, en países desarrollados de América y Europa, se debe a la productividad de los híbridos y a la composición proteica del grano similar a la cebada y maíz y por su bajo contenido de celulosa, además de su mayor tolerancia a sequía y altas temperaturas comparado con maíz. Los primeros híbridos para grano eran de porte alto, se acamaban con facilidad y difíciles de recolectar mecánicamente y tenían un ciclo muy largo. La selección de

híbridos permitió la obtención de plantas de porte bajo, precoces y resistentes a enfermedades (González, 2000).

El sorgo es resistente a sequía y se siembra con éxito en áreas donde la lluvia es insuficiente para producir maíz, la precipitación pluvial para sorgo es de 435 a 625 milímetros. La temperatura media favorable para su crecimiento es 26.5 °C la mínima es de 15.5 °C. Es común que debido a las necesidades de temperatura, el sorgo no se cultiva a alturas superiores de 1800 msnm.

Los tipos silvestres encontrados en África Central y del Este no son aconsejables para usar en la agricultura actual, pero los fitogenetistas continúan buscándolos para formar nuevo germoplasma, con el objeto de incorporar características deseables dentro de las líneas genéticas actuales (Swanson, 1956).

JUSTIFICACION

La producción de forraje en la actualidad, presenta períodos críticos para el ganado debido a su escasez; El sorgo principalmente por su capacidad de rendimiento y además debido a sus menores exigencias hídricas y mayor resistencia al calor, constituye una opción importante para la producción de forraje de alta calidad energética (Leland, 1982).

En la Región Lagunera se ha determinado que existe escasez de forraje, debido principalmente a una creciente población del ganado lechero y por otro lado a la limitación y elevado costo del recurso agua de riego. Lo cual hace indispensable la búsqueda e intensificación de nuevas alternativas para la producción de forraje, con especies más eficientes en el uso de agua. En este sentido se tiene determinado que el sorgo requiere menor volumen de agua que el cultivo del maíz, pero además es necesario identificar genotipos sobresalientes en producción de grano, forraje, alta calidad nutricional y mayor eficiencia en el aprovechamiento del agua.

En el ámbito regional, en forma dinámica aparece un gran número de nuevos genotipos de sorgo, creándose la necesidad de estudiar y determinar agronómicamente las características agronómicas que permitan la adaptación a las condiciones agroclimáticas de la región, de ahí pues la importancia del presente trabajo para la evaluación de nuevo material genético, donde el objetivo principal fue determinar el comportamiento agronómico de diferentes híbridos que permita su adaptación a las condiciones de la región lagunera, así como identificar los híbridos sobresalientes en potencial de rendimiento de grano y con alta calidad nutricional.

OBJETIVOS

Cuantificar la respuesta agronómica de híbridos de sorgo grano por su capacidad de adaptación, potencial de producción de grano y materia seca total en las condiciones agro-climáticas de la Región Lagunera.

Determinar la calidad nutricional forrajera de la materia seca total, de híbridos de sorgo para grano evaluados en la Región Lagunera.

HIPOTESIS

Ha: Al menos un híbrido es superior al testigo en rendimiento de forraje y calidad en el contenido de nutrimentos.

Ho: El tratamiento testigo es superior en rendimiento y calidad forrajera a todos los tratamientos en estudio.

METAS

Identificar híbridos sobresalientes por su capacidad de producción de materia seca y alta calidad nutricional, con adaptación a las condiciones agro-climáticas de la Región Lagunera.

Identificar híbridos que por sus características agronómicas sobresalientes podrían ser incluidos en estudios de nuevos sistemas de producción.

REVISIÓN DE LITERATURA

CARACTERIZACIÓN DE LA REGIÓN LAGUNERA

La región lagunera se localiza en la parte central de la porción norte de México, entre los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, los paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte. La altura media sobre el nivel del mar es de 1,139 metros. Cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan las áreas agrícolas, así como las áreas urbanas.

Al norte colinda con el Estado de Chihuahua, los municipios de Sierra Mojada y Cuatrociénegas en Coahuila; al Este con los municipios de General Cepeda y Saltillo, Coahuila; al Sur con el Estado el Zacatecas y el Municipio de Guadalupe Victoria, Durango y al Oeste, con los municipios de Hidalgo, Inde, Coneto de Comonfort y San Juan del Río, Durango (García, 1987).

Clima

El clima es árido, muy seco (estepario-desértico), es cálido tanto en primavera como en verano, con invierno fresco.

Temperatura

La temperatura media anual en un periodo de 41 años, varió entre 19.4° C y 20.6° C, con un valor promedio de las temperaturas máximas y mínimas de 19.1° C y 12.0° C, respectivamente.

Precipitación

La precipitación pluvial es escasa, encontrándose la atmósfera desprovista de humedad. El periodo máximo de precipitación queda comprendido en los meses de agosto y septiembre, por lo que generalmente es inapreciable en la época de mayor demanda de agua (García, 1987).

Suelos

Los suelos de la región de acuerdo a su formación se pueden dividir en tres grupos:

Suelos aluviales recientes, de perfil ligero, cuya textura varía de migajón arenoso a arenas. En una superficie aproximada de 75,000 ha, estos suelos corresponden a las clases 1^a, 2^a y 3^a.

Suelos correspondientes a últimas deposiciones, arcillosos en su mayor parte y con mal drenaje, cubren una superficie aproximada de 100,000 hectáreas. Suelos de características intermedias, entre los dos citados anteriormente; es decir, que su perfil es variable, entre arcilloso y migajón arenoso; abarca una superficie de 192,000 hectáreas. Estos suelos ocupan la parte central del área de cultivo y son ricos en fósforo, potasio, magnesio, calcio, pero pobres en nitrógeno, La materia orgánica se encuentra en bajas proporciones, sobre todo en los terrenos cultivados.

La topografía de la Región Lagunera es plana en términos generales, y de pendientes suaves, que varían de 0.2 a 1.0 metro por kilómetro, generalmente hacia el norte y noreste. En esta región se localiza el Distrito de Riego No. 17, así como los Distritos de Desarrollo Rural Laguna-Durango y Laguna Coahuila, de la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

La Región Lagunera se encuentra en la región hidrológica No. 36 que a su vez se localiza en la mesa del Norte de la república, abarca parte de los estados de Durango, Zacatecas y Coahuila que corresponde a las cuencas cerradas de los ríos Nazas y Aguanaval.

Esta región es considerada una importante cuenca lechera, en la cual también se producen, industrializan y comercializan diferentes productos agrícolas, entre ellos el sorgo de grano. La finalidad principal al cultivar sorgo es la obtención de grano. Sin embargo, en la actualidad parte de la superficie cultivada con sorgo grano, se destina en combinación con otros forrajes para la producción de ensilados con mayor valor

energético. Aunque también se cuenta con sorgos específicamente forrajeros. Además del valor energético, los sorgos de grano tienen mayor contenido de proteína, que los sorgos forrajeros (García, 1987).

I. FISIOTECNIA DEL SORGO

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

El sorgo pertenece, dentro de las gramíneas, a la subfamilia *panicoideas* y tribu *andropogoneas*, igual que la caña de azúcar. Existe una gran diversidad de tipos de sorgo, extendidas en África y Asia. La clasificación botánica de Snowden, divide al género en dos secciones: *Eusorghum* y *Parasorghum*. Donde *Eusorghum* se divide en dos subsecciones: *Arundinacea* (n=10), que incluye tanto a variedades cultivadas para grano, forraje y sorgos silvestres; y *Halapensia* (n=20), que engloba al sorgo alepo y a otras especies perennes. La subsección *Arundinacea* se divide, a su vez, en dos series: *Spontanea* y *Sativa*, y ésta última en 6 subseries (que comprenden 31 especies), entre las que destacan *Bicoloria* y *Durra*. La denominación taxonómica actual del sorgo cultivado es *Sorghum bicolor* (L) Moench., estimándose incorrecta la denominación *Sorghum vulgare* (López, 1990).

FACTORES CLIMATICOS QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE SORGO

Energía Radiante

El clima y la atmósfera establecen el entorno físico: energía luminosa, térmica, eólica; El clima provee la energía y ambiente térmico básicos tanto para los intercambios gaseosos, como la fotosíntesis, respiración y transpiración, así como para el crecimiento y desarrollo de un cultivo (Guerrero, 1992).

La ecuación del balance de energía, describe como la energía solar de onda corta absorbida y disipada, permite visualizar y cuantificar los procesos que disipan la

radiación solar absorbida, o neta, que aporta el clima. Además nos permite ordenar y guiar las tecnologías a usar.

$$(1 - \alpha) * R_s = F + R_L + H + G + L*(E+T) + Q$$

donde :

α : Albedo o coeficiente de reflexión de la energía solar de onda corta.

R_s : Radiación solar incidente de onda corta

R_L : Radiación de onda larga emitida por el suelo y cultivo

H : Energía transmitida al aire o calor sensible por convección

G : Energía absorbido por el suelo por conducción

L : calor latente de evaporación

E : evaporación desde el suelo

T : transpiración, evaporación desde la planta.

F : Energía usada en la fotosíntesis

Q : Energía usada en calentar las plantas

En una cubierta vegetal, la energía solar neta anual promedio, se disipa en un 50 - 80 % por el proceso de evaporación, $L (E+T)$, un 20 - 30 % como R_L , un 10 - 20 % como H , un 5 - 10 % como G y entre 0.5- 3 % por el proceso fotosintético (F).

De acuerdo a esta ecuación nos interesa maximizar F , R_L , H , G , Q , T y minimizar E para mejorar la eficiencia de uso de agua.

Espectro Solar

El espectro se extiende desde la radiación ultravioleta de longitud de onda corta, pasando por la luz visible, hasta los rayos infrarrojos de longitud de onda larga. El espectro visible comprende casi todo el margen de longitudes de onda que intervienen en la fotosíntesis. Dentro de éste margen estrecho se encuentra aproximadamente el 50% de la energía total de la radiación solar. La energía radiante de la banda visible no

empleada en la fotosíntesis pasa a calor y es usada para la transpiración (Guerrero, 1992).

Temperatura

Las temperaturas bajas, ocasionan lento desarrollo del cultivo, por lo que el período fenológico se alarga, así mismo si la temperatura es cercana a cero, la respiración es también lenta y el crecimiento se detiene. De lo contrario si la temperatura es alta, la velocidad de desarrollo es alta, reduciendo el período de crecimiento y captura de energía solar, por lo que la respiración aumenta y se reduce la fotosíntesis neta ($FN = FT - R$). Por lo tanto dos climas que reciban igual radiación: uno con altas temperaturas nocturnas, producirá rendimientos menores que otro con temperaturas nocturnas más bajas. La radiación es un factor que influye en base a temperatura, sobre todo a las partes de las plantas que están cerca de la superficie del suelo. Las plantas forrajeras de desarrollan en forma óptima dentro de un margen de temperaturas diurnas de 7.2 a 35 °C.

Precipitación

El agua es uno de los factores ecológicos de más importancia que influyen en la producción forrajera. La distribución durante el ciclo y la cantidad total de la precipitación son factores importantes en la regulación de la posible adaptación de una especie en particular a un medio dado, ya sea árido semiárido o de humedad (Guerrero, 1992).

REQUERIMIENTOS Y SISTEMAS DE ADAPTACIÓN DEL CULTIVO.

El sorgo es una especie que se cultiva en todo el mundo, principalmente en regiones donde la temperatura media excede los 20° C y la estación libre de heladas es de 125 días o más.

El sorgo tiene una altura de 1 a 2 metros. Tiene inflorescencias en panojas y semillas de 3 mm, esféricas u oblongas, de color negro, rojizo y amarillento. Tiene un sistema

radical que puede llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad. Las flores tienen estambres y pistilos, pero se han encontrado en Sudán sorgos dioicos.

El valor energético del grano de sorgo es inferior al del maíz y es generalmente un poco más rico en proteínas, pero más pobre en grasa y son particularmente deficitarias en el aminoácido lisina.

Los requerimientos de calor, son más elevados que para el maíz. Para germinar necesita una temperatura de 12 a 13 °C, por lo que debe sembrarse 3 a 4 semanas después del maíz. El crecimiento normal de la planta ocurre a temperaturas superiores a 15 °C, hasta un óptimo de 32 °C (Martínez, et al., 2002).

Por sus necesidades de temperatura no se cultiva por encima de los 1800 msnm, sin embargo en México se ha cultivado con éxito a 2200 msnm y en el Valle de Toluca a una altura de 2600 msnm se han obtenido resultados satisfactorios, debido principalmente a la utilización de genotipos seleccionados genéticamente (Muñoz y Carballo, 1985).

El sorgo se caracteriza por tener fotoperiodo corto, lo cual quiere decir que la maduración de la planta se adelanta cuando el periodo luminoso es corto (Martínez, et al., 2002).

Al principio del desarrollo, el sorgo soporta bajas temperaturas. Los descensos de temperatura durante la floración pueden reducir el rendimiento del grano. El sorgo resiste mejor que el maíz temperaturas altas, de tal manera que en condiciones de temperatura alta, si el suelo es suficientemente fresco no se registran fallas en floración.

En comparación con maíz, el sorgo tolera mejor la sequía y es capaz de soportar períodos considerables de sequía y continuar su crecimiento al término del estrés hídrico. Este cultivo requiere menos agua que el maíz para formar un kilogramo de materia seca.

Los sorgos de granos se cultivan generalmente en áreas demasiado secas y cálidas, habiéndose determinado que este cultivo se adapta a estas condiciones de clima debido a:

Sistema radical. Las raíces del sorgo se dividen en dos sistemas: temporal y permanente. El temporal comprende la raíz primaria (en plántula) y las raíces adventicias formadas en el mesocótilo, en tanto que las raíces permanentes son adventicias y emergen del nudo del coleóptilo y de otros nudos foliares. Posee raíces laterales grandes con médula central rodeada por un cilindro vascular y una corteza gruesa. Forma raíces de sostén de mayor diámetro y gran cantidad de vasos metaxilémicos y grupos de floema y corteza más ancha. Cuenta con raíces laterales pequeñas de estructura anatómica simple, formadas por una gruesa corteza que rodea a una minúscula estela que tiene el tipo normal de ordenamiento tisular; no tiene exodermis y posee sólo uno o dos vasos metaxilémicos. Mas del 90% de las raíces se localiza en los primeros 60 cm del suelo, con una concentración superior en los primeros 25 cm, y puede llegar a 1.5 m de profundidad. Lateralmente puede extenderse hasta 50 – 75 cm en la fase de 4 – 6 hojas.

Dormancia. Es la capacidad de detener el crecimiento cuando éste se somete a estrés hídrico y reanudar su actividad cuando el estrés desaparece.

Enrollamiento de las hojas. Es una forma de evitar la transpiración cuando existe un déficit de agua, de esta forma los estomas se protegen de la exposición directa al sol.

Baja relación de transpiración. El número de estomas de las hojas del sorgo es 50% menor a la del maíz y también es diferente por tener mayor capacidad de regulación y mejor adaptación a condiciones áridas, con esta baja relación pierde menos agua.

Cubierta cerosa. Además de baja relación de transpiración produce una capa cerosa que protege al área foliar de la transpiración cuando se encuentra bajo estrés hídrico.

Se desarrolla bien en terrenos alcalinos, preferentemente prospera mejor en suelos sanos, profundos y no demasiado pesados (López, 1990).

SUSTANCIAS TOXICAS DEL SORGO

Los sorgos contienen altos valores de nitratos, en ciertas condiciones de cultivo y utilización. La fertilización y especialmente la etapa en que se realiza la cosecha, son factores de importancia que afectan la concentración de nitratos. Para reducir los problemas con nitratos existen medios eficaces, tales como realizar una adecuada dosificación de nitrógeno, así como realizar la cosecha cuando la planta alcance 45-50 cm de altura y llevar la producción a ensilaje, en lugar de utilizarla como pastura en fresco.

Otra particularidad fisiológica del sorgo es la acumulación en sus hojas de un glucósido cianogénico denominado durrina, el cual libera ácido cianhídrico (HCN), ésta característica es de tipo genético é influenciada por las condiciones ambientales. La fertilización nitrogenada alta ó la deficiencia de fósforo, incrementan la acumulación de HCN. Este ácido se produce en una etapa intermedia entre los nitratos y aminoácidos, por lo que cualquier situación desfavorable para la síntesis de proteínas, favorece su acumulación. (López, 1990). El HCN (ácido prúsico) causa envenenamiento cuando se le agrega a la dieta o el ganado pastorea sorgo con alto contenido de ácido; éste es producido principalmente cuando la planta se encuentra en condiciones de sequía de varias semanas o la planta recibe agua después de una prolongada sequía; así mismo, después de una helada. En este sentido, se ha determinado que después de 10 a 15 días de producir el ácido prúsico, la planta normalmente lo desecha.

Ocasionalmente los niveles de ácido prúsico ascienden a cantidades peligrosas en plantas de crecimiento rápido. El nivel de HCN en los sorgos está influido por la herencia y a menudo puede reducirse mediante 1) la aplicación de fertilizantes que contengan Potasio, Fósforo y Calcio; 2) permitiendo que el cultivo madure; 3) el

ensilado. El ensilado reduce hasta un tercio de su nivel original en un lapso de seis semanas y a un octavo en quince semanas (Aguilera, 1990).

II. CALIDAD DE FORRAJE

FORRAJES

En general, los forrajes son las partes vegetativas de las plantas gramíneas o leguminosas que contienen una alta proporción de fibra (más de 30% de fibra detergente neutro). Son requeridos en la dieta para rumiantes en una forma física tosca (partículas de más de 1 o 2mm. de longitud).

Usualmente los forrajes se producen en la finca. Pueden ser pastoreados directamente, o cosechados y preservados como ensilaje o heno. Según la etapa de lactancia, pueden contribuir desde casi 100% (en vacas no-lactantes) a no menos de 30% (en vacas en la primera parte de lactancia) de la materia seca de la ración (Vance, 1986).

ENSILAJE

El ensilaje es un método de conservación de forraje y se efectúa por medio de la fermentación en lugares denominados silos.

La planta una vez cortada sigue respirando durante un cierto tiempo, se desarrollan bacterias, entre ellas bacterias lácticas, que utilizan el oxígeno restante y los carbohidratos solubles.

Cuando se termina el oxígeno se inicia la fase anaeróbica en la que se produce ácido láctico por las bacterias, descendiendo el pH hasta 4.2, que es esencial para la buena conservación (Jiménez y Moreno, 1998).

Los cultivos forrajeros que más se adaptan a éste método de conservación son el maíz y el sorgo, por su alta producción y alto contenido de hidratos de carbono solubles, que son necesarios para una buena fermentación.

En ensilajes de bajo contenido de proteínas, se puede agregar urea, o una mezcla de amoniaco anhidro y minerales.

Los ensilajes producidos por gramíneas como maíz, sorgo y avena son deficientes en proteínas, mientras que el de alfalfa sucede lo contrario (Romero et al., 2002).

Cuadro 1. Características que determinan la calidad del ensilaje.

ENSILAJE

Características	Buena calidad	Calidad pobre
PH	4.0 a 4.8	5.0 a 5.7
Acido láctico	Hasta 13%	Menos de 3%
Nitrógeno amoniacal	Menos de 3%	Más que 3%
Acido butírico	Ausente	Presente
Color	Verde	Café, negro
Olor	Agradable	Desagradable
Textura	Firme	No firme

(Jiménez y Moreno. 1998)

SORGO FORRAJERO

Este tipo de forraje, comprende los sorgos de doble objetivo, grano y forraje y los híbridos de gran desarrollo para forraje. Los sorgos de doble objetivo se clasificaron como sorgos para grano en el tiempo en que se hacía la recolección a mano, después de que se hacía la cosecha, el esquilmo se usaba como forraje. Algunos híbridos debido a su altura intermedia, se consideran como tipos de doble objetivo.

Los sorgos forrajeros tienen tallos tiernos, hojas angostas, numerosos macollos, espiguillas y semillas pequeñas, en comparación con los graníferos y azucarados. Las

espigas tienen glumas largas que encierran por completo a los granos. Casi todas estas subespecies tienen panojas laxas y abiertas.

El sorgo es una planta de día corto, se puede producir satisfactoriamente sobre todos los tipos de suelos, que pueden ir de suelos arcillosos pesados a arenosos livianos y su crecimiento depende de la fertilidad relativa y disponibilidad de humedad en el suelo. Se debe sembrar a fin de la primavera, porque responde mal en suelos fríos y húmedos. El sorgo es más importante en la producción de forraje que de grano (SEP, 1987).

El sorgo forrajero es una alternativa que además presenta la ventaja de su alto rendimiento, versatilidad para ser usado como verdeo o ensilaje; además puede sembrarse en terrenos con problemas de enfermedades radiculares como Pudrición Texana (*Phytophthora omnivorum*) y *Verticillium* (*verticillium spp*) (Sánchez, 1990).

El rastrojo de sorgo es el forraje seco dado al ganado sin remover el grano. Es semejante al rastrojo de maíz en valor alimenticio y puede ser suministrado con menos desperdicio debido a que es más apetitoso. Los mejores resultados se obtienen realizando la cosecha cuando el grano se encuentra en un estado lechoso-masoso. En ese estado fenológico se obtienen los rendimientos más altos, hay menos probabilidades de que el forraje se acidifique cuando está almacenado. También hay menos ácido prúsico en las plantas y el forraje es más apetitoso para el ganado (Delorit y Ahlgren, 1985).

Debido a la importancia forrajera del sorgo en la Región Lagunera, es necesario propiciar el aumento tanto de la producción de grano y forraje, como del valor nutritivo. Además, hay que considerar la rentabilidad del cultivo mediante el manejo adecuado de factores como agua, fertilización, cosecha y manejo fitosanitario, principalmente en lo que concierne al control de plagas y enfermedades.

El valor nutritivo de los forrajes es el producto de la concentración de nutrientes, consumo, digestibilidad y metabolismo de los productos digeridos por los animales (Buxton et al., 1996).

Desde mediados de 1800 el análisis químico próximo ha sido usado ampliamente en la evaluación de alimentos. En función de cinco componentes, el contenido de agua puede ser determinado por un secado a 70°C. La ceniza es el residuo que permanece después de ser quemado a una combustión de 600°C. La proteína cruda es determinada por análisis de nitrógeno por el método Kjeldahl y multiplicada por 6.25. El Extracto etéreo es el total de todos los componentes que pueden ser extraídos con éter di-etílico caliente. La fibra cruda es la materia orgánica que es insoluble en ácido débil y álcali débil. Finalmente, el extracto libre de nitrógeno es calculado por la substracción de 100 de la suma de los otros componentes.

Por lo general, cuanto más grano rindan las variedades de sorgo, la planta contendrá más almidón, lípidos y proteína así como menor fibra. Otro factor que influye mucho en la composición del forraje de sorgo, es la cantidad relativa de hojas y vainas en la planta, dado que aquellas tienen más proteína y grasa cruda que el tallo (Hiriart, 1998).

La proteína cruda y fibra cruda han sido ampliamente usadas para clasificar alimentos, y sus usos han hecho posible la formulación de dietas. Los alimentos fibrosos han sido definidos, con algunas excepciones, como aquellos que tienen más de 18% de fibra cruda en la materia seca, como lo opuesto a los concentrados, los cuales tienen menos de 18% de fibra cruda. En general existe una relación inversa entre concentraciones de fibra cruda y proteína cruda de los forrajes y subproductos.

La fibra cruda es menos digestible que el extracto libre de Nitrógeno. En algunos casos la digestibilidad del extracto libre de nitrógeno se puede subestimar debido a que parte de la hemicelulosa, celulosa y de lignina encontrada en la pared celular es incluida en el extracto libre de nitrógeno.

La hemicelulosa es un carbohidrato estructural, y su digestibilidad es similar a la celulosa. La lignina esta asociada con la celulosa y hemicelulosa en la pared celular, este alcohol polifenólico usualmente no es digestible.

Peter J. Van Soest desarrolló una alternativa para los análisis químico proximales cuando trabajó en los laboratorios de USDA en Beltsville, Maryland, durante los años de 1960. El sistema es ampliamente usado para analizar forrajes (Van Soest y Robertson 1980; Van Soest et al., 1991). Este método químico reconoce la distinción entre pared celular y contenido celular.

El procedimiento más importante involucra la extracción de una muestra de forraje con una solución de detergente neutro: Los solubles son primeramente los contenidos celulares y los residuos insolubles (fibra detergente neutra [FDN]) es una excelente estimación de las estructuras totales de la pared celular, compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina (Van Soest y Robertson, 1980).

La FDN en los granos de maíz es de aproximadamente del 10%, cerca del 90% es digestible. En la paja y gramíneas tropicales se tiene aproximadamente un 80% de este tipo de fibra, y su digestibilidad tiene un rango de 20% a 50%.

Una solución detergente diferente es acidificada con ácido sulfúrico y usada para estimar fibra detergente ácido (FDA). La FDA es un residuo insoluble parecido a la FDN, pero no incluye todos los constituyentes de la pared celular debido a que la hemicelulosa es soluble en la solución detergente ácido. El rango de fibra detergente ácido es de aproximadamente 3% en los granos de maíz y de 40% en el forraje maduro y 50% en la paja. Los valores de fibra detergente ácido son ligeramente superiores que aquellos para fibra cruda debido a que toda la lignina y algo de cenizas están incluidos en el primero (Romero, 2002).

Existen evidencias de variabilidad genética en el sorgo, de tal manera que permite tener híbridos superiores en unidades porcentuales de digestibilidad. Es importante

conocer las diferencias en proteína cruda entre los híbridos de sorgo, así como el conocer la variación en cuanto a sus niveles de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido con el propósito de recomendar al productor los mejores híbridos por su rendimiento de grano y forraje así como por su valor nutritivo (Romero, 2002).

CARACTERISTICAS GENERALES DEL FORRAJE

Las características generales del forraje son las siguientes:

Volumen. El volumen limita cuanto puede comer la vaca. La ingestión de energía y la producción de leche pueden ser limitadas si hay demasiado forraje en la ración. Sin embargo, alimentos voluminosos son esenciales para estimular la rumia y mantener la salud de la vaca.

Alta Fibra y Baja Energía. Los forrajes pueden contener de 30 a 90% de fibra detergente neutro. En general, entre más alto sea el contenido de fibra más bajo será el contenido de energía del forraje.

Contenido de Proteína. El contenido es variable según la madurez, las leguminosas contienen entre 15 a 23% de proteína cruda, las gramíneas 8 a 18%, lo cual depende del nivel de fertilización con nitrógeno, se ha determinado que los residuos de cosecha pueden tener solo 3 a 4% de proteína cruda (Duthil, 1980).

Normalmente el valor nutritivo de un forraje es más alto durante el crecimiento vegetativo y más bajo en la etapa de formación de semillas. Con el avance de la madurez, la concentración de proteína, energía, calcio, fósforo y materia seca digestible en la planta se reducen mientras la concentración de fibra aumenta. Mientras aumenta la fibra, aumenta el contenido de lignina y disminuye la cantidad de carbohidratos disponibles a los microbios del rúmen. Como resultado, el valor energético del forraje se reduce.

Así, cuando los forrajes son producidos con el propósito de alimentar ganado, deben ser cosechados o pastoreados en una etapa joven. El maíz y el sorgo, cosechados para ensilaje son excepción, porque a pesar que el valor nutritivo de las partes vegetativas de la planta (tallo y hojas) disminuye en la formación de semillas hay una alta cantidad de almidón digestible que se acumula en los granos.

El rendimiento máximo de materia seca digestible de una cosecha forrajera se obtiene:

En la etapa de embuche, durante la primera parte de madurez en el caso de gramíneas. En la etapa de medio a madura del botón para leguminosas.

Antes de que los granos son completamente dentados en el caso de maíz y sorgo.

Hay poco que se puede hacer para prevenir la pérdida de valor nutritivo de un forraje con el avance de su madurez. Por cada día de atraso de la cosecha después del momento óptimo de madurez, la producción lechera potencial de las vacas que comen el forraje, es reducida (Duthil, 1980).

LA ESTRUCTURA DE LA CELULA VEGETAL

La calidad de un forraje en un momento determinado, va a estar dada por la estructura que tengan sus células en ese momento.

Pared Celular. Las células vegetales se caracterizan por tener una pared que les da rigidez y estructura. Las plantas en estados vegetativos tempranos tienen una sola capa en su pared celular y de poco espesor (pared primaria). A medida que la planta va madurando, se deposita una segunda capa interna llamada pared secundaria. Los principales componentes de estas dos paredes, son dos carbohidratos, que son celulosa y hemicelulosa. Entre ambas pueden formar un 40 a 80% de la composición total del forraje.

Los monogástricos no pueden digerir ninguno de estos dos compuestos, en cambio los rumiantes si lo pueden hacer parcialmente a través de los microorganismos que tienen en el rumen. De esta manera pueden transformar a la celulosa y hemicelulosa en fuentes de energía utilizables (Muslera, 1991).

A medida que la planta avanza en madurez, comienza a depositar lignina entre ambas paredes, lo que les da resistencia y rigidez. La lignina es totalmente indigestible, aun por las bacterias del rumen. Como la lignina se entrelaza con la celulosa y la hemicelulosa, un mayor contenido de la misma implica una menor digestibilidad.

En resumen, los componentes de la pared celular son aprovechables como fuente de energía por las bacterias del rumen, el resultado es la producción de ácidos grasos volátiles, principalmente ácido acético, que actúa como fuente de energía para el animal y precursor de la grasa de la leche. La degradación de la fibra por los microorganismos ruminales es lenta (Muslera, 1991).

CONTENIDO CELULAR

Proteína: la proteína presente en las células vegetales se caracteriza por tener una alta solubilidad y degradabilidad en el rumen.

Grasas: las grasas de origen vegetal son en general poco saturadas. Son una importante fuente de energía para el animal una vez que llegan al intestino delgado, pero no pueden ser utilizadas por las bacterias ruminales para abastecerse de energía ellas mismas (Muslera, 1991).

Azúcares solubles: son carbohidratos de estructura muy simple (dos o tres moléculas) que son desdoblados por las bacterias, para quienes resultan una fuente de energía muy rápida.

Almidón: es un carbohidrato de estructura compleja que es utilizado rápidamente como fuente de energía por las bacterias, el producto de su utilización es el ácido propiónico. Este es utilizado por el animal para formar glucosa y es el precursor de la lactosa, azúcar presente en la leche.

Cenizas: abarca a todos los componentes de origen inorgánico como son los minerales (Muslera, 1991).

INTERPRETACION DEL ANALISIS: Método de Van Soest o de Fibra Detergente

La metodología de análisis de forrajes mas difundidas es el sistema de fibras detergentes o de Van Soest con algunos agregados. Este permite separar claramente a los componentes de la pared del resto y hacer una buena estimación del contenido energético.

Pared celular o Fibra Detergente Neutro (FDN). El contenido de fibra en la ración repercute en la producción de grasa en la leche, debido a que durante su digestión en el rumen se forman ácidos grasos volátiles: acético, propiónico, butírico y en menor cantidad láctico. La mayor producción de ácido acético mejora la producción de leche y grasa y la de ácido butírico la de grasa (Muslera, 1991).

La FDN comprende a todos los componentes de la pared (celulosa, hemicelulosa, lignina y sílice). A medida que un forraje avanza en su estado vegetativo aumenta el contenido de FDN. Cuanto mayor sea el porcentaje de pared de un alimento, más lenta será su digestión, estando más tiempo en el tracto digestivo. Por eso el contenido de FDN tiene una correlación negativa con la capacidad de consumo que los animales tienen sobre ese alimento. A mayor FDN, menor consumo. Una vaca lechera puede comer hasta el 1.2% de su peso vivo de FDN.

Fibra Detergente Ácido (FDA). Es lo que queda después de una digestión de la pared celular con detergente ácido y abarca a la celulosa y la lignina. Al igual que la FDN

aumenta a medida que la planta madura. Tiene una correlación negativa con la digestibilidad de un forraje, a mayor FDA, menor digestibilidad y menor contenido energético.

La estimación del contenido de energía de los forrajes rara vez se hace en forma directa, generalmente se hace a través de ecuaciones que se basan en el contenido de FDA.

Proteína bruta (PB) o Proteína Cruda (PC): en realidad refleja el contenido de nitrógeno del forraje $PC = N \times 6.25$. Esto se hace porque las proteínas en promedio tienen un 16% de N ($100/16 = 6.25$). En realidad mide la proteína verdadera más el nitrógeno no proteico (NNP). El NNP puede ser utilizado por las bacterias del rumen para formar proteína verdadera para el animal (Muslera, 1991).

Proteína ligada a FDA (PB-FDA o N-FDA): Se suele determinar en forrajes conservados -(henos y silos). Cuando ocurre un exceso de calor en el proceso de ensilaje o henificación se pueden dar reacciones indeseables y parte de la proteína puede ligarse a la fibra haciéndose indisponible. La presencia de N-FDA es un indicador de calentamiento excesivo.

Proteína disponible: como se explicó en el párrafo anterior, en el caso de que parte de la proteína se haga no disponible, se hace un ajuste para ver cuanta es la proteína realmente disponible.

La proteína soluble representa la fracción de proteína que se solubiliza rápidamente en el rumen y puede ser utilizada como fuente de nitrógeno por las bacterias del rumen para la formación de proteína bacteriana (Muslera, 1991).

Las grasas de origen vegetal son en su gran mayoría insaturadas. El exceso de este tipo de lípidos a nivel ruminal puede deprimir la actividad de las bacterias que degradan la celulosa, disminuyendo la digestión de la fibra y el consumo de alimento.

La grasa de la leche se produce fundamentalmente por síntesis, a partir de la transformación de los hidratos de carbono en los ácidos acético y butírico por las bacterias ruminales. Los forrajes y granos tienen un contenido bajo de grasas.

Las cenizas representan la suma de todos los minerales de los que el animal necesita para su crecimiento y metabolismo. Según el tipo de análisis se puede evaluar individualmente los macroelementos más importantes Ca, P, Na, K, Cl, Mg y S; ó agregar más elementos, incluyendo a los oligoelementos Co, Cu, Zn, Mn, Fe, Mo y Se (Muslera, 1991).

Los carbohidratos no estructurales o no fibrosos (CNE o CNF) representa la suma de azúcares solubles y almidón que tiene un alimento. Normalmente se obtiene por diferencia según la siguiente ecuación:

$$\text{CNE} = 100 - (\text{FDN} + \text{PB} + \text{Grasa} + \text{Cenizas}).$$

Los CNE son una medida del aporte de energía rápida al rumen.

LA ENERGIA

El animal se alimenta para cubrir sus necesidades de mantenimiento, crecimiento y producción. La engorda sólo se produce cuando las demás necesidades fisiológicas han sido atendidas.

Un alimento tal como lo ingiere el animal tiene un valor energético determinado, pero sólo una parte es utilizable, perdiéndose el resto en las heces. El resultante es la energía digestible (ED) de la cual sólo una parte es energía metabolizable (EM), pues otra se pierde en la orina y gases en el rumen. De ésta todavía existen pérdida por calor extra en la ingestión y metabolismo, dando como resultado la energía neta (EN), en la cual están la de ganancia de peso (ENg) y la de lactancia (ENl), la segunda es la de mayor relevancia para la alimentación de los rumiantes lecheros (Muslera, 1991).

La mayoría de los análisis incluye datos acerca del contenido energético de forraje. Existen distintas formas de expresar la energía: bruta, digestible, metabolizable y netas (mantenimiento, ganancia de peso y lactancia). En vacas lecheras generalmente se trabaja con energía metabolizable o neta de lactancia.

La determinación directa del contenido energético es difícil y generalmente los valores expresados surgen de ecuaciones que usan a la FDA como parámetro de estimación.

Partiendo de algunos de los términos descritos anteriormente se pueden calcular los siguientes datos: Energía Digestible, Energía Neta de Lactancia, Energía Metabolizable, Materia Seca Digestible y Valor Relativo de Forraje (Godoy y Chicco, 2001).

Materia Seca Digestible (DDM)

Muchos análisis de forraje incluirán un valor llamado materia seca digestible, para lo cual los laboratorios podrían usar diferentes fórmulas para calcular este valor, cuya fórmula más común es:

$$\%DDM = 88.9 - (0.779 * \% FAD)$$

Materia Seca Consumida (DMI)

Estudios en el alimento muestra que conforme el porcentaje de FDN se incrementa en forrajes, el animal consume menos. Por lo tanto el porcentaje de FDN puede ser usado para calcular el consumo de materia seca:

$$DMI \text{ (como porcentaje del peso corporal)} = 120 / \% FDN$$

Energía Digestible (ED)

Este valor calculado es generado a partir del valor del porcentaje de materia seca digestible, multiplicado por un factor:

$$ED = 4.409 * \% \text{ DDM}$$

Energía Metabolizable (EM) Mcal/Kg

$$EM = (1.01 * ED) - 0.45$$

Energía Neta de Lactancia (ENL) Mcal/Kg.

$$ENL = 0.7 * EM - 0.19$$

(Moe et al., 1972).

Valor Relativo del Forraje (RFV)

La materia seca potencial consumida (DMI), no podría ser reportada como tal, pero podría ser usada para calcular el valor relativo forrajero (RFV). Este combina los valores de materia seca consumida y digestible del forraje (NRC, 1988).

$$RFV = (\% \text{ DDM} * \% \text{ DMI}) / 1.29$$

El valor relativo de forraje no tiene unidades pero es una forma de comparar el potencial de dos o más forrajes para el valor de energía consumida. Los forrajes con valores de NDF de 53% y ADF de 41% representan el valor de 100 de VRF. Los forrajes con valores mayores que 100 son de alta calidad. Si un forraje tiene un valor menor a 100,

es un valor bajo comparado al forraje de 53% NDF y 41% FDA. Nótese que el forraje con un RFV de 100 no sería considerado de excelente calidad. Productores intensivos de leche de vaca, a menudo observan que la alfalfa tiene un VRF de 124 o más. El VRF no toma en cuenta el contenido de proteína del forraje, éste debe ser calculado por separado (NRC, 1988).

RELACION DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA VACA LECHERA

Una vez que se tienen los valores del análisis químico próximo y de las fracciones de fibra de Van Soest de los forrajes, se interpretan y se observa su relación con los requerimientos del animal. Se hace el cálculo para que su aportación aunado al de los concentrados aporte los nutrimentos requeridos por el animal.

Algunos conceptos prácticos para remarcar sobre las distintas fracciones de nutrientes son los siguientes:

La proteína es necesaria como materia prima para la síntesis de leche y la falta de la misma puede ser una limitante de producción. La proteína soluble es necesaria como fuente de nitrógeno para los microbios del rumen. El déficit puede originar un rumen con poca actividad y un exceso puede interferir con el uso eficiente de la energía y traer problemas reproductivos.

La proteína by-pass o de sobrepaso ruminal es importante en vacas de alta producción. Como regla práctica se puede decir que es necesario considerar que esta fracción, en vacas en producción de leche, superen el 4-5% de su peso vivo (Godoy y Chicco, 2001).

La energía es necesaria como combustible en todos los procesos que intervienen en el mantenimiento, producción, reproducción, etc., muchas veces es el nutriente limitante, sobre todo en vacas de muy alta producción que inician la lactancia y en dietas altas en forrajes (Godoy y Chicco, 2001).

La FDA y FDN. La fibra implica celulosa y esta da origen al ácido acético, que es el precursor de la grasa butírica de la leche. Por otro lado, es necesario un mínimo de fibra en la dieta para un correcto funcionamiento del rúmen y una buena remasticación del alimento. La falta de fibra origina problemas de acidosis con las consecuencias que ello implica: caídas de consumo, bajo porcentaje de grasa en la leche, problemas de patas por laminitis, etc.

Carbohidratos No Estructurales. Para un correcto funcionamiento del rumen es necesario entre un 35 y 42 % de CNE. Bajos niveles de CNE darán lugar a un rumen con poca energía y poca actividad. Un exceso de CNE va a dar lugar a problemas de acidosis.

Grasa: la incorporación de ingredientes que aportan grasa se utiliza para aumentar la densidad de energía de la dieta. Hay que tener cuidado porque más de un 5 a 6% de grasa total puede deprimir la digestión de la fibra, salvo que se usen grasas by-pass o de sobrepaso ruminal. En este caso se puede llegar hasta el 8-9% de grasa.

Se puede tomar al nivel de CNE como una medida de la cantidad de grano que tiene un ensilado de maíz. Un 57.3 % de CNE corresponde a un ensilado con mucho grano y un 15.5% a un ensilado con poco o nada de grano.

En determinadas zonas el silo de sorgo de grano es utilizado como reemplazo del ensilado de maíz. En general el ensilado de sorgo tiene un menor aporte de CNE y de energía que el ensilado de maíz. Tiene un mayor contenido de FDA y FDN. En consecuencia, para llegar a iguales niveles energéticos, el ensilado de sorgo debe ser compensado con mayor cantidad de grano (Godoy y Chicco, 2001).

MATERIALES Y METODOS

El material genético utilizado en este trabajo proviene de diferentes compañías de semillas, realizándose la evaluación agronómica en el Campo Experimental La Laguna, durante el ciclo de verano del año 2002. Se condujo el experimento de acuerdo con la tecnología generada para el cultivo de sorgo grano en la región lagunera.

El experimento se estableció en el lote No. 11 del Campo Experimental, cuyas características son suelo de textura franco-arenoso, con buen drenaje y el cual no fue sembrado el ciclo anterior. Para evitar el daño de pájaros se contrató personal para vigilar permanentemente durante el día. En el siguiente cuadro se indican las especificaciones en base a las cuales se desarrolló este trabajo.

Cuadro 2. Híbridos evaluados en condiciones de riego en la Región Lagunera. CELALA – INIFAP. 2002

Híbridos	Origen	Ciclo
Fame II	AGRIBIOTECH	INTERMEDIO – PRECOZ
Aantipájaro	“	INTERMEDIO – PRECOZ
Bird 007	“	PRECOZ
X – 4487	“	INTERMEDIO – PRECOZ
Fame	“	INTERMEDIO
WM GS – 69	EMPRESAS LONGORIA	INTERMEDIO
GS – 66Y	“	INTERMEDIO
Onix (T)	ASGROW	INTERMEDIO
CB – 111	BERENTSEN	PRECOZ
Z – 100	HARTZ	

Cuadro 3. Especificaciones del lote experimental, donde fueron evaluados ocho nuevos híbridos de sorgo grano vs un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA – INIFAP 2001

LOCALIDAD	CELALA Lote 11
FECHA DE SIEMBRA	24 de junio de 2002
DISEÑO EXPERIMENTAL	Bloques al Azar
NO. DE REPETICIONES	Cuatro
UNIDAD EXPERIMENTAL	Cuatro surcos de 10.0 m
PARCELA UTIL	Dos surcos centrales de 8.0 m
DISTANCIA ENTRE SURCOS	76 centímetros
POBLACION DE PLANTAS	120,000 pl/ha
1ª. FERTILIZACION	80 – 50 – 00
2ª. FERTILIZACION	60 – 00 – 00
NO. DE RIEGOS	Pre-siembra, más cuatro auxilios
LABORES DE CULTIVO	Un cultivo
NO. DE APLICACIONES DE INSECTICIDA	Dos (gusano cogollero y pulgón)

Cuadro 4. Distribución de tratamientos en base al diseño experimental bloques al azar, para la evaluación de nueve híbridos de sorgo en comparación con un testigo comercial, en la Región Lagunera. CELALA 2002

No. Trat.	Híbrido	Rep I	Rep II	Rep III	Rep IV
1	Fame II	10	10	5	6
2	Antipájaro	1	2	4	8
3	Bird 007	8	4	2	4
4	Z – 100	2	5	9	2
5	X – 4487	5	1	8	9
6	WM – GS 69	4	3	6	7
7	GS – 66 Y	6	9	10	5
8	Onix (T)	7	8	7	10
9	CB – 111	3	6	3	3
10	Fame	9	7	1	1

DATOS DE CAMPO

Los datos de campo registrados en cuanto a características agronómicas y con la finalidad de evaluar los genotipos incluidos en este trabajo, se indican en seguida.

- Días a 50% de antesis
- Altura de planta
- Longitud de excursión
- Densidad del grano
- Longitud de panoja
- Tipo de panoja
- Porcentaje de humedad del grano
- Color del grano
- Uniformidad de planta
- Rendimiento de grano por parcela
- Población de plantas por parcela ,

Antesis

Días transcurridos a partir de la siembra a la fecha donde las panojas se encuentran liberando polen en el 50% de la parte superior de la panoja.

Altura de Planta

Medida de la planta de la base del tallo a la base de la panoja, tomada en diez plantas por parcela.

Excursión

Es la longitud entre la hoja bandera y la base de la panoja, tomada en diez plantas por parcela.

Densidad del Grano

Es el peso de grano medido en un recipiente (vaso de precipitado), con capacidad de un litro de volumen, medido en la producción de cada parcela.

Longitud de Panoja

Medida tomada desde la base de la panoja hasta la punta de la misma.

Tipo de Panoja

Es el acomodo espacial que tienen las ramificaciones de la panoja abiertas, compactas y semi compactas.

Humedad del Grano

Contenido de humedad del grano al momento de la trilla, medido en un determinador de humedad (Stanlite)

Color del Grano

Calificación visual de la coloración del grano realizada antes de la recolección de panojas.

Uniformidad de Planta

Observación cualitativa realizada dentro de cada parcela para determinar la uniformidad del híbrido, asignándose (1) a poblaciones desuniformes y (5) a poblaciones uniformes.

Rendimiento de Grano

Se registró el peso del grano obtenido por cada parcela cosechada, el pesaje se realizó después de la trilla, o sea el desgrane de la panoja.

Población de Plantas

Para estimar la población de plantas por hectárea se cuantificó el número de plantas por parcela.

ANALISIS DE VARIANZA

Las variables a analizar estadísticamente, fueron procesadas de acuerdo con el modelo estadístico bloque al azar, el cual se define en seguida.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + R_j + E_{ij}$$

Donde:

μ = Efecto de la media general

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento

R_j = Efecto de la j-ésima repetición

E_{ij} = Efecto del error experimental

La realización del análisis de varianza indica resultados altamente significativos entre tratamientos ó híbridos, para características agronómicas como días a 50% de antesis, altura de planta, longitud de excersión, densidad del grano y rendimiento de grano. Los coeficientes de variación que resultaron dentro del rango aceptable en confiabilidad fueron 2.7% antesis, 5.6% altura de planta, 21% para longitud de excersión, 2.8% para densidad del grano, 2.9% para humedad del grano y 8.2% para rendimiento.

Con el objetivo de agrupar medias de tratamiento estadísticamente iguales se utilizó la prueba de rango múltiple DMS (Diferencia Mínima Significativa), esta prueba es recomendable utilizarla para comparar medias adyacentes, dado que esta es adecuada para comparar un tratamiento estándar con otros tratamientos, como en este trabajo donde comparan diferentes híbridos con un testigo de prueba.

RESULTADOS Y DISCUSION

I. CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

Los resultados obtenidos en el presente trabajo donde se evaluaron nueve híbridos de sorgo grano en comparación con un testigo comercial el cual fue el híbrido Onix, ampliamente adaptado a las condiciones de la región y estable en cuanto a rendimiento de grano. En el Cuadro 5 se indican los resultados de cinco características agronómicas, para días al 50% de antesis, los resultados indican una variación de 49 a 66 días y una media general de 59 días, donde los híbridos más tardíos fueron CB-111, Fame II, Antipájaro y X-4487, con 66 a 63 días después de la siembra, en tanto que los híbridos más precoces fueron el testigo Onix, Z – 100 y Bird 007, con 49, 50 y 54 días a 50% de antesis, es importante considerar que híbridos de ciclo entre intermedio y precoz son importantes para la región. El sorgo se caracteriza por tener fotoperiodo corto, lo cual quiere decir que la maduración de la planta se adelanta cuando el periodo luminoso es corto (Martínez, 2002). Dado que estos materiales por esta condición, muestran una mayor adaptación a condiciones de manejo, donde es factible reducir un riego de auxilio, esto es que un híbrido precoz puede producir en forma satisfactoria con tres riegos de auxilio, en tanto que un híbrido de ciclo intermedio-tardío es posible que requiera cuatro riegos de auxilio (Cuadro 5).

Los resultados obtenidos en densidad de grano ó peso específico del grano, indican una media general de 772 gramos por litro (gr/lt), y una variación de 740 a 803 gramos por litro; Al correlacionar la densidad del grano, con el rendimiento de grano, no se encuentra tendencia en cuanto a mayor densidad, mayor rendimiento de grano, con excepción del híbrido WM-GS-69, el cual obtuvo una densidad de 803 gramos por litro, y un rendimiento de 7,585 kg/ha de grano por hectárea, en tanto que el híbrido X-4487 con una densidad de grano de 740 gramos, alcanzó un rendimiento de grano de 8,237 kg/ha; Por su parte el testigo Onix con 761 gr/lt de densidad del grano obtuvo un rendimiento de grano de 5,504 kg/ha (Cuadro 5).

El porcentaje de humedad resultó con un promedio general de 16.5%, observándose un rango de variación de 15.5 a 17.2%, para esta variable se observa uniformidad entre genotipos, dado que la diferencia entre el híbrido con mayor y menor porcentaje de humedad fue de 1.7%. Cabe indicar que el testigo Onix registró una humedad de 16.5%, en tanto que el híbrido X – 4487, el de mayor respuesta en rendimiento, resultó con 17.2% de humedad del grano (Cuadro 5).

El rendimiento, es la característica agronómica de mayor importancia económica, sin excluir otras características que inciden en forma importante en la respuesta del rendimiento, que viene siendo el resultado de todos los procesos fisiológicos que se llevan a cabo en la planta. El clima provee la energía y ambiente térmico básicos tanto para los intercambios gaseosos, como la fotosíntesis, respiración y transpiración, así como para el crecimiento y desarrollo de un cultivo (Guerrero, 1992). Al respecto en este trabajo se obtuvo que los híbridos evaluados mostraron rendimientos entre 5,505 y 8,237 kilogramos por hectárea de grano ajustado al 15% de humedad, mientras que el rendimiento promedio fue 6,734 kg/ha; en este sentido sobresalen por su potencial de rendimiento, cuatro híbridos los cuales resultaron estadísticamente iguales al 5% de probabilidad, con producciones de grano entre 8,237 y 7,585 kilogramos por hectárea de grano, encontrándose entre los híbridos mas rendidores X-4487, Fame, GS – 66 Y, WM – GS 69. Los resultados indican que estos híbridos por su potencial de rendimiento y por su precocidad, están resultando muy prometedores. La precocidad es una característica agronómica de gran importancia, ya que los híbridos precoces pudieran ser mas eficientes en el uso del recurso agua y período mas corto entre siembra y cosecha. Los híbridos que resultaron con menores producciones fueron Z – 100 y CB – 111 con 5,005 y 5,381 kilogramos por hectárea, en tanto que el testigo Onix alcanzó a producir 5,504 kg/ha (Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedio de cuatro características agronómicas de nueve híbridos de sorgo grano evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA INIFAP 2002

Híbridos	Días 50% de antésis	Peso hectolítrico (gr)	% humedad del grano	Rendimiento de grano (kg/ha) ¹
X-4487	63 b	740 e	17.2 a	8,237 a
Fame	61 bc	781 abcd	16.5 bc	8,099 ab
GS-66 Y	59 cd	781 abcd	16.8 ab	7,745 ab
WM-GS-69	57 d	803 a	16.3 bc	7,585 abc
Antipájaro	62 b	752 de	16.5 bc	7,332 bc
Fame II	65 a	763 bcde	16.8 ab	6,791 c
Bird 007	50 f	758 cde	15.5 d	5,658 c
Onix (T)	54 e	761 cde	16.5 bc	5,504 c
CB-111	66 a	785 abc	16.5 bc	5,381 c
Z-100	49 f	795 ab	16.0 cd	5,005 c
M. GRAL.	59	772	16.5	6,734
CV %	2.71	2.86	2.93	8.24
DMS	2.29	32	0.7	805

M. Gral = Media General, CV = Coeficiente de Variación, DMS = Diferencia Mínima Significativa
Tratamientos agrupados con literal diferente, estadísticamente difieren a una probabilidad del 5 % (P<0.05).

¹ El rendimiento de grano fue ajustado al 15% de humedad.

La excersión es una característica agronómica importante en sorgo, que se refiere a la longitud entre la hoja bandera y la base de la panoja, es importante indicar que si los híbridos cuentan con buena excersión, la recolección del grano se realiza con mayor eficiencia, rapidez y limpieza; esto es debido a que la cosechadora corta solo la panoja. Ocurre lo contrario cuando la excersión es corta, ya que la máquina corta panoja y parte de follaje lo que significa obtener grano con cierto grado de impureza, lo que pudiera resultar inconveniente para el productor. Los híbridos con una buena longitud de excersión fueron entre otros Fame, Antipájaro, Z – 100, Onix (T) y Bird – 007, con longitud de excersión de 22 a 18.8 centímetros; El promedio general obtenido fue 16.4

centímetros; Por su parte los híbridos con menor longitud de excursión fueron Fame II, CB – 111, WM – GS 69 y X – 4487 con longitudes de 9.3 a 14.5 centímetros, cabe indicar que el híbrido X – 4487 con 11.3 centímetros, resultó como el genotipo de mayor rendimiento de grano (Cuadro 6).

En la evaluación de material genético es importante cuantificar las características agronómicas importantes, que puedan indicar algún efecto sobre la respuesta en rendimiento, en este sentido una variable medida fue el tamaño de panoja, observándose datos con poca variación, siendo esta de 25 a 30 centímetros de longitud y una media general de 27 centímetros; Los híbridos con mayor tamaño de panoja fueron Fame II, Fame, Z – 100, CB – 111 y X – 4487, con valores de 27 a 30 centímetros, todos estos genotipos fueron estadísticamente iguales al 5% de probabilidad. Cabe indicar que el híbrido X – 4487 con 28 centímetros de panoja fue el de mayor rendimiento de grano el cual fue 8,237 kg/ha, en tanto que Fame II con panoja de 30 centímetros obtuvo una producción de grano de 6,791 kg/ha y el testigo Onix alcanzó un rendimiento de grano de 5,504 kg/ha con una longitud de panoja de 25 centímetros (Cuadro 6).

La altura de planta promedio de los híbridos evaluados fue 138 centímetros, medida del nivel del suelo a la base de la panoja. Se encontró que el híbrido de mayor altura de planta fue Fame con 201 centímetros, estadísticamente diferente a los demás genotipos evaluados, los que obtuvieron un rango de altura de 108 a 167 centímetros, de acuerdo con (Martínez, et al., 2002) El sorgo tiene una altura de 1 a 2 m. En este sentido la altura de planta puede ser importante al combinarse ésta con una alta producción de grano, dado que últimamente este tipo de sorgos se están considerando para incluirse en la producción de ensilaje para ganado, mezclado con maíz ó sorgo forrajero, principalmente por la aportación de grano, el que incrementa el valor nutricional del silo. El híbrido de mayor producción de grano fue Fame con 201 centímetros de altura de planta, en tanto que el testigo Onix con 115 centímetros, obtuvo un rendimiento de 5,504 kh/ha ajustado el grano al 15% de humedad (Cuadro 6).

Algunas variables de carácter cualitativo se registraron en esta investigación, tales como: Tipo de panoja, Porcentaje de humedad del grano, Color del grano y Uniformidad de planta, esta información se indica en el Cuadro 7. En cuanto a tipo de panoja resultaron híbridos de panoja semi-abierta, semi-compacta y compacta, predominando materiales de panoja semi-compacta.

Cuadro 6. Promedio de cuatro características agronómicas de nueve híbridos de sorgo grano evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA INIFAP 2002

Híbridos	Longitud de Excursión cm	Longitud de Panoja cm	Altura de Planta cm	Rendimiento de grano Kg/ha ¹
X-4487	11.3 cd	28 abc	142 ab	8,237 a
Fame	22.0 cd	29 ab	201 a	8,099 ab
GS-66 Y	17.0 ab	25 bc	139 ab	7,745 ab
WM-GS 69	14.5 bc	26 bc	120 ab	7,585 abc
Antipájaro	21.8 a	26 bc	123 ab	7,332 bc
Fame II	9.3 d	30 a	148 ab	6,791 c
Bird 007	17.8 ab	25 c	108 b	5,658 d
Onix (T)	18.8 ab	25 c	115 b	5,504 d
CB-111	11.3 cd	27 abc	167 ab	5,381 d
Z-100	20.3 a	28 abc	113 b	5,005 d
M. GRAL.	16.4	27	138	6,734
CV %	21	10	5.6	8.24
DMS	4.8	3.9	38	805

M. Gral = Media General, CV = Coeficiente de Variación, DMS = Diferencia Mínima Significativa. Tratamientos agrupados con diferente literal, estadísticamente difieren al 5% de probabilidad ($P < 0.05$).

¹El rendimiento de grano fue ajustado al 15% de humedad

Cuadro 7. Promedio de tres características agronómicas de nueve híbridos de sorgo grano evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA INIFAP 2002.

Híbridos	Tipo de Panoja	Color del Grano	Uniformidad de Planta
X – 4487	Semi-Compacta	Rojo-Ambar	5
Fame	Semi-Abierta	Blanco	4
GS – 66 Y	Semi-Compacta	Ambar	4
WM – GS 69	Semi-Compacta	Ambar	5
Antipájaro	Semi-Compacta	Blanco-Ambar	4
Fame II	Semi-Abierta	Rojo-Ambar	3
Bird 007	Compacta	Ambar	5
Onix (T)	Semi-Compacta	Café	4
CB – 111	Semi-Compacta	Rojo-Ambar	4
Z – 100	Compacta	Ambar	5

Uniformidad de planta (1 = Desuniforme; 3 = Medio; 5 = Uniforme)

II. CALIDAD NUTRITIVA DE FORRAJE

Con los datos obtenidos del análisis y después de hacer los cálculos respectivos para determinar ED, EM, ENL y VRF; éstos se comparan con los valores de la alfalfa obtenidos de las tablas del Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos (National Research Council; NRC, 1988), ya que la alfalfa es considerada como el cultivo forrajero de mejor calidad. Por lo anterior se llegó a los siguientes resultados:

En el cuadro 8 y 9 se muestran los resultados del análisis químico proximal y fracciones de fibra de Van Soest (FDN y FDA), de alfalfa y sorgo respectivamente, el de sorgo se compara entre sí y con el de la alfalfa para determinar el mejor híbrido de sorgo. La comparación entre híbridos de sorgo se hace con un testigo de la Región Lagunera.

Cuadro 8. Valores porcentuales del análisis químico proximal y fracciones de fibra de Van Soest (FDN y FDA), de la alfalfa en diferentes estados fenológicos obtenidos de tablas del NRC.

Cultivo	PC %	Grasa %	Cenizas %	FDN %	FDA %
Alfalfa secada al sol en etapa temprana	23.0	4.0	10.2	38	28
Alfalfa secada al sol en etapa tardía	20.0	3.8	9.2	40	29
Alfalfa secada al sol al inicio de la floración	18.0	3.0	9.6	42	31
Alfalfa secada al sol a media floración	17.0	2.6	9.1	46	35
Alfalfa secada al sol en floración completa	15.0	2.0	8.9	50	37

PC = Proteína cruda, FDN = Fibra Detergente Neutro, FDA = Fibra Detergente Ácido.

CUADRO 9. Resultados del análisis químico proximal y fracciones de fibra de Van Soest (FDN y FDA) de ocho híbridos de sorgo grano evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA – INIFAP 2002

Híbridos	PC %	Grasa %	Cenizas %	FDN %	FDA%
Fame II	8.38	3.775	7.26	57.92	24.74
Antipájaro	5.86	3.711	7.17	52.3	25.54
Bird 007	10.12	3.61	7.21	67.86	24.62
Z – 100	9.99	3.763	7.14	47.02	22.98
X – 4487	8.93	3.775	7.41	41.96	21.08
WM-GS – 69	8.97	2.705	7.09	43.26	21.78
Onix (T)	8.79	3.63	8.62	54.44	22.96
CB – 111	9.12	3.76	8.28	53.78	29.56
Fame	7.61	3.766	7.37	54.38	26.22

PC = Proteína cruda, FDN = Fibra Detergente Neutro, FDA = Fibra Detergente Ácido

CUADRO 10. Valores de energía de la alfalfa obtenidos de tablas del NRC (1988).

Cultivo	ED (Mcal/Kg)	EM (Mcal/Kg)	ENL (Mcal/Kg)	VRF %
Alfalfa secada al sol en etapa temprana	2.91	2.49	1.50	164.23
Alfalfa secada al sol en etapa tardía	2.78	2.36	1.42	154.20
Alfalfa secada al sol al inicio de la floración	2.65	2.22	1.35	143.41
Alfalfa secada al sol a media floración	2.56	2.13	1.30	124.64
Alfalfa secada al sol en floración completa	2.43	2.00	1.23	111.77

ED= Energía Digestible, EM= Energía Metabolizable, VRF= Valor Relativo de Forraje, ENL= Energía neta de Lactancia. (Mcal/Kg)

En el Cuadro 11, se muestran los valores de materia seca digestible y de energía, así como del valor relativo forrajero del sorgo, éstos valores fueron obtenidos con las ecuaciones de Moe (1972) y NRC (1988) antes mencionadas usando los valores de FDN y FDA del Cuadro 9.

Cuadro 11. Materia seca total, energía y valor relativo forrajero (VRF) de ocho híbridos de sorgo grano, evaluados en comparación con un testigo comercial en la Región Lagunera. CELALA – INIFAP 2002

Híbridos	MSD %	ED (Mcal/Kg)	EM (Mcal/Kg)	ENL (Mcal/Kg)	VRF %
Fame II	69.62	3.06	2.64	1.65	111.79
Antipájaro	69.00	3.04	2.62	1.64	122.69
Bird 007	69.72	3.07	2.65	1.66	95.54
Z – 100	70.99	3.12	2.70	1.70	140.42
X – 4487	72.47	3.19	2.77	1.75	160.63
WM-GS – 69	71.93	3.17	2.75	1.73	154.63
Onix (T)	71.01	3.13	2.71	1.70	121.3
CB – 111	65.87	2.9	2.48	1.54	113.89
Fame	68.47	3.01	2.59	1.62	117.09

MSD = Materia Seca Digestible, ED= Energía Digestible, EM= Energía Metabolizable, VRF= Valor Relativo Forrajero, ENL= Energía neta de Lactancia.

Cuadro 12. Coeficiente de correlación y la ecuación de regresión entre los valores de fibra y la proteína cruda.

Correlación	Coeficiente de correlación	Ecuación de regresión	Factor independiente
PC y FND	0.0899	= 47 + 0.552(PC)	PC
PC y FAD	-0.236	= 28.47 -0.472(PC)	PC
FND y FAD	0.484	= 16.07 +0.158(FND)	FND

PC = Proteína Cruda, FND = Fibra Neutro Detergente, FDA = Fibra Ácido Detergente

Los resultados de PC, Grasa, Cenizas, FDN y FDA se muestran en el Cuadro 9, y se comparan los diferentes híbridos de sorgo.

El rango entre los diferentes híbridos en el contenido de proteína cruda (PC) fue de 4.26%, 5.86% para el mas bajo que fue el híbrido Antipájaro, hasta 10.12% para Bird 007, que fue el mas alto.

Para la cantidad de grasa contenida en cada tratamiento el rango es de 1.07%. Los valores más altos los obtuvieron Fame II y X - 4487 con 3.775% y 2.705%, respectivamente. El valor mas bajo corresponde a WMGS - 69.

En lo referente a cenizas el rango es de 1.53%. El valor mas alto lo obtuvo Onix con 8.62%, y WMGS - 69 con 7.09% fue el inferior.

Para Fibra Detergente Neutro el rango es de 25.9%. Bird 007 fue el mas alto con 67.86% y el mas bajo fue X - 4487 con 41.96%.

Para Fibra Detergente Ácido el rango es de 8.48%, el tratamiento con la mas alta cantidad de FDA fue CB - 111 con 29.56% y el valor mas bajo fue para X - 4487 con 21.08%.

Los resultados del cálculo de energía con las comparaciones correspondientes entre híbridos mostradas en el Cuadro 11, fueron los siguientes:

Para el contenido de Energía Digestible (ED) el rango es de 0.29 Mcal/Kg. X – 4487 fue el que obtuvo el valor mas alto de 3.19 Mcal/Kg y Antipájaro con 2.9 Mcal/Kg, fue el valor más bajo.

Para Energía Metabolizable (EM), el rango es de 2.9 Mcal/Kg. El híbrido X – 4487, obtuvo el valor mas alto con 2.77 Mcal/Kg, el mas bajo con 2.48 Mcal/Kg, fue para el híbrido CB – 111.

Para la Energía Neta de Lactancia el rango fue de 0.21 Mcal/Kg. El valor más alto con 1.75 Mcal/Kg lo obtuvo el híbrido X- 4487, con el valor bajo figura CB - 111 con 1.54 Mcal/Kg.

En el Valor Relativo de Forraje el rango fue de 65.09. El valor mas alto se encontró en el híbrido X - 4487 con 160.63 y el Bird 007 con 95.54 fue el que obtuvo el valor mas bajo.

Los resultados de comparaciones entre híbridos de sorgo y alfalfa para las características PC, Grasa, Cenizas, FDN, FDA se muestran en el Cuadro 9.

El contenido de Proteína Cruda, en general para todos los híbridos, es bajo, representa un 67.5%, en relación con la alfalfa. Se comparó el valor mas bajo de la alfalfa (15%) con el valor mas alto de sorgo (Bird 007 con 10.12%). Sin embargo, los valores obtenidos para los diferentes híbridos de sorgo son superiores a los que informa el NRC (1988) para el mismo del cultivo, el cual es 7.5%. Sólo el híbrido Antipájaro tiene un valor inferior (5.86%).

En el contenido de grasa, el sorgo casi iguala a la alfalfa cuando ésta es cortada y secada al sol en etapa vegetativa tardía (3.8%). Los híbridos Fame II y X - 4487 son los que más se asemejan con 3.78%. El NRC menciona para el sorgo, un contenido de

2.4%, el cual para algunos estados fenológicos de la alfalfa tiene un valor superior (NRC, 1988).

Para el contenido de cenizas, que representa a la parte inorgánica de la planta, los únicos tratamientos que se acercan al de la alfalfa secada al sol en la etapa de floración completa (8.9%) son: Onix y CB – 111, con valores de 8.62 y 8.28% respectivamente. El NCR menciona para el sorgo un valor de 9.4%, con respecto a éste valor, los híbridos en estudio, se encuentran bajos.

Respecto a la FDN, se destaca que los híbridos Fame II, Antipájaro, Bird 007, Onix, CB – 111 y Fame con 57.92%, 52.3%, 67.86%, 54.44%, 53.78% y 54.38% respectivamente, tienen mas FDN que la alfalfa secada al sol con floración completa (50%). Por consiguiente, la digestibilidad de éstos híbridos se espera que sea menor que la de la alfalfa de acuerdo a sus valores de FDN (Godoy, 2001). Los híbridos con menos FDN son: X – 4487 con 41.96% y WMGS – 69 con 43.26%, valores similares a la alfalfa en una etapa de inicio de la floración (42%).

Para la FDA, el híbrido CB – 111 con 29.56% es el único que es similar al de la alfalfa secada al sol en etapa vegetativa tardía (29%). Los demás híbridos contienen menos FDA que la alfalfa en etapa vegetativa temprana (28%).

Los resultados de comparaciones entre híbridos de sorgo y alfalfa para las características ED, EM, VRF, y ENL se muestran en el Cuadro 9.

Para la ED, los resultados de los híbridos de sorgo son mas altos que para la alfalfa secada al sol en etapa vegetativa temprana (2.91 Mcal/Kg) a excepción de CB – 111 al cual se le calculó un valor de 2.9 Mcal/Kg y que no es comparable a la alfalfa en etapa de floración completa (2.43 Mcal/Kg). En las tablas del NRC (1988), el sorgo tiene un valor de 2.56 Mcal/Kg. Los híbridos de sorgo que se estudiaron en este trabajo, superan a éste valor.

Respecto a la EM, como depende directamente de la energía digestible, los valores obtenidos guardan la misma relación con los valores de la alfalfa. Los valores son superiores a los de la alfalfa secada al sol en etapa vegetativa temprana (2.49 Mcal/Kg), el híbrido CB – 111 con 2.48 Mcal/Kg es el único que está por debajo del valor de la alfalfa en etapa de floración completa (2.00 Mcal/Kg). Como en el caso de la energía digestible, los valores de los híbridos para esta energía son superiores a los que informa las tablas de NRC para este forraje.

La ENI calculada para los diferentes híbridos de sorgo fue más alta que la que informa las tablas del NRC para la alfalfa (1.5 Mcal/Kg). Incluso el valor calculado para el CB – 111 está ligeramente arriba del que se tiene para la alfalfa: 1.54 vs 1.5 Mcal/Kg. El valor de esta variable para el sorgo que se encuentra en las tablas del NRC es de 1.3 Mcal/Kg, valor que también es superado por los híbridos del presente estudio.

En el VRF, el híbrido que se acerca a la alfalfa en etapa vegetativa temprana (164.23), es el X – 4487 con 160.63. El híbrido WMGS – 69 con 154.63 se asemeja a la alfalfa en etapa vegetativa tardía (154.2). El Z – 100 con 140.42 está ligeramente por debajo del valor de la alfalfa en etapa al inicio de la floración (143.41). Los híbridos que se acercan a los valores de la alfalfa cuando está a media floración (124.64), son Antipájaro y Onix con 122.69 y 121.3 respectivamente. Con valores más bajos se encuentran los híbridos Fame, CB – 111 y Fame II, con 117.09, 113.89, 111.79, respectivamente. El híbrido Bird 007 está muy por debajo de los demás con 95.54. Para esta variable, las tablas del NRC no mencionan valores.

CONCLUSIONES

Los mejores híbridos por su capacidad de rendimiento y adaptación fueron X – 4487, Fame, GS – 66Y y WM – GS 69, con producciones ente 8,237 y 7,585 kilogramos por hectárea de grano ajustado al 15% de humedad; Este grupo de híbridos resultaron estadísticamente iguales al 5% de probabilidad.

Los híbridos evaluados, en su mayoría resultaron de ciclo intermedio-precoc, dado que presentan su floración entre los 54 y 66 días después de la siembra, con excepción de los híbridos Z – 100 y Bird 007, que florecaron a los 49 y 50 días, por lo que se consideran de ciclo precoc.

Los coeficientes de variación obtenidos resultaron dentro de un rango aceptable de confiabilidad.

La densidad de grano no indica un efecto sobre el rendimiento de grano, dado que el híbrido X – 4487 con 740 gr/lit, rindió 8,237 kg/ha de grano, y Z – 100 con 795 gr/lit , solo alcanzó a rendir 5,005 kg/ha de grano.

El híbrido de mejor respuesta en calidad de forraje, fue X – 4487, dado que resultó con el mayor contenido en grasa porcentual y el valor mínimo en el contenido de fibras, en tanto que para PC, ED y EM, VRF y ENL tiene los valores mas altos. En Cenizas, ocupa el tercer sitio. Además obtuvo el mayor rendimiento de grano.

Los híbridos evaluados fueron mejores en el contenido de ED, EM y ENL, comparados con sorgo, de acuerdo con las tablas del NRC. Además los resultados indican una mejor respuesta, comparados con alfalfa, en los mismos componentes de calidad, con excepción del la respuesta mostrada por el híbrido CB – 111.

El coeficiente de correlación de la PC con la FDN y la FDA es muy cercano a cero, e incluso negativo con la FDA, lo cual indica que, el contenido de proteína tiene poca relación con el contenido de FDA y FDN.

En dado caso que el coeficiente fuera muy cercano a uno, los valores de FDN y FDA usados en la ecuación de regresión nos ayudan a hacer una estimación de la calidad del forraje.

LITERATURA CITADA

1. Aguilera U. J. 1990. Cultivo del Sorgo Grano y Forraje. Producción de Granos y Forrajes. Ed. LIMUSA. 5ª Edición. Pp153 – 190
2. Arias I. 1995. Consideraciones Acerca del Cultivo del Sorgo Granífero en Venezuela. FONAIAP DIVULGA. Año XII No. 49. pp 38 - 45.
3. Buxton, D.R., D.R. Mertens and D.S Fisher. 1996. Forage quality and ruminant utilization. In: Cool Season Grasses. Agronomy Monograph. American Society of Agronomy, Soli Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, WI. pp: 155-199.
4. Delorit J.R, H.L. Ahlgren. 1982. Producción Agrícola. Editorial CECSA, 6ª Edición, pp 215-239
10. Duthil J., 1980. Producción De Forrajes. Ed. Mundi-Prensa 3ª Edición, Pp 266 – 268.
6. García M.E. 1987. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (Adaptada a las Condiciones de la República Mexicana). 4ª Ed. México, Editado por la autora. 246 p.
6. Godoy S. y C.F. Chicco, 2001. Bovinos en Crecimiento y Engorda.
www.ceniap.gob.ve/bdigital/ztzoo/zt1102/texto/bovinosencrecimientos.htm
7. González M., et al., 2000. Origen é Historia del Sorgo.
www.qro.itesm.mx/agronomia2/extensivos/Origen_e_historia_sorgo.html#Origen-hist-sorgo..
8. Guerrero Andrés, 1992. Cultivos Herbáceos Extensivos. Editorial Mundi–Prensa 5ª Edición, Pp. 223 – 229.
9. Hiriart L. M., 1998. Ensilados, Procesamiento y Calidad. Editorial Trillas 1ª Edición, Pp. 9 - 95.

5. Jiménez. A. F. y Moreno. M. J., 1998. El Ensilaje una Alternativa de Conservación de Forraje.
www.gobant.gov.co/organismos/sagricultura/documentos/el%20ensilaje.doc
12. Leland R. H., 1982. El Sorgo. Editorial GACETA 1ª Ed Pp. 29 – 36.
13. López B.L., 1990. Cultivos Herbáceos-Cereales. Ed Mundi-Prensa, 1ª Edición, Vol I. Pp. 397 – 416.
11. Martin H. J. y M. M. MacMasters, 1956. Crops in peace and war Ed. USDA Edición 1956 – 1957, pp. 349 – 352.
14. Martínez. H.C., S. Aronna y E. Cornerón, 2002. Clasificación taxonómica del sorgo.
www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/sorgo.asp
15. Moe, P. W., W. P. Flatt and H. F. Tyrrell, 1972. Net energy value of feeds for lactation. J. Dairy Sci . 55, pp 945 – 958.
16. Muñoz L.M. y C.A. Carballo, 1985. Ampliación de las áreas de adaptación del sorgo (*sorghum bicolor* L. Moench). Revista Fitotecnia del Colegio de Posgraduados Chapingo, México. SOMEFI, A.C.
17. Muslera P. E y R. C. García, 1991. Praderas Y Forrajes. Ed Mundi-Prensa, 2ª Edición Pp. 567 – 569.
18. National Research Coucil (NRC), 1988. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. National Academy Press. Washington D. C. pp 90-92; 105-107.
19. Romero L., Q. E. Fernández y S. O. Castillo, 2002. El sorgo forrajero ¿puede ser un sustituto del maíz?
www.elsitioagricola.com/articulos/romero/lecheria%20-%20El%20sorgo%20forrajero%20como%20sustituto%20del%20maiz%20-%202002.asp
20. Sánchez R. R., 1990. Producción De Granos y Forrajes. Ed Limusa, 5ª Edición, Pp. 141 – 170.
21. SEP, 1987. Cultivos Forrajeros. Ed Trillas, Pp. 69 – 71.

22. Swanson A.F., 1956. Crops in peace and war. Ed. USDA. Edition 1956 – 1957 pp. 353 – 356.
23. Van Soest, PJ, JB Robertson, 1980. Systems of análisis for evaluation fibrous feeds. I WJ Pigden et al. (eds.) Standardization of Analysis Methodology for Feeds. Ottawa, Canada: IDRC, Pp 49-60.
24. Van Soest, PJ, JB Robertson, and RA Lewis, 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J.Dairy Sci. 74:35, 83, 97.
25. Vance G., S. Darell y E. Mc Cloud. 1986. Forrajes. Hughes, Heath Metcalfe. Ed CECSA, Pp. 397 – 404.