

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

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS**



**PRODUCCIÓN Y CALIDAD EN TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ  
FORRAJERO (Zea mays L.) BAJO PIVOTE CENTRAL  
(LEPA).**

**POR**

**PAOLA SHAULY JUAN VILLARREAL**

**TESIS**

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

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS**

**PRODUCCIÓN Y CALIDAD EN TRES HÍBRIDOS DE MAÍZ  
FORRAJERO (Zea mays L.) BAJO PIVOTE CENTRAL  
(LEPA).**

**POR**

**PAOLA SHAULY JUAN VILLARREAL**

**TESIS**

**QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ  
ASESOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER  
EL TITULO DE**

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN**

**ASESOR PRINCIPAL:**

\_\_\_\_\_  
**Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA.**

**ASESOR:**

\_\_\_\_\_  
**M.Sc. CLAUDIO GODOY ÁVILA.**

**ASESOR:**

\_\_\_\_\_  
**MC. JOSE SIMÓN CARRILLO AMAYA.**

**ASESOR:**

\_\_\_\_\_  
**MC. EDGARDO CERVANTES A.**

\_\_\_\_\_  
**M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNICAS**

**Torreón, Coahuila, México**

**Noviembre 2007**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS**

**TESIS DEL C. PAOLA SHAULY JUAN VILLARREAL QUE SE  
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN**

**APROBADA POR**

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_  
**Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA**

**VOCAL**

\_\_\_\_\_  
**M.Sc. CLAUDIO GODOY ÁVILA**

**VOCAL**

\_\_\_\_\_  
**MC. JOSE SIMÓN CARRILLO AMAYA**

**VOCAL SUPLENTE**

\_\_\_\_\_  
**MC. EDGARDO CERVANTES A.**

\_\_\_\_\_  
**M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNICAS**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS**

**TESIS DEL C. PAOLA SHAULY JUAN VILLARREAL QUE SE  
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN**

**APROBADA POR**

**ASESOR PRINCIPAL EXTERNO**

---

**M.Sc. CLAUDIO GODOY ÁVILA.**

---

**M.C. VICTOR MARTÍNEZ CUETO  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRÓNICAS**

## **DEDICATORIAS**

### **A DIOS.**

Por otorgarme la oportunidad de seguir con vida, por guiar mis pasos hacia el camino del bien y por brindarme humildad para lograr las cosas que me he propuesto, gracias.....

### **A MIS ABUELOS**

A la Sra. Elsa Castañeda Santizo y el Sr. Antonio Juan de la Rosa, por hacerme una mujer de provecho, por el gran apoyo, amor y confianza que me dieron día con día para lograr mis metas de vida.

### **A MI MADRE**

A la Sra. Ángela Villarreal Ramos, por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, por tu entera confianza, pero sobre todo por estar allí cuando más te necesito, gracias.

### **A MIS HERMANAS**

Roxana, Elsa y Alexandra K., por apoyarme, aconsejándome y demostrarme que no existen límites, más cuando hay un verdadero interés en la vida.

### **A MIS AMIGOS**

Ramiro, Amín O, Brenda G., Ariadna, Mayra, Sergio y a la Sra. Lourdes por estar conmigo en las buenas y en las malas, por brindarme su gran amistad y apoyo en mi formación profesional.

### **A MIS COMPAÑEROS DE LA GENERACIÓN DE IRRIGACIÓN**

Abraham, Pedro, Martín, Marcos, Guillermo, Rosibel, Orlando, Argeo y Benjamín.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A MI “ALMA TERRA MATER”**, por abrirme las puertas y darme la bienvenida para formar parte de una gran familia, por cobijarme y haberme recibido en tus aulas durante estos 5 años, en los cuales me brindaste las herramientas necesarias para formar una vida profesional.

A M.Sc. CLAUDIO GODOY ÁVILA, por su amistad, apoyo, dedicación, colaboración, asesoramiento y revisión de esta tesis.

A Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA por su amistad, apoyo, dedicación, colaboración, asesoramiento y revisión de esta tesis.

A MC. JOSE SIMÓN CARRILLO AMAYA, por su amistad, apoyo, dedicación, colaboración, asesoramiento y revisión de esta tesis.

A MC. EDGARDO CERVANTES A., por su amistad, apoyo, dedicación, colaboración, asesoramiento y revisión de esta tesis.

### **A MIS MAESTROS:**

MC. Carlos Efrén Ramírez Contreras, Ph. D. Vicente De Paúl Álvarez Reyna, MC. Jorge Luís Villalobos Romero, MC. Ernesto Luna Dávila M.C. Federico Vega Sotelo y todos aquellos que intervinieron a lo largo de mi carrera y en mi formación profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
<b>DEDICATORIAS</b> .....	I
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	II
<b>INDICE DE CONTENIDO</b> .....	III
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	VI
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	VIII
<b>RESUMEN</b> .....	IX
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	2
<b>III. HIPOTESIS</b> .....	2
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	3
4.1. Generalidades del maíz forrajero.....	3
4.1.1. Origen de maíz.....	3
4.1.2. Importancia del cultivo del maíz.....	3
4.1.3. Ensilado de maíz.....	4
4.1.4. Clasificación taxonómica.....	4
4.1.5. Descripción botánica y morfológica.....	5
4.1.6. Fisiología del maíz.....	5
4.1.7. Características de una planta forrajera ideal.....	6
4.1.8. Productividad del maíz para forraje.....	7
4.1.9. Calidad nutricional del maíz.....	7
4.1.10. Digestibilidad.....	7
4.2. Factores que determinan la producción y calidad nutricional del maíz.....	8
4.2.1. Factores climáticos.....	8
4.2.1.1. Temperatura.....	8
4.2.1.2. Radiación.....	9
4.2.1.3. Viento.....	9
4.2.1.4. Fotoperíodo.....	9
4.2.1.5. Precipitación.....	10
4.2.2. Factores edáficos.....	10
4.2.3. Material genético.....	10

4.2.4. Manejo Agronómico.....	11
4.2.4.1. Preparación de terreno.....	11
4.2.4.2. Época de siembra.....	11
4.2.4.3. Densidad de población.....	11
4.2.4.4. Fertilización.....	13
4.2.4.5. Riegos.....	14
4.2.4.6. Disponibilidad y calida de agua.....	14
4.2.4.7. Control de maleza.....	15
4.2.4.8. Cosecha.....	15
4.2.4.9. Etapa de corte.....	15
4.2.4.10. Altura de corte.....	16
4.2.4.11. Plagas.....	16
4.3. Riego por pivote central con su variante LEPA en maíz forrajero.....	18
4.3.1. LEPA y otros sistemas de baja presión.....	20
4.3.2. Ahorro de agua y energía.....	20
4.3.3. Evaluación en campo del LEPA.....	22
4.3.4. Conversión al sistema LEPA.....	23
4.3.5. Manejo del agua con LEPA.....	25
4.3.6. Aplicación de agroquímicos con LEPA.....	25
4.3.7. Aplicación de insecticidas.....	26
4.3.8. Aplicación de agroquímicos en el maíz con LEPA.....	26
<b>V. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>28</b>
5.1. Localización y característica del lote experimental.....	28
5.2. Diseño experimental.....	28
5.3. Siembra.....	28
5.4. Sistema de riego.....	30
5.5. Practicas culturales.....	30
5.5.1. Preparación del terreno.....	30
5.5.2. Plagas.....	30
5.5.3. Fertilizantes.....	31

5.6. Variable evaluadas.....	31
5.6.1. Materia seca.....	31
5.6.2. Rendimiento de forraje verde.....	32
5.6.3. Rendimiento de forraje seco.....	32
5.6.4. Eficiencia en uso de agua.....	33
5.6.5. Calidad de forraje.....	33
5.6. Análisis estadístico.....	33
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
6.1. Materia seca.....	34
6.1.1. Distribución de la materia seca en sus diferentes organos.....	35
6.2. Rendimiento de forraje verde y seco.....	36
6.3. Eficiencia en uso de agua.....	36
6.4. Calidad del Forraje.....	37
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>40</b>

## INDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Clasificación taxonómica.....	4
Cuadro 2. Criterios de clasificación de maíces para forraje producidos bajo condiciones de la Comarca Lagunera (Herrera, 1999).....	6
Cuadro 3. Distancia entre plantas para establecer el maíz en tres métodos de siembra y tres densidades de población. (INIFAP-CIRNOC-CELALA.).....	13
Cuadro 4. Nombre técnico y común de los insecticidas y dosis para el combate de las plagas de maíz forrajero.....	17
Cuadro 5. Rendimiento de cultivos en círculo con espaciamentos definidos por LEPA con descarga a cada surco y en surcos alternados en el mismo pivote central.....	19
Cuadro 6. Sistemas de aspersión para un pivote central de 1/4 de milla, operando a 900 galones por minuto. Las estimaciones se basaron en dotaciones de 248 acres-pie de agua para el cultivo, ajustando por pérdidas de eficiencia de aplicación en cada sistema.....	22
Cuadro 7. Volumen total de agua bombeada y galones de diesel consumidos por los sistemas del cuadro 6.....	22
Cuadro 8. Rendimiento utilizando LEPA y los sistemas con equipo convencional en el mismo pivote (Fipps y New, 1990).....	23
Cuadro 9. Fechas de siembra, híbrido y número de pivote.....	29
Cuadro 10. Fechas de muestreo por híbrido para materia seca.....	32
Cuadro 11. Distribución de materia seca $t\ ha^{-1}$ en tres híbridos de maíz forrajero bajo pivote central. Beta San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila Verano 2006. INIFAP – UAAAN-UL.....	34

Cuadro 12. Distribución de la materia seca (%) en los diferentes componentes de rendimiento de tres híbridos de maíz irrigados con Pivote Central (LEPA). Beta San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP – UAAAN-UL.....	35
Cuadro 13. Rendimiento de forraje verde y forraje seco t ha <sup>-1</sup> , de tres híbridos de maíz bajo riego por pivote central (LEPA). Beta San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP – UAAAN-UL.....	36
Cuadro 14. Eficiencia en uso de agua en tres híbridos de maíz forrajero. Beta San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP – UAAAN-UL.....	37
Cuadro 15. Proteína cruda, Fibra Neutro Detergente y % Digestibilidad de tres híbridos de maíz en condiciones de riego con pivote central (LEPA). Betas San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP-UAAAN.UL.....	38

## INDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Tres formas de operación de un cabezal del sistema LEPA.....	19
Figura 2. Diagrama del único cabezal multifuncional disponible en el mercado.....	21
Figura 3. Arreglo típico del tubo de caída para riego con LEPA.....	21
Figura 4. Esquema de parcela útil.....	29

## RESUMEN

En las regiones áridas y semiáridas el principal factor limitante de la producción es el agua, Cuatrociénegas Coahuila no es la excepción. En esta área se ha hecho una sobre explotación del acuífero debido al inadecuado uso de agua en el sector agrícola, incrementando los costos de extracción, abatimiento y degradación del mismo. El presente trabajo se realizó con el propósito de obtener un manejo más eficiente en el uso de agua de riego en el cultivo de maíz forrajero mediante el sistema de riego con pivote central y su variante (LEPA).

El presente trabajo experimental fue desarrollado durante el ciclo agrícola verano del 2006 dentro del Rancho Beta San Gabriel ubicado en el ejido Tanque Nuevo municipio de Cuatrociénegas Coahuila. La siembra se realizó en tres fechas, dado que los tratamientos se establecieron en tres diferentes pivotes centrales que cuentan con variante (LEPA). Además para tener una mejor retención del agua aplicada se construyeron corrugaciones de 75 centímetros de separación y se estableció una población de 93 000 plantas ha<sup>-1</sup>. Los híbridos utilizados fueron Oso, 3025 W y DK 2020. El primer riego se realizó una vez efectuada la siembra en seco, los riegos posteriores se realizaron por medio de las lecturas de la estación meteorológica ubicada en el mismo rancho, por medio de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) donde se aplicó el riego diariamente. La fertilización se realizó aplicando una dosis de 220-80-00, en las conexiones directas del pivote central equipado con una bomba de inyección de pistón y un recipiente de 2500 litros.

El diseño experimental utilizado fue bloque completamente al azar con cuatro repeticiones. En los resultados de distribución de materia seca, rendimiento de forraje verde, seco y calidad del forraje, se observó que el híbrido DK 2020 fue superior a los otros dos híbridos, mientras que la mejor eficiencia en uso de agua la presentó el Híbrido 3025 W. La calidad del forraje en los tres híbridos de maíz forrajero fue similar y de buena calidad nutricional.

## ABSTRACT

Water is the main factor limiting crop production in the arid and semiarid areas. Cuatrociénegas Coahuila it is not the exception. In this area the acuifer sobreexplotation due to low water use efficiency in the agriculture increasing the extraction cost and acuifer degradation. This study was conducted with the purpose to improve the water irrigation use and management in the forage crops in the central pivot and LEPA irrigation systems.

This work was conducted during the summer of 2006 at Beta San Gabriel farm located at Ejido Tanque Nuevo at Cuatrociénegas Coahuila. Three planting date were used to establish the corn crop due to that were used different central pivot with the LEPA variant irrigation systems. Additionally, to have a better soil water retention were constructed corrugate rows at an separation of 75 cm. A plant population of 93 000 plants/ha. The corn hybrid planted were oso, 3025 w and DK 2020. The first irrigation was applied after the planting at dry soil. The following irrigation were applied according to data of the meteorological station located in the faro. The irrigations were applied dairly according to the evapotranspiration (ET<sub>o</sub>). The fertilization formula applied was 220-80-00. The fertilizers were applied through to direct conexión to the central pívot equiped with a piston inyección and a tank of 2500 lts.

The experimental design utilized was a random complete block design with four replications. The hybrid DK 2020 had the better yields of fresh and dry matter. The forage quality of the three hybrids was similar and of good nutritional quality.

## INTRODUCCIÓN

El maíz destaca como uno de los principales cultivos de grano en México, por ser el alimento básico y uno de los forrajes más importantes en la ganadería (Jaramillo, 1992).

La comarca lagunera se localiza en la parte norte centro de México y es la cuenca lechera más importante del país. En octubre del 2003 se reportaron 229 657 cabezas de ganado lechero en explotación con una producción de 25.7 L de leche vaca<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (El Siglo de Torreón, 2006).

En la Comarca Lagunera el maíz forrajero ocupa un lugar importante dentro del patrón de cultivos por el alto rendimiento energético que aporta en el ganado bovino lechero. Actualmente en esta región, la producción promedio de forraje fresco y seco de maíz es de 51 t ha<sup>-1</sup> y 15 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El maíz en la alimentación animal puede ser consumido en verde, ensilado, seco (heno o rastrojo) y como grano (Reta *et al.*, 2002). En el ciclo primavera-verano del 2003 se sembraron en la región Lagunera 21 736 ha de maíz forrajero, de las cuales, el 66.15% (14 380 ha) fueron regadas con agua del subsuelo y el 33.85% (7 356 ha) se regaron con agua de gravedad. En total se produjeron en ese año 954 882 t con valor de \$ 200 525 220 (SAGARPA, 2006).

La eficiencia en uso de agua (EUA) es de 1.1 a 1.4 kg m<sup>3</sup> de materia seca, esto es, que se requiere de 1000 L de agua para producir de 1.1. a 1.4 kg de forraje seco de maíz. Esta eficiencia se puede incrementar a través de la utilización de nuevos genotipos apropiados para altas densidades de población, dosis óptimas de fertilización, y otras prácticas agronómicas.

Actualmente en la región Lagunera se utilizan sistemas de riego ineficientes, como el riego por inundación por melgas (riego superficial), que tiene una eficiencia de aplicación del 55% (Reta *et al.*, 2002). El sistema de riego por pivote central y su variante LEPA (Low Energy Precision Application), permite un ahorro de un 25 y 30 % de agua y energía eléctrica, principalmente cuando se compara con el sistema de riego por pivote central convencional (Lyle y Bordovsky, 1981).

Por lo anterior, en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos, determinar la eficiencia del sistema de riego por pivote central y evaluar la respuesta agronómica de tres híbridos de maíz forrajero, considerados de alto potencial de rendimiento y buena calidad bajo las condiciones de la región de Cuatrociénegas, Coahuila.

## **OBJETIVO:**

1. Evaluar la capacidad de producción y calidad del forraje de los híbridos de maíz Oso, 3025 W y DK 2020.
2. Determinar la cantidad de agua utilizada en la producción de maíz forrajero con los híbridos Oso, 3025 W y DK 2020, y el sistema de riego pivote central con su variante LEPA.

## **HIPOTESIS:**

Los híbridos Oso, 3025 W y DK 2020 tienen similar producción de forraje verde, seco, y calidad (PC, FND y % Digestibilidad).

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Generalidades del maíz forrajero

#### 4.1.1. Origen del maíz

El maíz tuvo origen en América Central, principalmente en México, de donde se difundió hacia el norte de Canadá y hacia el sur de Argentina. La evidencia más antigua de la existencia del maíz data de 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el Valle de Tehuacán, Puebla, México, pero es posible que existan otros centros secundarios de origen en América. (FAO, 1999).

#### 4.1.2. Importancia del cultivo del maíz

El empleo de maíz en la alimentación animal tiene gran versatilidad, ya que puede ser consumido en verde, ensilado, seco (heno o rastrojo) o como grano (Reta *et al.*, 2002). Actualmente en la región la producción promedio de forraje de maíz por hectárea es de 51 toneladas de forraje fresco y 15 toneladas de forraje seco.

En el riego de las 22 500 has de maíz forrajero cultivadas en la Región Lagunera en el año de 1997, se utilizaron 256 millones de m<sup>3</sup> extraídos del acuífero subterráneo (Godoy *et al.*, 1998). En el ciclo primavera-verano del 2003 se sembraron en la región un total de 21 736 ha de maíz forrajero, de las cuales 14 380 fueron en áreas de bombeo y 7 356 con riego por gravedad, de las cuales se obtuvo una producción de 954 882 toneladas con un valor de 200 millones 525 mil 220 pesos (SAGARPA, 2003).

El cultivo del maíz por su eficiencia en uso de agua, lo hace un componente importante del patrón forrajero en la Comarca Lagunera. Además sembrado temprano en primavera y cosechado oportunamente permite una segunda siembra durante el verano, deseable en explotaciones que requieren hacer un uso intensivo del suelo. El maíz también puede ser una buena opción para utilizarse como cultivo de rotación en terrenos con problemas de enfermedades radiculares como pudrición texana y verticillium (Reta *et al.*, 2002).

#### 4.1.3. Ensilado del maíz.

Es un proceso para preservar el forraje el cual data desde antes de la era cristiana. Sin embargo, continuamente ha estado sujeto a una serie de avances para mejorar la calidad del ensilado, así como su aceptación y mejor aprovechamiento por parte del ganado (Núñez, 2003).

#### 4.1.4. Clasificación taxonómica.

El maíz es una planta que taxonómicamente se clasifica como angiosperma, monocotiledónea y se ubica dentro de la familia de las gramíneas.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del maíz (Reyes, 1990).

		Características distintivas
Reino	Vegetal	Planta anual
Phylum	Tracheophyta	Sistema Vascular
Subdivisión	Pterapside	Producción de Flores
Clase	Angiosperma	Semilla Cubierta
Subclase	Monocotiledoneae	Cotiledón único
Orden	Graminales	Tallo con nudos prominentes
Familia	Gramínea	Grano-cereal
Tribu	Maydeae	Flores unisexuales
Genero	Zea	Único
Espece	Mays	Maíz común
	Mexicana	Teocintle anual
	Perennis	Teocintle perenne
Raza	Más de 300 razas	Adaptadas a regiones bien
	Clasificadas; 30 en México	definidas

#### 4.1.5. Descripción botánica y morfológica

El maíz es una planta anual con gran desarrollo vegetativo, puede describirse como un sistema metabólico cuyo producto final es el almidón, depositado en órganos especializados, los granos. El desarrollo de la planta se puede dividir en dos fases fisiológicas (Reyes, 1990).

En la fase vegetativa, se desarrollan y diferencian tejidos hasta que aparecen las estructuras florales, esta fase consta de dos ciclos. En la primera fase se forman las primeras hojas y el desarrollo es ascendente. La producción de materia seca es lenta y finaliza con la diferenciación tisular de los órganos de reproducción, en el segundo ciclo se desarrollan las hojas, órganos de reproducción; y termina con la emisión de estigmas. Segunda fase o también llamada fase de reproducción, inicia con la fertilización de las estructuras femeninas que se diferenciarán en espigas y granos. La etapa final de esta fase se caracteriza por el aumento de peso de hoja y otras partes de la flor, durante la segunda fase, el peso de granos incrementa con rapidez, alcanzando su madurez fisiológica cuando el grano termina su completo desarrollo; es decir, cuando el grano pierde humedad, ya no crece e incluso puede caer de la planta o desgranar; al cosecharlo, el grano germina, debido a que la semilla tiene completamente formadas todas sus estructuras (Reyes, 1990).

El índice del área foliar (IAF) representa el área foliar de las plantas que ocupa una superficie de terreno. Estudios fisiológicos visualizan que el rendimiento de un cultivo depende del tamaño y eficiencia del sistema fotosintético de la planta. La importancia del (IAF) en la tasa de crecimiento de un cultivo se basa en la intercepción de luz. El óptimo se presenta cuando casi toda la luz disponible es interceptada y la relación de fotosíntesis-respiración es máxima. La duración del IAF depende del genotipo, fotoperíodo, temperatura y condiciones del cultivo (Bolaños y Edmeades, 1993).

#### 4.1.6. Fisiología del maíz

El ciclo biológico del maíz varía según el genotipo, ya que existen algunas precoces con alrededor de 80 días a madurez hasta los más tardíos con alrededor de 200 días de siembra a cosecha (Robles, 1990).

La madurez fisiológica del maíz se alcanza cuando el grano termina su desarrollo; es decir, el grano pierde humedad, y ya no crece e incluso puede caerse o desgranarse de la planta; al cosecharlo, el grano germina, ya que tiene completamente

formadas todas las estructuras de la semilla (Reyes, 1990). La capa negra y la línea de leche son indicadores confiables que en forma práctica estiman en el campo la madurez fisiológica del maíz. El contenido de materia seca de grano varía de 58% a 70% con la desaparición de la capa negra y el desvanecimiento prematuro de la misma tiene la posibilidad de ocurrir debido a un clima frío (Reyes, 1990).

#### 4.1.7. Características de una planta forrajera ideal

Una planta forrajera ideal debe tener fácil ruptura de la epidermis, tejidos vasculares, concentraciones elevadas de carbohidratos no estructurales, contenidos de minerales y proteínas totales con cantidades suficientes de metionina y nitrógeno no degradable en el rumen. Un ideotipo de maíz para ensilado debe producir una cantidad máxima y estable de materia orgánica digestible, ser fácil de cosechar y conservarse, apetecible, tener un consumo elevado y ser utilizado eficientemente por el animal (Striuk y Deinum, 1990).

Las características de un híbrido ideal de maíz forrajero deben ser alta producción de materia seca, índice de cosecha, estabilidad, contenido de carbohidratos, proteínas, digestibilidad, consumo y producción de materia seca (Pinter, 1986). Una clasificación de los materiales para este forraje considera como criterios la concentración de FDN, FDA, energía neta de lactancia (ENL) y la digestibilidad *in Vitro* de la materia seca, por lo tanto un maíz para ensilado de alto valor nutritivo debe ser de baja concentración en fibra, alta digestibilidad y mayor contenido de energía (Herrera, 1999).

Cuadro 2. Criterios de clasificación de maíces para forraje producidos bajo condiciones de la Comarca Lagunera (Herrera, 1999).

Calidad	Baja	Mediana	Alta
FDN (%)	> 60	de 52 a 60	< 51
FDA (%)	> 35	de 30 a 35	< 29
EN <sub>1</sub> (Mcal kg <sup>-1</sup> )	> 1.3	de 1.31 a 1.48	< 1.50
DIVSMS (%)	> 60	de 61 a 67	< 68

FND= Fibra Detergente Neutra, FDA = Fibra Detergente Acida, ENI = Energía Neta de Lactancia, DIVSMS = Digestibilidad *in vitro* de la materia seca.

#### 4.1.8. Productividad del maíz para forraje

La productividad de un cultivo es la resultante de un sistema que cosecha la energía solar. La producción es la acumulación de sustancias elaboradas por la planta (fotosintatos) en los órganos vegetales. El rendimiento es el peso por unidad de superficie del producto cosechado o una de sus partes (Núñez *et al.*, 1998).

La producción de forraje y grano tiende a incrementarse conforme aumenta el ciclo vegetativo del híbrido. Así mismo, se observa que conforme aumenta la densidad de plantas en híbridos de ciclo tardío se incrementa la producción de forraje y rendimiento de grano, disminuyendo la proporción grano-rastrojo. En los híbridos de ciclo precoz e intermedio con densidad de 70 000 plantas por ha, se obtiene buen rendimiento tanto de forraje como de grano. Las variedades de maíz de mayor rendimiento, son de ciclo vegetativo de 100 a 140 días, en menos de 100 días se obtiene poca producción de grano y/o forraje verde o materia seca (Robles, 1990).

Los genotipos de ciclo tardío por lo general tienen más producción de materia seca asociada con el índice de área foliar y duración del área verde de la hoja. Es recomendable el uso de híbridos de ciclo ligeramente tardío para ensilado, de tal manera que el cultivo puede ser cosechado con humedad adecuada y garantizar óptima conservación (Coors *et al.*, 1994).

#### 4.1.9. Calidad nutricional del maíz

El valor nutritivo de un forraje es una expresión del potencial del animal para producir, integrado por el consumo de alimento, eficiencia energética y digestibilidad. (Van Soest, 1994).

La retención de nutrientes, esta determinada en 70% por el consumo de alimento y 30% por la digestibilidad y eficiencia con que se aprovecha el alimento consumido. El valor nutritivo está influenciado por factores relacionados con la planta y los animales. En los primeros se encuentran el clima, suelo, plagas, enfermedades, genotipo, parte de la planta y madurez, mientras que en los factores relacionados con el animal están raza, sexo, talla, condición corporal y edad, entre otros (Marten, 1985).

#### 4.1.10. Digestibilidad

Es una medición de uso común para conocer la utilización de los nutrientes, alimentos o dietas, y conocer el grado de aprovechamiento de un alimento por el

animal. El valor usualmente utilizado es el coeficiente de digestibilidad expresado como porcentaje de materia seca (% MS) (Castellanos *et al.*, 1990).

La digestibilidad de la materia se relaciona positivamente con el porcentaje de mazorca (forma sencilla de expresar el contenido de grano), y negativamente con las concentraciones de FDN, FDA y lignina (Herrera, 1998). Estudios realizados en la Comarca Lagunera muestran valores de digestibilidad en forraje de maíz de 56 a 68% y 44 a 50% para rastrojo de maíz en Guerrero, México, (Núñez *et al.*, 1999; Herrera *et al.*, 1997).

Una estrategia para incrementar el contenido de energía del ensilado es elevar la altura de corte de tal manera que permita aumentar la relación grano-forraje. Por cada 15.0 cm en aumento de la altura de corte se pierde una ton ha<sup>-1</sup> de forraje seco, mismo que tiene una baja calidad nutricional, según Kezar (1998) citado por Núñez, *et al.*, (2003).

Existe una relación inversa entre calidad y producción de forraje. Los altos rendimientos de forraje usualmente van acompañados por una disminución en la calidad del mismo; de tal manera que factores que disminuyen la producción de forraje incrementan su calidad (Medina, 1997).

La digestibilidad de la materia orgánica puede disminuir al aumentar la producción de materia seca. Sin embargo, el valor energético de la planta de maíz, depende en gran medida del momento de cosecha (Broster, 1983).

#### 4.2. Factores que determinan la producción y calidad nutricional del maíz

Los principales factores que afectan el rendimiento y calidad de las plantas forrajeras son clima, suelo y manejo agronómico.

##### 4.2.1. Factores climáticos

Los principales factores que afectan el crecimiento y calidad de maíz son temperatura, radiación, viento, fotoperíodo y precipitación.

##### 4.2.1.1. Temperatura

El cultivo de maíz presenta problemas cuando la temperatura promedio es inferior a 18.9° C durante el día y de 12.8° C durante la noche (Reyes, 1990). Si el maíz sufre bajas temperaturas durante la formación del grano, la actividad fotosintética disminuye y el rendimiento de la planta entera evoluciona lentamente alcanzando un

25 a 27% en su contenido de materia seca, lo cual afecta la calidad del ensilado. Las altas temperaturas después del desarrollo incrementan la producción de materia seca y reduce la digestibilidad de la parte vegetativa de la planta (plantas sin mazorca) a causa del incremento del contenido de las paredes celulares. Las heladas tienden a lixiviar el contenido celular por la ruptura de la misma reduciendo la solubilidad de carbohidratos y nitrógeno (Coors *et al.*, 1994).

#### 4.2.1.2. Radiación

La radiación solar es la fuerza que determina el límite superior de productividad, en un sentido directo, ya que la temperatura y lluvia juegan un papel importante en la determinación potencial de productividad que se lleva a cabo en una región. Parte del espectro de la radiación modifica los procesos productivos de crecimiento, por ejemplo morfogénesis la cual da forma a la planta. Estos factores morfogénicos incluyen ramificaciones, elongación de entre nudos, expansión de hojas y floración de especies sensibles a fotoperíodo (Nelson y Moser, 1994).

La radiación solar y humedad relativa tienen también un efecto en la actividad metabólica de las plantas influyendo en la concentración de azúcares libres y contenidos de los componentes de la pared celular FDN y FDA, (Herrera, 1999).

A mayor intensidad de luz se reduce la producción de materia seca, particularmente la fracción de grano, pero tiende también a promover el incremento del valor nutritivo en rastrojo de maíz o la reducción de la concentración de los constituyentes totales de la pared celular (Coors, *et al.*, 1994).

#### 4.2.1.3. Viento

La velocidad del viento afecta el comportamiento de los forrajes, a mayor viento más evaporación, provocando mayor consumo de agua por las plantas, especialmente si ocurre en el periodo de polinización y llenado de grano, (Herrera, 1999).

#### 4.2.1.4. Fotoperíodo

El fotoperíodo en el maíz tiene influencia en el crecimiento, formación de flores, semillas y frutos, extensión de ramificaciones, forma de hojas, formación de pigmentos, pubescencia, desarrollo radicular y muerte de la planta. El maíz se considera una planta de fotoperíodo corto (Reyes, 1990), aunque algunos autores

como Robles (1990) la consideran una planta insensible al fotoperíodo debido a que se adapta a regiones de fotoperíodos neutros, cortos o largos.

La variación estacional de la luz afecta la calidad del forraje. El cosechado en primavera, tiene mayor contenido de hojas y proteínas, que el producido en el verano, considerando que todos tienen el mismo estado de madurez. Una disminución de 30 a 40% en la intensidad de la luz produce un retraso en la madurez de 5 a 6 días. Las variedades tardías son más sensibles a la falta de luz (Llanos, 1984).

#### 4.2.1.5. Precipitación

Los climas lluviosos, calidos y húmedos favorecen la lignificación de la planta y reduce la digestibilidad. La precipitación puede disminuir la calidad del forraje al romper y destruir las hojas (una vez cortado), lixiviar los nutrientes y prolongar la respiración (Van Soest, 1998).

#### 4.2.2. Factores Edáficos

El suelo es importante por su textura, estructura, contenido de elementos orgánicos e inorgánicos, humedad, aireación, temperatura, flora microbiana, conductividad eléctrica y su capacidad de intercambio catiónico (Robles, 1990). Estos factores están relacionados con la capacidad del suelo para proveer a la plantas las condiciones necesarias para crecer, producir la calidad y cantidad de forraje esperada (Núñez, 1993).

#### 4.2.3. Material Genético

El genotipo es el material que constituye a un individuo, compuesto de numerosas sub-unidades llamadas genes, posee propiedades físicas y químicas específicas que determinan la naturaleza del fenotipo. Esta definición de genotipo incluye tanto a híbridos como variedades cuando se habla de un cultivo determinado, sin hacer distinción alguna entre ambos. Numerosos estudios presentan grandes diferencias entre genotipos para la expresión de una misma característica tanto en forma cualitativa como cuantitativa. Una gran diversidad de estudios experimentales en maíz para forraje demuestran diferencias entre genotipo en producción y calidad (Robles, 1990).

#### 4.2.4. Manejo Agronómico

El manejo agronómico es importante para obtener máximo rendimiento y calidad. La tecnología para lograr estos resultados se describe a continuación.

##### 4.2.4.1. Preparación del Terreno

La siembra del maíz convencional incluye un barbecho de 30 cm de profundidad (necesario después de la alfalfa) rastreo doble, nivelación con pendiente de 2 cm por cada 100 m con método convencional o equipo con rayo láser y trazo de riego. Cuando se va a sembrar maíz en verano como segundo cultivo, se puede eliminar el barbecho y aplicar riego o bien sembrar en seco en un suelo adecuadamente rastreado y nivelado (Reta, *et al.*, 2002).

##### 4.2.4.2. Época de Siembra

a) Primavera: En función de mejor rendimiento se recomienda sembrar del 1° al 30 de abril aunque es posible realizar la siembra desde del 15 de marzo, es importante considerar que en esta época existen aun probabilidades de heladas tardías, y se presenta un retraso en el desarrollo del cultivo.

b) Verano: Se puede sembrar desde el 1° de junio al 30 de julio. En esta época frecuentemente se presenta una disminución de rendimiento entre 25 y 30 %, debido a factores ambientales como alta temperatura y fotoperíodo más corto que aceleran y acortan el ciclo del cultivo.

##### 4.2.4.3. Densidad de Población

Resultados de investigación obtenidos en la Región Lagunera durante los ciclos 2000 y 2001, indican que el uso de genotipos tolerantes a altas densidades de población (86 a 112,000 plantas ha<sup>-1</sup>), y el uso de surcos estrechos permiten obtener un incremento promedio en rendimiento de forraje seco de 17%, sin disminuir la calidad del forraje (Reta, *et al.*, 2002).

En investigaciones realizadas con dos híbridos para evaluar efectos de la irregularidad en el espaciamiento interplantas en la línea de siembra sobre el rendimiento de maíz durante el ciclo agrícola 2002/2003, se concluye que:

El efecto de niveles incrementales en la irregularidad de las distancias entre plantas de maíz sobre su rendimiento en grano y componentes, no fue diferente en los híbridos evaluados. En una misma población, los incrementos en las irregularidades de las distancias entre plantas de maíz en líneas de siembra separadas a 0.70 m sin incluir errores por duplicaciones, no necesariamente se traducen en disminución en rendimiento. El desvío estándar de la irregularidad de la distancia entre plantas no es una medida confiable para predecir y/o caracterizar diferencias de rendimiento, al comparar lotes con iguales maíces y poblaciones (Gargicvich, 2003).

El uso de alta densidad de población y adecuada distribución de plantas en el terreno, son técnicas usadas para incrementar el rendimiento de los cultivos por unidad de área. Resultados de investigación obtenidos en el Campo Experimental La Laguna indican que los mejores rendimientos se obtienen con una densidad de población de 86 a 112 000 plantas ha<sup>-1</sup> al sembrar en surcos con una separación de 38 a 60 cm, con incrementos en el rendimiento de forraje seco de 3 t ha<sup>-1</sup>. Cuando el productor utilizó genotipos tolerantes a alta densidad de población en densidades de 60 a 70 000 plantas ha<sup>-1</sup>, con la tecnología de estrechos de 86 a 112 000 plantas ha<sup>-1</sup>, se obtuvo un incremento en el rendimiento de forraje seco de 3.9 t ha<sup>-1</sup>. Los resultados de la investigación fueron válidos en terrenos de productores de la región durante los ciclos 2000 y 2001.

La calidad del forraje en este sistema de producción con surcos estrechos fue igual o superior al forraje obtenido en el sistema de producción tradicional. La buena calidad del forraje y mayor rendimiento de forraje seco, produjo una mayor producción de leche en el sistema de surcos estrechos respecto al sistema del productor (Reta *et al.*, 2002).

Las especificaciones para establecer el maíz en los métodos y densidades de poblaciones antes indicadas se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Distancia entre plantas para establecer el maíz en tres métodos de siembra y tres densidades de población. (INIFAP-CIRNOC-CELALA.).

Distancia entre surcos (cm)	90 000 Plantas ha <sup>-1</sup>	100 000 Plantas ha <sup>-1</sup>	112 000 Plantas ha <sup>-1</sup>
	Distancia entre plantas		
38	29.2	26.3	23.5
50	22.2	20.0	17.8
60	18.5	16.7	14.9

El rendimiento de materia seca aumenta con densidades mayores de 80 000 plantas ha<sup>-1</sup>, principalmente en híbridos que tienen hojas erectas, la producción de grano ha<sup>-1</sup> disminuye y la digestibilidad se reduce. En base a la mayoría de estudios, se recomienda utilizar una densidad de 80 a 90 000 plantas ha<sup>-1</sup> para la producción de ensilados de alto valor nutritivo que se vayan a emplear en la alimentación de vacas lecheras de alta producción (Núñez y Faz, 2003).

#### 4.2.4.4. Fertilización

La fertilización es un factor importante que influye en la cantidad y calidad del maíz. El nitrógeno (N) es el nutrimento que requieren los cultivos en mayor cantidad para alcanzar un rendimiento potencial. Si el abastecimiento de (N) es por debajo del requerimiento del cultivo, el rendimiento final disminuirá en proporción a la deficiencia de (N). El nitrógeno en el suelo es uno de los elementos más dinámicos y su ciclo está regulado en mayor grado por transformaciones microbiológicas y en menor grado por transformaciones físico-químicas (Figuroa, 2003).

El maíz requiere poco nitrógeno durante los primeros 20 a 30 días después de la siembra (dds); etapa de lento crecimiento después de la emergencia de plántulas. De los 50 a los 60 dds se da la mayor absorción de nitrógeno (N), hasta llegar a 9.0 Kg N ha<sup>-1</sup> por día, lo cual coincide con la aparición de la espiga. Después de los 60 días posteriores a la siembra, el requerimiento de nitrógeno (N) disminuye aceleradamente hasta los 70 dds y se estabiliza alrededor de 2.0 Kg N ha<sup>-1</sup> por día (Figuroa, 2003).

El contenido de proteína en grano disminuye al incrementar el nivel de N. Al corregir deficiencias de N, el rendimiento de grano incrementa en un promedio de 20% (Lianne, 1999). Sin embargo Núñez (1993) señala que una limitante de la aplicación de niveles altos de nitrógeno es la acumulación de nitratos.

Resultados de investigación en la Región Lagunera indican que el maíz demanda mayores cantidades de N entre las etapas de inicio de encañe e inicio de crecimiento de mazorca, razón por la que se debe aplicar la mayor proporción de N en el primer auxilio. Sin embargo es muy importante aplicar N en el segundo y tercer riego de auxilio para lograr una adecuada formación y llenado del grano (Reta, *et al.*, 2003).

El fósforo (P) es el segundo nutriente en importancia por la cantidad requerida por las planta. La dinámica del P en el suelo es diferente a la del N. El P es prácticamente inmóvil en el suelo, debido a que se fija o se adhiere fácilmente a las partículas de suelo (Figuroa, 2003).

El maíz demanda una cantidad considerable de potasio (K). Sin embargo, de acuerdo con los resultados obtenidos en el INIFAP, solo se recomienda aplicar N y P debido a que generalmente existe una alta disponibilidad de K en los suelos de la región lagunera (Figuroa, 2003).

Estudios realizados en la Región Lagunera indican que por cada tonelada de forraje seco a producir se requieren 12.0 Kg de N, 3.6 de  $P_2O_5$  Y 20.5 de  $k_2O$ . Sin embargo, el rendimiento del cultivo varia de acuerdo al ciclo del cultivo, sistema de producción, genotipo, densidad de población, programa de fertilización, así como del calendario y lámina de riego (Reta, *et al.*, 2003).

#### 4.2.4.5. Riego

En un uso eficiente del agua disponible es necesario conocer el requerimiento de agua del cultivo o evapotranspiración, (Faz y Núñez, 2003). Los mayores rendimientos se obtienen con la aplicación de un riego de presembrado de una lámina de 18 a 20 cm y cuatro riegos de auxilio con láminas de 12 a 15 cm. Es posible obtener buenos rendimientos con la aplicación de tres riegos de auxilio, sin embargo frecuentemente se presenta una reducción de rendimiento de 20 a 30%, en función de las condiciones del año.

#### 4.2.4.6. Disponibilidad y calidad del agua

El riego además de ser costoso, puede generar problemas como las cargas de minerales en el agua que se añaden al suelo en cada riego (Herrera, 1999). La falta o exceso de agua tiene impacto sobre el rendimiento y calidad del forraje. Sin embargo, esta relación no es clara. El estrés severo por sequía ocasiona la pérdida de hojas y calidad del forraje, mientras que las plantas que no sufren este tipo de estrés tienen

más hojas, tallos finos, menos fibrosos y más digestibles (Medina, 1997).

Una deficiencia de humedad en el periodo de formación o llenado de grano puede que no provoque una disminución en términos de producción de forraje seco pero si afecta la calidad del mismo, incrementado FDN y disminuyendo la energía neta de la materia seca (Faz, *et al.*, 1999).

El rendimiento y calidad del maíz disminuye cuando no recibe el riego al momento de llenado de grano, (Núñez, *et al.*, 1999). El periodo de gran sensibilidad es de 20 a 30 días antes de la floración y de 10 a 15 días después, la falta de agua reduce el crecimiento del aparato vegetativo y glúcidos almacenados en el número de granos por espiga, (Cañeque y Sancha, 1998). Si la sequía es posterior, la falta de agua limita la actividad fotosintética, acelerando la movilización de reservas del aparato vegetativo y el proceso de secado de las hojas.

#### 4.2.4.7. Control de maleza

La maleza de hoja ancha y zacates provenientes de semillas, se controlan mediante el uso de mezclas de herbicidas como Atrazina + Pendimetalin a dosis de ingrediente activo ha<sup>-1</sup> de 1 kg + 1 kg; Gesaprim combi (Atrazina + Terbutrina) a 1.1 kg y Primagram (Atrazina + Metolaclor) a 1.35 kg + 1.404 kg (Reta, *et al.*, 2002).

#### 4.2.4.8. Cosecha

En surcos tradicionales de 76 a 80 cm y en surcos estrechos de 38 a 60 cm indistintamente se puede usar la misma ensiladora. El uso de genotipos precozes permite realizar la cosecha de 6 a 11 días antes que los genotipos de ciclo intermedio. (Reta, *et al.*, 2002)

#### 4.2.4.9. Etapa de corte

En un híbrido de maíz, el momento en que se cosecha la planta define el rendimiento de materia seca por unidad de superficie y valor nutritivo de la misma. Se considera óptimo el momento en que la planta alcanza un porcentaje de materia seca entre 30 y 36%, coincidiendo con la ocupación de la mitad y las tres cuartas partes del grano por el endospermo sólido (1/2 a 3/4 de la línea de leche). El momento óptimo de cosecha puede variar en función del híbrido utilizado y condiciones ambientales durante la evolución del cultivo, las que pueden afectar el rendimiento en grano y estado general de la planta (Carrette y Scheneiter, 1998).

La línea de leche marca el avance de endurecimiento por la maduración de los granos, dividiendo las zonas de almidón líquido y sólido (Núñez, *et al.*, 1998). El maíz cortado en estado mañoso lechoso tiene un 25% de mazorca, cuando se corta a un tercio de la línea de leche, el porcentaje aumenta a más de 40% y el contenido de FDN disminuye de 60 a menos de 55%.(Faz y Núñez, 2003).

En la Región Lagunera, el porcentaje de materia seca en el maíz para forraje para una buena fermentación es de 35 %, se ha observado cuando la línea de leche tiene un avance de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  del grano, ( Faz y Núñez, 2003).

#### 4.2.4.10. Altura de corte

Una estrategia para mejorar el contenido de energía de los ensilados de maíz cuando las condiciones no permiten obtener una buena calidad nutritiva, es elevar la altura de corte de tal manera que permita aumentar la relación grano-forraje. Kezar (1998) citado por Núñez y Faz Contreras (2003) reporta que por cada 15.0 cm en aumento de la altura de corte se pierde una tonelada de forraje seco  $ha^{-1}$ . Sin embargo este material que se pierde tiene una baja calidad nutricional. En Estados Unidos de América se recomienda elevar la altura de corte para aumentar el valor energético del maíz forrajero, debido a que la parte inferior de las plantas es la que tiene menor digestibilidad.

#### 4.2.4.11. Plagas

Las principales plagas del cultivo son el gusano cogollero y barrenador, así como la araña roja, pulgones, diabroticas y pulga negra (Reta, *et al.*, 2002).

Cuadro 4. Nombre técnico y común de los insecticidas y dosis para el combate de las plagas de maíz forrajero.

<b>Insecticidas</b>				
<b>Plaga</b>	<b>Nombre técnico</b>	<b>Nombre Común</b>	<b>Dosis/ha</b>	<b>IAC (DÍAS)</b>
Gusano	Clorpirifós	Lorsban 480 CE	1.0 Lt	21
Cogollero y	Diazinon	Diazinon 25 CE	1.0 lt	Sin límite
Barrenador	Cipermetrina	Cymbush 20 CE	0.5 lt	1
	Triclorfon	Dipterex 80 PS	2.0 lt	Sin límite
Araña Roja	Ometoato	Folimat 1000 CE	0.5 lt	14
	Dimetoato	Diametoato 40 CE	1.0 lt	14
	Progargite	Omite 68 CE	1.5 lt	21
Pulgón	Malatión	Malatión 1000 CE	1.0 lt	5
	Dimetoato	Rogor 40 CE	1.0 lt	14
	Ometoato	Folimat 70 LM	0.5 lt	14
Diabrotica	Paratión metílico	Paratión met. 63%CE	1.0 lt	12
	Malatión	Malatión 84 CE 24 CE	1.0 lt	5
	Cipermetrina	Cipermetrina	0.5 lt	1
Pulga negra	Carbarilo	Sevin 80 PH	1.5 lt	Sin límite
	Endosulfán	Thiodán 35 CE	1.5 – 2.0 lt	10
	Paratión metílico	Folidol M-50 CE	1.0 lt	12

#### 4.3. Riego por pivote central con su variante LEPA en maíz forrajero

El concepto LEPA (Low energy precision application) se desarrolló gracias a los esfuerzos de ingenieros agrícolas de la Universidad de Texas A & M que tenían la idea de crear un sistema para reducir los requerimientos de energía, aplicando sistemas de riego de pivote central y maximizando la aplicación del agua de lluvia y de riego (Lyle y Bordovsky, 1981).

El objetivo principal es eliminar la alta pérdida por evaporación y desarrollar un sistema de riego compatible con el surcado con bordos transversales. Este tipo de labranza es una práctica para reducir la pérdida por escurrimiento (Gerard, 1987, Lyle y Dixon, 1977).

Algunos investigadores desarrollaron prototipos de boquillas controladas que descargan el agua en forma de burbuja. Los orificios se ajustaron para soltar el agua a una altura de 50 a 100 mm (2 a 4 pulgadas) por encima de los surcos. La pérdida de agua con este sistema fue de 2 a 5%, en comparación con 25 a 30% con los sistemas convencionales de aspersión (Lyle y Bordovsky, 1983).

En el Seminario de Extensión Agrícola del Sistema de la Universidad de Texas A & M en 1983, se empezó a trabajar LEPA con los siguientes objetivos:

- 1) Hacer partícipes a los productores en el experimento.
- 2) Desarrollar un sistema LEPA en forma comercial y que fuera adecuado a los pivotes centrales nuevos o en operación.
- 3) Determinar las restricciones para el diseño y manejo del sistema. Siendo la más importantes de este esfuerzo fueron:
  - a) La reducción de costos de los materiales para LEPA y superar la resistencia de distribuidores y productores al desarrollo de esta tecnología.

En cooperación con fabricantes, se desarrollaron los cabezales del sistema LEPA, que pueden operar de tres diferentes maneras. Se bajó el regulador de presión y se combinó con la boquilla y otros componentes para formar la cabeza del LEPA y disminuir los requerimientos de presión de operación. Esto condujo al desarrollo de un LEPA con mangueras flexibles y de mayor presión. En los trabajos experimentales y pruebas de campo se encontró que la altura óptima del cabezal del LEPA es de 20 y 46 cm (8 a 18 pulgadas) sobre el terreno (Lyle y Bordovsky, 1983).

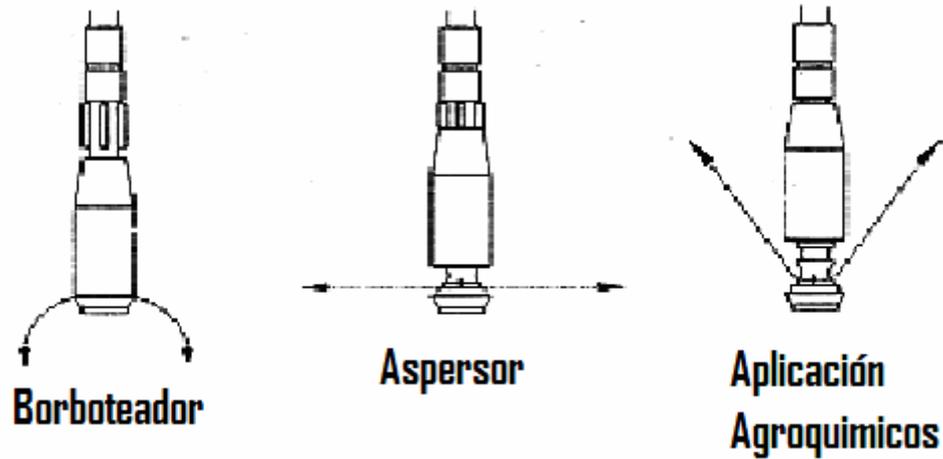


Figura 1. Tres formas de operación de un cabezal del sistema LEPA.

En la época de cultivo en 1983 y 1984, se realizaron diversos ensayos de campo en las planicies altas de Texas para determinar si los cabezales del LEPA deberían colocarse en forma terciada sobre los surcos (trazados en círculo) sin disminución de rendimientos (Cuadro 5).

En 1987 se comercializó un cabezal integral y multifuncional del LEPA (Figura 1) cuya aceptación ha ido en aumento entre los productores. Las tres formas de operación se realizan simplemente ajustando la posición de la cubierta y volteando el cojinete del espesor. Actualmente, este es el único cabezal del LEPA comercialmente disponible, aunque se reportan otros en desarrollo (Lyle y Bordovsky, 1983).

Cuadro 5. Rendimiento de cultivos en círculo con espaciamientos definidos por LEPA con descarga a cada surco y en surcos alternados en el mismo pivote central.

Cultivos	RENDIMIENTO (kg/ha)		Diferencia (%)
	en c/surco	alternados	
Maíz	13293	13372	+0.6
Maíz	11982	11948	-0.3
Maíz	11859	11758	-0.8
sorgo grano	529	527	-0.4
remolacha de azúcar	54406	55594	+2.1

Sistema de datos:

altura de bombeo = 250 ft. (pies)

pérdidas por fricción en el sistema = 22 psi (lb/pulg<sup>2</sup>)

presión de operación = 90 psi

gasto del sistema = 900 gpm (galones por minuto)

tiempo anual de operación = 2500 horas

**Consideración:** la planta de bombeo de diesel cumple las normas de funcionalidad de Nebraska: cada galón de diesel proporcionará 12.5 caballos de fuerza-hora de agua.

#### 4.3.1. LEPA y otros sistemas de baja presión

El LEPA difiere de otros tipos de boquillas y cabezales de baja presión de varias formas, generalmente opera con presión baja y tiene mayor eficiencia de aplicación y distribución de agua para riego. La característica distintiva del LEPA es su flexibilidad para producir un patrón de distribución de agua de alta eficiencia que minimiza la pérdida por aspersion y conserva secas las hojas de las plantas. Un verdadero cabezal de LEPA producirá dos patrones de aspersion adicionales. El modo de aspersion horizontal se diseñó para pre-riego, germinación de semilla, aplicación de herbicidas y agroquímicos en cultivos de follaje bajo. La forma de aplicación de agroquímicos se diseñó para rociar la mezcla agua/agroquímicos en cultivos altos como el maíz. Una ventaja de la forma de aplicación de agroquímicos es que se pueden rociar fácilmente las hojas por su parte inferior (Lyle y Bordovsky, 1983).

#### 4.3.2. Ahorro de agua y energía

La diferencia entre LEPA y otros tipos de sistemas de aspersion de pivote central, puede ilustrarse examinando una situación en particular. Los Cuadros 6 y 7 resumen el ahorro potencial de agua y combustible con LEPA para sistemas de pivote central típico localizado en el área de Winter Garden al sur de Texas. Los cálculos se hicieron para un pivote de un cuarto de milla (400 m) instalado originalmente con impactos de presión alta y bajo las siguientes condiciones:

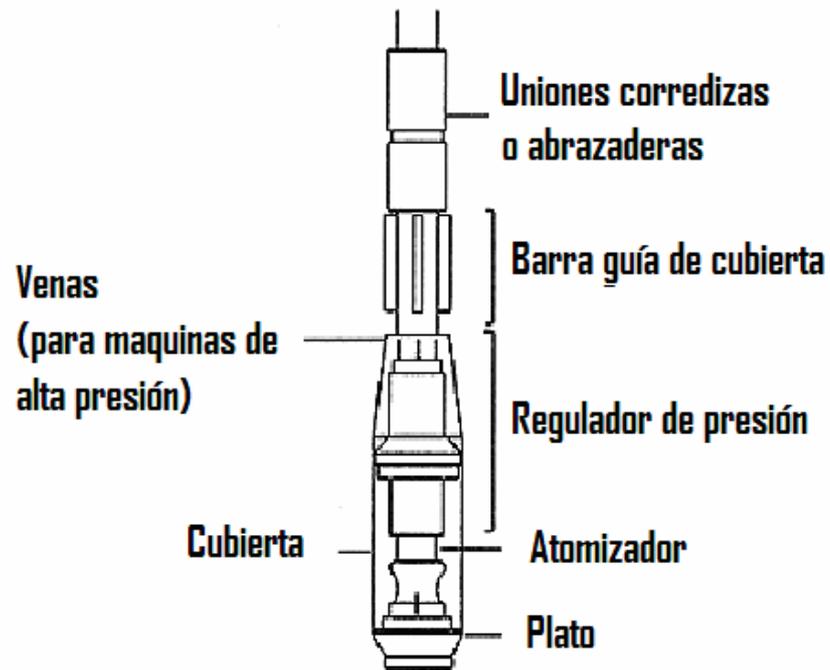


Figura 2

Diagrama del único cabezal multifuncional disponible en el mercado.

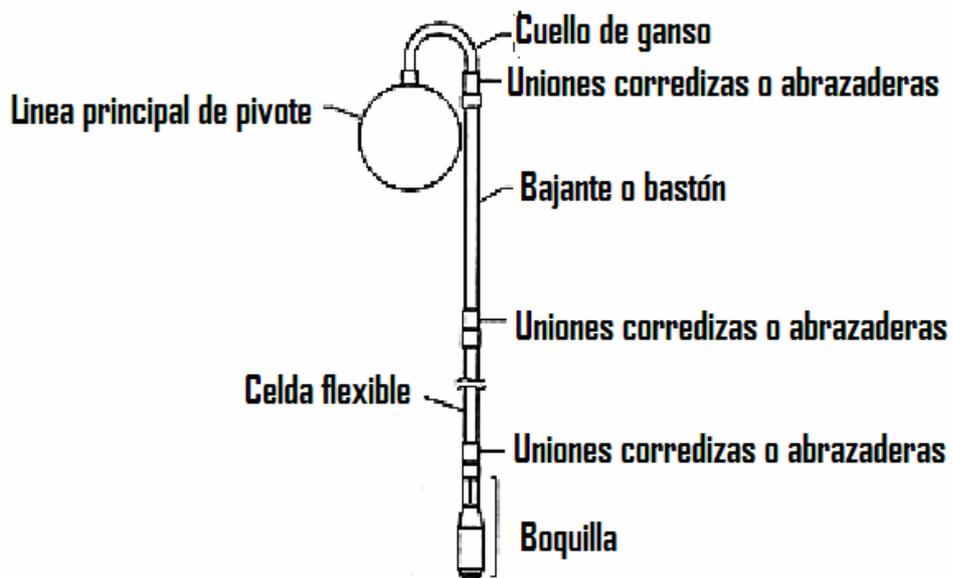


Figura 3

Arreglo típico del tubo de caída para riego con LEPA.

Cuadro 6. Sistemas de aspersión para un pivote central de 1/4 de milla, operando a 900 galones por minuto. Las estimaciones se basaron en dotaciones de 248 acres-pie de agua para el cultivo, ajustando por pérdidas de eficiencia de aplicación en cada sistema.

<b>Sistema</b>	<b>Eficiencia<sup>1</sup> (%)</b>	<b>Presión de operación</b>	<b>Horas de operación<sup>2</sup></b>	<b>TDH<sup>3</sup> (pies)</b>
Impactos de alta presión	60	90 psi	2500	509
Boquillas de baja presión	80	40 psi	1875	393
LEPA	95	20 psi	1579	347

<sup>1</sup>Eficiencia de aplicación supuesta para cada sistema. <sup>2</sup>Horas de operación promedio anual consideradas en las eficiencias de aplicación de cada sistema. <sup>3</sup>TDH=carga dinámica total=altura de bombeo+pérdidas de carga por fricción+presión de operación.

Cuadro 7. Volumen total de agua bombeada y galones de diesel consumidos para los sistemas del cuadro 6.

<b>Sistemas</b>	<b>Volumen de agua (acre-pie)</b>		<b>Diesel (galones)</b>
	<b>Bombeada</b>	<b>Aplicada al cultivo</b>	
Impactos de alta presión	414	248	23,260
Caídas de la boquillas de baja presión	310	248	13,486
LEPA	262	248	10,023

#### 4.3.3. Evaluación en campo del LEPA

Los ensayos de campo permitieron comparar los rendimientos obtenidos en LEPA y los pivotes centrales comerciales equipados en sistemas parcialmente adaptados (New y Fipps, 1990). Los rendimientos utilizando LEPA o los sistemas convencionales se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Rendimiento bajo LEPA y sistemas con equipo convencional en el mismo pivote (Fipps y New, 1990).

CULTIVO	RENDIMIENTO <sup>2</sup> (lib/acre)		INCREMENTO <sup>1</sup>	
	LEPA	Convenc.	(lib/acre)	\$/acre
maíz aislado	56000	51400	4600	41
maíz (azul)	1909	1763	146	54
Algodón	797	705	92	-
chícharo (vaina morada)	1267	1055	262	42
cacahuate (Pronto)	4765	4445	320	52
cacahuate (McRan)	4235	3725	510	115
cacahuate (NC7)	4310	3210	1100	203
cacahuate (Gk-7)	6462	6050	412	53
Cacahuate	6534	5978	556	120
Cacahuate	3689	3267	422	177
Remolacha	8260	7360	900	151
Cacahuate	5449	4756	693	-
Cacahuate	5440	4370	1070	233

<sup>1</sup>Precio bruto que recibe el productor. <sup>2</sup>Rendimiento en libras de azúcar por acre.

En áreas con escasez de agua para riego los rendimientos son mayores cuando se utiliza LEPA que otros sistemas con equipo convencional, debido a que el cultivo recibe mayor volumen de agua. En donde el agua no es limitante, se alcanzan rendimientos de maíz similares, aplicando sólo de 67 a 80% del agua aplicada por métodos convencionales.

#### 4.3.4. Conversión al sistema LEPA

Las caídas de LEPA se realizan cada tercer surco. Éste se ajusta cerca de las torres para dejar una caída fuera de los carriles y así no mojarlos. En el cultivo de

granos y vegetales las caídas se hacen a cada surco. A continuación se dan algunos lineamientos para adaptar a sistemas LEPA (mayor información y detalles en (New y Fipps, 1990).

El espaciamiento entre surcos terciados es menor que el espaciamiento entre surcos usados con otros tipos de sistemas de aspersión de pivote central. Por esto se requirieron más caídas y salidas en la línea principal para el pivote. Para acomodar las salidas adicionales requeridas por LEPA, los fabricantes de pivotes centrales ofrecen ahora caídas espaciadas entre 1.5 ó 2 m (60 a 80 pulg) en la línea principal. Cualquier espaciamiento se ajusta convencionalmente en tramos de 48 m de longitud. Esta longitud y espaciamiento facilitan el cultivo en círculo. Un “cuello de ganso” regular o brazo de surco se conecta a la salida de la línea principal. Los cabezales de LEPA se fijan a una manguera flexible que se conecta a una caída rápida estándar o directamente al cuello de ganso (Figura 3) (New y Fipps, 1990).

Las salidas de agua en las líneas principales de los pivotes centrales existentes están espaciadas usualmente entre 2.6 y 3 m. Debido a que las caídas de LEPA están colocadas en el tercer surco (usualmente de 5 a 6 pies de separación), se requiere tubería adicional. La conversión a LEPA puede lograrse con uno de los siguientes métodos:

- a) Usando las salidas con codos, piezas T y abrazadera.
- b) Agregando salidas adicionales.

Para utilizar las salidas existentes se colocan los codos y tes que se requieran para dotar de agua las caídas adicionales. Las caídas se fijan a la línea principal del pivote central, usando abrazaderas especialmente diseñadas que se ajustan exactamente a cada diámetro individual en la línea principal. La caída se conecta a cada codo o T con una tubería flexible perforada de polietileno y colocada a presión. Las nuevas salidas podrán instalarse usando un cople - “swedge” hecho de una aleación de metal por Lindsay Corporation. Este cople se inserta en una perforación en la línea principal y con una prensa hidráulica se comprime el cople contra la parte interior de la tubería, haciendo un sello hidráulico. Los cuellos de ganso se atornillan en el cople. La conversión a LEPA también puede lograrse soldando coples de roscas en la línea existente. La soldadura destruye la cubierta galvanizada, porque los coples soldados se aplican en líneas principales sin galvanizar. Al igual que los coples

swedge, los cuellos de ganso existentes y caídas podrán usarse con los coples soldados (New y Fipps, 1990).

#### 4.3.5. Manejo del agua con LEPA

LEPA comparado con pivotes centrales de equipo convencional, aseguran que por lo menos un 20% o más del agua llegará a los cultivos. Asimismo, el agua descargada al surco cubrirá una menor área de suelo. Es muy probable que ocurra escurrimiento, especialmente en suelos arcillosos, a menos que se tracen surcos con bordos profundos o cualquier otra práctica para mejorar la infiltración del agua. El pivote se tendrá que mover a mayor velocidad, para compensar el agua adicional que alcanza el suelo. Los surcos con bordos transversales son uno de los métodos más efectivos para reducir pérdidas por escurrimiento. Es una práctica de labranza mecánica que consiste en colocar montículos de suelo a lo largo del surco a ciertos intervalos para que se estanque el agua. El agua de lluvia o de riego es atrapada y se conserva en los pequeños almacenamientos hasta que se infiltra en el suelo. Se encontró que estas prácticas reducen escurrimiento e incrementan los rendimientos agrícolas (Jones y Clark, 1982; Lyle y Dixon, 1977). Gerard (1987) presenta en forma detallada estas prácticas.

Otro método para reducir el escurrimiento y mejorar la distribución del agua dentro del suelo es el cultivo en círculos. Esto es cierto tanto para LEPA como para sistemas de pivote central convencionales. Asimismo, cuando los cultivos se plantan en círculo, el pivote nunca descarga toda el agua en pocos surcos. Se recomienda la programación del riego usando instrumentos de monitoreo (ej. tensiómetros o bloques de yeso). Para monitorear la operación del sistema y asegurarse que se entrega la presión adecuada, se instala un medidor de presión en la última caída al final de la línea principal. Los reguladores de presión de 6 psi usados con la mayoría de los cabezales LEPA requieren por lo menos una presión de entrada de 62 KPa (9 psi) para operar adecuadamente.

#### 4.3.6. Aplicación de agroquímicos con LEPA

En los Estados Unidos, toda aplicación de agroquímicos se debe hacer de conformidad con el programa de mejoramiento de marcas de la Agencia de Protección

del Medio Ambiente de E.U.A de 1988 y aplicable a los reglamentos estatales. Investigaciones realizadas han probado que LEPA proporciona la aplicación efectiva y segura de fungicidas y herbicidas (Bynum *et al.*, 1988).

El modo de aplicación de agroquímicos con LEPA se diseñó para dirigir el agua y agroquímicos hacia arriba, hasta la parte alta de los cultivos, con objeto de tratar en forma efectiva la parte inferior de las hojas (Figura 1). El cambio de aplicación de agroquímicos en un pivote de 400 m le toma a una persona menos de una hora. New (1990 y New *et al.* 1989).

#### 4.3.7. Aplicación de insecticidas

En la aplicación de insecticidas en el aire o suelo, a los insecticidas comerciales se les añade productos emulsivos para asegurar una buena mezcla con el agua. Sin embargo, de una mezcla de insecticida con el agua puede resultar que el insecticida se remueva de la planta por el agua de riego. En estos casos, se recomiendan portadores de aceite. Es por eso que los insecticidas más apropiados en la aplicación de agroquímicos son aquellos insolubles en el agua pero solubles en aceite. Puesto que la mayoría de los insecticidas contienen productos emulsivos, será necesario añadir aceite no-emulsionante para anular los efectos del emulsionante. Algunos insecticidas tienen baja solubilidad al agua, por lo que no siempre se requiere portador de aceite. Otros insecticidas son fácilmente solubles en agua y no así al aceite.

Estos insecticidas funcionarán pobremente, puesto que su alta solubilidad en el agua no se puede nulificar mezclándola con aceite. Con igual éxito se han usado aceites no emulsivos de origen vegetal o petrolero. Usualmente los aceites se mezclan 1:1 con el insecticida. Si se usa aceite vegetal (semilla de algodón, soya) sólo se debe usar una vez refinado, así como los emulsivos que se añaden durante los últimos refinamientos.

#### 4.3.8. Aplicación de agroquímicos en el maíz con LEPA

La investigación ha demostrado que los ácaricidas pueden aplicarse en forma efectiva en la parte inferior de las hojas de maíz (el área donde viven los ácaros) con pivote central LEPA y modificado para aplicación de agroquímicos (Lyle *et al* 1989). Resultados detallados de pruebas de campo muestran que la cobertura de la parte

anterior de las hojas inferiores del maíz, aplicando los agroquímicos “Comite” y “Capture” con LEPA, propiciaron un excelente control de ácaros (New *et al.*, 1990). El aceite de semilla de algodón no emulsificado de 1.75 a 2.34 L ha<sup>-1</sup> se puede mezclar con “Comite”, “Capture” o dimetoato, antes de la inyección para el control de ácaros.

## V. MATERIALES Y METODOS

### 5.1. Localización y Características del sitio Experimental

El presente trabajo se realizó en el Rancho Beta San Gabriel, ubicado en el Ejido de Tanque Nuevo, Municipio de Cuatrociénegas, Coahuila, ubicado entre los 26° 34' Latitud Norte y 102° 12' 31'' Longitud Oeste.

El tipo de suelo donde se estableció el cultivo es de textura limosa, pH 7.6 y Conductividad eléctrica 2.2 dS m<sup>-1</sup>.

### 5.2. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron tres híbridos de maíz forrajero en los cuales se utilizo un pivote central por híbrido. La parcela útil constó de cuatro surcos de 6.0 m de longitud y 0.75 m entre surcos. La parcela experimental consto en dividir el área del pivote en cuatro partes (cuadro 9).

### 5.3. Siembra

La siembra se realizó en tres fechas, dado que los tratamientos se establecieron en tres diferentes pivotes centrales que cuentan con variante (LEPA), lo cual consiste en que el equipo requiere menor energía para eficientar la aplicación del riego, mejorar la cama de siembra y para la retención del agua aplicada se construyeron corrugaciones de 75 centímetros de separación, estableciéndose una población de 93 000 plantas ha<sup>-1</sup> (Cuadro 9). La superficie total cultivada por híbrido y pivote fue de 71-48-00 has.

Cuadro 9. Fecha de siembra, híbrido y número de pivote. Beta San Gabriel municipio de Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP-UAAAN.UL.

Fecha de Siembra	Híbrido de maíz forrajero	No. de pivote
23 – 07 – 06	3025 W	3
26 – 07 – 06	Oso	2
02 – 08 - 06	DK 2020	8

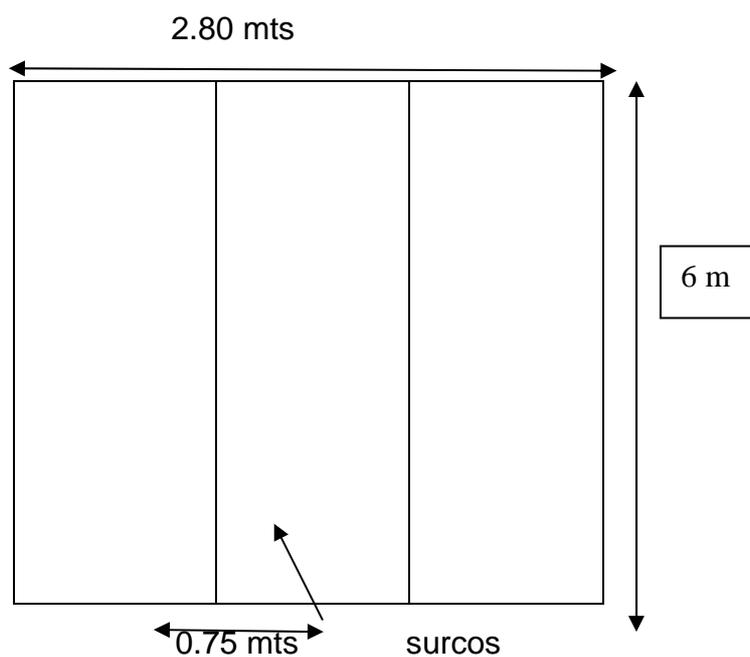


Figura 4. Esquema de parcela útil.

#### 5.4. Sistema de riego

El sistema de riego por pivote central constó de una tubería principal de 8" en los dos primeros rodados. En los siguientes tres rodados la tubería fue de 6" y en los tres restantes fue de 4". La distancia del punto principal hasta el ultimo bastón regante fue de 470 m, la separación de cada bastón fue de 1.50 m a una altura de 0.40 m de la superficie del suelo.

El primer riego se realizó una vez efectuada la siembra. Los riegos posteriores se realizaron por medio de lecturas de la estación meteorológica ubicada en el mismo rancho, por medio de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>) donde se aplicó riego diariamente y el cálculo del consumo del agua requerido por el cultivo.

#### 5.5. Prácticas de cultivo

##### 5.5.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno se incluyó barbecho, rastreo y nivelación, de acuerdo a las recomendaciones del paquete tecnológico para el cultivo de maíz forrajero (Núñez, 2006) a excepción de la densidad de siembra y riego. El corrugado y el entarquinado se hizo después de la emergencia de plántula, con el propósito de lograr una mayor acumulación de agua sobre la superficie y evitar el escurrimiento.

##### 5.5.2. Plagas

Las principales plagas que se registraron en los muestreos realizados fueron Gusano cogollero, mosquita blanca y diabrotica. En su control se aplicó clorver en dosis de 2.0 l/ha<sup>-1</sup>. Posteriormente se aplicó la combinación de 1.0 l/ha<sup>-1</sup> de clorver más 1.0 l/ha<sup>-1</sup> de citrin. Las aplicaciones en el sistema de riego se hicieron directamente a las conexiones del pivote central equipado con una bomba de inyección de pistón y la solución se depositó en recipientes de 2500 l. Las aplicaciones se hicieron a los 15 y 31 días después de la siembra respectivamente. Cuatro días después se realizó un muestreo para verificar el efecto de la aplicación, observándose resultados satisfactorios. Este procedimiento se realizó en los tres híbridos de maíz forrajero.

### 5.5.3. Fertilizantes

La fertilización consistió en aplicar Nitrógeno y Fósforo a partir de la segunda semana y a los 31 días después de la siembra, utilizando la dosis 220-80-00. La aplicación se realizó directamente a las conexiones del pivote central equipado con una bomba de inyección de pistón y un recipiente de 2500 litros. Las fuentes de fertilizante fueron fosfonitrato y fosfato monoamónico, este procedimiento se llevo a cabo en los tres híbridos.

## 5.6. Variables evaluadas

### 5.6.1. Materia Seca (MS)

En cada híbrido se obtuvieron muestras de planta completa en 1.0 m lineal. El muestreo fue destructivo, las plantas se obtuvieron fuera de la parcela experimental, (el pivote central se dividió en 4 partes iguales y en cada división se definió el metro lineal). Cada 15 días se cosecharon plantas a nivel del suelo, se pesaron en verde y posteriormente se obtuvo el peso seco (materia seca).

El peso seco se obtuvo se separando hojas, tallos, espigas, mazorca y brácteas de la mazorca. Posteriormente se cortaron en pequeños trozos, y se introdujeron en bolsas de papel perforadas. Estas bolsas se colocaron en estufas con circulación de aire forzado a 75 °C por 72 h hasta alcanzar el peso constante.

El porcentaje de MS se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MS} = (P_s / P_f) * 100$$

Donde:

MS= Contenido de materia seca (%).

P<sub>s</sub>= peso de la muestra en seco (g).

P<sub>f</sub> = Peso de la muestra en fresco (g).

Cuadro 10. Fechas de muestreo por híbrido para materia seca. Beta San Gabriel municipio de Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP-UAAAN.UL.

3025 W (dds)*	Oso (dds)	DK 2020 (dds)
18	15	-----
24	21	14
50	47	40
60	57	50
67	64	57
78	75	68

\* dds > días después de la siembra.

#### 5.6.2. Rendimiento de Forraje Verde

El rendimiento de forraje verde se obtuvo al cosechar las plantas al nivel del suelo en cada parcela útil consistente en 4 surcos de 6 m de longitud. Esto fue por híbrido y repetición, obteniéndose al pesar la producción de forraje verde total por parcela útil, cuya área fue de 18 m<sup>2</sup>, posteriormente se calculó el peso fresco en Kg m<sup>-2</sup> y el rendimiento por hectárea en t ha<sup>-1</sup>.

#### 5.6.3. Rendimiento de Forraje Seco

Con el rendimiento de forraje verde (t ha<sup>-1</sup>), realizado dentro de la parcela útil y el último muestreo dentro de la parcela experimental para obtener el % MS de cada híbrido, se determinó el rendimiento de forraje seco por hectárea, para lo cual se utilizó la siguiente fórmula:

$$RFS = RFV (\%MS)$$

Donde:

RFS = Rendimiento de Forraje Seco

RFV= Rendimiento de Forraje verde

MS = Materia Seca.

#### 5.6.4. Eficiencia en Uso de Agua.

La eficiencia en uso de agua se obtuvo dividiendo la producción de forraje seco ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) en cada tratamiento entre el volumen total de agua aplicado ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ). La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{EUA} = \text{Fs} / \text{Vol.}$$

Donde:

EUA = Eficiencia en Uso de Agua ( $\text{Kg m}^3$ ).

Fs = Forraje Seco ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ).

Vol = Volumen de Agua ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ).

#### 5.5.5. Calidad de Forraje

El análisis de calidad de forraje se realizó en muestras de cada tratamiento y repetición en el laboratorio de Bromatología del Campo Experimental La Laguna. El análisis fue realizado por medio del Espectrofotómetro de Rayo Cercano a Infrarrojo, (NIRS). Los resultados obtenidos fueron analizados cuantitativamente.

#### 5.6. Análisis Estadístico.

El análisis estadístico de los datos se efectuó utilizando el paquete estadístico de la FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L. (Olivares, 1994).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Materia seca

La producción de materia seca expresada en  $t\ ha^{-1}$ , en cada órgano de la planta presentó diferencia estadística significativa entre híbridos para mazorca y materia seca total por hectárea. Mientras que la producción de materia seca para tallos, hojas, brácteas de la mazorca y panoja no presento diferencia entre los híbridos evaluados, (Cuadro 11).

En producción de mazorca, se encontró que el híbrido DK 2020 fue superior a los demás híbridos, y el 3025 W superior al híbrido Oso. Los valores de materia seca para DK 2020 fueron de  $9.0\ t\ ha^{-1}$  que son  $0.9$  y  $2.0\ t\ ha^{-1}$  superior a la obtenida para los híbridos 3025 W y Oso, respectivamente.

En producción de materia seca total, los híbridos DK 2020 y 3025 W fueron iguales estadísticamente pero superiores al híbrido Oso. El híbrido DK 2020 superó en  $3.27\ t\ ha^{-1}$  a Oso, mientras que 3025 W supero a Oso en  $2.1\ t\ ha^{-1}$ .

Los valores de materia seca para tallo osciló de  $4.0$  a  $4.7\ t\ ha^{-1}$ , hojas de  $2$  a  $3\ t\ ha^{-1}$ , brácteas de mazorca de  $1.5$  a  $2.0\ t\ ha^{-1}$  y panoja fueron iguales no hubo variación.

Cuadro. 11. Distribución de materia seca  $t\ ha^{-1}$  en tres híbridos de maíz forrajeros bajo pivote central (LEPA). Beta San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP – UAAAN-UL.

Híbridos	Tallos	Hojas	Mazorca	Brácteas de mazorca	Panoja	Materia Seca Total
$t\ ha^{-1}$						
Oso	4.2	2.0	7.0 c	1.5	0.15	14.85 b
3025 W	4.7	2.2	8.1 b	1.8	0.15	16.95a
DK 2020	4.0	3.0	9.0a	2.0	0.15	18.15a
Significancia			*			*

### 6.1.1. Distribución de materia seca en sus diferentes organos.

Los datos obtenidos en distribución de materia seca en los diferentes organos de la planta fueron estadísticamente diferentes entre híbridos para tallo, hoja y mazorca. El híbrido DK 2020 fue estadísticamente diferente a los otros dos híbridos en porcentaje de distribución de materia seca en hojas y mazorca. El híbrido 3025 W y Oso fueron estadísticamente iguales entre si (Cuadro 12).

Referente a la distribución de la materia seca para tallos se encontró que los híbridos Oso y 3025 W fueron estadísticamente iguales al 5 % de probabilidad y diferentes al híbrido DK 2020. Los valores de distribución de materia seca para tallos fue de 27.7 a 28.3 % para 3025 W y Oso estadísticamente similares, mientras que en el híbrido DK 2020 fue de 22 %. En hojas se encontraron valores de distribución de 13 a 13.5 % para Oso y 3025 W siendo estadísticamente similares, mientras que para DK 2020 fue de 16.5 %. En mazorca los valores de distribución para Oso y 3025 W fueron de 47.1 y 47.8 % estadísticamente iguales, mientras que para DK 2020 fue de 49.6 %. En brácteas de mazorca los valores de distribución para Oso y 3025 W fue de 10.10 a 10.60 %, siendo estadísticamente similares y para DK 2020 fue 11.00%. En cuanto a los valores de distribución para panoja fueron estadísticamente iguales en Oso, 3025 W y DK 2020 fue 1.00% (Cuadro 12).

Cuadro.12. Distribución de materia seca (%) en los diferentes componentes de rendimiento de tres híbridos de maíz forrajero irrigados con Pivote Central (LEPA). Beta San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP – UAAAN-UL.

Híbrido	Tallos	Hojas	Mazorca	Bracteas de mazorca	Panoja	Total
	%					
Oso	28.30	13.50 b	47.10 b	10.10	1.00	100
3025 W	27.70	13.00 b	47.80 b	10.60	1.00	100
DK 2020	22.00	16.50a	49.60a	11.00	1.00	100
Significancia	*	*	*			

## 6.2. Rendimiento de forraje verde y seco

El análisis de varianza para rendimiento de forraje verde y seco detectó diferencia estadística significativa entre tratamientos. El híbrido DK 2020 fue estadísticamente superior a los híbridos Oso y 3025 W. La producción de forraje verde y seco del híbrido DK 2020 fue de 56.5 y 15.11 t ha<sup>-1</sup>, la cual en forraje verde fue 4.0 y 7.25 t ha<sup>-1</sup> mayor para el 3025 W y Oso, respectivamente; y de 0.38 a 1.77 t ha<sup>-1</sup> superior a 3025 W y Oso, respectivamente en forraje seco (Cuadro.13).

Cuadro 13. Rendimiento de forraje verde y seco t ha<sup>-1</sup>, de tres híbridos de maíz forrajero bajo riego por pivote central (LEPA). Beta San Gabriel, Cuatrociénegas Coahuila. Verano 2006. INIFAP – UAAAN-UL.

Híbrido	Forraje verde (t ha <sup>-1</sup> )	Forraje seco (t ha <sup>-1</sup> )
Oso	49.25 b	13.34 b
3025 W	52.25 a	14.73 a
DK 2020	56.50 a	15.11 a

## 6.3. Eficiencia en Uso de Agua

La eficiencia en uso de agua fue estimada como los kilogramo de forraje seco por metro cúbico de agua aplicada y es expresada en kg m<sup>-3</sup>. La eficiencia en uso de agua más baja se obtuvo en el híbrido de maíz DK 2020 con un valor de 2.68 kg m<sup>-3</sup>, mientras que el valor más alto de eficiencia en uso de agua fue de 2.88 a 2.89 kg m<sup>3</sup> correspondiendo a los híbridos de maíz Oso y 3025 W. La diferencia entre estos dos tratamientos y el DK 2020 fue de 0.20 kg m<sup>3</sup>. Los valores encontrados en el presente estudio se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro.14. Eficiencia en uso de agua en tres híbridos de maíz forrajero. Beta San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP – UAAAN-UL.

Híbrido	Forraje seco Kg ha <sup>-1</sup>	Volumen de agua m <sup>-3</sup> ha <sup>-1</sup>	Eficiencia en el uso del agua Kg m <sup>-3</sup>
Oso	14,850	5150	2.88
3025 W	16,950	5850	2.89
DK 2020	18150	6750	2.68

#### 6.4. Calidad del forraje

##### Proteína cruda (PC)

Los valores en contenido de proteína cruda entre tratamientos fue similar, observando que el mayor contenido lo presentó el híbrido DK 2020 con un valor de 9.27 %, mientras que para los híbridos 3025 W y Oso fueron estadísticamente similares, con un valor de 8.70 a 8.82 % (Cuadro.15).

##### Fibra Neutro Detergente (FND)

En contenido de fibra neutra detergente el híbrido DK 2020 fue estadísticamente superior a lo híbridos 3025 W y Oso. El valor de fibra neutro detergente para el híbrido DK 2020 fue 53.77 % que es un 2 y 3.5 % superior a la obtenida por los híbridos 3025 W y Oso. Esto indica que el sistema de riego con pivote central (LEPA) no afectó el contenido de fibra neutro detergente.

Los criterios para la clasificación de fibra neutro detergente según Herrera 1999, se considera de baja calidad mayor de 60 %, mediana calidad de 52 a 60 % y alta, menor de 51 %. Estos resultados indican que el forraje obtenido en los tres tratamientos es de buena calidad (Cuadro. 2).

##### Digestibilidad

La digestibilidad es una medición de uso común para conocer la utilización de los nutrientes, alimentos o dietas, permite conocer el grado de aprovechamiento por el animal. El valor usualmente utilizado es el coeficiente de digestibilidad expresado como % de la materia seca (Castellanos *et al.*, 1990). Los criterios para la clasificación de digestibilidad según Herrera 1999, se considera de baja calidad menor de 60 %, mediana calidad de 61 a 67 % y alta mayor de 68 %, (Cuadro 2).

En relación al % de digestibilidad, se encontró que el híbrido 3025 W fue estadísticamente superior a los demás híbridos. Oso a su vez fue estadísticamente superior al híbrido DK 2020. El valor de % de digestibilidad para 3025 W fue 76.05 % que es 5 y 7 % superior a la obtenida para los híbridos Oso y DK 2020, respectivamente. En este sentido los resultados de este estudio indican altos valores porcentuales de digestibilidad para los tres híbridos, lo cual les confiere una alta calidad nutricional, Cuadro 15.

Cuadro.15.- Proteína cruda, Fibra Neutro Detergente y % de digestibilidad de tres híbridos de maíz bajo de riego con pivote central (LEPA). Beta San Gabriel, Cuatrociénegas, Coahuila. Verano 2006. INIFAP-UAAAN.UL.

Híbrido	Proteína cruda	FND	Digestibilidad
	%		
Oso	8.70 b	52.60 b	72.25 a b
3025 W	8.82 a b	51.90 a b	76.05 a
DK 2020	9.27 a	53.77 a	70.52 b
CV (%)	3.74	5.01	6.72

## VII. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo, se concluye lo siguiente:

- En producción de materia seca, rendimiento de forraje verde y seco el híbrido DK 2020 presentó el mayor rendimiento, con un valor de 18.15 t ha<sup>-1</sup> para materia seca, 56.50 t ha<sup>-1</sup> para forraje verde y 15.11 t ha<sup>-1</sup> para forraje seco.
- La mejor eficiencia en uso de agua fue la de los híbridos Oso y 3025 W con un valor de 2.88 y 2.89 kg m<sup>-3</sup> que fueron similares, pero superiores al DK 2020, con un valor de 2.68 kg m<sup>-3</sup>.
- El híbrido DK 2020 presentó la mejor calidad de forraje respecto a proteína cruda, fibra neutro detergente y % de digestibilidad.

## LITERATURA CITADA

- Bolaños, J. A y Edmeades G.O.1993. La Fenología del Maíz. Síntesis de resultados Experimentales de Programa Regional de Maíz para Centroamérica y el Caribe, 1992. Editores Técnicos. Pp. 251-261.
- Broster, W. H. 1983. Estrategias de Alimentación para Vacas Lecheras de Alta Producción AGT Editor, S. A. de C. V. México. P 237-240.
- Bynum JR., E. D.; Archer, T. L.; Lyle, W. M. y Bordovsky, J. P., Chlorpyrifos application for greenbug (Homoptera: Aphiidae) control with a new multifunctional irrigation system J. Econ. Entomol. Vol 81(6), 1988, pp. 1781-1784.
- Cañeque, M. V. y Sancha S. J. L., 1998. Ensilado de Forrajes y su Empleo en la Alimentación de Rumiantes. Ediciones Mundi-prensa. Madrid, España. P. 151-167.
- Carrette, J. R. y Scheneiter J. O. 1998. Maíz para Silaje: Efecto en el Momento de Cosecha Sobre la Producción y el Valor Nutritivo del Forraje. Revista de Tecnología Agropecuaria Divulgación Técnica del INTA Pergaino. Argentina. 3(9): 6-9.
- Castellanos, R. A., Llamas LI. G y Shimada A. S. 1990. Manual de Técnicas de Investigación en Ruminología. Sistema de Educación de Producción Animal en México A. C. p. 267.
- Coors, J., Carter, P. R., Hunter, R. B. 1994. Silage Corn In: Speciality Cors: Hallauer. A. R. ed. CRC Press INC. Iowa USA . p. 305-339.

- Dolstra, O., Medena. J. H., A. W. de Jong. 1993. Genetic Improvement of Cell wall Digestibility In Forage Maize ( *Zea mays* L.). I. Performance of Inbred Lines and Related Hybrids. *Euphytica*. 65: 187-195.
- El Siglo de Torreón. 2004. Refuerzan cuenca lechera. Resumen económico 2003 Comarca Lagunera. Suplemento especial. 1 enero, Torreón Coahuila Pág. 36
- FAO. 1999. El Maíz en la Nutrición Humana. Editorial FAO. Oficina Regional de la FAO para América Latina.
- Faz., C. R., D. G. Reta, G. Núñez y E. Contreras. 1998. Manejo Eficiente de los Riegos en la Producción de Maíz Forrajero. Tecnología para aumentar Producción y Valor Nutritivo en Maíz y Sorgo para Forraje. Campo Experimental La Laguna, INIFAP – SAGAR. México. Pp. 9-14.
- Faz., C. R., D. G., Núñez y E. Contreras. 2003. Manejo de Riegos en Maíz Para Forraje. Estrategias de Apoyo a la Investigación de Tecnología en Forrajes en la Región Lagunera. México.
- Figuroa, V. U. 2003. Fertilización en Maíz Forrajero. Estrategia de Apoyo a la Investigación de Tecnología en Forrajes en la Región Lagunera. México.
- Fipps, G. y New, L. L., Six Years of LEPA in Texas-Less water, higher yields. Proceedings of the Third National Irrigation Symposium, Phoenix, Oct 28-Nov. 1. (ASAE Publication 04-90), 1990.
- Gargicevich, A. 2003. Efecto de la Irregularidad en el Espaciamiento Interplantas en la Línea de Siembra Sobre el Rendimiento del Maíz. Bigand, Santa Fe. Argentina.
- Gerard, C. J., Furrow diking and subsoiling studies in the Rolling Plains. Bulletin B-1585. Texas Agricultural Experiment Station, 1987.

- Godoy A. C., Torres E. C. A., Reyes J, I y Valdez R, V. M. 1998. Sistemas de irrigación y eficiencia en el uso del agua. Informe Técnico. CELALA-INIFAP. Matamoros, Coahuila.
- Herrera, S. R. 1999. La importancia de la Calidad en los Maíces y Sorgos seleccionados para el Forraje y su efecto en la Producción y Costos de Alimentación. En: II Ciclo de Conferencias Internacionales Sobre Nutrición y Manejo. Torreón, Coahuila. México. Pp. 148-157.
- Jaramilo V., V. 1992 La importancia Forrajera del Maíz. III Simposio Nacional sobre Maíz. Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero. SARH., Guadalajara, Jal. México.
- Jones, O. R. y Clark, R. N., Effect of furrow dikes on water conservation and dryland crops yields. Agron. Abstr., 1982, p. 250.
- Lianne. B. L., Dwyer and E. C. Gregorich. 1999. Solil Nitrogen Amendment Affects on Nitrogen Undaten and grain yield of Maize. Agron. J. 91: 650-656.
- Llanos, M. C. 1984. El Maíz; Su Cultivo y Aprovechamiento. Ediciones Mundiprensa. Madrid, España. Pp. 65-73.
- Lyle, W. M. y Bordovsky, J. P., Low energy precision application (LEPA) irrigation system. Trans. of the ASAE 24(5), 1981, pp. 1241-1245.
- Lyle, W. M. y Bordovsky, J. P., LEPA irrigation system evaluation. Trans. of the ASAE 26, 1983, pp. 776-781.
- Lyle, W. M.; Bynum, JR., E. D.; Bordovsky, J. P. y Archer, T. L., In canopy chemigation with multi-function LEPA irrigation systems. TRANS of the ASAE. Vol. 32(6), 1989, pp. 2009-2014.

- Lyle, W. M. y Dixon, M. R., Basin tillage for rainfall retention. ASAE Trans. 20, 1977, pp. 1013-1017,1031.
- Marten, C. G. 1985. Proceedings of the XV International Grassland Congreso. Kyoto, Japan. 89-97.
- Medina, R. N. 1997. El Efecto de la Calidad de los Forrajes en la Producción de Leche. Primera Demostración Sobre Nutrición Y Manejo de Ganado Lechero. Grupo LALA. Gómez Palacio, Dgo., México. s/p.
- Navarro N., A. 1996. Métodos Indirectos de Medición de Área Foliar en Frijol. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. UACH. México.
- Nelson J. C. and Moser, E. L. 1994. Forage Quality, Evaluation and Utilization. American Society of Agronomy Inc. Wisconsin, USA. P. 117.
- New, L. L. y Fipps, G., LEPA Conversion and Management. Texas Agricultural Extension Service Publication B-1691, Texas A & M University System, 1990.
- New, L. L. (editor), Chemigation workbook. Texas Agricultural Extension Service Publication B-1652, Texas A & M University System, 1990.
- New, L. L.; Knutson, A. y Fipps, G., Chemigation with LEPA center pivots. Proceeding of the Third National Irrigation Symposium, Phoenix, Oct 28-Nov. 1. (ASEE Publication 04-90), 1990.
- Núñez H., G. 1993. Producción, Ensilaje y Valor Nutricional del Maíz para Forraje. El maíz en la Década de los 90's. Primer Simposium Internacional Cuarto Nacional. SARH. Zapopan, Jal., México. Pp. 305-309.

- Núñez, H. G., Faz, C. R. 2003. Manejo de la Fecha de Siembra y Densidad de Plantas en Maíz Forrajero. Estrategia de Apoyo a la Investigación y a la Transferencia de Tecnología en Forrajes en la Región Lagunera. INIFAP. México.
- Núñez, H. G., Faz, C. R., Contreras, G. F. 2003. Cosecha del Maíz Forrajero. Estrategia de Apoyo de la Investigación y a la Transferencia de Tecnología en Forrajes en la Región Lagunera. INIFAP. México.
- Núñez, H. G., E. Contreras, R. Faz y R. Herrera S. 1998. Cómo Determinar el Momento Óptimo de Corte en Maíz para Ensilaje. En Tecnología para Aumentar Producción y Valor Nutritivo en Maíz y Sorgo para Ensilaje. Campo Experimental La Laguna, INIFAP. México. Pp. 5-8.
- Núñez H., G. (Compilador). 2006. Maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional. Instituto nacional de investigaciones forestales agrícolas y pecuarias. Centro de investigación regional norte centro. Campo experimental La Laguna. Libro científico No. 3
- Núñez, H. G., Santamaría C. J., Faz C. R., Contreras G.F., Castro M E. y Chev W. M. Y. 1999. Resultados de Investigación en Forrajes de Alta Calidad Nutritiva con Condiciones Limitadas de Riego en la Región Lagunera. V Ciclo de Conferencias sobre Nutrición y Manejo, LALA 99. México. Pp . 104-117.
- Pinter, L. 1986. Ideal Type of silage Maize Hybrid (*Zea mays* L.). En: O. Dolstra; P. Medema (Eds). Breeding of SilageMaize Proceeding of the 13<sup>th</sup> Congress of Maize and Sorghum Section of EUCARPIA 1986. Center for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, the Netherland. Pp. 123-130.
- Reta, S., David G. et al.. Guía para Cultivar Maíz Forrajero en Surcos Estrechos. Junio 2002. CELALA-INIFAP, Matamoros, Coahuila. P. 24.
- Reyes, C., P. 1990. El Maíz y su Cultivo. A. G. T. Editor, S. A. de C. V. México.

- Robles S., R. 1990. Maíz. Producción de Granos y Forrajes. Quinta Edición. LIMUSA. México. P. 9-52.
- SAGARPA, Delegación Laguna. Hectáreas de Maíz Forrajero. Ciclo primavera-verano 2003.
- Striuk, P. C., EDINUM, B. 1990. The Ideotype for Forage Maize. Proc. XVth Escarpia Maize and Sorghum Section Congreso; June 4-8. Badem Near Viena, Austria. P. 223-234.
- Van Soest. P. J. 1998. Calidad de Forraje y Valor Relativo de la Alfalfa Diseases. 2nd. Ed. APS. Press. St. Paúl, Minnesota. P. 84.
- Van Soest, P- J. 1994. Nutricional Ecology of the Ruminants. Second Edition. Cornell University Press, Ithaca N. Y., P. 476.
- Zimmer. E. and Wermke, M. 1985. Improving the Nutritive Value of Maize. Proc 13 th Congreso Maize and Sorghum Section of Escarpia. 9-12 September. Wageningen. The Netherland. Pp. 91-100.