



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ



FACULTAD DE AGRONOMIA

COORDINACION DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

**CARACTERÍSTICAS DEL ENSILAJE Y HENO DE MIJO PERLA  
(*Pennisetum americanum* (L.) Leake) COSECHADO EN  
CUATRO ESTADOS FENOLÓGICOS**

Por

**Alejandro Altamira Escalante**

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro  
en Ciencias Agropecuarias**

**Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P.**

**Enero 2010**



**CARACTERÍSTICAS DEL ENSILAJE Y HENO DE MIJO PERLA  
(*Pennisetum americanum* (L.) Leake) COSECHADO EN  
CUATRO ESTADOS FENOLÓGICOS**

Por

**Alejandro Altamira Escalante**

Asesores

DR. Jorge Urrutia Morales

MC. Felipe de Jesús Morón Cedillo

DR. Manuel Antonio Ochoa Cordero

**Tesis presentada como requisito parcial para obtener el Grado de Maestro  
en Ciencias Agropecuarias**

El trabajo titulado "Caracterización del Ensilaje y Heno de Mijo Perla (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) Cosechado en Cuatro Estados Fenológicos" por el C. Alejandro Altamira Escalante, como requisito parcial para obtener el Grado de maestro en Ciencias Agropecuarias área de Pequeños Rumiantes, fue revisado y aprobado por el suscrito Comité de Tesis.



---

DR Jorge Urrutia Morales



---

MC Felipe de Jesús Morón Cedillo



---

DR Manuel Antonio Ochoa Cordero

Palma de la Cruz, Soledad de G. Sánchez, S.L.P. a 11 de Enero de 2010

## DEDICATORIA

A

**Rogelio Altamira García y Ana María Escalante Arenas por el orgullo de ser su hijo y por que con su ejemplo y abnegación aprendí a ser perseverante.**

A

**Azalia, Allexis, Abnner, Rogelio, Allexio Alejandro, Adrián, Azucena mi razón en la vida.**

A

**Familiares, compañeros y amigos quienes siempre me han brindado su confianza.**

A

**Los mexicanos que con su sudor y esfuerzo hacen que nuestra tierra sea fecunda y productiva, gracias a los Hombres y Mujeres del campo que producen nuestros alimentos.**

## AGRADECIMIENTOS

A :

**DIOS, Gracias señor por darme salud y paciencia para entender a tus hijos.**

Al :

**SOL, Por iluminarme y cobijarme.**

A:

**Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria**

**Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología**

**Coordinación Sectorial de Desarrollo Académico**

A:

**La Facultad de Agronomía de la UASLP**

A :

**Mis MAESTROS de la FACULTAD de todos aprendí, a ellos que con su noble ejemplo anhelan que seamos mejores cada día.**

**DE MANERA MUY ESPECIAL**

**A MIS ASESORES:**

**DR. Jorge Urrutia Morales**

**M.C. Felipe de Jesús Morón Cedillo**

**DR. Manuel Antonio Ochoa Cordero,**

**Maestros: dejaron en mí su ejemplo de calidad en todas y cada una de sus enseñanzas**

**Al compañero, con quien siempre compartí sueños, triunfos y derrotas, sigamos adelante no decaigas, no nos vencerán.**

***A todos y cada uno de ustedes gracias...***

## CONTENIDO

DEDICATORIAS.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
CONTENIDO.....	v
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
SUMMARY.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
Problemática.....	1
Hipótesis.....	2
Objetivos.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Descripción.....	4
Clasificación botánica.....	5
Citotaxonomía del <i>Pennisetum americanum</i> .....	6
Utilización.....	7
Morfología de la Planta del Mijo Perla.....	8
Raíz.....	8
Tallo.....	8
Hoja.....	8
Pedúnculo.....	9
Flor.....	9
Semilla.....	9
Condiciones en las que Prospera el Cultivo.....	9
Precipitación.....	9
Temperatura.....	10
Suelos.....	12
Duración del día.....	12
Radiación.....	12
Viento.....	13
Tolerancia a la sal.....	13
Humedad.....	13
pH.....	14
Híbridos de Mijo Perla en México.....	14
GEM-hybrid X mijo perla.....	14
Variedad ICMV 221/ICMV 88904.....	14
Mijos productores de grano.....	15
Labores Culturales.....	16
Siembra.....	16
Preparación del terreno.....	16

Densidad de siembra.....	17
Fertilización.....	17
Labores Culturales Secundarias.....	18
Raleo o deshije.....	18
Aporque o escarda.....	18
Etapas Fenológicas del Cultivo de Mijo Perla.....	18
Fase vegetativa.....	19
Fase de desarrollo de la panícula.....	19
Fase de llenado de granos.....	20
Rendimiento.....	20
Rendimiento forrajero.....	22
Influencia de la variedad en el rendimiento.....	23
Influencia de las condiciones ambientales y del suelo en el rendimiento....	23
Influencia de la fertilización en el rendimiento.....	23
Influencia del estado fenológico al momento del corte.....	24
Valor Nutritivo del Forraje.....	24
Composición química de los granos del mijo perla.....	25
Conservación del forraje.....	29
El henificado.....	30
Fases del henificado.....	30
El ensilado o silaje.....	30
Características generales.....	31
Características específicas.....	31
La Fermentación y los Cambios Bioquímicos.....	32
Ácidos orgánicos y capacidad tampón.....	33
Pigmentos.....	33
La fermentación del ensilaje.....	33
Fases de la fermentación del ensilado.....	35
Efecto de la temperatura.....	35
Efecto del contenido de materia seca (MS) del forraje.....	36
Efecto del pH.....	36
El ensilado en bolsa.....	36
Factores a considerar durante el embolsado.....	36
Ubicación y cuidados de las Bolsas.....	37
Llenado de la bolsa.....	37
Confección con material con alta humedad.....	37
Confección en periodos de alta temperatura ambiental.....	38
<b>MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>38</b>
Materiales.....	38
Equipo.....	38
Metodología.....	39
Localización.....	39
Análisis de suelos.....	39
Material genético.....	40
Métodos.....	40
Diseño experimental.....	40
Dimensiones del lote experimental.....	40
Preparación del cultivo.....	40
Siembra.....	41
Densidad de siembra.....	41

Labores Culturales.....	41
Métodos de Cosecha.....	41
Métodos de Conservación.....	41
Ensilado.....	42
Henificado.....	42
Análisis de laboratorio.....	42
<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>44</b>
Proteína Cruda (PC).....	46
Extracto Etéreo (EE).....	48
Cenizas.....	49
Fibra Detergente Neutro (FDN).....	50
Fibra Detergente Ácido (FDA).....	51
Lignina Detergente Ácido (LDA).....	52
Nitrógeno Ligado a FDA (NLFDA).....	54
Proteína Disponible (PD).....	55
Fósforo (P).....	56
Calcio (Ca).....	57
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>60</b>

## INDICE DE CUADROS

		Pág.
Cuadro 1.	Lista de las variedades de Mijo Perla en libertad y los híbridos desarrollados en diferentes lugares (ICRISAT, en colaboración con los SNIA y publicado en otros países).....	15
Cuadro 2.	Comparación entre calidad, de nutrientes obtenidos en dos forrajes anuales en Kentucky.....	24
Cuadro 3.	Composición química del mijo perla para grano.....	26
Cuadro 4.	Comparación entre calidad, digestibilidad y calidad de nutrientes obtenidos en diferentes estadios fenológicos del forraje de Mijo Perla.....	26
Cuadro 5.	Contenido de Proteína Cruda en <i>Pennisetum americanum L. Leeke</i> ) .....	27
Cuadro 6.	Contenido de FDN, FDA, P y Ca en <i>Pennisetum americanum L. Leeke</i> ).....	26
Cuadro 7.	Precipitaciones y temperaturas durante el periodo Junio Octubre 2009. Precipitaciones y temperaturas durante el ciclo:137.93 mm.....	39
Cuadro 8.	Valores de F encontrados en el análisis de varianza para los efectos de la edad al corte, el método de conservación y la interacción de los factores en las distintas variables de valor nutritivo de forraje de mijo perla.....	44
Cuadro 9.	Porcentaje de proteína cruda (promedio $\pm$ d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos	46
Cuadro 10.	Porcentaje de extracto etéreo (promedio $\pm$ d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	48
Cuadro 11.	Porcentaje de cenizas (promedio $\pm$ d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	49

Cuadro 12.	Porcentaje de fibra detergente neutra (promedio± d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	50
Cuadro 13.	Porcentaje de fibra detergente ácido (promedio± d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	51
Cuadro 14.	Porcentaje de lignina detergente ácido (promedio± d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	52
Cuadro 15.	Porcentaje de nitrógeno ligado a FDA (promedio± d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	54
Cuadro 16.	Porcentaje de proteína disponible (promedio± d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	55
Cuadro 17.	Porcentaje de fósforo (P) (promedio± d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	56
Cuadro 18.	Porcentaje de calcio (Ca) (promedio± d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	57

## INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.	Contenido de proteína cruda (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	47
Figura 2.	Contenido de extracto etéreo (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	48
Figura 3.	Contenido de cenizas (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	49
Figura 4.	Contenido de fibra detergente neutra (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	50
Figura 5.	Contenido de fibra detergente ácido (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	52
Figura 6.	Contenido de lignina detergente ácido (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	53
Figura 7.	Contenido de nitrógeno ligado a fibra detergente ácido (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	54
Figura 8.	Contenido de proteína disponible (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	56
Figura 9.	Contenido de fósforo (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	57
Figura 10.	Contenido de calcio (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.....	58

## RESUMEN

En condiciones del semiárido es cada día más difícil cultivar para la alimentación animal, asociando; lluvias escasas-irregulares, terrenos marginales y heladas tempranas, requiriéndose adoptar cultivos flexibles a la región, Mijo Perla es una posibilidad por su origen y adaptación. Con el objetivo de caracterizar el mejor estado fenológico de la planta al momento del corte y el mejor método de conservación se sembró la variedad ICMV 221 en el Campo San Luis INIFAP, con latitud norte 22° 14'03'' y longitud 100° 53'03', ciclo primavera-verano 2009, utilizando diseño experimental bloques al azar, cinco repeticiones, arreglo factorial 4 X 2 (embuche, floración, grano lechoso y grano masoso; dos métodos de conservación; ensilado henificado). Cuatro fechas de cosecha: embuche (50 días); floración (65 días) grano lechoso (80 días) grano masoso (>86 días). Ensilado en bolsas plásticas 20 Kg (microsilo), forraje verde henificado en mogotes una harcina por repetición. Variables PC ,E.E., Ceniza, FDN, FDA, LDA, NLFDA, PD, P, Ca, análisis ANOVA por modelo efectos fijos:  $Y = u + f + c + e + fc + fe + ce + E$ , las variables analizadas son normales, según la variedad genética utilizada, fue notoria la edad al corte, a la hora de determinar calidad nutricional y relación con método de conservación. Se observaron efectos significativos consistentes; afectados por el estado fenológico en EE, PD y P ( $P < 0.0001$ ); PC ( $P = 0.0012$ ); FDN ( $P = 0.0003$ ); FDA ( $P = 0.0007$ ); LDA y NLFDA ( $P = 0.0002$ ); Cenizas y Ca sin diferencias estadísticas ( $P > 0.05$ ). Por el método de conservación; PC ( $P < 0.0012$ ); EE, FDN, FDA, LDA NLFDA, PD y Ca ( $P < 0.0001$ ); Fósforo ( $P = 0.036$ ); Cenizas ( $P > 0.05$ ).sin diferencias estadísticas. Por la interacción de los dos factores; PC, FDA, PD y Fósforo ( $P < 0.0001$ ). EE ( $P < 0.0003$ ); FDN ( $P < 0.0002$ ); Sin interacción; LDA, NLFDA ( $P > 0.20$ ) y Ca ( $P < 0.05$ ). El estado fenológico de la planta, es la principal causa que afecta el valor nutritivo y características del forraje para henificar o ensilar, el mejor momento para ensilar es en el estado de grano lechoso, .en heno es cortarlo en el estado fenológico de floración.

## SUMMARY

In semi-arid conditions is becoming increasingly difficult to grow feed, associating, low and erratic rainfall, marginal land and early frosts, crop requires adopt flexible in Pearl Millet region is a possibility for their origin and adaptation. In order to better characterize the phenological state of the plant at the time of cutting and the best method of conservation ICMV221 variety was planted in the Campo San Luis INIFAP with latitude North 22° 14'03" and Longitude 100° 53'03", spring-summer cycle 2009, using randomized block experimental design, five repetitions, 4 x 2 factorial arrangement (embucha, flowering, and grain milky masoso, two methods of silage and hay conservation). Four harvest dates, embucha (50 days), flowering (65 days), milky grain (80 days) masoso grain (> 80 days). Silage in plastic bags of 20 K (microsilos), green forage a hay stack hay in haystacks by repetition, Variables PC, E.E., Ash, FDN, FDA, LDA, NLFDA, PD, P, Ca. Analysis by ANOVA fixed effects model  $Y = u + f + c + e + fc + fe + ce + E$ , variables analyzed are normally used as the genetic variation was notary age at court, in determining nutritional quality and relationship to the preservation method. Consistent significant effects were observed, affected by the phenological in EE, PD y P ( $P < 0.0001$ ); PC ( $P = 0.0012$ ); FDN ( $P = 0.0003$ ); FDA ( $P = 0.0007$ ); LDA y NLFDA ( $P = 0.0002$ ); Ash and Ca without differences statistics ( $P > 0.05$ ). For the interaction of two factors PC, FDA, PD and Phosphorus ( $P < 0.0001$ ). EE ( $P < 0.0003$ ); FDN ( $P < 0.0002$ ); noninteracting LDA, NLFDA ( $P > 0.20$ ) y Ca ( $P < 0.05$ ). The phenological state of the plant, is the main cause affecting the nutritional value and characteristics of the forage for hay or silage, the best time for silage is milky state, cut hay is politically integrated in flowering phenology

## INTRODUCCION

Se ha probado el mijo perla durante varios años en diferentes regiones del estado en temporal seco, observándose que este cultivo tiene una alta eficiencia en el uso del agua y tolerancia a la sequía. Se ha reducido el riesgo de siniestro por sequía, obteniéndose producciones de 15 ton por hectárea de forraje fresco y 4 ton de forraje seco, con niveles de proteína superiores al 7.5%. Este forraje tiene la ventaja de no desarrollar toxicidad para el ganado (Hernández y Martínez, 2007) por lo que es posible cosecharlo en diferentes estado fenológicos.

### Problemática

Con una superficie de 196.4 millones de hectáreas, de las cuales solo 30 millones tienen potencial agropecuario, México enfrenta graves problemas de desertificación Vélez *et al.* (1995). En el Altiplano Potosino, las necesidades de forraje para la alimentación de los animales domésticos son cada vez más crecientes, Farías *et al.* (1987) y Hernández y Martínez (2007) consideran que estas necesidades nutricionales se ven incrementadas durante el invierno y primavera, ya que las condiciones de estiaje repercuten severamente en la producción de forrajes en esta zona con climas áridos y semiáridos, en donde la incidencia de sequías y la escasez de agua en general, son comunes, por lo que se reduce la posibilidad en la producción de forrajes.

El sistema de producción utilizado en la región es principalmente el extensivo en pastizales naturales, donde existe una productividad forrajera marcadamente estacional, la cual está definida por la cantidad y distribución de las lluvias. Ésta estacionalidad ocasiona una alimentación deficiente del rebaño en pastoreo, cuyo cuadro nutricional se agrava recurrentemente en los períodos de sequía, durante el invierno y la primavera (Echavarría *et al.*, 2006) con la consecuente interrupción en la producción. Lo anterior hace que la producción de leche siga un patrón estacional, concentrándose en la época de lluvias (Castillo *et al.*, 1989; Marroquin *et al.*, 1981; Olhagaray, 2005). Se ha visto que la suplementación para pequeños rumiantes en agostadero con alguna fuente de energía induce incrementos en la producción láctea, aún en la época de sequía (Urrutia *et al.*, 2000).

Para hacer frente a este problema, los productores recurren al establecimiento de cultivos forrajeros como el maíz, para aprovecharlo en la época crítica (Urrutia y Ochoa, 2000). Sin embargo, las condiciones de precipitaciones estacionales que comienzan entre junio y julio, junto con la presencia de heladas en octubre, dejan poco margen para la producción de forraje, por lo que se considera que es justificable la siembra de un cultivo en condiciones de secano y en terrenos marginales.

En éstas circunstancias, se requiere de un cultivo resistente a la sequía y que pueda ser cosechado en etapa temprana, con alto valor alimenticio. Así mismo, es necesario que este forraje pueda ser conservado por un método, que no requiera equipó costoso, rara vez disponible en la región. Así, el henificado surge como una posibilidad. El mijo, al tener tallos delgados, permite un secado relativamente rápido, por lo que se ha pensado que su henificación es posible, en el estado fenológico de grano lechoso, sin que se pierda su valor nutritivo.

Una de estas oportunidades es mejorar la cantidad y calidad de forrajes, en particular en las áreas con pastizales menos productivos, con elevados contenidos de elementos nutricionales, resistentes a las sequías y con el poder de desarrollarse en suelos pobres, para ser utilizados en la alimentación y nutrición del ganado.

Una posibilidad puede ser la utilización del Mijo Perla (*Pennisetum americanum* (L.) Leake).

El presente trabajo se planteó para obtener la información sobre el valor nutricional del forraje de mijo ensilado o henificado, en cuatro estados fenológicos.

### **Hipótesis**

El Mijo Perla (*Pennisetum americanum* (L.) Leake) tiene mejores cualidades nutritivas en el estado fenológico de grano lechoso. Por lo que, se pretende aprovechar su adaptabilidad y crecimiento para corte en este estado fenológico, evaluar su valor nutritivo y ver que en este estado se preserven sus nutrientes.

## Objetivos

Determinar el valor nutritivo del forraje de Mijo Perla cosechado en cuatro estados fenológicos (embuche, floración, grano lechoso y grano masoso), en dos formas de conservación: henificado o ensilado.

Los objetivos específicos del estudio son:

1).- Determinar la variación en el valor nutritivo del forraje de Mijo Perla cosechado en distintos estados fenológicos (embuche, floración, grano lechoso y grano masoso) (embuche, floración, grano lechoso y grano masoso).

2).-Determinar el valor nutritivo del forraje de mijo perla conservado por dos métodos: henificado y ensilado.

Hernández y Martínez (2007) han probado el mijo perla en el Altiplano, Zona Media y Huasteca de San Luis Potosí en condiciones de temporal escaso, observando que este forraje tiene una alta eficiencia en el uso del agua y tolerancia a la sequía. Estas experiencias han permitido reducir el riesgo de siniestro por sequía en las regiones semiáridas, logrando obtener cosechas cercanas a las 15 ton/ha de forraje al corte y cuatro toneladas de forraje seco, con niveles de proteína superiores al 7.5%. Además, este forraje tiene la ventaja de no ser tóxico para el ganado en ningún estado fenológico, por lo que es posible su cosecha en cualquier edad; estos mismo autores mencionan que es importante conocer su valor nutricional en condiciones de secano.

### Descripción

El Mijo es un nombre genérico para designar a un cierto tipo de plantas herbáceas anuales, de semilla pequeña, que se cultivan como cereales, preferentemente en tierras marginales de las zonas áridas templadas, subtropicales y tropicales. El nombre actual "*Pennisetum americanum*" del Mijo Perla viene de una descripción previa hecha por Clusius en 1602, citado por Andrews *et al.* (1993). Nativo de los trópicos semiáridos de África Occidental, se extendió desde ahí para África Oriental y luego a la India, el mijo perla es una variedad de la gran cantidad de Mijos existentes en el mundo y que también reciben nombres como "Millo", "Mollet, Pearl Mollet", "Indian Millet" "Horse Millet", "Fountain", "Mamozo", "Indú o Camerún", "Junco", "Pampa Verde" y "Totorá", en el norte de Nigeria, con un mínimo de 18 especies cultivadas (Andrews *et al.*, 1993; Izge *et al.*, 2006; Jideani, 2005).

El Mijo Perla (*Pennisetum americanum* L. Leake), es uno de los cuatro cereales más importantes del sector agrícola (arroz, maíz, sorgo y mijo) cultivados en los trópicos (Fundación Syngenta para la Agricultura Sostenible 2002). El mijo es un alimento básico para más de 500 millones de personas en toda la franja agroecológica Saheliana del África occidental y central, es cultivado por campesinos de escasos recursos, que practican una agricultura de subsistencia (Naylor *et al.*, 2004).

Las superficies plantadas hasta 1996 se estimaron en 15 millones de hectáreas al año en África y 14 millones de hectáreas en Asia, con una producción global superior a 10 millones de toneladas al año (National Research Council 1996).

El mijo perla, se cultiva extensivamente en India, Rusia, Oriente Medio, Turquía y Rumanía y se encuentra distribuido en Asia; la India, Pakistán, Bangladesh, Ceilán, Malasia, China y Rusia, en el Continente Americano en Argentina, y Estados Unidos (Johnson *et al.*, 2002). Trabajos más recientes describen reportes en México (Hernández y Martínez, 2007), Brasil (Gomes *et al.*, 2008a; Batista *et al.*, 1999), Francia (Verdier *et al.*, 1998 y Besle, 2006) y Canada (Willis, 2005), con un alto nivel de investigación de manera general, en donde se establece que se ha utilizado en la mayoría de los países productores de grano y forraje del mundo, como es el caso de Australia (Bidinger *et al.*, 1994, 2002, 2003a,b, 2005, 2008, 2009; Ferraris *et al.*, 1974).

#### Clasificación botánica

El mijo perla *Pennisetum americanum* tiene la siguiente la clasificación taxonómica:

Familia: Poaceae

Subfamilia: Panicoideae

Tribu: Paniceae

Género: *Pennisetum*

Especie: *americanum*

Sinonimia científica:

*P. typhoides* (Burn. F)

*P. typhoideum* (L.)

*P. glaucum* (L) R. Br.

*P. spicatum* (L.)

Nombres comunes:

- En Africa: mahangu, sanio, gero, babala, nyoloti, dukkin, souna, petit mil, mexoeira (Mozambique), mashela (Tigrinya), mhunga (Shona, Zimbabwe)

- En India: ಸಜ್ಜೆ (*Sajje* en Kannada); கம்பு (*Kambu* en Tamil); बाजरा (*Bajra* en Urdu, Punjabi y Hindi), बाजरी (*Bajri* en Marathi), సజ్జలు (*Sajjalu* en Telugu)
- En Australia: bulrush millet
- En Brasil: milheto
- En USA: cattail millet (*Pennisetum americanum*)
- En Europa: candle millet, dark millet
- En México: mijo perla, mijo pajarero

#### Citotaxonomía del *Pennisetum americanum*

El *Pennisetum americanum* es un diploide con  $2n=2x=14$ , dentro del género  $x=7$  y algunas especies con  $x=9$ . Purseglove, (1972) menciona que esto influye para clasificarlo en un solo conglomerado de 130 formas en una especie, que se cruzan fácilmente con otras formas de ellas o con formas silvestres (malezas de los cultivos) (Chevalier 1934, citado por Maiti 1995).

## Utilización

En la actualidad se ha difundido el uso del mijo perla en la alimentación de aves de ornato, en la producción de huevo y en la engorda de porcinos. Al alimentar a gallinas de postura, sus huevos tienen más concentración del benéfico ácido omega-3 (Fancher *et al.*, 2005 y Fisher *et al.*, 1999). Hay una creciente demanda del mercado para el mijo perla en Estados Unidos. Además de las oportunidades de mercado local, existen otras como atrayente para la alimentación de la vida silvestre, alimentación de aves de corral y para las industrias de alimentos para mascotas. La actual producción de cereales es incapaz de satisfacer las demandas de la industria masiva de aves de corral. Además, el grano es ampliamente usado en la alimentación ganado vacuno, cerdos, y productos especializados para perros, el grano se utiliza en la producción de etanol (Wilson, 2007). El grano es comparativamente alto en proteína y de buen balance de aminoácidos (aa<sub>s</sub>); alto en lisina, metionina y cisteína (Fancher *et al.*, 2005).

La estructura de las proteínas del mijo perla contiene, minerales como el P, Ca, K, Mg y un alto nivel de energía (Devi *et al.*, 2003; Ezeaku y Mohammed, 2006; Filardi *et al.*, 2005). Contiene el doble de metionina que el sorgo, importante detalle para la producción orgánica de cerdos (Singh *et al.*, 1987). También es comparativamente alto en aceite, el ácido linolénico, es el 4% del total de los ácidos grasos. Adams *et al.* (1976) al mismo tiempo mencionan que los niveles de nutrientes son afectados por la etapa fenológica de la planta.

De gran capacidad forrajera precoz, que puede ser utilizada para pastoreo, corte, heno o ensilaje, ya que los tallos le dan características ideales para la henificación, comparada con el resto de las forrajeras anuales de porte alto como maíz y sorgo (Dugarte, 1990).

El mijo perla tiene otros usos Akinbala *et al.* (2002) realizaron una fermentación similar a la elaborada con la malta teniendo otra opción de aprovechamiento del mijo, encontrando además altos valores de vitaminas, minerales y proteínas, en el producto final (llamado ogi).

## Morfología de la Planta de Mijo Perla

### Raíz

Un aspecto importante de la capacidad de mijo perla para sobrevivir bajo mucho estrés es su sistema de raíces. La planta de mijo posee raíces de tipo fibrosa, siendo éstas muy voluminosas en la parte media y con capacidad de penetrar en el suelo hasta una profundidad 3.5 metros (Ball-Coelho *et al.*, 2003; Faye *et al.*, 2006; Horton y Hart, 1998; Martínez *et al.*, 2008; Radhouane, 2007). Esta penetración de raíces profundas puede ayudar a las especies del mijo para aprovechar el agua del subsuelo de manera más efectiva y por lo tanto superar la sequía. Los sistemas de raíces del mijo también tienen la capacidad de penetrar a través de barreras endurecidas de barro en la parte inferior de los suelos. Las tasas de fotosíntesis se mantienen durante los períodos de sequía severa, por lo que Zegada -Lizarazu e Iijima, (2004) consideran que la raíz contribuyó notablemente en este proceso.

### Tallo

El mijo generalmente es una planta de un solo tallo (principal), cilíndrico de corte erecto, de 1.5 a 2.5 cm de diámetro, llamado cañuela, que por su finura y con exceso de humedad y aire tiende al "acame" (hacia un costado). La altura de la planta varía de 1.5 -2.15 m. (Baptaglin y Gomez, 2004 y Martínez *et al.*, 2008). Los tallos laterales pueden contribuir hasta con un 50% del rendimiento total del mijo cultivado bajo condiciones de lluvia natural (Chapman y Lemaire, 1993; Maman *et al.*, 2003; Mahalakshmi y Bidinger 1985).

La inflorescencia forma un compacto cilindro terminal, como la espiga-panícula, van Oosterom *et al.* (2006) hacen referencia sobre la importancia que tiene el macollaje para los rebrotes, el momento de la emergencia en función de la duración del día, la apertura de la hoja, el tipo de hoja, la caña del timón y la aparición de la senescencia foliar, parámetros muy importantes en la generación de forraje.

### Hoja

Hojas planas de color verde intenso, que llegan a tener hasta 8 cm de ancho, formada principalmente por la lamina que es la parte mas larga y la vaina que la adhiere al tallo, el numero de hojas en la planta de mijo varía de 14-16 según la

variedad y su adaptación las cuales están dispuestas en el tallo de forma alterna (Coria *et al.*, 2008 e Ikpe, 1999). El porcentaje de hojas se relaciona directamente con la calidad del forraje, ya que el valor nutritivo de éstas es mayor que el de los tallos. (White *et al.*, 1981). Sin embargo, la sequía (Castro *et al.*, 2000) y otros factores. (Chapman y Lemaire, 1993) pueden acelerar el envejecimiento de las hojas, haciéndolas menos digestibles.

#### **Pedúnculo**

Es el entrenudo más alto que sostiene la inflorescencia (Kipnis *et al.*, 1985).

#### **Flor**

Se le conoce con el nombre de panícula, la cual tiene un tallo central denominado ráquis que sostiene varios racimos, los que a su vez están formados por varias espiguillas dentro de las cuales se encuentran las flores.

#### **Semilla**

Las semillas son pequeñas, 3-4 mm semi circulares (globosum) o en forma de cuña (nigritarum) de variados colores que van desde el blanco amarillento hasta el café o grisáceo, según la variedad. En semillas pequeñas de 2 mm, 100 granos pesan 1 gr, en las variedades de mayor tamaño 100 granos pesan hasta 2.5 gramos (Akmal y Zulfigar, 2002 y Allah *et al.*, 2007).

#### **Condiciones en las que Prospera el Cultivo**

Cinco factores climáticos son de particular importancia para la producción del mijo perla: precipitaciones, temperatura del aire y del suelo, la duración del día (fotoperíodo), la radiación y el viento. El impacto de estas variables depende de la etapa de desarrollo del cultivo (Rockstrom, 1999).

#### **Precipitación**

La producción depende casi exclusivamente de la precipitación como de la humedad suministrada. Por lo tanto, la cantidad y la distribución de las lluvias son factores importantes en la determinación de la productividad final de la cosecha. En los países donde se cultiva el mijo, el inicio de la temporada de lluvias es muy variable, mientras que el final de las lluvias es muy marcado (Joshi *et al.*, 2009).

Algunas de las características agroclimáticas de la distribución de las precipitaciones son:

\*Volumen total de precipitaciones durante la temporada.

\*El inicio de la temporada de lluvias.

\*La terminación de la temporada de lluvias.

\*La distribución de las precipitaciones durante la temporada de lluvias, especialmente al principio del ciclo del crecimiento de la planta.

Los suelos pobres con humedad deficiente reducen la emergencia de plántulas por lo que se esperará un cultivo pobre si el terreno no es bien trabajado. Además, pueden pasar largos períodos de tiempo entre la lluvia inicial o de siembra y las lluvias posteriores. Si un establecimiento de cultivo se considera muy bajo en población de plántulas (<20,000 plantas/ha) los agricultores suelen volver a sembrar cuando las lluvias se vuelvan a establecer. Por lo tanto, es importante que la información agroclimática incluya no sólo información sobre el inicio de las lluvias, sino también las condiciones meteorológicas durante el período de la temporada de lluvias. La falta de agua de manera intermitente es una característica común cuando la plántula está en la fase vegetativa o de crecimiento. Sin embargo, el cultivo se adapta bien a déficit de agua durante la fase de desarrollo de la panícula e iniciación a la floración del tallo principal (Mahalakshmi, 1978).

Es en la floración temprana y las etapas de llenado del grano cuando la planta es más sensible a la carencia de agua (Mac Donald y Clark, 1987; Mahalakshmi y Bidinger, 1985; Mahalakshmi 1981). Tanto el momento de tensión en relación con la floración y la intensidad de la tensión determinan la reducción en el rendimiento de grano (Mahalakshmi, 1981). La mayor parte de la variación entre los ambientes en un ensayo de multiplicación se debió a la disponibilidad de agua durante el llenado del grano ( Mahalakshmi y Bidinger, 1985).

### Temperatura

Los requisitos de temperatura del mijo perla dependen del cultivar Diop y Camberlin, (1999) encontraron un rango óptimo de 22 a 35 ° C para el crecimiento de la planta y un máximo de 40° C. La temperatura óptima para el desarrollo de la raíz es de 32° C. Cantina, (1995) indica que la aparición de las hojas y las tasas de expansión son una correlación positiva con la temperatura y el índice de área foliar (IAF). Este

índice aumenta linealmente con la temperatura en un rango óptimo. Los hijuelos aparecen antes y se forman más rápidamente a medida que aumenta la temperatura a unos 25° C (Pearson, 1975 y Ong, 1983a). Por encima de 25° C el tiempo de aparición de la caña primaria no cambia, pero hay un descenso en el número de macollos (Ong, 1983b).

La tasa de producción de hoja se aceleró a altas temperaturas (Pearson, 1975) aunque el número de la hoja primordial en el ápice del tallo principal no cambió con temperaturas de 18 a 30° C (Pearson, 1975). La duración de la fase de desarrollo es muy sensible a la temperatura, con una duración media de 18 días (Mc Intyre *et al.*, 1993). Cada aumento de un grado en la temperatura disminuye la duración del período de desarrollo en dos días. Hay también algunas pruebas de que el número de granos producidos se determina durante la fase de desarrollo de la panícula y la cantidad de radiación interceptada durante esta fase es más importante que la intervención después de la anthesis (Ong, 1983b).

La extensión de la hoja es también importante en el control de la producción de materia seca Ong, (1983c) encontró una relación lineal entre la tasa de extensión de la hoja y la temperatura de los meristemos. Entre más rápido es el desarrollo de las hojas, más rápidamente aumenta el IAF.

En la etapa reproductiva tanto la tasa de producción de la espiguilla y la duración de la fase reproductiva temprana eran muy sensibles a las temperaturas de los suelos (Ong, 1983a).

La exposición de las plantas por períodos prolongados de baja temperatura (<13° C) durante la etapa de arranque, da resultado en granos bajos y forraje pobre. Las bajas temperaturas inducen esterilidad de flor y granos de polen (Muchena y Mashingaidze, 1982). La temperatura ambiental de 10-15° C reduce la germinación de la semilla y climas por debajo de este rango, detienen el crecimiento de la planta, las heladas o temperaturas por debajo de 5 ° C inhiben el desarrollo vegetal hasta causar la muerte de la mata (Ishii *et al.*, 2000). Para siembra, la tierra debe tener una temperatura de 20° C y que se mantenga un promedio de 20-24° C durante la mayor parte del día, requiriendo entre 32- 35° C para su mejor desarrollo (Yadav, 2004 y 2007).

## Suelos

El mijo es un cultivo que puede crecer en una gran variedad de suelos teniendo mejor desarrollo en los suelos franco-ligeros y en suelos arenosos (Blittma *et al.*, 1988; Bidinger *et al.*, 2006; Bidinger y Yadav, 2008; CGIAR, 1996; Feutcher, 2005; Yadav y Weltzin 1997) en los pesados su crecimiento es difícil, pero en los suelos con inundaciones no prosperan (Ibrahim *et al.*, 2008). En suelos de baja fertilidad se puede obtener por lo menos una cosecha de forraje, condición que no logran otros cultivos. Los suelos que forman costras muy duras y con humedad relativa baja reducen la calidad de la siembra, por que comprimen la emergencia de las plántulas (Andrews *et al.*, 1984; 1993; Alström, 1990; Shekhar y Niwas, 2007).

## Duración del día (fotoperiodo)

Ashraf *et al.* (2001) y Dingkuhn *et al.* (2008) describen que el mijo perla es sensible a la duración del día y a las temperaturas diurnas y nocturnas. En África Occidental se cultivan mijos tempranos no fotoperiódicos conjuntamente con variedades fotoperiódicas, de maduración tardía.

En OMM, (1993) se afirma que el mijo requiere temperaturas de 22 a 36° C para una respuesta fotosintética buena, con un promedio ideal de 31 a 35° C. y 14 horas del día de luz. La duración del día o fotoperiodo, es un control crítico en la iniciación de la fase de reproducción de las muchas variedades del mijo. Cultivares fotosensibles se cultivan comercialmente mientras que los cultivares no fotoperiódicos crecen como cultivos de temporada corta (FSAS, 2003).

La duración del día o fotoperiodo es un control crítico en la iniciación de la fase de reproducción de muchas variedades de mijo. Se considera que cuando los días no son propicios en temperatura y horas luz, la planta del mijo permanece en latencia hasta que las condiciones sean favorables.

## Radiación

La importancia en la distribución de la radiación solar establece los límites para la producción de materia seca. La radiación tiene dos roles en la producción de cultivos; la fotosíntesis, la radiación activa (FRA) y las condiciones térmicas de procesos fisiológicos. El mijo perla es una planta de tipo C4, es decir, tiene una elevada

eficiencia fotosintética, particularmente bajo condiciones de alta temperatura debido a la reducción de fotorrespiración. La eficiencia de la fotosíntesis depende sin embargo, del genotipo, la edad de las hojas y el grado de su exposición a la luz solar directa. La luz solar directa es muy importante tanto para los procesos morfogénéticos de crecimiento, como para la floración (OMM, 1993).

### Viento

Si los vientos son fuertes y asociados con tormentas eléctricas, comunes durante la temporada de lluvia, y están cargados de partículas de polvo pueden reducir la cantidad de entrada y la calidad de la radiación, y formar depósitos en la superficie de las hojas que pueden afectar a la fotosíntesis. En los suelos arenosos, la erosión eólica, y los fuertes vientos reducen el crecimiento vegetativo de la plántula al inicio de la temporada de lluvias, de tal forma que, si son suficientemente enterradas las plántulas, se debe resembrar, ya que de sobrevivir las plántulas muestran retrasos en el crecimiento y el desarrollo. Los vientos fuertes en la temporada de lluvias provocan “acame” de la planta, que al no crecer erguida la altura y el número de hojas es menor con una reducción significativa en el índice de área de la hoja. El rendimiento en grano de las plántulas no afectadas fue casi el doble de las hojas que fueron parcialmente cubiertas (OMM, 1993).

### Tolerancia a la sal

Se observa una tolerancia diferente entre genotipos, influenciados por temperatura, tipo de suelo y región, afectando el grado de germinación y el desarrollo de la plántula (Almodares *et al.*, 2007; Al- Shoaibi y Al- Shoaibi, 2007; Anurang *et al.*, 1997; Ghulam *et al.*, 2006).

### Humedad

El mijo perla es un cultivo adaptado genéticamente a bajas condiciones de humedad, pero el rango en donde se puede establecer en base a las necesidades de humedad varía desde los 160 mm. (Yadav, 2008) en donde estas circunstancias de baja humedad, solo pueden proporcionar un poco de forraje. De los promedios más altos 900mm, e intermedios (300 – 600 mm) el mijo puede proporcionar forraje y grano. Esto se debe a las características de precocidad, enmarcadas en el rápido crecimiento y desarrollo de la planta. El estrés hídrico no está asociado al rendimiento

de la biomasa, cuando este no es tan severo, sin embargo cuando el estrés es prolongado y antes de la floración sí repercute en el crecimiento y desarrollo de la planta (Ashraf *et al.*, 2001; Craufurd y Bidinger, 1988; Hernández y Martínez 2007).

pH

Similar a otras características, para el establecimiento del mijo perla el pH del suelo ofrece un rango bastante amplio para su instalación, el ideal es 7.5.

Gregory *et al.* (2000) mencionan que se puede sembrar en suelos ácidos y para reducir esta acidez se puede adicionar cal ( $\text{CaCl}_2$ ) a razón de 1 ton/Ha si la acidez es severa hasta 4.5 de pH

Hafner *et al.* (2004) y Hash *et al.* (2004) mencionan que la alcalinidad del suelo por encima de 8 a 8.6 de pH, hacen que en los suelos se formen costras que impiden la emergencia de la plántula y posteriormente limitan su desarrollo.

### **Híbridos del Mijo Perla en México**

#### **GEM-hybrid X mijo perla**

GEM-X es un híbrido de alto rendimiento de mijo perla verde, recomendado para corte como pasto o heno. GEM-X tiene un sistema radical masivo que le permite resistir al calor y la sequía, especialmente en suelos ligeros. Muestra buena tolerancia a enfermedades de la hoja y del tallo, produce bien en suelos de pH ácido y con baja fertilidad. GEM-X no tiene ácido prúsico y se recomienda para rumiantes y equinos.

#### **Variedad ICMV 221/ ICMV 88904**

ICMV 221 fue desarrollado a partir de una audaz Siembra Temprana Compuesta, que se basa principalmente en las características genéticas de la variedad "CIFT 8203" y otros materiales genéticos similares. Fue lanzado en la India en 1993 debido a su mayor productividad. Se manipularon las variedades CIFT 8203 en los ensayos de rendimiento (Rai y Hash, 1994).

En Kenya la variedad fue lanzada (como Kat/PM 3) y en Eritrea (como Kona) en 2001. En Eritrea el ICMV 221 se introdujo con otras variedades y fue el mejor en producción de grano y forraje, y supero a otras variedades en resistencia a condiciones de estrés (sequías, salinidad y suelos pobres), ICMV 221 tiene mayor resistencia a la

enfermedad del mildiú veloso en comparación con muchas variedades dispersas en el mundo, por lo que proporciona mucho mayor y más fiable rendimiento de grano y forraje (Hash *et al.*, 2004).

**Cuadro 1. Lista de las variedades de mijo perla en libertad y los híbridos desarrollados en diferentes lugares (ICRISAT, en colaboración con los SNIA y publicado en otros países).**

Código ICRISAT	Pedigri	Creado en	Año de liberación	País de liberación	Nombre de liberación	Rasgos específicos
ICMV 221	124 S1	Patancheru	2001	Kenya	Kat/PM 3	Grano precoz, de maduración temprana
ICMV 88904	progenie de BSEC		2001	Eritrea	Kona	
			1993	India	ICMV 221	

#### Mijos productores de grano

Aunque el mijo perla se ha desarrollado como un cultivo para la alimentación de los habitantes de más escasos recursos en África y la India, en otras partes del mundo, como en los Estados Unidos su grano es más probable que se utilice para la alimentación animal. Varios estudios se han realizado sobre su potencial para diversos tipos de animales, incluyendo las aves de corral, patos, vacas, cerdos, y el bagre (Lee *et al.*, 2009; O Adeola y Orban, 1995; Willis, 2005).

Encontrándose una rentabilidad similar a la del maíz en la dieta de estos animales, con pequeñas ventajas en ciertas situaciones. Normalmente, el contenido de proteína del mijo perla es 45% mayor en el grano que en el forraje y también es 40% mayor en lisina en el grano. Esta proteína superior y características de su uso como alimento han ayudado a impulsar el interés en el grano por los productores de aves de corral y cerdos principalmente (Monroe *et al.*, 1996 y Glew, 1972).

Su grano es comparativamente alto en proteínas y tiene un buen balance de aminoácidos. Es alto en lisina y metionina + cistina. Contiene el doble de metionina que el sorgo, un rasgo importante para la producción de aves de corral. El grano también es relativamente alto en grasa, y el ácido linolénico es el 4% del total de sus ácidos grasos. Incluso cuando se cultiva en condiciones de alto estrés, el grano es esencialmente libre de aflatoxinas y fumonisinas. Estas micotoxinas carcinogénicas son un problema importante en el maíz cuando se cultiva en las regiones donde no está bien adaptado (Glew, 1972).

### Labores Culturales

Baker, (1996) considera como labores culturales prácticas para el mijo perla:

Época de siembra	Abril a Julio
Densidad de siembra	7 K/Ha
Características del suelo	Casi en todos los terrenos
Días de maduración de planta	60- 70

#### Siembra

Hernández y Martínez, (2007) sugieren se siembre durante el ciclo primavera verano ya que la floración coincidirá con los días largos de por lo menos 12 horas de luz produciendo una mayor cantidad de forraje, sugiriendo dos épocas de siembra; para riego del 15 de marzo al 15 de mayo y para punta de riego o temporal del 15 de mayo al 31 de julio, en ambos casos predomina la época de altas temperaturas y días largos en México.

#### Preparación del terreno

Se debe procurar una cama acorde a las características del tamaño de la semilla, condición que se logra mediante buenas prácticas de barbecho, rastreo y nivelación del terreno, reduciendo al máximo cualquier posibilidad de anegación, la siembra puede ser mecánica en surcos o al voleo, el objetivo es una buena germinación de la semilla (Hill *et al.*, 1990 y Horton y Hart, 1998).

La cariósipide del mijo perla es pequeña, responsable de muchos problemas para el establecimiento del cultivo en el campo, especialmente en suelos secos con formación de costras (Norman *et al.*, 1984 y Maman *et al.*, 2003).

## Densidad de siembra

A la siembra se sugiere no exceder la población de plantas para reducir la competencia entre plantas por la humedad y nutrientes, por lo que en las condiciones del semiárido potosino en secano de 6 a 8 kg/Ha de semilla son suficientes, para tener una población de 500 000 plantas por hectárea, separadas a 60 cm entre surcos (36 semillas/m).

Carberry *et al.* (1985) y Payne (1991 y 2000) sugieren una población de plantas de 50 000 a 400 000 plantas/Ha, que dependerá de las condiciones climáticas y posibilidad de agua. El mijo perla generalmente se cultiva en bajas poblaciones en condiciones semi-áridas de secano, por lo que es muy susceptible a la competencia de las malezas. Se han informado pérdidas de rendimiento por la competencia de las malezas durante todo el ciclo del cultivo de 60-70 % al igual que en sorgo y maíz, el período crítico de competencia de malezas en el mijo perla es durante los primeros 15 a 30 días (Andrews *et al.*, 1985) pero cuando las condiciones de labranza de la tierra y época de siembra favorecen al mijo tiene dominancia sobre las malezas (Zegada-Lizarau, 2006).

## Fertilización

Trabajos realizados en diferentes partes del mundo sugieren para una mejor producción de la planta, fertilizar durante la siembra o en los primeros días de vida (Alkaff y Saeed, 2007; Khafi *et al.*, 2007; Kumar *et al.*, 1986; y Payne *et al.*, 1991) con dosis de fertilización de 40-40-00 de N, o bien el uso de estiércol, un factor indispensable es clasificar antes el suelo (Diouf *et al.*, 2000). En donde la humedad del suelo no sea un limitante, el mijo perla responderá bien a niveles altos de N. El vigor temprano de las plántulas, la tasa de crecimiento y la competencia contra las malezas son afectadas por el estado de fertilidad del suelo (Alkaff y Saeed, 2007; Shekhar y Niwas, 2007).

Alkaff y Saeed, (2007) en sus trabajos utilizaron biofertilizantes y N para una mayor producción de forraje y semillas.

Kumar *et al.* (1986) y Payne *et al.* (1991) demostraron mayor eficiencia del mijo cuando se administra N en la etapa de desarrollo temprano, el mayor rendimiento de

PC/ha durante el estado de desarrollo temprano se obtuvieron con híbridos de mijo perla, en contra de otras gramíneas (Monroe *et al.*, 1996; y Lang, 2001).

### **Labores Culturales Secundarias**

#### **Raleo o deshije**

Consiste en regular el exceso de población de plantas, se sugiere realizarla cuando la planta mide entre 10-15 cm y se retiran las de menor desarrollo (Andrews *et al.*, 1984).

#### **Aporque o escarda**

Se realiza a los 25 y 40 días después de la siembra, se debe enderezar a las plantas que tienen un desarrollo hacia los lados, con esto se prevé el acame.

### **Etapas Fenológicas del Cultivo de Mijo Perla**

Los eventos comúnmente observados en cultivos agrícolas y hortícolas son: siembra, germinación, emergencia (inicio), floración (primera, completa y última) y cosecha. Los eventos adicionales observados en ciertos cultivos específicos incluyen: presencia de yema, aparición de hojas, maduración de frutos, caída de hojas para varios árboles frutales. El periodo entre dos distintas fases es llamado estado Fenológico, la designación de eventos fenológicos significativos varía con el tipo de planta en observación. El ciclo de crecimiento del mijo perla puede dividirse en cuatro grandes fases de desarrollo:

- La fase vegetativa; de la emergencia a la panícula (Embuche).
- Inicio del tallo principal: fase de desarrollo de la panícula; a partir de las panículas, iniciación a la floración (floración).
- La fase de grano; desde la floración hasta el llenado de grano sin alcanzar el estado de maduración total (grano lechoso).
- Fase de grano masoso final; del período de llenado de grano (madurez fisiológica) de la cosecha (grano masoso) (Maiti, 1995 y Bidinger *et al.*, 1994).

## Fase vegetativa

La fase vegetativa del mijo es de 30 a 50 días de la emergencia a la formación de la panícula en el tallo principal. Esta fase comienza con la germinación de la semilla y emergencia de las plantas jóvenes, y continúa hasta el inicio de la panícula. Las plantas jóvenes desarrollan su sistema radicular, primario (raíces seminales) y producen raíces adventicias. El inicio de todas las hojas se inicia durante la etapa vegetativa y, para algunas variedades, seis o siete hojas (incluida la hoja de embriones) son totalmente desarrolladas hacia el final de esta fase. Hay poco alargamiento de entre los nodos, sin embargo el meristemo apical permanece en o por debajo de la superficie del suelo. La acumulación de materia seca se limita casi exclusivamente a las hojas y raíces. El tamaño del ápice en la iniciación floral va de menos de 0,5 a 1.0 mm en algunas variedades de iniciación floral tardías en las que no podrá producirse hasta 50-80 días después de la siembra (Maiti, 1981; Maiti, 1995; Bidinger *et al.*, 1994).

## Fase de desarrollo de la panícula

Durante esta fase, todas las demás hojas se desarrollan plenamente y amplían las primeras hojas en la base del tallo, comienzan la senescencia, el alargamiento del tallo se produce por la elongación de los entrenudos un crecimiento secuencial que comienza en la base del tallo (Maiti, 1990).

Las yemas, de la iniciación floral surgen, la hoja de expansión, del tallo principal. La primera yema de los hijuelos formada sigue su desarrollo, mientras que debido a la competencia se suprime el desarrollo de otros para que continúe el de los más avanzados del tallo principal (Bidinger *et al.*, 2005).

La acumulación de materia seca se lleva a cabo en las raíces, hojas y tallo. Durante la elongación del tallo de la panícula se somete a una serie de diferentes cambios morfológicos y de desarrollo. Estos incluyen el desarrollo de las espiguillas, hojas, glumas, estigmas, anteras y por último, la aparición del estigma (floración) y la polinización, que marca el final de la fase (Baptaglin y Gomez (2004).

## Fase de llenado de granos

Esta fase comienza con la fertilización de las flores en la panícula del tallo principal y sigue a la madurez de la planta (tallo principal e hijuelos). Los aumentos en el peso seco total de la planta durante este periodo son en gran medida en el grano, pero como los hijuelos en muchas variedades crecen y florecen después de alargar el tallo principal, también hay un cierto aumento en los componentes vegetativos, principalmente la caña del timón de los hijuelos del tallo. La senescencia de las hojas inferiores sigue, y al final de la fase de llenado de grano, normalmente sólo dos a cuatro hojas de la parte superior siguen siendo verdes. Algunas variedades desarrollan macollos pequeños en los nódulos en la parte superior del tallo, especialmente hacia el final de la fase de llenado de granos (Maiti y Bidinger, 1981).

Los macollos (hijuelos) tienen un ciclo de desarrollo más corto que los basales, produciendo sólo unas pocas hojas y una pequeña panícula. El final de la fase de llenado de grano (madurez fisiológica) se caracteriza por el desarrollo de una pequeña capa de tejido oscuro en la región del hilo del grano. Esto ocurre en una panícula unos 20-25 días después de la floración. El llenado del grano de la planta entera (desde la floración del tallo central hasta el llenado del grano de los hijuelos), se retarda cuando los macollos florecen principal (Maiti, 1995 y Bidinger *et al.*, 1994).

## Rendimiento

A pesar de su poca difusión en México, Hernández y Martínez, (2007) reportan cultivos con alturas de hasta 2.5 m. La altura sobre el nivel del mar promedio en la que se adapta esta en el rango de 800 a 1800 metros (Bhattacharya, 2004).

El forraje que se logra obtener se caracteriza por mostrar parámetros de calidad interesantes considerando la condiciones ambientales sobre la que este cultivo puede adaptarse, ya que se comparan o mejoran con los del sorgo, dependiendo del híbrido que se utilice para ésta comparación. Crece y madura rápidamente cuando llegan las lluvias. Reportes de Willis, (2005) en Canadá promueven al híbrido CFPM – 101, mencionando que el primer corte está listo en 55-60 días después de la siembra, para un óptimo de proteína cruda de 16 a 24 %, en forraje verde y 6 a 24 T/ha de MS, cortado cuando llega a 90 cm de altura. El segundo corte se podrá realizar 30 días después, dejando 10 cm de tallo para que la planta pueda rebrotar y esperar un tercer

corte. La cosecha del tercer corte es probable después de 35 días si las condiciones ambientales y de humedad lo permiten.

Trabajos realizados por Moreira *et al.* (2006) sugieren el uso de mijo perla, para apadrinar (proteger) algunos cultivos, en los últimos años se han desarrollado variedades de híbridos con características altamente definidas; cortos periodos de producción, mayor rendimiento por hectárea (Acevedo y Silva, 2003) y resistentes a enfermedades (AERC, 2004; Aguilar *et al.*, 2006; Akmal y Zulfigar, 2002; Andrews *et al.*, 1985; Bidinger *et al.*, 2006; Bidinger *et al.*, 2003a; Bidinger, *et al.*, 2003b; Blümmel *et al.*, 2003; Huda, 1987; Valland y Goodman, 2004).

Feutcher, (2005) y Henson *et al.* (1986) con trabajos realizados en condiciones de secano, que midieron el índice de respuesta de la planta IRP, independientemente del potencial de rendimiento y tiempo de floración del cultivo, observaron que el estrés no se relacionó con el rendimiento en forraje, por lo que los cultivares que estudiaron los recomendaron en condiciones de sequía.

Se ha reportado que el rendimiento de MS se incrementa a medida que la planta se acerca a la madurez fisiológica (García, 2000; Fribourg y Culvahose, 2003; Cummins, 1981; Degenhart *et al.*, 1995; Dugarte, 1990; Hernández y Martínez, 2007). Por otro lado, se ha determinado que los rendimientos de MS, PC y Materia Seca Digestible MSD aumentan a medida que aumentan las dosis de N en la fertilización (Kumar, *et al.*, 1986; Monterrey 1988; Pedersen y Toy, 1997). Con base en los rendimientos de MS, PC y MSD/ha, se recomienda cortar los híbridos de Mijo Perla (Mil-HY-100 y 3-Mil-X) en el estado de floración (Ahmeda *et al.*, 2000; Akmal y Zulfigar, 2002; Hash *et al.*, 2004; Johnson *et al.*, 2003; Mohan *et al.*, 2006). Sin embargo, para el corte en estado de grano lechoso se sugiere utilizar los híbridos Sudax y Piper (Bodisco *et al.*, 1991 y Rodríguez *et al.*, 2008).

Aguilar *et al.* (2006), Blümmel *et al.* (2003) y Henson *et al.* (2005) señalan que el mijo da buenos resultados en la obtención de grano y forraje, incluso utilizando las prácticas tradicionales de cultivo, que llegan a duplicar rendimientos de otros forrajes en condiciones similares, pero los que dan mejor resultados son los métodos modernos con los que se llegan a obtener rendimientos de 2.4 ton/ha de grano, 18.5 ton de forraje verde y 4.85 a 5 ton de forraje seco.

Creel y Fribourg, (1981) y Fribourg y Culvahouse (2003) reportan que el tallo tiene mayor participación como planta de ciclo vegetativo avanzado. Cornacchione y Kunst, (1998) mostraron en un ensayo de secano con salinidad, un solo corte para los sorgos sin rebrote posterior, mientras que el mijo perla logró dos cortes en igual condición con una producción de forraje superior. Otro dato de relevancia es que, ante la situación de secano con salinidad, el mijo perla tuvo 18,72% de PB en hojas, superando en 2 puntos a los sorgos en igual situación (Degenhart *et al.*, 1995).

Hernández y Zavala, (2009) establecen que el potencial del cultivo del mijo perla para grano en México es desconocido, sin embargo como cultivo alternativo forrajero tiene gran potencial. En Nuevo León, Maiti *et al.* (1989) y Maiti y Soto (1990) obtuvieron alrededor de 3015 Kg/ha con el genotipo (ICMS-7707); en Tamaulipas, Torres *et al.* (1994) encontraron que el rendimiento de grano promedio fue de 2385 kg/ha con un rango de 1991 a 2919 kg/ha con la variedad 'EX-Born', que fue la de mayor rendimiento, seguida por la variedad 'WC-C75' con 2647 kg/ha; en San Luf Potosí Villanueva *et al.* (2001) con las variedades ICMV- 8893 e ICMV 221 obtuvieron rendimientos más de 6000 kg/ha; en Oaxaca, Ruiz y Carrillo (2005) con variedades enanas cosecharon 2983 Kg/ha.

En México se han trabajado variedades de polinización libre de porte normal 'ICMV-88903', 'ICTP- 8203', 'ICMV-221' e 'ICMV-93191' introducidas del ICRISAT, y los híbridos enanos '68AI x 086R', '59052M x 9Rm x 4Rm' y '8401M x 68A4Rw' introducidos de la Universidad de Nebraska-Lincoln, EE. UU.

### Rendimiento forrajero

Los mijos muestran un mayor porcentaje de hojas y tallos, en el primer corte y en los macollos, incrementándose los valores de ambos parámetros en todos los genotipos en el segundo corte (Huda, 1987). Sin embargo la calidad del forraje está determinada por el contenido de nutrientes y su disponibilidad (Glew *et al.*, 1997; Gomez *et al.*, 2008; Fanher *et al.*, 2005; Olphen *et al.*, 2000).

### Influencia de la variedad en el rendimiento

Uno de los efectos que tiene la variedad es determinar la relación entre hojas y tallos, lo que a su vez determina el valor forrajero de una especie. En general, a mayor porcentaje de tallos, la calidad disminuye, pero si no hay muchos tallos, tampoco habrá un número elevado de hojas y, en consecuencia, la producción se reduce. Se sabe que la palatabilidad, y la calidad del forraje aumenta con la proporción de hojas en la planta (Báez, 1988). Se ha observado que existe una gran variación entre variedades sobre esta característica. Así, se ha reportado que el porcentaje de hojas de seis genotipos del género *Pennisetum* varió entre 27 y 57 % (Schank *et al.*, 1993).

### Influencia de las condiciones ambientales y del suelo en el rendimiento

La cantidad de materia seca producida por una planta depende de diversos factores ambientales y genéticos. Dentro de los ambientales, se incluye la luz, CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad disponible y nutrientes, mientras que en los genéticos se incluye al tipo de fotosíntesis, la estructura del tallo y el índice de área foliar (Hopkins, 1999). La mayor parte de las especies de mijo son plantas de fotosíntesis C4. Sin embargo la deficiencia de humedad es uno de los principales factores que a nivel mundial limitan los rendimientos aún en zonas templado-húmedas. En este sentido, los mijos son muy resistentes a sequías y a suelos pobres, debido a mecanismos de escape o de tolerancia, especialmente en la etapa vegetativa, pues puede recuperarse de sequías impuestas incluso en la etapa de diferenciación floral sin menoscabo en el rendimiento (Lowenberg-DeBoer *et al.*, 1995).

### Influencia de la fertilización en el rendimiento

Diouf *et al.* (2000) y Maman *et al.* (2006) consideran que la inestabilidad en la producción de mijo es causada principalmente por el déficit de agua del suelo y deficiencia de N.

Kathjue *et al.* (1993) mencionan que al fertilizar el cultivo se observa un mejoramiento de la fertilidad del suelo, aumenta la materia seca, el rendimiento de grano, la eficiencia del uso del agua, la extracción de agua del suelo, las concentraciones de metabolitos de la hoja (proteínas solubles, aminoácidos libres,

clorofila total, y almidón), y la actividad de la nitrato reductasa, en comparación con las plantas sin fertilizar en ambas condiciones de secano y de regadío.

Así mismo Gupta y Kumar (2008) mencionan que el suelo fertilizado en cuatro niveles de azufre (S) hasta 45 kg/ha aumenta significativamente el rendimiento de grano y rastrojo y la absorción de S por el mijo perla.

#### Influencia del estado fenológico al momento del corte

La producción total de materia seca no es un buen criterio para la selección de materiales forrajeros, esta selección deberá hacerse con base en parámetros indicadores tanto de la productividad como de la calidad del forraje. En muchas plantas forrajeras, una relación alta de peso de tallos/hojas resulta en una menor disponibilidad de nutrientes (Báez, 1988). En zonas semiáridas también es importante considerar la eficiencia de producción por unidad de agua disponible, ya que el consumo de esta varía de acuerdo al estado fenológico de la planta; basta mencionar que a mayor edad de la planta se obtiene mayor biomasa pero la calidad del forraje descende.

#### Valor nutritivo del forraje

Monroe *et al.* (1996) en un estudio de dos años en Texas, compararon el rendimiento de novillos destetados de 226.80 Kg con un buen manejo y alimentados con los diferentes tipos de híbridos o variedades de mijo. La ganancia diaria más alta de peso promedio fue de 2.2 Kg con una tasa media de 1.5 animales/ha.

**Cuadro 2. Comparación de la calidad de nutrientes obtenidos en dos forrajes anuales en Kentucky (Monroe *et al.*, 1996).**

Forraje	Proteína %	FDA%	FDN %	TDN %
Sorgo x Sudangrass	14.9	35.5	65.5	55.5
Mijo perla	9.3	37.8	67.3 6	52.6

## Composición química de los granos de mijo perla

Glew (1997) reporta que el mijo tiene un porcentaje mayor de carbohidratos que el sorgo (17.4 % contra 9.8 %), la cual explica en parte la menor cantidad de almidón y el contenido más alto de proteína, que el sorgo y el maíz. El principal almidón es amilosa (seis moléculas de glucosa), siendo la sacarosa el principal azúcar contenido en el grano. El contenido de lisina del mijo es 21% mayor que el maíz y el 36% mayor que el sorgo. El contenido de proteínas en el grano es de 8 a 19 % en promedio y tiene bajos niveles en aa<sub>s</sub> que contienen S e.g. treonina y triptófano.

La cantidad de lípidos es importante, alrededor del 75% de los ácidos grasos son insaturados y el ácido linolénico es particularmente elevado (46,3%). El mijo contiene poca cantidad de vitamina C y la vitamina B se concentran en la capa de aleurona y germen, aunque contiene buenos niveles de taminia, niacina y riboflavina, estas se pueden perder en el proceso de molido. Los componentes minerales del mijo varían ampliamente, reflejan la composición mineral de los suelos y las condiciones en que se cultivan las plantas. A pesar de esto, el total de minerales (cenizas) de todos los mijos es a menudo mayor que el sorgo y otros cereales (Hill *et al.*, 1990).

La utilización y la digestibilidad del forraje del mijo perla para el ganado vacuno no se han examinado, Brethour, (1982 y 1983) citado por Hill *et al.* (1990) que reportaron ligeras mejorías en el rendimiento de ganado de carne, cuando el grano de mijo perla se comparó con el grano de sorgo. El grano de mijo perla tiene un gran potencial para su uso en aves de corral y en las dietas de ganado de carne en el sureste de los EE.UU (Fancher *et al.*, 2005). Además el mijo puede utilizarse como grano de alta calidad por su proteína, que podría encajar en varios sistemas de cultivo para muchas regiones del país y en especial ésta región (Hill *et al.*, 1990).

**Cuadro3. Composición química del mijo perla para grano**

Nutriente	Rango	Media
Proteína (%)	5.8 a 20.9	10.6
Almidón (%)	63.1 a 78.5	71.6
Azúcares solubles (%)	1.4 a 2.6	2.1
Fibra Cruda (%)	4.1. a 6.4	5.1
Lípidos (%)	4.1 a 6.4	5.1

Adaptado de Castro *et al.* (2000); Fancher *et al.* (2005); Fisher *et al.* (1999) y Lee *et al.* (2009).

**Cuadro 4. Comparación entre calidad, digestibilidad y calidad de nutrientes obtenidos en diferentes estadios fenológicos del forraje de mijo perla.**

Nutriente	% Obtenido	Estado al corte	Altura de la planta en cm
Materia Seca (MS)	75.0 M	Planta seca madura	135
	23 m	Panoja/embuche	60
Proteína Bruta (PB)	17.7 M	Panoja/embuche	80
	7.3 m	Paja planta madura	150
Fibra Detergente neutra (FDN)	65.60 M	Paja Planta seca madura	150
	55.4 m	Espiga/embuche	80
Digestibilidad	4.28 M	Planta seca madura	150
	2.01	Fase vegetativa	40
Lignina			

M= Máximo. m= Mínimo

Adaptado de Hassanat *et al.*, (2006) y Yadav y Weltzien, (2000) estudios realizados en Sudáfrica

Cuadro 5. Contenido de proteína cruda en (*Pennisetum americanum* L. Leeke).

Fracción	Autor Año	Porcentaje %
PROTEINA CRUDA	Sedivec y Blaine, (1991)	15.00 (Ensilaje)
	Sedivec y Blaine, (1991)	10.80 (Heno)
	Stewart, (2009)	18.00
	Monroe <i>et al.</i> , (1996)	9.3 (1er corte)
	Nleya y Jeranyama, (2005)	8.1 A 13 (Ensilaje)
	Lang, (2001)	11.5
	Hancock, (2009)	8 – 11
	Degenhart <i>et al.</i> (1995)	18.72 (Hojas)
	Willis, (2005)	16 a 24 (Forraje verde)

Porcentajes de proteína cruda encontrados por diversos autores en condiciones de cultivo diferentes en cada uno de los estudios reportados.

**Cuadro 6. Contenido de FDN, FDA, P y Ca en (*Pennisetum americanum* L. Leeke).**

<b>Factor</b>	<b>Autor Año</b>	<b>Porcentaje %</b>
<b>F D N</b>	Sedivec y Blaine, (1991)	48.3 (Ensilaje)
	Sedivec y Blaine, (1991)	65.00
	Stewart, (2009)	66.03
	Monroe <i>et al.</i> , (1996)	67.33 (1er corte)
	Nleya y Jeranyama, (2005)	60.10 (Ensilaje)
<b>F D A</b>	Sedivec y Blaine, (1991)	38.7 (Ensilaje)
	Sedivec y Blaine, (1991)	43.80 (Heno)
	Stewart, (2009)	36.03
	Monroe <i>et al.</i> , (1996)	37.88 (1er corte)
	Nleya y Jeranyama, (2005)	32.00 (Ensilaje)
<b>Fósforo</b>	Stewart, (2009)	0.35
<b>Calcio</b>	Stewart, (2009)	0.54

Las fibras comprenden los componentes estructurales de la planta, por lo que se considera que la planta eleva su contenido conforme crece y madura. Los minerales reflejan el contenido de estos en el suelo.

## Conservación del Forraje

Las principales técnicas que el hombre ha utilizado para almacenar forraje han sido la henificación y el ensilaje. El uso de forrajes, ya sea como ensilados o henificados es una práctica común en todos los países de agricultura avanzada, ya que se contribuye a resolver el problema que plantea la estacionalidad de la producción forrajera frente a los requerimientos animales que son relativamente constantes. La elección sobre el método para almacenar estos forrajes debe satisfacer principalmente tres factores:

- 1.- Económico
- 2.- Facilidad de adoptarse por cualquier productor
- 3.- Debe preservar la calidad nutricional del forraje verde.

Los forrajes conservados (henos y ensilajes) poseen cualidades nutritivas muy diversas y cumplen papeles metabólicos distintos (energéticos, proteicos, fibra efectiva, etc.), en función del tipo de cultivo o parte del mismo que se haya conservado. Aún más, las variaciones de nutrientes disponibles pueden ser muy altas dentro de una misma especie de cultivo, ya que dependen de factores ambientales y de manejo.

En México el maíz (*Zea mays*) es el cultivo más utilizado para la confección de ensilajes debido a su buen rendimiento y calidad, mientras que la alfalfa (*Medicago sativa*) ocupa un lugar preponderante en la conservación de forrajes por medio de la henificación. Sin embargo, existen muchas regiones que no poseen características edafo-climáticas muy favorables para el desarrollo de estos cultivos. En contraste, el mijo se adapta a una amplia gama de suelos y tiene la capacidad para crecer bajo condiciones de déficit de agua logrando rendimientos elevados y más estables entre años, con aceptables valores de energía-proteína, por lo que una vez cultivado, se considera importante preservarlo por medio de estas técnicas (Amodu y Abukar, 2004; Andrews *et al.*, 1985; Degenhart *et al.*, 1995; Hash *et al.*, 2004; Johnson *et al.*, 2003; Mohan *et al.*, 2006).

## El Henificado

El heno es el forraje conservado que se conoce desde la antigüedad y aún hoy es el más importante, a pesar de su dependencia de las condiciones climáticas propicias en el momento de la cosecha. La henificación es el proceso en el cual el forraje verde es convertido en forraje más o menos seco para ser aprovechado en épocas críticas, cuando no se dispone de este en cantidad y calidad.

### Fases de henificado

Fase de secado (I), es la pérdida de humedad de las hojas. En la planta se ha reducido el contenido de humedad al 60%. (Por lo tanto el secado inicial para perder el primer 15% reducirá la pérdida de humedad de los almidones y los azúcares y preservar más nutrientes digestibles totales TND (Akmal y Sulfigar, 2002).

Fase de secado (II), es la pérdida de humedad de la superficie foliar y del tallo, el manejo contribuye a aumentar la velocidad de secado (volteos continuos).

Fase final del secado (III) es la pérdida de agua más exigente, en particular de los tallos.

### El ensilado o silaje

El papel del ensilaje en la zona árida y semiárida de México no ha sido muy claro. Se le ha asignado el mismo papel que ha tenido en zonas templadas; permitir almacenar el excedente de forraje durante la época de crecimiento activo de las plantas para su distribución en la poca de escasez. Los resultados de este tipo de prácticas han sido generalmente poco alentadores, debido a la deficiente calidad de los forrajes, a su avanzado estado de madurez y las deficientes técnicas de su manejo, pero principalmente a que no se realizan estudios bromatológicos de dichos forrajes antes y después de su paso por el silo (Farias, 1987; Moore y Petersen 1995).

Más recientemente se ha ensayado utilizar cultivos especiales destinados al ensilaje, empleándolos a su vez para aumentar la productividad de la tierra; este tipo de modalidad parece ser más prometedora en la alimentación de los animales, como en el caso del mijo perla (Chaudhry, 1999).

## Características generales

El ensilaje o ensilado se obtiene de la fermentación controlada de gramíneas o leguminosas, una cosecha se puede preservar bajo condiciones que hacen posible la producción de suficiente ácido láctico para que la biomasa no tenga un deterioro posterior. Esta biomasa o forraje se conserva por la acción de bacterias ácido lácticas, sobre los azúcares del mismo forraje dando como resultado un pH bajo (ácido) en condiciones anaeróbicas, con un alto grado de humedad (Ball-Coelho *et al.*, 2003; Cameron, 2009; Fribourg, 2003).

## Características específicas

Éstas características son proporcionadas por factores organolépticos medibles a simple vista que nos dan la posibilidad de evaluar subjetivamente la calidad del ensilado. Es común observar: olor, color, textura, estructura y presencia o ausencia de microorganismos indeseables como mohos y hongos (manchas blanquecinas).

Para una adecuada fermentación de la biomasa debemos considerar:

- Acidez

El pH que no debe ser  $>4.2$  con un 30 % de MS

- Ácidos orgánicos

Son el resultado de las reacciones de fermentación principalmente el ácido butírico y el ácido acético. La presencia de ácido Butírico ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$ ) nos indica una mala calidad del ensilado, reduce la apetencia y los animales dejan de comer. El ácido acético ( $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ) proporciona un olor avinagrado al ensilado reduciendo la preferencia de los animales.

El ácido láctico ( $\text{H}_3\text{C-CH(OH)-COOH}$ ) mejora la calidad y aceptación de los consumidores (Hassanat *et al.*, 2006).

- Nitrógeno amoniacal

Puede usarse para evaluar subjetivamente la calidad de la fermentación, su contenido aumenta debido al exceso de proteína, humedad y aireación. De 10 a 20 %

de N amoniacal del contenido total de N es bueno, > al 20 %, nos indica un silaje de mala calidad (Cherney *et al.*, 1988 y Cherney *et al.*, 1991).

- **Microbiología del ensilado**

Prevalecen levaduras facultativas (se desarrollan en condiciones anaerobias o aerobias) que se desarrollan con facilidad.

Cuando los forrajes están en época de crecimiento contienen un número significativo de bacterias ácido lácticas. En el ensilado estas bacterias (homofermentativas y heterofermentativas) fermentan los carbohidratos hidrosolubles produciendo ácidos orgánicos de mayor importancia; el ácido láctico reduce el pH de acuerdo al contenido de humedad del forraje. La actividad de las bacterias que sobreviven a las condiciones del ensilado (temperatura, acidez anaerobiosis) cesan a un pH de 3.8 – 4 estabilizando el producto en condiciones de anaerobiosis, de no lograrse la estabilización del pH los clostridios sacarolíticos (esporulados) colonizan la biomasa, fermentan el ácido láctico y los carbohidratos hidrosolubles residuales, produciendo ácido butírico y elevando el pH (Kratohvil y Miller, 2000-2001).

### **La Fermentación y los Cambios Bioquímicos**

Durante el proceso de corte los forrajes se encuentran vivos de tal manera que la actividad enzimática respiratoria no cesa y continúa aún dentro del silo hasta que se modifiquen drásticamente el pH y las condiciones aerobias (Gomes *et al.*, 2008)a

Los carbohidratos solubles del forraje se oxidan a CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y calor que elevan considerablemente la temperatura, las bacterias ácido lácticas fermentan los carbohidratos hidrosolubles, después de la hidrólisis se encuentran en forma de glucosa y fructuosa, con formación de ácido láctico y otros productos. Las hemicelulosas se hidrolizan liberando pentosas que se fermentan con producción de ácido láctico (Grupta y Pradhan, 1975).

Los forrajes en crecimiento contienen de 75 – 90 % aproximadamente de N en forma de proteína, durante el picado las proteínas de los vegetales se hidrolizan hasta aa<sub>s</sub>, por lo que entre las 12 y 24 hrs, entre un 20 y 25 % del N total se encuentra convertido en NNP.

En caso de que predominen los clostridios pueden producirse grandes cambios en los aa<sub>s</sub> en base a tres tipos de reacciones: desaminación, descarboxilación y oxido-reducción dando lugar a la producción de aminas, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, cetoácidos y ácidos grasos, las bacterias coliformes también pueden desaminar y descarboxilar los ácidos. (Gomes *et al.*, 2008)a

### Ácidos orgánicos y capacidad tampón

Los forrajes tienen capacidad tampón (CT) o sea que pueden resistir los cambios de pH. Cuando el pH del ensilado está en un rango de 4 – 6 un alto porcentaje (hasta el 80%) puede atribuirse a las sales de los ácidos orgánicos, ortofosfatos, sulfatos, nitratos y cloruros y solo el 12 % es atribuible a las proteínas. La fermentación del ensilado promueve un aumento en (CT) como consecuencia de la formación de lactato, acetato y otros productos.

### Pigmentos

Al ensilar un forraje el cambio más notorio es el color, los ensilados de color ocre o pardo son debidos al efecto de los ácidos orgánicos sobre la clorofila que se convierte en el pigmento sin magnesio llamado feotina.

### La fermentación del ensilaje

Un factor importante es el corte del forraje en un estado óptimo para reducir la respiración celular posterior al corte (Urrutia y Meraz, 2004). Los microorganismos del silo se nutren de carbohidratos, lípidos, grasas y proteínas de las células vegetales. Este proceso se llama fermentación, que propicia cambios y pérdidas de nutrientes, si la ausencia de O<sub>2</sub> no es satisfactoria la pérdida de nutrientes será mayor por respiración celular y fermentación aeróbica (Gupta y Pradhan, 1975 y Hassanat *et al.*, 2006).

La calidad del ensilaje está regulada por las concentraciones de ácido láctico que se produce; la fermentación láctica se desarrolla en excelentes condiciones a 35 ° C. Cuando las temperaturas no exceden de 30 – 35° C aumenta la probabilidad de tener más elementos nutritivos sin modificar o la formación de productos secundarios

indeseables como el contenido excesivo de ácido butírico que propicia un deterioro del ensilaje caracterizado por olor y sabor desagradable.

Durante el proceso de fermentación, las proteínas se descomponen constituyendo compuestos amoniacales, neutralizando el ácido y provocando putrefacción, por lo que se sugiere no ensilar forrajes con alto contenido de proteínas (Glew *et al.*, 1997).

El mayor contenido de azúcares solubles asegura una mayor fermentación por acción microbiana y el desdoblamiento de estos en ácido láctico.

Las pérdidas de energía y proteína son mayormente significativas que las de materia seca, la población de microorganismos ácido lácticos se ve disminuida por exceso de agua, de igual forma este exceso provoca escurrimientos.

La fermentación de carbohidratos se produce durante las primeras tres semanas por acción de las bacterias ácido lácticas, también ocurre la degradación de las proteínas a aa<sub>3</sub> por acción de enzimas liberadas por acción del propio forraje.

La calidad del silo se puede ver afectada por acción de bacterias clostridicas, esto depende en un alto porcentaje del grado de humedad y de la riqueza de azúcares solubles del mismo forraje, si este tiene suficiente cantidad de azúcares solubles la acción de las bacterias ácido lácticas producirá suficiente cantidad de azúcares solubles, la acción de las bacterias ácido lácticas producirá suficiente cantidad de ácido láctico y ácido acético para alcanzar el pH de 4 a 4.2 por lo que la actividad clostridica es elemental, situación que ocurre cuando el nivel de ácido láctico llega a ser de 6 % de la MS.

La importancia de que el pH baje lo suficiente por falta de carbohidratos solubles, provoca que el ácido láctico se descomponga en una fermentación secundaria por acción de bacterias sacarolíticas dando lugar a la formación de ácido butírico, esta reacción es simultánea a la actividad de las bacterias proteolíticas que descomponen los aa<sub>3</sub> volátiles, NH<sub>3</sub> y aminos. La actividad clostridica sobre la masa del silo se puede determinar con los niveles de NH<sub>3</sub> o del ácido butírico. El alto grado de humedad del 18 % requiere un pH de 4. El 30 % se estabiliza con un pH de 4.4 y con un marchitamiento previo del forraje con pH de 5 alcanza la estabilización.

Kumar *et al.* (1986) indican que si las condiciones de ensilado no son buenas o aparecen cantidades importantes de  $\text{NH}_3$  las pérdidas por digestibilidad del ensilado son >30 %. La importancia de las fermentaciones indeseables estriba en el grado de pérdida de MS, fermentaciones producidas principalmente por un mal método para la recolección del forraje, continuidad de la respiración aerobia, por un llenado lento, el mal compactado o un cierre deficiente.

#### Fases de la fermentación del ensilado

La mayoría de los autores entre ellos (Chaudhary *et al.*, 1984; Glew *et al.*, 1972; Kratochvil y Miller, 2000-2001) consideran cinco fases, partes o etapas en la fermentación del ensilado, teniendo en cuenta las siguientes fases;

Fase 1.- Colocación del forraje en el silo con la respiración final de las células vegetales, la producción de calor y  $\text{CO}_2$ .

Fase 2.- Final de la respiración celular e inicio de la producción de ácido láctico.

Fase 3.- El ácido láctico reduce el nivel de pH, inhibiendo el crecimiento de bacterias del ácido acético y la proliferación. Ocurre el asentamiento del forraje y la salida de jugos (4° a 5° día)

Fase 4.- Inicia entre el 3° y 5° día y dura entre 15 y 20 días, aumento de bacterias lácticas que incrementan el ácido láctico del silaje subiendo el pH a niveles que interrumpen una acción bacteriana posterior.

Fase 5.- Fase de estabilización, periodo indefinido que refleja el valor relativo de los cambios ocurridos durante las 4 primeras semanas.

#### Efecto de la temperatura

De importancia para la multiplicación de bacterias lácticas es la temperatura, la óptima varía entre 27 y 38° C, un ensilado con temperatura ideal se observa con un color entre verde y amarillo, olor agradable, tejidos duros y un pH por debajo de 4.5. Cuando la temperatura está por debajo de 25° C su color es entre verde y café, de olor fuerte y consistencia viscosa, sin atractivo al gusto del animal, con un pH de 5 o más, el animal lo intenta comer pero no es de su agrado (Alström, 1990).

Efecto del contenido de materia seca (MS) del forraje.

La materia seca no ejerce acción directa sobre los procesos dentro del silo, pero es trascendente para estimar el estado de madurez, contenido de proteína y la dificultad para comprimir el forraje. Cuando el forraje es bajo en MS tiende a ser más compactado resultando bajas temperaturas (Amodu y Abukar, 2004).

Efecto del pH

El pH es el indicador ampliamente utilizado para medir la calidad del silaje, con el apoyo de información adicional, al abrir el silaje el pH deberá estar en rango de 4.2 a 4.5 (Amodu, 2001 y 2008).

### **El Ensilado en Bolsa**

El ensilado en bolsa es un método económico y eficiente de conservación de pasturas y forrajes basado en un proceso de fermentación anaeróbica, que permite mantener la calidad del mismo durante períodos prolongados. El forraje bien fermentado es un alimento natural para el animal y es similar en calidad de nutrientes a la ingesta que el mismo haría en un forraje verde pastoreado o de corte. (Vetriventhan y Nirmalakumari, (2007)a y (2007)b

Factores a considerar durante el embolsado

(Casagrande, 1991; Lang, 2001; Lee *et al.*, 2009; Monroe, 1996; Nleya, 2005 y Sedivec y Blaine, 1991) consideran los siguientes factores para el ensilaje y el uso de silobolsa.

- **Humedad:** la humedad óptima se encuentra comprendida entre el 58% y el 68%. Valores superiores pueden derivar en una fermentación butírica y una pérdida de azúcares y proteínas. Niveles inferiores pueden retrasar la fermentación e inclusive que no se lleve a cabo.
- **Tamaño Óptimo del Picado:** el tamaño del picado debe estar entre 1 y 2 cm.
- **Perdidas en el Proceso de Ensilado:** no deben existir pérdidas, mayores al 1 % son por el mal manejo de la Silobolsa.

- **Perdidas por Efluentes:** si la humedad de la materia a embolsar es superior al 75% gran cantidad de los jugos ricos en proteínas y azúcares solubles se pierden lixiviados.
- **Desgasificado:** los óxidos nitrogenados deben ser eliminados para poder tener una correcta fermentación anaeróbica.

### **Ubicación y cuidados de las bolsas**

- Deben ser colocadas en lugares altos, con pisos nivelados y compactados, libres de malezas y con buen drenaje
- Proteger el lugar de ganado y roedores
- Ubicar las bolsas en zonas que permitan las extracciones de forraje con facilidad
- Si el material ha ensilar es mayor a 10 Ton, se deberá utilizar polivinilo de resistencia.

### **Llenado de la bolsa**

Suministrar el material picado en forma constante y pareja, por lo menos en las tres primeras cuartas partes.

### **Confección con materiales con alta humedad.**

La forma final que adopta la bolsa tiene una relación directa con el tipo de material y la humedad que este posee. Cuando los valores de humedad en el momento de picado se encuentran por encima del 70%, en la bolsa existe un re acomodamiento del material, asentándose y compactándose post-confección, tomando la bolsa una forma más achatada.

### **Confección en períodos de alta temperatura ambiental.**

La mayoría de las gramíneas se cosechan en épocas donde las temperaturas diarias alcanzan los 30 – 35° C en el día y por la noche de 22 – 25 °C. Esto determina que tanto el forraje como la bolsa alcancen temperaturas acordes. El forraje ingresa a la bolsa con una temperatura demasiado elevada como para generar un buen comienzo del proceso de conservación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Materiales**

Semilla de Mijo Perla Pennisetum americanum (L) Leeke

Bolsas de polivinilo negras

Bolsas de polivinilo transparentes

Bolsas de papel

Bolsas de plástico

Marcadores de tinta permanente

Marcadores para pizarrón

Tarjetas blancas

Cinta adhesiva

Rafia

### **Equipo**

Tractor con implementos agrícolas

Azadones

Palas

Cuchillas

Picadora ensiladora marca Azteca con motor a gasolina

Bascula automática de 20 Kg.

Trípode de madera de 2mts de altura

## Metodología

### Localización

La presente investigación se desarrollo en el Campo Experimental San Luis del INIFAP, durante el ciclo primavera verano del 2009. Con una latitud norte de 22° 14'03'' y una longitud de 100° 53'03' y una altitud de 1875 msnm, su clima corresponde a la clave Bs o kw (w( i) según Koeppen, que corresponde a un clima seco estepario frío con temperatura promedio de 17.6°C, mínimas de 7.5° C y máximas de 35°C, precipitación media anual en la región de 374 mm considerándose los meses de mayo a septiembre los de mayor incidencia de precipitaciones, meses más calurosos mayo a julio, temporada de frío; octubre a marzo (Villalpando y Ruiz, 1993).

### Análisis de Suelos

Suelo: Arcillo arenoso

Materia orgánica: 1,88%;

P: 12,8 ppm

Ph: 8,51

Laboratorio de Aguas, Suelos y Plantas UASLP-AGRONOMIA, (2009)

**Cuadro 7. Precipitaciones y temperaturas durante el periodo Junio – Octubre 2009. Precipitaciones y temperaturas durante el ciclo: 137.93 mm.**

Mes	mm (lluvia)	°C (mínima)	°C (máxima)
Junio	27.26	14	28
Julio	22.26	14	26
Agosto	28.91	14	26
Septiembre	32.00	13	25
Octubre	27.50	11	24

Datos de FORECA (2009)

Estimaciones satelitales de temperaturas durante el periodo (promedio)

Temperaturas Máximas: 25.8°C

Temperaturas Mínicas: 13.2°C

### Material genético

Se utilizó semilla de mijo perla de la variedad ICMV 221 el cual es considerado por Martínez, (2007) como de doble propósito.

### Métodos

#### Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con cinco repeticiones, dentro de un arreglo factorial 4 X 2 (4 estados fenológicos; embuche, floración, grano lechoso y grano masoso; y 2 métodos de conservación; ensilado y henificado).

#### Dimensiones del lote experimental

La unidad experimental consistió una área de 3 000 m<sup>2</sup> esta área se dividió en 40 parcelas de 30 m<sup>2</sup> (5 X 6 m), las cuales se distribuyeron en bloques al azar para los tratamientos.

#### Preparación del cultivo

El barbecho se realizó a una profundidad de 30 - 40 cm con el fin de romper y aflojar el suelo, así como procurar la incorporación de materia orgánica, posteriormente se hizo un rastreo para desintegrar los terrones formados durante el barbecho y como característica propio del suelo, para darle a la plántula y a la planta facilidad para el desarrollo de las raíces así como proporcionarle uniformidad al terreno.

El trazo de los surcos se realizó a una distancia de 80 cm para facilitar el área de manejo a cada dos surcos, se trazaron canales y bordos para evitar inundaciones durante la época de lluvias, posteriormente se procedió a la siembra.

## Siembra

Con sembradora para semillas pequeñas, que entierran la semilla a 4 cm aprox. de profundidad, se sembró el 15 de junio, para asegurar la siembra se dio un riego de pre siembra.

## Densidad de siembra

Variedad:	ICMV 221
Densidad de siembra:	6 Kg/Ha
Fertilización Nitrógeno y fósforo:	(120-60-00)
Superficie sembrada:	0.3 Ha

## Labores Culturales

Dentro de estas prácticas se hizo el paso de los cinceles par romper la costra que se forma en el suelo al día siguiente se hecho tierra con arado de doble vertedera que sirvió para enderezar la planta, quitar la hierba, quedando la planta con el banqueo adecuado.

## Métodos de cosecha

Las muestras se cosecharon manualmente cortando con cuchilla a 10 – 15 cm del suelo.

Cuatro fechas de cosecha: embuche (50 días); floración (65 días) y estado lechoso del grano (80 días) y estado masoso del grano (>86 días).

En cada parcela se cosecho el forraje y se conservo ensilado o henificado hasta su análisis, cada tratamiento tuvo cinco repeticiones.

## Métodos de conservación

### Ensilado

El ensilado se realizo en bolsas de plástico con capacidad aproximada de 20 Kg (microsilo) de forraje verde. El forraje cosechado se pico en una ensiladora provista de motor a gasolina y se vació en bolsas de plástico dobles (una transparente interna y

una negra externa) amarradas individualmente para reducir las posibilidades de que les entre aire, se hizo un microsilo por cada repetición.

### Henificado

Para el henificado, el forraje verde se corto y se formaron mogotes o harcinas para que se secase. Se formo una harcina por repetición. Así se dejó a que se secase, lo cual vario debido a las condiciones de humedad ambiental y al contenido de humedad del forraje. Después se pico la planta completa. Una vez picada, se tomaron muestras representativas de toda la harcina.

### Análisis de Laboratorio

Después de 60 días de reposo se tomo una muestra de cada repetición, las cuales se enviaron al laboratorio para determinar el valor forrajero (de acuerdo con el protocolo de la Universidad de Cornell).

#### Variables de respuesta

- PC (proteína cruda)
- E.E. (extracto etéreo)
- Ceniza
- FDN (fibra detergente neutro)
- FDA (fibra detergente ácido)
- LDA (lignina detergente ácido)
- NLFDA (nitrógeno ligado a fibra detergente ácido)
- PD (proteína digestible)
- P (fósforo)
- Ca (calcio)

Los resultados se analizaron por ANOVA por medio de un modelo de efectos fijos:

$$Y = u + f + c + fc + E$$

Donde:

Y es la variable independiente

u es la media general

f es el efecto de la edad de la planta al momento de la cosecha

c es el efecto del método de conservación

fc es la interacción entre factores fijos

E es el error experimental

Cuando se detectaron diferencias al nivel de 0.05, se aplicó la prueba de Tukey en el mismo nivel (JMP Star Statistics).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Resultados

En las variables estudiadas se encontraron variaciones en PC, EE, FDA, FDN, NLFDA, PD, P y Ca debidas al efecto del método de conservación ( $P < 0.01$ ), al estado fenológico de la planta al momento de la cosecha ( $P < 0.01$ ) y a la interacción de los dos factores ( $P < 0.01$ ) (Cuadro 8). Sólo en el caso del contenido de cenizas no se observaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). En el contenido de fósforo y calcio la interacción entre el método de conservación y la edad de la planta no fue significativa ( $P > 0.05$ ).

**Cuadro 8. Valores de F encontrados en el análisis de varianza para los efectos de la edad al corte, el método de conservación y la interacción de los factores en las distintas variables de valor nutritivo de forraje de mijo perla.**

Variables	Método de Conservación	Estado Fenológico	Interacción
Proteína Cruda	$\leq 0.0012$	$\leq 0.0012$	$< 0.0001$
Extracto Etéreo	$< 0.0001$	$< 0.0001$	$< 0.0003$
Cenizas	$> 0.05$	$> 0.05$	$> 0.05$
F D N	$< 0.0001$	$\leq 0.0003$	$< 0.0002$
F D A	$< 0.0001$	$\leq 0.0007$	$< 0.0001$
Lignina Detergente Ácido	$< 0.0001$	$< 0.0002$	$> 0.20$
N Ligado a F D A	$< 0.0001$	$\leq 0.0002$	$> 0.20$
Proteína Disponibile	$< 0.0001$	$< 0.0001$	$< 0.0001$
Fósforo	$\leq 0.036$	$< 0.0001$	$< 0.0001$
Calcio	$< 0.0001$	$< 0.05$	$< 0.05$

Los Cuadros 9 a 18 se muestran los promedios generales observados en cada una de las variables evaluadas. Los resultados encontrados en el presente trabajo tienen similitud a los reportados por Singh *et al.* (1987). Así mismo, los porcentajes encontrados en las variables PC, EE, Ceniza, FDA, FDN, NLFDA, PD, P y Ca, de este trabajo guardan similitud a los reportados en el estado de floración (Ahmeda *et al.*, 2000; Akmal y Zulfigar, 2002; Hash *et al.*, 2004; Mohan *et al.*, 2006), en el estado de grano lechoso (Bodisco *et al.*, 1991; Rodríguez *et al.*, 2008) y para la planta seca (Hassanat y Mustafa, 2006; Yadav y Weltzien, 2000), aunque difieren a los encontrados en otros estudios, en los que se observaron contenidos de proteína cruda superiores a los del presente estudio (Sedivec y Blaine, 1991; Stewart, 2009; Degenhart *et al.*, 1995; Willis, 2004), lo que sugiere que los valores observados en el presente estudio se encuentran en niveles normales para la especie.

Durante el proceso de henificado, en los estados de grano lechoso y masoso, se observó la pérdida del grano debido al consumo por la fauna silvestre (aves y roedores), lo que significó una gran pérdida de nutrientes. Esto evidentemente que afectó el contenido proporcional de diversos componentes, entre los que destacan la proteína y la fibra. En contraste, los ensilajes no experimentaron tales pérdidas, por lo que el valor de esos componentes en esos estados fenológicos fue superior al de los henos. Estas diferencias entre el heno y el ensilaje no fueron detectadas en el caso de los estados fenológicos de embuche y floración, lo que se atribuye a que al no tener aún grano, tales pérdidas no ocurrieron. Esta situación afectó la composición de los forrajes en casi todas las variables evaluadas (Cuadros 9 a 18), originando que el análisis estadístico detectara diferencias entre los métodos de conservación y su interacción con el estado fenológico de la planta al momento del corte.

La hipótesis del presente estudio suponía que el estado fenológico de la planta afectaría de manera importante la calidad nutritiva del forraje, reduciéndose con la madurez de la planta. Los resultados indican que efectivamente la edad de la planta afectó de manera importante la mayoría de los componentes de los forrajes, sin embargo, al observar los resultados exclusivamente de los ensilajes, se puede observar que la disminución del valor nutritivo no es tan acentuada, situación que se vio muy marcada en el caso de los henos. De esta forma, la mayoría de los

componentes mostraron resultados similares en los henos y en los ensilajes, pero sólo en el caso de los estados fenológicos de embuche y floración.

Los resultados nos muestran que fue más trascendente el método de conservación, en donde se puede observar que la fluctuación de los porcentajes de los nutrientes varió muy poco en los diferentes estados fenológicos de la planta al corte, siendo el caso totalmente diferente en los henos, en donde la edad si afectó valor nutritivo del forraje al momento del corte. Las características de valor nutritivo en los estados fenológicos de embuche y floración mostraron porcentajes similares en los henos y ensilajes en la mayoría de los componentes evaluados.

En los estados fenológicos de embuche y floración, las diferencias de los componentes entre el heno y el ensilaje no fueron tan evidentes como en los estados más avanzados de madurez, atribuible a que, al no presentar aún granos no hay pérdidas significativas, y a que las hojas no contienen tanta fibra que propicie un desprendimiento fácil de su base, el tallo, por lo que hubo poca pérdida de hojas.

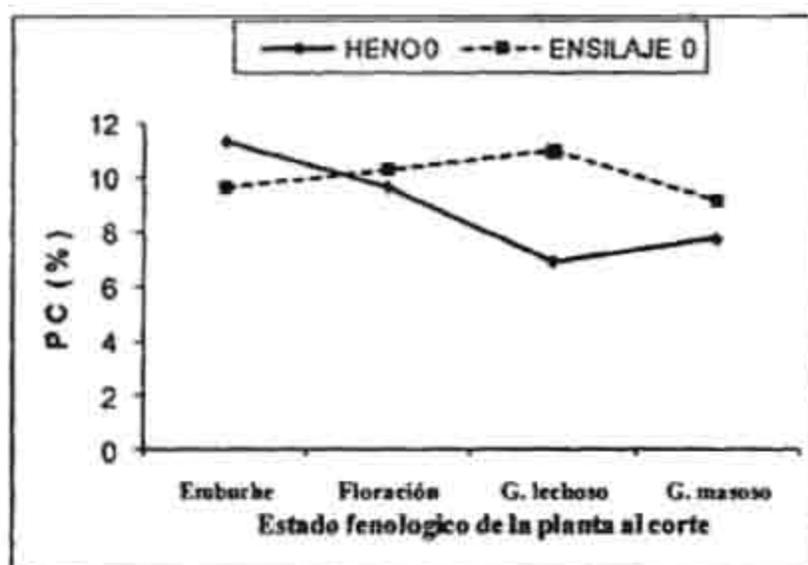
#### Proteína Cruda (PC)

El contenido de PC fue afectado de forma significativa por la edad de la planta al corte ( $P \leq 0.0012$ ) por el método de conservación ( $P \leq 0.0012$ ) y por la interacción de los factores ( $P < 0.0001$ ). En el Cuadro 9 y Figura 1 se muestran los promedios de los distintos tratamientos. Se puede observar que el ensilaje tendió a mostrar valores de PC mayores a los del heno en los estados de madurez pero no en el estado de embuche ni floración.

**Cuadro 9. Porcentaje de proteína cruda (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y ensilajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	11.35 $\pm$ 0.38 <sup>a</sup>	9.62 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>
Floración	9.67 $\pm$ 0.17 <sup>a</sup>	10.26 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>
Grano Lechoso	6.93 $\pm$ 0.14 <sup>c</sup>	10.98 $\pm$ 0.67 <sup>a</sup>
Grano Masoso	7.76 $\pm$ 0.23 <sup>bc</sup>	9.18 $\pm$ 0.39 <sup>ab</sup>

<sup>abc</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )



**Figura 1. Contenido de proteína cruda (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

El contenido de PC del forraje guarda una correlación inversa con la edad de la planta y el método de conservación, encontrando el valor más alto 11.35 % en el estado fenológico de embuche, conservado como heno y los porcentajes más bajos en los estados de grano. La abrupta caída del contenido de proteína que sufrieron los henos en los estados posteriores a la floración se debieron principalmente a que gran parte de la proteína contenida en la planta es traslocada a los granos, que al perderse durante el proceso de secado, originaron dicha caída. Al observar el contenido de proteína de los ensilajes, no se observa diferencia significativa ( $P>0.05$ ) entre los cuatro estados fenológicos, lo que sugiere que la madurez de la planta no fue factor relevante en el contenido de este nutriente.

En el presente trabajo se observó que los porcentajes de PC en el heno alcanzaron su máximo porcentaje en el estado inicial de embuche 11.35 %, descendiendo posteriormente para estabilizarse en los estados de grano. En el ensilaje se observó que estos niveles se incrementaron hasta el estado de grano lechoso a 10.98% similar a lo enunciado por Bolleta *et al.* (2008) y decrecieron en el estado de grano masoso. El estado de madurez o etapa de corte, es un factor que afecta al contenido nutritivo del forraje (Lang, 2001; Hancock, 2009; Nleya y Jeranyama, 2005; Sedivec y Blaine, 1991) superiores a los porcentajes de Monroe, (1996); Yadav y Welzien (2000) e inferiores a los de Sedivec y Blaine (1991); Stewart (2009) y Degenhart et al. (1995).

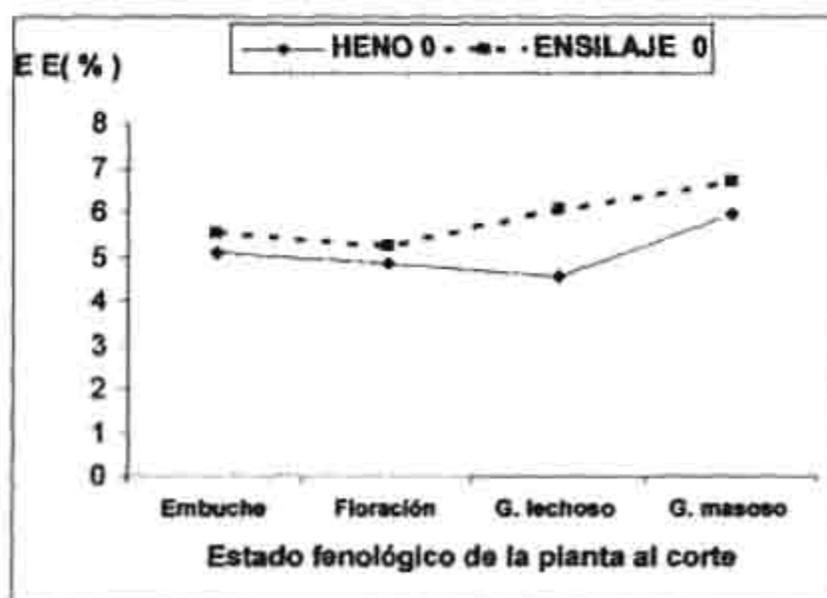
## Extracto Etéreo (EE)

El contenido de EE fue afectado por el método de conservación ( $P < 0.0001$ ) por la edad de la planta ( $P < 0.0001$ ) y por la interacción de los factores ( $P < 0.0003$ ). En el Cuadro 10 Figura 2 se muestran los porcentajes promedio en los distintos tratamientos. Se puede observar que los promedios de EE se mantienen casi similares y constantes durante el embuche y floración y se incrementan en los estados de grano. En el ensilaje este aumento es gradual, intensificándose después de la floración, mientras que en el heno, se mantuvo relativamente constante durante el periodo de crecimiento, aunque en el estado de grano masoso se incrementó notablemente. El contenido de EE está positivamente relacionado con la edad de la planta, aunque en el presente estudio esto no fue observado.

**Cuadro 10. Porcentaje de extracto etéreo (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y ensilajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	5.08 $\pm$ <sup>cde</sup>	5.51 $\pm$ <sup>bc</sup>
Floración	4.83 $\pm$ <sup>de</sup>	5.23 $\pm$ <sup>cd</sup>
Grano Lechoso	4.56 $\pm$ <sup>c</sup>	6.06 $\pm$ <sup>b</sup>
Grano Masoso	5.93 $\pm$ <sup>b</sup>	6.68 $\pm$ <sup>a</sup>

<sup>abc</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )



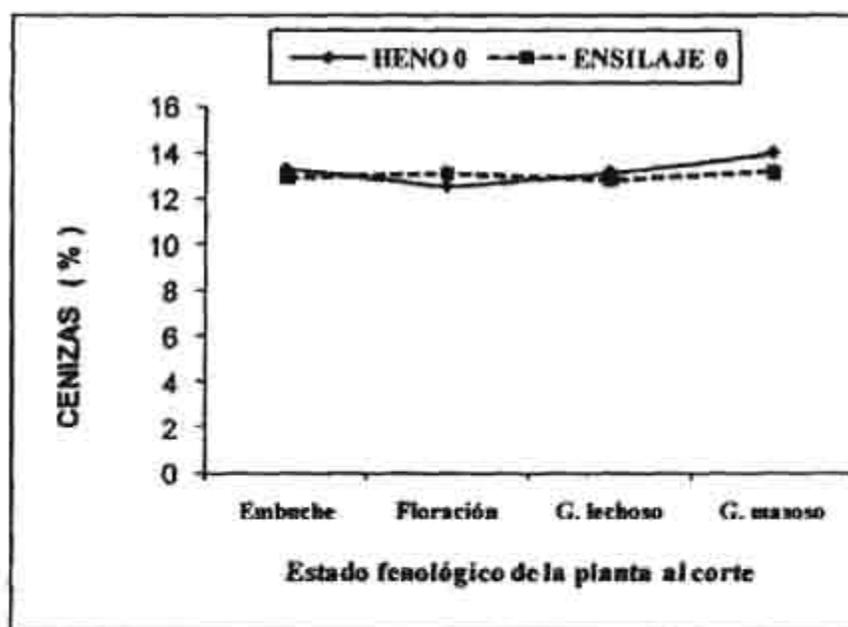
**Figura 2. Contenido de extracto etéreo (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

## Cenizas

Estadísticamente no se encontraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) en ninguno de los estados fonológicos de la planta al corte, para las cenizas, como se muestra en Cuadro 11 y Figura 3.

**Cuadro 11. Porcentaje de cenizas (promedio $\pm$  d.e.) en henos y ensilajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	13.22 $\pm$ 0.90 <sup>a</sup>	12.91 $\pm$ 1.45 <sup>a</sup>
Floración	12.47 $\pm$ 0.82 <sup>a</sup>	13.04 $\pm$ 0.87 <sup>a</sup>
Grano Lechoso	13.11 $\pm$ 0.82 <sup>a</sup>	12.82 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>
Grano Masoso	13.95 $\pm$ 0.79 <sup>a</sup>	13.12 $\pm$ 1.40 <sup>a</sup>



**Figura 3. Contenido de cenizas (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

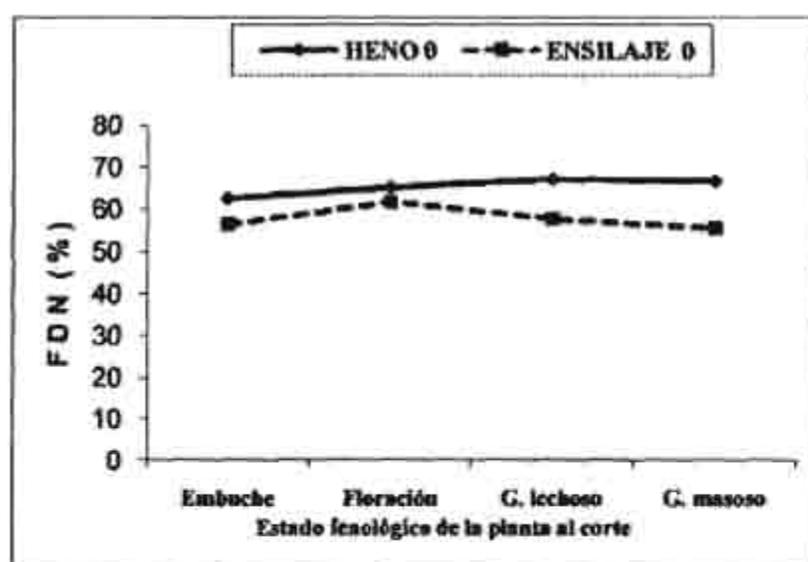
## Fibra Detergente Neutra (FDN)

La cantidad de FDN fue afectada por el método de conservación ( $P < 0.0001$ ), por el estado fenológico de la planta al momento del corte ( $P \leq 0.0003$ ) y por la interacción de los factores ( $P < 0.0002$ ). En el Cuadro 12 y Figura 4 se muestran los promedios de los distintos tratamientos, en donde se puede observar que el heno, tiende a mostrar porcentajes más elevados de FDN que el ensilaje, en los cuatro estados fenológicos al momento del corte.

**Cuadro 12. Porcentaje de fibra detergente neutra (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y ensilajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	62.62 $\pm$ 0.52 <sup>b</sup>	56.47 $\pm$ 1.73 <sup>c</sup>
Floración	65.28 $\pm$ 2.33 <sup>ab</sup>	61.87 $\pm$ 4.04 <sup>b</sup>
Grano Lechoso	67.28 $\pm$ 0.88 <sup>a</sup>	57.81 $\pm$ 1.02 <sup>c</sup>
Grano Masoso	66.85 $\pm$ 0.39 <sup>a</sup>	55.63 $\pm$ 0.71 <sup>c</sup>

<sup>abc</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )



**Figura 4. Contenido de fibra detergente neutra (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

La FDN comprende los componentes estructurales de la planta, como son la celulosa, hemicelulosa y lignina, lo que explica que la planta eleve su contenido conforme crece y madura (Singh *et al.*, (1987, 2007). Se puede observar en el caso de

los henos, que el contenido de FDN se incrementa gradualmente, alcanzando su máximo valor en el estado de grano masoso, aunque similar al encontrado en grano lechoso, indicando que la planta acumula este componente hasta el inicio de la formación del grano, a partir del cual se mantienen relativamente constante. Sin embargo, a partir de este estado fenológico, la planta comienza a traslocar carbohidratos hacia el grano, especialmente a partir de la hemicelulosa, lo que origina que los ensilajes, que conservaron el grano, proporcionalmente tuvieran menor cantidad de FDN que los henos, en los que el grano se perdió.

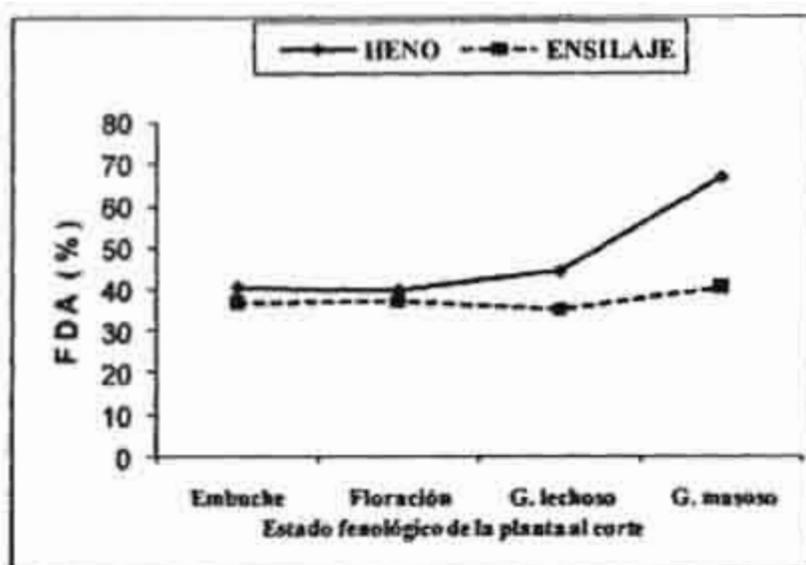
### Fibra Detergente Ácido (FDA)

El contenido de FDA fue afectado de manera significativa por el método de conservación ( $P < 0.0001$ ), por el estado fenológico de la planta al momento del corte ( $P \leq 0.0007$ ) y por la interacción de los factores ( $P < 0.0001$ ). En el Cuadro 13 y Figura 5 se muestran los promedios de los distintos tratamientos en donde se muestra que el heno tiene mayor proporción de FDA en los cuatro estados fenológicos al momento del corte, en comparación con el ensilaje, en especial en los estados de grano. Así mismo se observa que los contenidos de FDA permanecen casi similares en el ensilaje a lo largo del estudio, en cambio en el heno se incrementan notablemente en el estado de grano masoso, en donde alcanza su mayor nivel.

**Cuadro 13. Porcentaje de fibra detergente ácido (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y ensilajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	40.46 $\pm$ 0.90 <sup>b</sup>	36.81 $\pm$ 1.12 <sup>cd</sup>
Floración	39.74 $\pm$ 0.80 <sup>bc</sup>	37.11 $\pm$ 0.95 <sup>cd</sup>
Grano Lechoso	44.23 $\pm$ 1.32 <sup>a</sup>	35.04 $\pm$ 2.20 <sup>d</sup>
Grano Masoso	66.85 $\pm$ 0.62 <sup>ab</sup>	40.50 $\pm$ 1.79 <sup>b</sup>

<sup>abcd</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )



**Figura 5.** Contenido de fibra detergente ácido (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.

La FDA constituye el componente no digestible de la planta y, al igual que la FDN se incrementa conforme ésta madura (Singh *et al.*, 1987, 2007). La diferencia detectada entre el heno y el ensilaje en los estados de grano se debió principalmente a la pérdida de nutrientes digestibles contenidos en el grano, que sufrieron los henos, lo que dio origen a que en los análisis químicos la FDA mostrara proporciones más elevadas, toda vez que esta se ubica primordialmente en los tallos de la planta.

#### Lignina Detergente Ácido (LDA)

El contenido de LDA fue afectado de manera significativa por el método de conservación ( $P < 0.0001$ ) y por el estado fenológico de la planta al momento del corte ( $P \leq 0.0002$ ) pero no hubo interacción de los dos factores ( $P > 0.20$ )

**Cuadro 14.** Porcentaje de lignina detergente ácido (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	4.95 $\pm$ 0.30 <sup>bc</sup>	3.7 $\pm$ 0.38 <sup>d</sup>
Floración	5.55 $\pm$ 0.13 <sup>ab</sup>	4.7 $\pm$ 0.68 <sup>c</sup>
Grano Lechoso	5.69 $\pm$ 0.18 <sup>ab</sup>	4.30 $\pm$ 0.47 <sup>cd</sup>
Grano Masoso	5.9 $\pm$ 0.35 <sup>a</sup>	4.45 $\pm$ 0.30 <sup>cd</sup>

<sup>abc</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

En el Cuadro 14 y Figura 6 se muestran los promedios de los distintos tratamientos en donde se puede mostrar que el heno tiene mayor cantidad de LDA en

los cuatro estados fenológicos al momento del corte, contra los del ensilaje. Así mismo se observa que los valores de LDA, se incrementan en mayor grado durante la floración y permanecen casi similares en el ensilaje, en cambio en el heno se incrementan desde el estado de embuche y continúan incrementándose en los demás estados al momento del corte

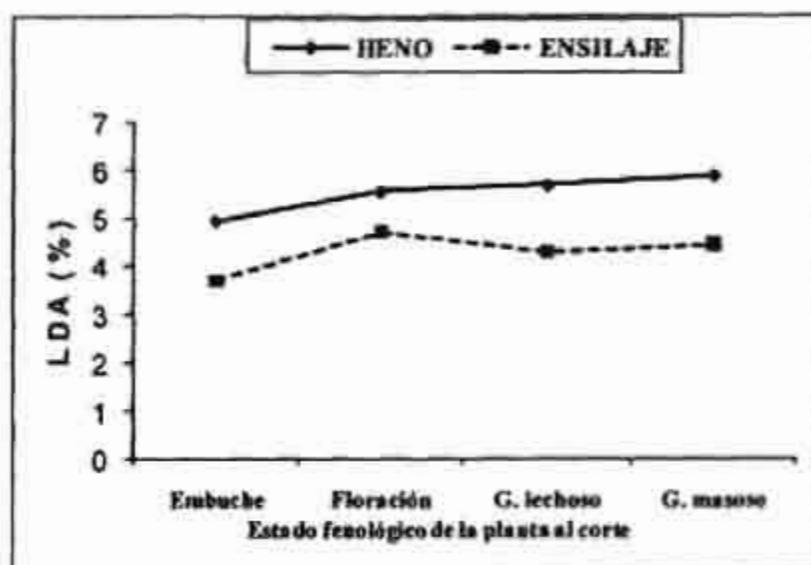


Figura 6. Contenido de lignina detergente ácido (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.

La lignina es polímero componente estructural de las paredes celulares que suministra rigidez y soporte estructural a las plantas y que no puede ser digerido por las enzimas ruminales de los animales. En general, tiende a aumentar con la edad de las plantas (Vetriventhan y Nirmalakumari, 2007), lo que explica que se incrementara en ambos tipos de forraje conforme las plantas maduraron. Las diferencias observadas entre los henos y los ensilajes probablemente se debió a que durante el proceso de secado, las plantas se tienen que manipular, rompiéndose las hojas, que se pierden por efecto del viento y el manejo mismo. Aguilar *et al.* (2006) mencionan pérdidas hasta del 17.33% en el mijo perla por la manipulación normal. En los estados de mayor madurez (estados de grano), la participación del grano tendió a reducir la proporción de este componente en el forraje total, lo que ayuda a explicar las diferencias más acentuadas observadas en estos estados fenológicos. Se ha observado que el proceso de secado que experimentan los forrajes durante el proceso de henificación hace que aumente la lignina (Singh, 1987).

Inexplicablemente, la lignina no aumentó en los henos en los estados de grano lechoso o masoso, lo cual era de esperarse, pues la pérdida del grano que se observó en estos forrajes debió influenciar la proporción relativa de este componente estructural.

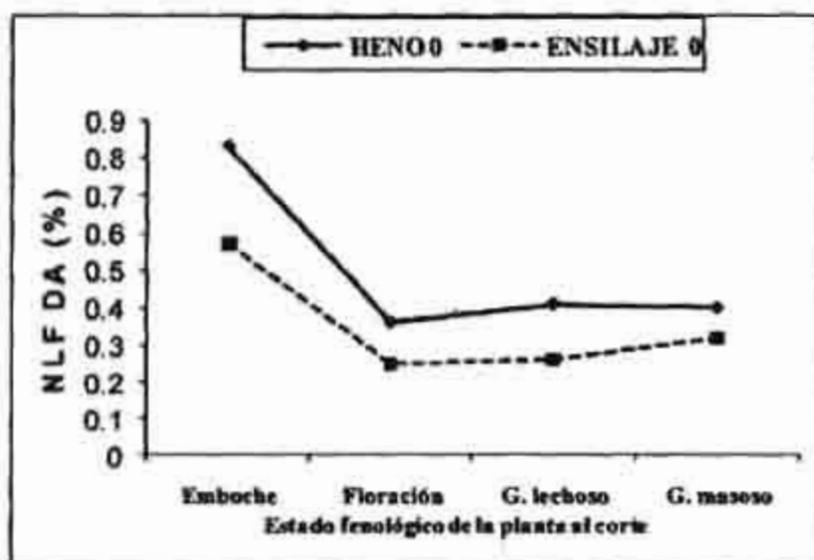
#### Nitrógeno Ligado a Fibra Detergente Ácido (NLFDA)

El contenido de NLFDA fue afectado de manera significativa por el método de conservación ( $P < 0.0001$ ) y por el estado fenológico de la planta al momento del corte ( $P \leq 0.0002$ ), pero no hubo interacción de los dos factores ( $P > 0.20$ ).

**Cuadro 15. Porcentaje de nitrógeno ligado a FDA (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y ensilajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embucho	0.83 $\pm$ 0.13 <sup>a</sup>	0.57 $\pm$ 0.27 <sup>ab</sup>
Floración	0.36 $\pm$ 0.12 <sup>bc</sup>	0.25 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>
Grano Lechoso	0.41 $\pm$ 0.12 <sup>bc</sup>	0.26 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>
Grano Masoso	0.4 $\pm$ 0.05 <sup>bc</sup>	0.32 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>

<sup>abc</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )



**Figura 7. Contenido de nitrógeno ligado a fibra detergente ácido (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

En el Cuadro 15 y Figura 7 se muestran los promedios de los distintos tratamientos en donde se muestra que en el estado fenológico de embucho y floración se alcanzan los niveles más altos de NLFDA, para que después en el estado de floración, grano

lechoso y grano masoso se mantenga casi con los mismos valores tanto en Heno como en ensilaje.

En los forrajes conservados (henos-ensilajes) se determina la proteína ligada a FDA, debido a que cuando ocurre un exceso de temperatura durante el proceso de ensilaje o henificado, parte de la proteína puede ligarse a fibra volviéndose indigestible (Martin, 2009). En contraste, en el presente estudio el contenido de NLFDA fue inferior en los ensilajes, en donde se experimentan temperaturas elevadas durante el proceso.

### Proteína Disponible (PD)

El contenido de PD fue afectada de manera significativa tanto por la edad de la planta al momento del corte ( $P < 0.0001$ ) como por el método de conservación ( $P < 0.0001$ ) y debido a la interacción ( $P < 0.0001$ ). En el Cuadro 16 y Figura 8 se muestran los promedios de los distintos tratamientos en donde se puede observar que el ensilado tiene mayores contenidos de PD que el heno en los tres últimos estados fenológicos de la planta.

**Cuadro 16. Porcentaje de proteína disponible (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	6.15 $\pm$ 0.81 <sup>cd</sup>	5.96 $\pm$ 0.93 <sup>cde</sup>
Floración	7.37 $\pm$ 1.06 <sup>bc</sup>	8.73 $\pm$ 0.89 <sup>ab</sup>
Grano Lechoso	4.36 $\pm$ 0.64 <sup>e</sup>	9.31 $\pm$ 0.86 <sup>a</sup>
Grano Masoso	5.21 $\pm$ 0.40 <sup>de</sup>	7.19 $\pm$ 0.92 <sup>bc</sup>

<sup>abcde</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

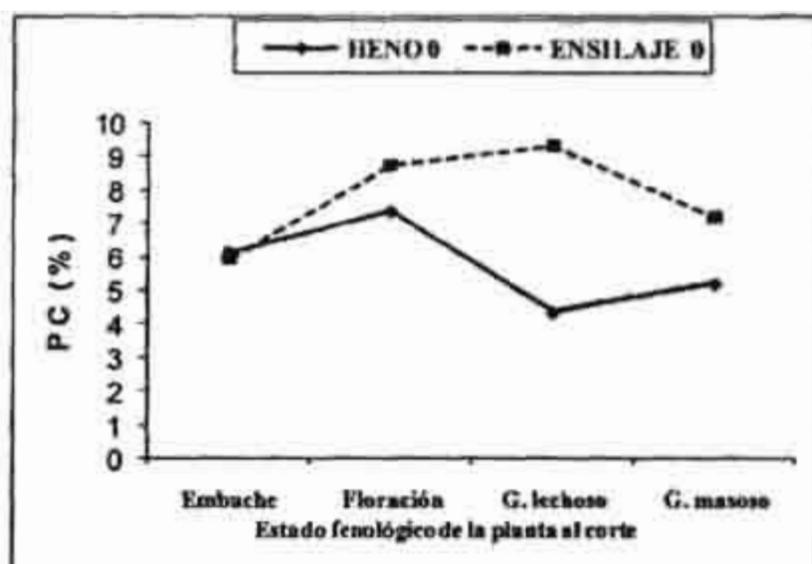


Figura 8. Contenido de proteína disponible (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.

### Fósforo (P)

El contenido de P fue afectado por el método de conservación ( $P \leq 0.036$ ) por el estado fenológico al momento del corte ( $P < 0.001$ ) y por la interacción de los dos factores ( $P < 0.0001$ ). En el Cuadro 17 y Figura 9 se muestran los promedios de los distintos tratamientos en donde se puede observar que el heno tiene valores similares que el ensilado durante el estado de embuche y floración para descender en los estados de grano lechoso y grano masoso. El ensilado mantuvo niveles constantes en los cuatro estados fenológicos. Es inexplicable que mientras el contenido de cenizas no se vio afectado por ninguno de los factores involucrados en el estudio, el contenido de P haya sido diferente. Es probable que la notoria diferencia observada entre heno y ensilaje se haya debido a que gran parte del P se acumula en los granos.

Cuadro 17. Porcentaje de fósforo (P) (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y silajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	0.24 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.21 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>
Floración	0.20 $\pm$ 0.02 <sup>ab</sup>	0.18 $\pm$ 0.03 <sup>bc</sup>
Grano Lechoso	0.11 $\pm$ 0.01 <sup>d</sup>	0.17 $\pm$ 0.02 <sup>bc</sup>
Grano Masoso	0.14 $\pm$ 0.02 <sup>cd</sup>	0.21 $\pm$ 0.04 <sup>ab</sup>

<sup>abcd</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

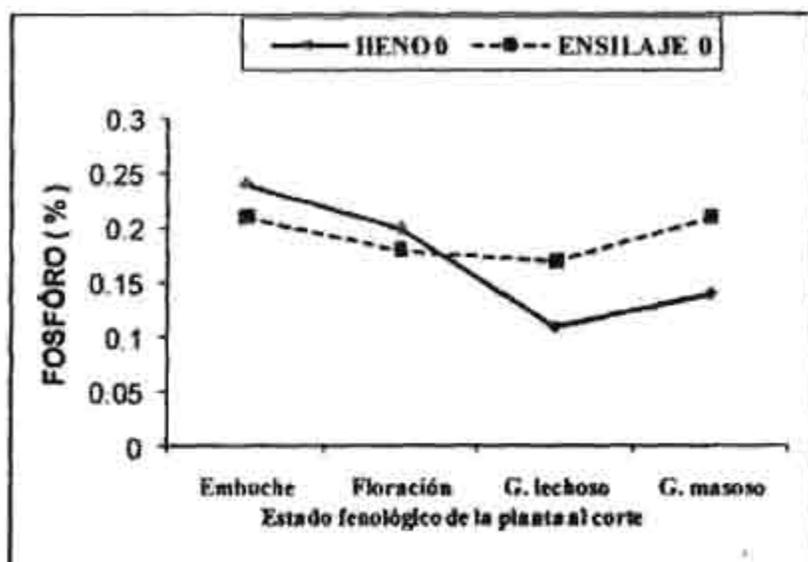


Figura 9. Contenido de fósforo (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.

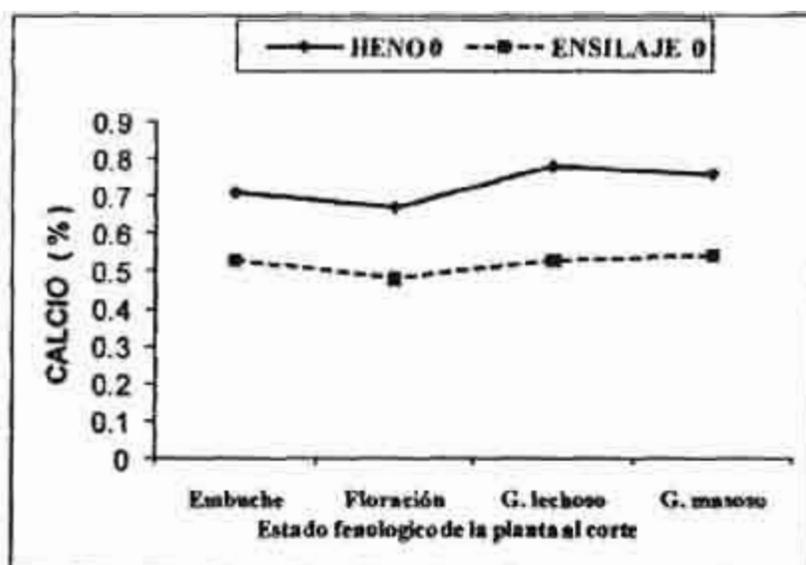
### Calcio (Ca)

No se encontraron diferencias en el contenido de Ca debidas a la edad de la planta ( $P > 0.05$ ), pero sí para el método de conservación ( $P < 0.0001$ ). La interacción entre los dos factores no fue significativa ( $P > 0.05$ ). Los valores promedio de este mineral se muestran en el Cuadro 18 y Figura 10. Al igual que lo que sucedió con el P, resulta inexplicable que no habiendo diferencias en el contenido de cenizas, si la haya habido en el contenido de Ca. Igualmente resulta difícil explicar que el contenido de Ca haya sido más elevado en los henos, aunque la diferencia sólo fue significativa en los estadios más avanzados de madurez, sugiriendo que la pérdida de granos en los henos jugó un papel importante.

Cuadro 18. Porcentaje de calcio (Ca) (promedio  $\pm$  d.e.) en henos y ensilajes de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.

TRATAMIENTO	HENO	ENSILAJE
Embuche	$0.71 \pm 0.07^{ab}$	$0.53 \pm 0.04^{bc}$
Floración	$0.67 \pm 0.10^{abc}$	$0.48 \pm 0.05^c$
Grano Lechoso	$0.78 \pm 0.07^a$	$0.53 \pm 0.05^{bc}$
Grano Masoso	$0.76 \pm 0.10^a$	$0.54 \pm 0.19^{bc}$

<sup>abcde</sup> Valores con letras diferentes representan diferencias significativas ( $P < 0.05$ )



**Figura 10. Contenido de calcio (%) en henos y ensilaje de mijo perla cortados en cuatro estados fenológicos.**

## CONCLUSIONES

El estado fenológico de la planta al momento del corte fue un factor importante que afectó el valor nutritivo y las características de los forrajes. En general, el valor nutritivo tendió a reducirse conforme maduraba la planta. Sin embargo, la forma de conservación del forraje jugó un papel decisivo. En los estados tempranos de desarrollo (embuche y floración) las diferencias entre heno y ensilaje fueron poco notorias. En cambio, En los estados de madurez (grano lechoso y masoso), en los henos, la pérdida de grano, por la fauna, junto con la mayor pérdida de hojas originaron pérdidas de nutrientes importantes.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo sugieren que la mejor forma de aprovechar el forraje de mijo perla en forma de heno es cortarlo en el estado fenológico de floración, ya que las pérdidas ocasionadas por manipulación son mínimas y las pérdidas de grano que experimenta la planta a mayor edad durante el secado no se presentan. En contraste, el ensilaje constituye una forma adecuada para conservar el forraje de mijo perla en cualquier edad de corte.

## LITERATURA CITADA

- Acevedo, E. y Silva., 2003.** Agronomía de Cero Labranza, Ciencias agronómicas, N° 110, pág. 132. P.
- Adams, D. T., Ademosum, A.A., B.R. Baumgardt y J.M.Scholl., 1976.** "Evaluation of a sorghum-sudangrass hybrid at varying stages of maturity on the basis of intake, digestibility and chemical composition." J. of A. Science. Vol 27: 818-823.
- AERC, Agriculture Environmental Renewal Canada. 2004.** A high yielding quality forage. Online. <http://www.aerc.ca/foragepearl.html> consultado en marzo 2009
- Aguilar M. E., Ferreira C. L., Ferreira dos Santos M, Ramos de Carvalho, F., Guim A., Rocha M. H., Queiroz B. A., 2006.** Yield and chemical composition of chopped tropical grass hays, R. Bras. Zootec. v.35 n.6 p.2226 - 2233
- Abmeda, M.M., Sanders J. H., and Nell W.T., 2000.** New sorghum and millet cultivar introduction in Sub-Saharan Africa: impacts and research agenda Agricultural Systems Volume 64, Issue 1, Pages 55-65.
- Akinbala, J.O., Uzo-Peters P.J., Jaiyeoba C.N., Baccus-Taylor G.S.H., 2002.** Changes in the physical and biochemical properties of pearl millet on conversion to ogi J. S. F. and A., Volume 82, Number 13, pp. 1458-1464(7).
- Akmal, M., y Zulfigar. 2002.,** Production and Quality Evaluation of Millet (*Pennisetum typhoidum* L.) Germplasms for Fodder, Pakistán J. B. S. 5(5): 539-542.
- Allah A. Mahmoud R.M. ,M.H-Kalyoubi, Abou A.A., 2007.** Physical properties of the starches isolated of yellow maize(corn), sorghum, and Sordan Pearl Millet. Starch – Stärke Volume 39, Issue 1 , Pages 9 - 12
- Alkaff, H.A., y Saeed, N.O., 2007.** The effect of bio-fertilizer and nitrogen fertilizer on yield, yield components and nutrient uptake by pearl millet (*Pennisetum typhoides* L) seeds. Journal of Natural and Applied Sciences 11(2):227-240.
- Almodares, A., Hadi, M.R., Dosti, B. 2007.** Effects of salt stress germination percentage and seedling growth in sweet sorghum cultivars. J. B. S. 7(8):1492-1495.
- Alström S., 1990.** Fundamentals of Weed Management in Hot Climate Peasant Agriculture. Crop Production Science No 11, Department of Crop Science, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Suecia, 271 pp.
- Al-Shoaibi, A.A.; Al-Shoaibhi, O.A., 2007.** Effect of NaCl salinity and incubation temperature on the germination of two cultivars of pearl millet. Biosciences, Biotechnology Research Asia 4(1):1-4.

- Amodu, J.T., M.S.Kallah, O.S. Onifade, A.T. Omokanye and I.A. Adeyinka., (2001).** The effect of harvesting at different growth stages on yield and quality of three late-maturing pearl millet accessions in Northern Nigeria. *Tro. Grasslands*, 35: 175-179.
- Amodu, J.T. and Abukar., 2004.** Forage conservation practices. In: *Proceedings of Training Workshop on Forage production and Management in Nigeria*. Held at The National Animal Production Research Institute, Ahmadu Bello University, Zaria. 10-14.
- Amodu, J.T., Kallah, M.S., Adeyinka I.A., J.P. Alawa and Lapkini C.A.M., 2008,** The nutritive value of silages made from mixtures of Pearl Millet (*Pennisetum americanum*) and Lablab (*Lablab purpureus*) as Feed for Yankasa Rams. *Asian Journal of Animal and Veterinary* 3 (2) 78-84.
- Andrade, J.B. and P. Andrade., 1985.** Silage production from pearl millet (*P. americanum*L.) (K.schum). *Sorghum and Millet Abstracts*, 7: 42-43.
- Andrade L. M., Batista D. J. Fonseca O. C., Tabosa J., 1999,** Evaluation of Elephant Grass Cultivars (*pennisetum purpureum*, Scum.) and Pearl Millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) x Elephant Grass Hybrids under Grazing Conditions. *Rev bras. Zootec.* V.28, n5, p.936 – 946.
- Andrews D.J., L.K. Mughogho y S.L. Ball., 1984.** Sorghum and pearl millet in Africa: problems and prospects with varieties. En: D.L. Hawksworth (Ed.) *Advancing Agricultural Production in Africa*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, Reino Unido (R.U.), pp 85-90.
- Andrews, S.B. Rey, J. R. Witcome, S.D. Singh, K.N. Rai, P. R. Thakur, B.S. Talukdar, S.B. Chavan, P. Singh., 1985** Cría para la resistencia a las enfermedades y el rendimiento en el mijo perla *Campo de Investigación de Cultivos*, Tomo 11, 1985, páginas 241-258.
- Andrews, D.J., Rajewski J.F., and Kumar K.A., 1993.** Pearl millet: New feed grain crop. p. 198-208. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *New crops*. Wiley, New York.
- Anurang Saxena, Singh D. V., Joshi N. L., 1997.** Effects of Tillage and Cropping Systems on Soil Moisture Balance and Pearl Millet Yield: *Journal of Agronomy and Crop Science* VI: 178, No: 4, PG: 251-257.
- Ashraf, M. Amahad A. and McNelly T. 2001.** Growth and Photosynthetic Characteristics in Pearl Millet under Water Stress and Different Potassium Supply, *Photosynthetica*, Vol. 39, N° 3 , 389 – 394.
- Báez, G. A. D., 1988.** Efecto de la etapa de corte sobre la producción y calidad del forraje de mijo perla. *Informe anual del CIFAP-Aguascalientes*. INIFAP-SARH, México. 130 p.
- Ball-Coelho, B. A., Bruin J., Roy R. C., and Riga E., 2003.** Forage Pearl Millet and Marigold as Rotation Crops for Biological Control of Root-Lesion Nematodes in Potato *Agron. J.* 95:282-292 (2003).

- Baptaglin D. M., Gomez da R. M., 2004.** "Estrutura da Pastagem, Comportamento Ingestivo e Consumo Voluntario de Forragem de Novilhas de corte em Pastagem de Milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke)", Dissertação de Mestrado Programa de Pós-Graduação em Zootecnia Universidad e Federal de Santa Maria.
- Baker R.D., 1996.** Millet Production New Mexico State University Guide A-414.  
<http://lubbock.lamu.edu/~othercrops/does/mmsumilletprod.htm>
- Barker, T., Campos H., Cooper, M., Dolan, D., Edmeades, G., Habben, J., Schussler, J., Wright, D. and Zinselmeir, C. 2005.** Improving drought tolerance in maize *Plant Breeding Review* 25:173–226.
- Bhattacharya K. R., 2004.** Thermotolerance of Pearl Millet and Maize at Early Growth Stages: Growth and Nutrient Relations, Volume 48, Number 1.
- Batista S. J., Vasconcelos A. F., Ribeiro A. A. , Azevedo A. A., 1999.** Chemical composition of the Hay of the *Bauhinia glabra Jacq.* In Five Periods of Cut, *Rev bras. Zootec.* V28, n5, p. 914 – 918.
- Besle, C. J., 2006.** Roles of structural phenylpropanoids in forage cell wall digestion. *Journal Science Food and Agriculture* Volume 64 Issue 2, Pages 171 – 190.
- Bidinger, F. R., Weltzien, R. E., Mahalakshmi, V., Singh, S. D. and Rao, K. P., 1994.** Evaluation of landrace topcross hybrids of pearl millet for arid zone environments. *Euphytica* 76:215–226.
- Bidinger, F. R., Yadav, O. P. and Sharma, M. M., 2002.** Male-sterile seed parents for breeding landrace-based topcross hybrids of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) for the arid zone. I. Productivity, responsiveness and stability. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 62:121–127.
- Bidinger, F. R., Thakur, R. P., Yadav, O. P. and Sharma, M. M., 2003a.** Male-sterile seed parents for breeding landrace-based topcross hybrids of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) for the arid zone. II. Downy mildew resistance, plant type, fertility restoration and terminal drought tolerance. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 63:99–105.
- Bidinger, F. R., Yadav, O. P., Sharma, M. M., van Oosterom, E. J. and Yadav, Y. P., 2003b.** Exploitation of heterosis for simultaneous improvement in both grain and stover yields of arid zone pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.). *Field Crops Research* 83:13–26.
- Bidinger F.R., Mahalakshmi., 2005.** "Assessment of drought resistance in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke)." II. Estimation of genotype response to stress, *Australian Journal of Agricultural Research* 38(1) 49 – 59.
- Bidinger, F. R., Serraj, R., Rizvi, S. M. H., Howarth, C., Yadav, R. S. and Hash, C. T., 2005.** Field evaluation of drought tolerance QTL effects on phenotype and adaptation in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] topcross hybrids. *Field Crops Research* 94:14–32.

- Bidinger, F. R., Bhasker, Raj, A. G. and Hash, C. T., 2006.** Zonal adaptation in pearl millet cultivar types. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding* 66:207-211.
- Bidinger, F. R. and Yadav, O. P., 2008.** Biomass heterosis as the basis for grain and stover yield heterosis in arid zone pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) hybrids. *Crop Science* (in press).
- Bidinger F.R., Yadav O.P. And Weltzien E. Rattunde., 2009.** Genetic Improvement Of Pearl Millet For The Arid Zone Of Northwestern India: Lessons From Two Decades Of Collaborative Icrisat-Icar. *Expl Agric. Volume 45, Pp. 107-115.*
- Blittma, S. G., Simpson, M., Mir, Z. 1988.** Leaf senescence and seasonal decline in nutritional quality of three temperate forage grasses as influenced by drought. *Crop Sci.* 28: 546-552.
- Blümmel, M., Zerbini E., Reddy B. V. S., Hash C. T., Bidinger F. and Ravi D., 2003.** Improving the production and utilization of sorghum and pearl millet as livestock feed: methodological problems and possible solutions, *Field Crops Research* Volume 84, Issues 1-2, October-November 2003, Pages 123-142.
- Bodisco, R.M., Rodríguez, M., Arzadún, M., Didoné, N. y Distel, R., (1991).** Influence of chopping on sheep consumption of plant parts in a sweet sorghum, 31º Congreso Argentino de Prod. Animal, *Rev. Argentina de Prod. Animal* Vol 2-543.
- Bolleta, A.I, Lagrange, S., Giménez, F.J. y Tomaso, J.C., 2008.** Yield and nutritive value of winter grasses silage in milk grain, *Revista Argentina de Producción Animal* Vol 28 Supl.1:349-543.
- Cameron A.G., 2009.** Bulrush Millet( *Pennisetum glaucum*) Depepartment of regional development, Australia N 3
- Cantina, C., 1995.** Manuel d'exercices sur le developement, la croissance et la production des plantes. *Ecophysiologie, Manuel technique Ce.S.I.A. No 13 – 1995. Ce S.I.A. academia dei Georgofile-Italie* 100p.
- Carberry, P.S., Campbell L.C., Bidinger F.R. 1985.** El crecimiento y el desarrollo de mijo perla y población afectada. *Campo de Investigación de Cultivos, Tomo 11, 1985, páginas 193-205*
- Casagrande, J. 1991,** Modelisation de la recolte des fourrages: Cas du foin en grosses balles cylindriques. *Institute Nacional Agronomique Paris - Grignon.*
- Castillo, J.M., Combellas J.B., de Vos P. 1989.** Suplementación de borregas con leguminosas arbustivas, *Instituto de Producción Animal. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay.*
- Castro, N. J., Ortiz J., Mendoza M. C., Zavala, C. F. 2000.** Producción de biomasa en líneas de sorgo como respuesta al estrés hídrico. *Rev. Fitotec.Mex.* 23: 321-334.

- Chapman, D. F., Lemaire, G.** 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. Proc XVII Int. Grass Cong. New Zealand: 95-104.
- Chaudhary P., Amin C.y Kapoor K.,** 1984. Changes in the nutritional value of pearl millet flour during storage, Journal of the Science of Food and Agriculture Volume 35 Issue 11, Pages 1219 – 1224.
- Cherney, J. H., Axtell, J. D., Hassen, M. M., and Anliker, K. S.,** (1988). Forage quality characterization of chemically induced brown-midrib mutation in pearl millet. Crop Sci. 28: 783-787.
- Cherney, J. H., Cherney, D. J. R., Akin, D. E., and Axtell, J. D.,** (1991). Potential of brown-midrib low-lignin mutants for improving forage quality. Adv. Agronomy 46: 157-197.
- CGIAR,** (1996). Consultative Group on International Agricultural Research 1996, A New Generation of Pearl Millet on the Horizon Volume 3, Number 3
- Cornacchione, S.,C. Kunst,** 1998. Características agronomicas de gramíneas en campo natural. Animal Production GTP
- Coria, M., Labarthe, F., Lageyre, E. y Pelta, H.,** 2008. Dry matter and digestible dry matter production of sorghum hybrids under different cut frequencies. Rev. Argentina de Prod. Animal Vol 28 Supl. 1: 349-543
- Craufurd, P. Q. and Bidinger, F. R.,** 1988., Effect of the duration of the vegetative phase on shoot growth, development and yield in pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke). J. exp. Bot. 38: 124–139
- Creel, R.J. and H.A. Fribourg.,** 1981., "Interactions between forage sorghum cultivars and defoliation managements". Agron. J. 73: 463-469.
- Cummins, D.G.,** 1981. "Yield and quality changes with maturity of silage type sorghum fodder". Agron. J. 73: 988- 990.
- Degenhart, N.R., Werner B.K., and Burton G.W.,** 1995. Forage yield and quality of a Brown Mid-Ribe mutant in Pearl Millet. Crop Sciences 35: 986-988
- Devi, K. U., Devi S., Sivaramakrishnan K. V., Isola N.R.,** 2003, Telomere Length Dynamics in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* [L.] R. Br.) as Observed at Different Developmental Stages Plant Biology, Volume 5, Issue 3, Date: May 2003, Pages: 285-289
- Dingkuhn, M., Kouressy, M., Vaksman, M., Clerget, B.; Chantereau, J.** 2008. A model of sorghum photoperiodism using the concept of threshold-lowering during prolonged appetite. European Journal of Agronomy 28(2):74-89.

- Diop, M.** and Camberlin, P., 1999. Inter-Relationships between groundnut yield in Senegal, interannual rainfall variability and sea surface temperatures. *Theoretical and Applied Climatology* 63(3y4): 163-181.
- Diouf, O., Diouf M., Sarr B., Ogbonnaya C.I., Diop N.N., Braconnier S., Roy Macauley H., Delhaye J.P.** 2000. "Effect of nitrogen fertilization on the response of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to drought". International Crop Science Congress. 3, 2000-08-17/2000-08-22, Hambourg, Allemagne.
- Dugarte, M. F.**, 1990. "Growth and quality of a sorghum x sudangrass forage hybrid as influenced by nitrogen and water availability". Tesis para obtener el grado de Master of Science. New México State University. Las Cruces, New México.
- Echavarría, C., Gutiérrez R.L., Ledesma R.I., Bañuelos V., Aguilera S., Serna P.** 2006. Influencia del sistema de pastoreo con pequeños rumiantes en un pastizal del semiárido Zacatecano. I Vegetación nativa. *Tec Pecu Méx* 2006; 44(2):203-207.
- Ezeaku, E. and Mohammed S. G.**, 2006. Character association and path analysis in grain sorghum, *African Journal of Biotechnology*, Vol. 5, No. 14,
- Fancher, B.I., Jensen L.S., Smith R.L., and Hanna H.** 2005. "Content of energy metabolizable of millet pearl [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]", Departments of Poultry Science, University of Georgia, Athens 30602.
- Farias, J., Faz M., Contreras P.** 1987. "Estudios del Potencial Forrajero del Mijo Perla (*Pennisetum typhoides* Burm) para su Utilización en la Comarca Lagunera", México. *CULTIVOS TROPICALES*. 1987. Vol: No: Numero Especial Pags: 25-35.
- Faye, I., Diouf O. Guissé A, Sene M, and Diallo N.**, 2006. Characterizing Root Responses to Low Phosphorus in Pearl Millet *Agron. J.* 98:1187-1194.
- Ferraris, R., Norman M.J.T y Fussell L.K.** 1974. Adaptation of pearl millet (*Pennisetum typhoides*) to coastal New South Wales. 3. Comparative productivity of pearl-millet cultivars and a Sudan grass-sorghum hybrid, *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 14(71) 777 - 784
- Fletcher, Astiazarán F.** 2005. "Gramíneas Para Zonas Áridas De Temporal Y Riego, Potenciales Para El Sur De Sonora.", Universidad Autónoma Chapingo
- Fisher J. W., Gurung N.K., Sharpe P. H.**, 1999. Value of pearl millet, grain sorghum examined, *Nutrition and Health/dairy, Feedstuffs* p. 11 – 18

- Filardi R.R., Junqueira O.M., Casarteli E.M.** 2005. Pearl Millet Utilization in Commercial Laying Hen Diets Formulated on a Total or Digestible Amino Acid Basis, Apr - Jun 2005.
- FORECA.,** 2009. Promedios meteorológicos mensual y anual para San Luis Potosí, México, consulta semanal en:  
[http://tiempo.latam.msn.com/monthly\\_averages.aspx?wealocatio...](http://tiempo.latam.msn.com/monthly_averages.aspx?wealocatio...) -
- Fribourg, H.A., Culvahouse E.M.,** 2003. "Forage sorghum and silage components and their in vitro digestibility". Agr. J. 92: 41-45.
- FSAS,** 2002. Fundación Syngenta para la Agricultura Sostenible, 2002
- García, O. G.,** 2000. "Forage production and quality evaluation of four sorghum forage hybrids yield potencial". Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2000, 17: 413-423
- Gelaye, S. T., Terrill, E. A., Amoah, S. Miller, R. N. Gates and W. W. Hanna.,** 1997. Nutritional value of pearl millet for lactating and growing goats Journal of Animal Science, Vol 75, Issue 5 1409-1414
- Ghulam, M. A., Naveed M., Collins J.C. and McNeilly T.** 2006. Study of Salt Tolerance Parameters In Pearl Millet *Pennisetum Americanum* L. Crop S. Institute, National Agriculture Research Centre, L. 367. J. Cent. Eur. Agric. (2006) 7:2, 365-376
- Glew, R.H., Vanderjagt Lockett D.J., Grivetti C., L.E., Smith L.E., Pastuszyn G.C., Millson M.,** 1972. Chemical Composition and Nutritive Value of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides* (Burm.) Stapf and E. C. Hubbard) (1972) Grain Crop Sci 12:187-188, 1972 Crop Science Society of America
- Glew, R.H., Vanderjagt D.J., Lockett C., Grivetti L.E., Smith G.C., Pastuszyn A., Millson.** 1997. Amino Acid, Fatty Acid, and Mineral Composition of 24 Indigenous Plants of Burkina Faso (1997) Journal of Food Composition and Analysis, Volume 10, Number 3, September 1997 , pp. 205-217(13)
- Gomes, M. A. Candal P. C., Prado O. R., de Moraes A., de Barros S., Piazzetta L. H.,** 2008 (a). Engorda de cordeiros em Pastagens Lambs Finishing in Pastures, VI Seminario de Producción de Ovinos en el trópico, MEMORIAS, Tabasco, México, pp 94-137
- Gomes, M. A., Dias R. T., Berchiol da Silva M., Costa C.,** 2008. Conservação de Forragens nos Trópicos, 2008 VI Seminario de Producción de Ovinos en el tropico, MEMORIAS, Tabasco, México pp 35-83
- Gregory, J. P., Simmonds P. L. Pilbeam C. J.,** 2000., Soil Type, Climatic Regime, and response of Water Use Efficiency to Crop Management Agr.J. Vol. 92: 814 – 820
- Gupta, P. C. and Pradhan, K.** 1975., Effect of stage of maturity on chemical composition and in vitro nutrient digestibility of non-legume forages. Indian J. Anim. Sci. 45:433-437.

- Gupta, K. A. Kumar J.N.,**2008, Sulphur fertilization in a pearl millet (*Pennisetum glaucum*)-Indian mustard (*Brassica juncea*) cropping system , Archives of Agronomy and Soil Science, Volume 54, Issue 5 October 2008 , pages 533 - 539
- Hafner, H., Blesy J. Bationo A., Martin P., Marschner.** 2004. Long-term nitrogen balance for pearl millet in an acid sandy soil of Niger|Institut für Pflanzenernährung, Universität Hohenheim, Postfach Stuttgart 70, Germany.
- Hancock, W.D.,** 2009. Pearl Millet, University of Georgia, Cooperative E. Crop and soil Sciences;CSS-F024
- Hash, C.T. Yadav T. R., Cavan P.G., Howarth J. C., Qi H., Sharma A., Kolesnikova-M. A.,** 2004. Marker-Assisted Backcrossing to Improve Terminal Drought Tolerance in Pearl Millet, ICRISAT Genetic Resources and Enhancement Program, Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, INDIA
- Hassanat, F., Mustafa A.F., and Seguin P.,** 2006. Chemical composition and ensiling characteristics of normal and brown-midrib pearl millet forage harvested at two stages of development in southwestern Québec, Department of Animal Science Research Reports Faculty of Agricultural and Environmental Sciences
- Henson, I.E., Alagarwamy G., Bidinger F., Mahalakshmi,**1986, Stomatal responses of pearl millet (*Pennisetum americanum* [L.] Leeke) to leaf water status and environmental factors in the field, Plant, Cell y Environment Volume 5 Issue 1, Pages 65 – 74
- Henson, I.E.,Mahalakshmi V. Lane M.Y.,** 2005, "Stomatal Responses of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* (L) Leeke) Genotypes, in relation to Abscises Acid and Water Stress", International Crops Research Institute for the Semi-arid Tropics ICRISAT, Patancheru India.
- Hernández, A. J., Martinez G. M.,** 2007 Tecnología para producir forraje de Mijo Perla en San Luis Potosí, Folleto para Productores INIFAP, S. L. P. México.
- Hernández, A. J., Zavala G. F.,** 2009. Adaptación y estabilidad del rendimiento de grano de genotipos de Mijo Perla (*Pennisetum americanum* L. Leeke) en San Luis Potosí , México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Vol. 32, Núm. 2, pp. 143-152.
- Hill, G.M., and Hanna W. W. Hanna** 1990., Nutritive characteristics of pearl millet grain in beef cattle diets *J Anim Sci* 1990. 68: 2061-2066. Consultado octubre 2008 en <http://jas.fass.org/cgi/reprint/68/7/2061.pdf>
- Hopkins, W. G.,** 1999. Introduction to plant physiology. 2ª. Ed. Willey Inc., New York. 272 p.
- Horton, J.L., and Hart C. S.,** 1998. Hydraulic lift: a potentially important ecosystem process *Trends in Ecology & Evolution* Vol. 13, Issue 6, 1 P- 232-235

- Huda, A.K.S.**, 1987., Simulación de los rendimientos de sorgo y mijo perla en las zonas tropicales semiáridas Campo de Investigación de Cultivos, Volumen 15, Números 3-4, febrero de 1987, Páginas 309-325
- Ibrahim, Y.M., Marcarian V. Dobrenz A. K.**, 2008., Drought Tolerance Aspects in Pearl Millet, *Journal of Agronomy and Crop Science* Vol. 156 Issue 2, P. 110 – 116.
- Ikpe, F.N., Powell J.M., Isirimah N.O., Wahua T.A. and Ngodigha E.M.**, 1999., Effects of primary tillage and soil amendment practices on pearl millet yield and nutrient uptake in the Sahel of West Africa, *Experimental Agriculture*, 35 : 437-448.
- Ishii, Y., Ito, K. and Fukuyama, K.**, 2000. Effect of severalEffect of various factors in the growing capacity to maintain during the napiergrass in southern Kyushu. *Jpn . J. Crop Sci. Cultivos J. Sci.* 69 : 209-216
- Izge, A.U., Kadams A.M. and Gungia D.T.**, 2006. Studies on character association and path analysis of certain quantitative characters among parental lines of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) and their F1 hybrids in dilled cross. *African Journal of Agricultural research* Vol. 1 (5), pp.194-198,
- Jideani, V.A.**, 2005. Characteristics of local pearl Millet (*Pennisetum glaucum*) grains; *Nigerian Food Journal* Vol. 23 2005: 193-204.
- Johnson J.W., Barnett R.D., Cunfer B.M., and Buntin G.D.** 2002. Items From The United States Georgia / Florida, Annual Wheat Newsletter, Vol 49, University of Georgia, Department of Agronomy.
- Johnson, L. M., Harrison, J. H., Davidson, D., Manhanna W. C. and Shinnors, K.** 2003. Corn silage management: effect of hybrid, maturity, inoculation and mechanical processing on fermentation characteristics. *J. Dairy Sci.* 86: 287-308.
- Joshi, P.K., Jha, A.K., Wani, S.P., Sreedevi, T.K.** 2009. Scaling-out community watershed management for multiple benefits in rainfed areas. P 276-291 in *Rainfed agriculture: unlocking the potential (eds.)*. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series 7. Wallingford, UK: CABI.
- Kathjue, S., Garg B.K., Vyas S.P., A. N. Lahiri A. N.**1993, Effects of supplemental irrigation and soil fertilization on pearl millet under drought, *Arid Land Research and Management*, Volume 7, Issue 4 October 1993 , pages 317 – 326.
- Khafi, H.R., Mehta, A.C., Bunsu, B.D., Davda, B.K., Dangaria, C.J.** 2007. Effect of nitrogen levels on summer pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *Research on Crops* 8(3):546-547.
- Kipnis, T., Granot, I. y Dovrat, A.**, 1985. Growth of tropical grasses under different temperature: pearl millet x napiergrass interspecific hybrid. *Proc. XV Intern. XV Intern. Grassl. Congr.* 1,p 2.

- Kleyn, R.**, 2002. Alternatives to Maize in Pig and Poultry diets; Pearl Millet NEW SPESFEED, University of Nebraska.
- Kratochvil, R. J. and Miller T.J.**, 2000 – 2001. Effects of Row Width and Plant Population on the Performance of Corn Silage in Maryland, Mid Atlantic Grain and Forage Journal, Vol 7, 2000 – 2001.
- Kumar, V., Ahlawat V.S., Antil R.S., Yaidav D.S.**, 1986. Interactions of Nitrogen and zinc in pearl millet II. Soil Science Vol 142 N 6 pp340-3445.
- Lang, B.** 2001. Millets Forage Management, IOWA STATE UNIVERSITY, University Extension, Fact Sheet BL-55.
- Lee, D., Hanna W., Buntin D.G., Dozier W., Timper P., and Wilson J.P.** 2009. Pearl millet for Grain. The University of Georgia Bulletin 1216.
- Lowenberg-Deboer, Krause. J., Deuson M., Reddy, K C.**, 1991. Simulation of yield distributions in millet-cowpea intercropping. Agric. Sys. 36:471-487.
- Mac Donald, A. and Clark A.** 1987. Water and quality loss during field drying of hay. Departamento Feed and crop science. University of Guelph. Canada.
- Mahalakshmi, V.** 1978. Temperature influence on respiration and starch synthetase in Sorghum bicolor (L.) Moench. Thesis--University of Nebraska-Lincoln. p 135-144.
- Mahalakshmi, V. Henson E., Bidinger. F.R., Alagarswamy G.** 1981. Genotypic Variation in Pearl Millet (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke), in the Ability to Accumulate Abscisic Acid in Response to Water Stress, *J. Exp. Bot.* 1981; 32: 899-910.
- Mahalakshmi V. and Bidinger F.R.** 1985 -Water deficit during panicle development in pearl millet: yield compensation by tillers. *J. Agr. Science*, 106: 113-119.
- Maiti, R.K. y Bidinger. F.R.**, 1981. Growth and Development of the Pearl Millet Plant. Research Bulletin N° 6. ICRISAT Patancheru P.O., Andhra Pradesh 502324, India: 14pp.
- Maiti, R.K., González, R.H, y Landa, H.**, 1989. Evaluation of ninety international pearl millet germplasm collections for morpho-physiological characters in Nuevo León, Mexico. *Turrialba*, 39:34-39.
- Maiti, R.K. y Soto G.L.** 1990. Effect of four sowing dates on growth, development and yield potentials of 15 pearl millet cultivars (*Pennisetum americanum* L. Leeke) during autumn-winter seasons in Marín, N.L., Mexico. *Journal of experimental botany* 233(41): 1609-1618.
- Maiti, M. R.**, (1995), El Mijo Perla, su Adaptación y Productividad, Mexico , Trillas, 1995, 139 p.

- Maman, N., Lyon D.J., Stephen C., Galusha D., and Higgins R. (2003)** Pearl Millet and Grain Sorghum Yield Response to Water Supply in Nebraska, *Ag. J.* 95:1618-1624.
- Maman, N., Mason Stephen C.; Lyon Drew J., 2006,** Nitrogen Rate Influence on Pearl Millet Yield, Nitrogen Uptake, and Nitrogen Use Efficiency in Nebraska, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, V. 37, N.1 y 2 p. 127 – 141.
- Marroquin, J. S., Borja G., Velásquez R. y de la Cruz J. A. 1981.** Estudio ecológico dasonómico de las zonas áridas del norte de México. *Pub. Esp. INIF.* 166 p.
- Martin, R.S.T. 2009.** Apuntes para la cátedra de Pastizales, Cap. III, Gramineas Forrajeras, UANL, MÉXICO
- Martínez, J.P., Silva H., Ledent J.F. and Pinto M., 2007.** Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), *European J. Agronomy* Vol. 26, No.1, P. 30-38.
- Martínez, E., Fuentes, J.P., Silva, P., Valle, S. y Acevedo, E., 2008.** Soil physical properties and wheat root growth under no-tillage and conventional tillage systems in a mediterranean environment of Chile.*J.S.* 99: 232-244.
- McIntyre, B.D., Flower D.J., and Riba S.J., 1993.** Temperature and soil water status effects on radiation use and growth of pearl millet in a semi-arid environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 66:211-227.
- Meena, B. K., y Nagarajan P. (2008),** Variability and Heritability Analysis in Pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.)R. Br.) SAT electronic Library News, Vol 5 No 11 Nov 2008, consultado en mayo 2009 en [http://www.elibrary.icrisat.org/SATELib\\_files/aSELN-11-08.htm](http://www.elibrary.icrisat.org/SATELib_files/aSELN-11-08.htm)
- Mohan, R., Muthukrishnan P., Chellamuthu V., Aruna L. P. and R.I, Karaikal., 2006** Evaluation of cropping systems for the coastal deltaic region of Karaikal, *Madras Agric. J.*, 93 (7-12): 181-186 July-December 2006
- Monroe, R., Lacefield G., Miksch D., and Bitzer M., 1996.** Producing Summer Annual Grasses for Emergency or Supplemental Forage, University of Kentucky College of Agriculture
- Monterrey, H. 1988.** "Influencia de la época de corte en plantilla y soca sobre factores de rendimiento y calidad de seis cultivares de sorgo granero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.)" Maracay. 1988.
- Moore K, Peterson M. 1995.** Post-harvest physiology and preservation of forages: In: *Proceeding of the annual meetings CSSA: M inneapolis, USA.* 22: 115
- Moreira, A. E., Ferreira C. L., Ferreira dos Santos M., Ramos de Carvalho, F., Guim A., Rocha M. H., Queiroz B. A., 2006.** Yield and chemical composition of chopped tropical grass hays, *R. Bras. Zootec.* V.35 N.6 nov./dic. 2006.

- Muchena, S.C., Mashingaidze, K., 1982.** The induction of floret sterility by low temperatures in pearl millet. *Zimbabwe J. Agricultural Research* 20: 29-37.
- Naylor R.L., Falcon W.P., Godman R.M., Jahn M. M., Sengooba N. R. 2004.** Biotechnology in the developing world: a case for increased investments in orphan crops R.L. Naylor et al. / *Food Policy* 29 (2004).
- Nleya, T. Jeranyama., 2005.** Utilizing Annual Crops for Forage in Western South Dakota, Plant Science SDSU. ExEx8152.
- Norman, M.J.T., Pearson C.J. y Searle P.G.E. 1984.** The Ecology of Tropical Food Crops. Cambridge: Cambridge University Press, 369 pp.
- NRC, (National Research Council), 1996.** Lost crops of Africa. Volume 1 : Grains. National Academy Press. Washington DC
- O Adeola, and J. I Orban 1995.** Chemical composition and nutrient digestibility of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) fed to growing pigs *Journal of Cereal Science* Volume 22, Issue 2, 1995, Pages 177-184.
- Olhagaray, E. C., 2005.** Manual que establece los Criterios Técnicos para el Aprovechamiento Sustentable de Recursos Forestales no Maderables de Clima Árido y Semiárido, INIFAP-SEMARNAT. pp:110
- Olphen, P.V. Rossi P. Santini F., 2000.** Effect of the time and cutting height on production and quality of the dry matter of silage corn, XVI Reunión Latinoamericana De Producción Animal, Montevideo.
- OMM, Organización Meteorológica Mundial 1993, FAO, para América Latina**
- Ong, C.K., 1983a.** Response to temperature in a stand of Pearl Millet I. Vegetative development. *J. Exp. Botany* 34(140):322-336.
- Ong, C.K., 1983b.** Response to temperature in a stand of Pearl Millet: II. Reproductive development. *J. Experimental Botany* 34(140):337-348.
- Ong, C.K., 1983c.** Response to temperature in a stand of Pearl Millet: 4. Extension of individual leaves. *J. Experimental Botany* 34(149): 1731-1739.
- van Oosterom, E.J., Weltzien E, Yadav, O.P, Bidinger, F.R. 2006.** Grain yield components of pearl millet under optimum conditions can be used to identify germplasm with adaptation to and zones. *Field Crops Research*, 96 2-3: 407-421.
- Payne, W.A., Lascano R. J. and Hossner L. R., 1991.** Pearl Millet Growth as Affected by Phosphorus and Water *Agron J* 83:942-948, 1991
- Payne W.A., 2000.** Optimizing Crop Water Use in Sparse Stands of Pearl Millet, *Agron. J.* 92:808-814
- Pearson, C.J., 1975.** Thermal adaptation of *Pennisetum*: seedling development. *Australian Journal of Plant Physiology* 21:431-424.

- Pedersen, J.F. y Toy J.J., 1997.** Forage yield, quality and fertility of sorghum X sudangrass hybrids in A1 and A3 cytoplasm. *Crop Sciences* 37: 1973- 1975.
- Purseglove, J.W. 1972.** Tropical crops: monocotyledons, Vol. 1. Londres, Longman Group Limited. 334 p.
- Radhouane, L., 2007.** Response of Tunisian autochthonous pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG) 6000 *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (9), pp. 1102-1105.
- Rai, KN and Kumar K.A., 1994.** Pearl millet improvement at ICRISAT - an update. *Sorghum and Millets Newsletter* 35:1-29.
- Rai, KN and Hash CT. 1994.** Genetic enhancement of pearl millet at ICRISAT. Pages 19-25 in *Evaluating ICRISAT research impact: Summary proceedings of a workshop on Research Evaluation and Impact Assessment*, 13-15 India
- Rai, K.N., Murty D.S., Andrews D.J. and Bramel -Cox P.J., 1999,** Genetic enhancement of pearl millet and sorghum for the semi-arid tropics of Asia and Africa, *Genome* 42: 617-628.
- Ramachandran, N. 1997.** Agroforestería, Universidad Autónoma Chapingo 543 p
- Rani, S., Singh., H., Hooda, R.S.; Singh, V.P. 2007.** Grain yield, water use and water use efficiency of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.Emend.Stuntz] genotypes under variable management levels. *Research on Crops* 8(3):548-550.
- Reed, J. D., Tedla A., and Kebede Y., 1987.** Phenolics, fibre and fibre digestibility in the crop residue from bird resistant and non-bird resistant sorghum varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 39:113-121.
- Rockstrom, J., 1999.** On-farm green water estimates as a tool for increased food production in water scarce regions, *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere* Volume 24, Issue 4, 1999, Pages 375-383
- Rodríguez, M., Arzadún, M., Didoné, N., 2008.** Influence of chopping on sheep consumption of plant parts in a sweet sorghum, 31° Congreso Argentino de Prod. Animal, *Revista Argentina de Producción Animal* Vol 28 Supl. 1: 349-543.
- Ruiz, V. J., Carrillo R. J., 2005.** Selección de cultivares forrajeros de sorgo (*Sorghum vulgare bicolor*) y mijo (*Pennisetum americanum*) por índices de eficiencia de producción y calidad. *Agronomía Mesoamericana* 16(2): 153-160.
- Schank, S. C., Chynoweth, D. P., Turick, C. E., Mendoza, E. 1993.** Napiergrass genotypes and plant-parts for biomass energy. *Biomass & Energy* 4:1-7.
- Sedivec, K. K. and Blaine B.G., 1991.** Pearl millet Forage Production In North Dakota, North Dakota State University and U.S. Department of Agriculture cooperating. North Dakota State University

- Shekhar, G., and Niwas, R., 2007.** Growth characteristics of pearl millet under different soil moisture conditions. *Annals of Agri Bio Research* 12(2):161-164.
- Singh, P., Singh U., Eggum B., Kumar K., Andrews DJ. 1987.** Nutritional evaluation of high protein genotypes of pearl millet (*Pennisetum americanum* (L.) leeke) *Journal of the Science of Food and agricultura* Vol. 38, Issue 1, Date: 1987, Pages: 41-48.
- Singh, S. K., Mahesh K., Sharma, Brij K.; Tarafdar J, C. (2007).** Depletion of organic carbon, phosphorus, and potassium stock under a pearl millet based cropping system in the arid region of India, *Arid Land Research and Management*, Vol. 21, Number 2, April 2007, pp. 119-131(13).
- Stewart T., 2009.** Scott Bank soil and Crop. FACTSHEET,0898 OMAF. CANADA
- The Syngenta Foundation for Sustainable Agriculture, (SFSA) 2002.,** Pearl Millet. [http://syngentafoundation.org/what is pearl millet.htm](http://syngentafoundation.org/what%20is%20pearl%20millet.htm)
- Torres, H, H., Williams A., Ortegón M.1994.** El mijo perla como cultivo de alternativa para el norte de Tamaulipas. In: *Memorias de la Reunion Cientifica y Tecnologica del Estado de Tamaulipas- Campo Experimental Rio Bravo*. Cd. Rio Bravo, Tam. SARH INIFAP. México 33 p.
- Urrutia, M. J., Ochoa C.M.A. 2000.** Manejo reproductivo en sistemas intensivos de producción ovina. Folleto Técnico No 7 SARH. INIFAP. CIRNE. C.E. Palma de la Cruz. 15 pp.
- Urrutia, M. J., Ochoa C.M.A. y Beltrán L.S., 2000.** Ovinocultura de Agostadero en el Norte de México. Ed Editorial Universitaria., UASLP; 107 pp
- Urrutia, M. J., Meraz E.O.O., 2004.** Elaboración de ensilaje de buena calidad. Despegable para productores No. 18 C. E. San Luis. CIRNE, INIFAP, SAGARPA, México
- Valland, G. E. y Goodman R. M., 2004.** Systemic Acquired Resistance and Induced Systemic Resistance in Conventional Agricultura, *Crop Science*, Vol. 44.
- Vélez, F., Rubio L. and Fernández A., 1995.** Los desafíos que enfrenta el campo en México (Eds. [Juridicas.unam.mx](http://Juridicas.unam.mx).)
- Verdier, M. I., Coulont, J.B. Pradeira P., Viallons C. and Berdague J.L., 1998.** Effect of forage conservation (hay or silage) and cow breed on the coagulation properties of milks and on the characteristics of ripened Cheeses, *Journal of Dairy Research* (1998) 65 9-21 Printed in Great Britain.
- Villanueva, D J, C Loredo O, A Hernández R., 2001.** Requerimientos hídricos de especies anuales y perennes en las zonas Media y Altiplano de San Luis Potosi. Folleto Técnico No. 12. Campo Experimental Palma de la Cruz. SAGARPA-INIFAP, Mexico. 24 p.

- Vetriventhan, M. and Nirmalakumari A.** 2007a Character association and path analysis in pearl millet, *Madras Agric. J.*, 94 (1-6) : 114-117 January-June 2007.
- Vetriventhan M. and Nirmalakumari A.** 2007b Studies on variability parameters in pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.), *Madras Agric. J.*, 94 (1-6) : 118-120 January-June 2007.
- Villalpando, J. y A. Ruiz,** 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Editorial Limusa, México. p. 133.
- Yadav, O. P. and Weltzien, R., E.,** 1997. Performance of two introgressed populations of pearl millet in contrasting environments. *International Sorghum and Millets Newsletter* 38:110–112.
- Yadav, O. P. and Weltzien R., E.,** 1998. New pearl millet populations for Rajasthan, India. Integrated Systems Project Report Series no. 10. ICRIASAT India.
- Yadav, O. P. and Weltzien, R., E.,** 2000. Differential response of pearl millet landrace-based populations and high yielding varieties in contrasting environments. *Annals of Arid Zone* 39:39–45.
- Yadav, O. P.,** 2004. CZP 9802 – A new drought-tolerant cultivar of pearl millet. *Indian Farming* 54:15–17.
- Yadav, O. P.,** 2007. Genetic diversification of landrace-based populations of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.) to enhance productivity and adaptation to arid zone environments. In *Journal Genetics and Plant Breeding* 67:358–364.
- Yadav, O. P. and Bidinger, F. R.,** 2007. Utilization, diversification and improvement of landraces for enhancing pearl millet productivity in arid environments. *Annals of Arid Zone* 46:49–57.
- Yadav, O. P.,** 2008. Performance of landraces, exotic elite populations and their crosses in pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in drought and non-drought conditions. *Plant Breeding* 127:208–210.
- Wilson, J.P.,** 2007. An African pearl finds a home in the U.S., INTSORMIL Report 9, USDA-ARS, Crops Genetics.
- White, L. M., Hartman, G. P., Bergman, J. W.** 1981. In vitro digestibility crude protein and phosphorus content of winter wheat, spring wheat and oat cultivar in Eastern Montana. *Agron J.* 73:117-121.
- Willis, J.H.,** 2005. Canadian Forage Pearl Millet -101 CFPM-101, AERC.
- Zegada-Lizarazu, W. and M. Iijima.** 2004. Differences in drought avoidance root characteristics among several millet species, consultado en nov. 2008 en: [www.cropscience.org.au/poster/1/1/777\\_zegada.htm](http://www.cropscience.org.au/poster/1/1/777_zegada.htm)
- Zegada – Lizarazu, W.** 2006. Competition for water between crops in the system based on Pearl Millet, Nagoya University, Nagoya 2006, Japan