

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA  
Y ZOOTECNIA

DISTRIBUCIÓN DE NUTRIMENTOS EN HOJAS Y SECCIONES DE  
TALLOS DE MAÍZ (*Zea mays*), A CUATRO EDADES  
EN CLIMA TEMPLADO SUBHÚMEDO

TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**MÉDICA VETERINARIA ZOOTECNISTA**

PRESENTA

**DOLORES NOEMÍ ÁVILA RAMÍREZ**

Asesores

MVZ. MPAT. Agustín Roberto Bobadilla Hernández  
MVZ. EPAB. Fernando Morales Rodríguez



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## DEDICATORIA

A Hilario Ávila Acosta y María Eugenia Ramírez Díaz...sin ustedes no estaría aquí.

A Martín Ávila, José Ramírez, Concepción Díaz y Tomasa Acosta...llevo un poco de cada uno de ustedes y sé que seguirán conmigo siempre.

A Royma Síbely Ávila Ramírez...lo logramos, Hermana.

A Francisco Martín y Carlos Ávila Ramírez...los quiero, los extraño y los reto a alcanzarme.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mis padres porque logré llegar hasta aquí gracias a su apoyo, sus principios y su confianza en mí, porque me enseñaron a creer en mis capacidades. También agradezco el apoyo de mi hermana y hermanos por todo lo que representan: cada uno tiene su lugar en este camino recorrido hasta ahora. Este es el reflejo de lo que somos: *una familia*.

De manera especial, agradezco la compañía y los ánimos que impartieron todos y cada uno de mis amigos. Tanto a aquellos que aún me acompañan como a quienes han seguido un camino distinto o más distante. Gracias a mis *hermanas de risa y espíritu*, Miriam, Marlene, Carolina y Margarita; igualmente a Eduardo, *mi hermano del alma*, a César y a Alejandro, mis *hermanos de formación*, por apretar las riendas cuando era necesario.

Agradezco profundamente a mi profesor, maestro y amigo, Agustín Bobadilla, por creer en mí, aunque en ocasiones lo desesperé.

Y por supuesto, un afectuoso agradecimiento a todo el personal del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, FMVZ-UNAM, no solamente al Laboratorio de Bromatología, porque con cada uno de ustedes he aprendido y compartido tantas experiencias difíciles de enumerar pero valiosas para recordar.

Gracias a todos.

## CONTENIDO

RESUMEN.....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	8
I.1.Generalidades del maíz.....	9
I.2.Características nutricionales del maíz para su utilización en la alimentación animal.....	12
I.3.Aprovechamiento del maíz en la alimentación animal.....	21
II. MATERIAL Y MÉTODOS.....	24
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
III.1. Planta completa.....	28
III.1.1. A 60 días de edad.....	29
III.1.2. A 80 días de edad.....	30
III.1.3. A 100 días de edad.....	31
III.1.4. A 120 días de edad.....	31
III.1.5. Calidad de Materia Orgánica.....	32
III.2. Contenido químico y distribución de nutrimentos en secciones de tallo y hojas.....	34
III.2.1. Tallo Basal (TB).....	34
III.2.2. Tallo Medio (TM).....	36
III.2.3. Tallo Apical (TA).....	37
III.2.4. Hojas (HJ).....	39
III.2.5. Mazorca (MZ).....	41
III.3. Relación Fibra: Energía.....	42
IV. CONCLUSIONES.....	46
V. LITERATURA CITADA.....	47
VI. ANEXO.....	50

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. La planta de maíz actual y sus antecesores.....	Pág. 9
Figura 2. Fracciones químicas obtenidas en un A.Q.P.....	Pág. 14
Figura 3. Representación esquemática de una célula vegetal.....	Pág. 17
Figura 4. Representación esquemática de la estructura de la pared celular: modelo de redes interdependientes.....	Pág. 17
Figura 5. Composición química de la célula vegetal y fracciones de la fibra.....	Pág. 19
Figura 6. Riego rodado sobre la superficie de siembra.....	Pág. 24
Figura 7. Patrón de recolección de muestras.....	Pág. 25
Figura 8. Recolección de las muestras de plantas completas de maíz.....	Pág. 26

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ejemplos de híbridos (H) y variedades (V, VS) de maíz desarrollados por INIFAP y CIMMYT para la región tropical de la República Mexicana.....	Pág. 11
Cuadro 2. Relación de surcos muestreados en cada fecha de corte.....	Pág. 26

## RESUMEN

ÁVILA RAMÍREZ DOLORES NOEMÍ. Distribución de nutrimentos en hojas y secciones de tallos de maíz (*Zea mays*), a cuatro edades en clima templado subhúmedo (bajo la dirección de: MVZ. MPAT. Agustín Roberto Bobadilla Hernández y MVZ. EPAB. Fernando Morales Rodríguez).

Con la finalidad de conocer el perfil nutrimental de la planta de maíz a los 60, 80, 100 y 120 días de edad, se analizó el contenido de: Materia Seca (**MS**) y Orgánica (**MO**), Proteína Cruda (**PC**), Elementos Libres de Nitrógeno (**ELN**), Energía Digestible (**ED**) y Metabolizable (**EM**), Lignina (**LIG**), Fibra Detergente Neutro (**FDN**) y Detergente Ácido (**FDA**), en planta completa así como en las secciones tallo basal (**TB**), tallo medio (**TM**), tallo apical (**TA**), hojas (**HJ**) y mazorcas (**MZ**). El maíz (A179) se sembró en 0.5 Ha de suelo arcillo-arenoso donde se aplicó un riego por inundación parcial previo a la siembra, se fertilizó a los 40 días post-siembra con una dosis de 46-23-00/Ha. Las muestras se obtuvieron en 4 surcos diferentes por edad. En cada surco se seleccionaron 4 tramos donde se cortaron 10 plantas. Las plantas obtenidas se separaron en hojas y tallo; éste último se fraccionó en 3 secciones (Basal, Medio y Apical). En las dos últimas edades se colectó también la mazorca. Se graficó la distribución de nutrimentos en las diferentes secciones de planta. Se utilizó regresión lineal simple para determinar la distribución en relación a la edad, y mediante correlación se identificaron las relaciones entre nutrimentos. Los resultados significativos obtenidos conforme a la edad de corte, por sección vegetal mostraron en **TB** un incremento ( $P < 0.05$ ) de **ED** ( $\beta_1 = 6.34$ ) y **EM** ( $\beta_1 = 5.22$ ), correlacionados positivamente ( $P < 0.05$ ) con **MS** y

**MO.** En **TM** el incremento de **FDN** no fue significativo, y se correlacionó ( $P < 0.05$ ) negativamente con **MS**. En **TA** el incremento de **MO** ( $\beta_1 = 0.18$ ,  $P < 0.001$ ) se correlacionó positivamente ( $P < 0.05$ ) con **FDN**, **FDA** y **LIG**. En **HJ**, se encontraron incrementos paulatinos de **MS** ( $\beta_1 = 0.19$ ) y **MO** ( $\beta_1 = 0.07$ ) correlacionados positivamente con **LIG** ( $P < 0.001$ ) y **ED** ( $P < 0.05$ ). En **MZ** los resultados no fueron significativos. Los resultados de la planta completa mostraron que al avanzar la edad, se observó incremento ( $P < 0.05$ ) de **MS** ( $\beta_1 = 0.223$ ), **EM** ( $\beta_1 = 3.081$ ), **FDN** ( $\beta_1 = 0.031$ ) y **MO** ( $\beta_1 = 0.171$ ); y disminuyó ( $P < 0.05$ ) **PC** ( $\beta_1 = -0.145$ ). El incremento de **LIG** no fue significativo en ninguna de las cuatro edades. En el corte a 100 días, se obtuvo correlación negativa ( $P < 0.05$ ) entre **FDN** y **FDA** con **MO**, **ED** y **EM**. En las edades de 100 y 120 días, no fue significativa la correlación negativa de **MS** con **PC**. Con base en los resultados, se concluye que a los 100 días, el maíz presenta el mejor contenido nutricional y aporte energético, participando **ELN** y **FDN**; con baja concentración de **LIG** que no limita la calidad de **MO**.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

El maíz es una de las gramíneas con mayor versatilidad de uso por el ser humano. Pese a su origen tropical, se distribuye mundialmente debido a su adaptación y mejoramiento genético. El grano de maíz se aprovecha como alimento para el ser humano y el ganado, o bien como materia prima de diferentes productos. Por otro lado, la planta representa un importante recurso forrajero para la alimentación animal, ofrecida en forma de ensilado, rastrojo e incluso fresco.

Mediante la selección genética se ha conseguido aumentar la producción de mazorca en las variedades de grano, o la producción de biomasa como planta completa en los híbridos forrajeros de maíz.

La calidad del maíz se juzga por la producción y la composición química del grano, que se considera la parte más nutritiva. El mismo criterio se ha aplicado a los híbridos forrajeros, sin ser necesariamente la misma situación, dado que la finalidad es obtener forraje; por lo que se requiere conocer la calidad nutricia de la planta completa.

La caracterización nutricional del forraje de maíz incluye el conocimiento de su contenido químico, ya que éste se modifica por el desarrollo, principalmente la calidad de la fibra. De manera que la edad condiciona la calidad nutricional de la planta y, por lo tanto, el aprovechamiento por el animal.

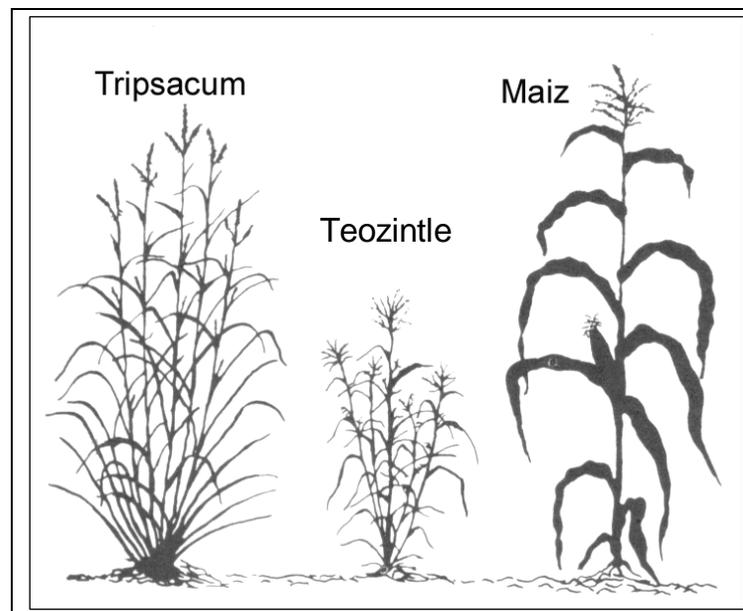
La planta completa se conserva comúnmente mediante el proceso de ensilaje. Para ensilar el maíz, se considera cualitativamente la madurez del cultivo que, si bien se correlaciona con las condiciones nutritivas, puede sobre o subestimar la utilidad de este alimento en la dieta de los herbívoros domésticos, principalmente rumiantes.

## I.1. GENERALIDADES DEL MAÍZ.

### I.1.1. TAXONOMÍA Y ORIGEN.

El maíz, *Zea mays* L., es el principal representante de la familia *Poaceae*, pertenece a la tribu *Maydeae* y es la única especie cultivada de este género. Al ser una planta C4, por el tipo de actividad fotosintética que realiza, logra una elevada producción de materia seca por unidad de superficie por día, y un alto contenido de carbohidratos solubles y estructurales (1).

El maíz junto con otras especies del género *Zea*, como el teozintle (*Zea mexicana*), o del género *Tripsacum*, como los zacates “Mirador” y “Guatemala” (*T. laxum*), se clasifican como plantas del “Nuevo Mundo” por ser originarias del Continente Americano (1).



**Fig. 1. La planta de maíz actual y sus antecesores (1).**

El maíz actual es una planta “domesticada” porque no crece de forma silvestre y depende de los cuidados del ser humano. Se ha determinado que las condiciones apropiadas para su cultivo son los climas cálidos o templados: ya que el mejor rendimiento productivo se alcanza entre los 20 y 30° C de temperatura ambiente, con un óptimo de 500 y un máximo de 1000 mm de agua distribuidos durante el ciclo de cultivo a través de riegos o por lluvias en condiciones de temporal; además se asocia

con suelos de textura franca, profundos, bien drenados, ricos en materia orgánica y con pH de 5.5 a 6.5. Se puede cultivar al nivel del mar o hasta 2300 msnm de altitud (1,2).

En la búsqueda de aumentar su productividad, el maíz se adaptó a diversas condiciones climáticas, en comparación con otros cultivos. Partiendo de su origen tropical, actualmente se siembra desde los 58° de latitud norte en Canadá y Rusia, hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile (1).

En la República Mexicana esta versatilidad de cultivo se refleja en la zona semiárida, donde el maíz, el sorgo (*Sorghum vulgare*) y la avena (*Avena sativa*) son los principales cultivos forrajeros; mientras que en la región templada, se produce a la par de avena (*Avena sativa*), rye grass (*Lolium sp.*) y alfalfa (*Medicago sativa*), para alimentar al ganado. Y en las regiones tropicales, el maíz figura entre los principales cultivos para la alimentación de los mexicanos (2,3).

#### I.1.2. USO DE LAS VARIEDADES MODERNAS DEL MAÍZ.

Por su importancia económica a nivel mundial, fue el primer cereal sometido a mejoramiento tecnológico. Así se convirtió en una de las especies cultivadas más productivas para alimentar al ser humano, para el ganado, o para industrializarse en distintos productos (1,3,4).

A nivel nacional, el cultivo de maíz es una de las principales actividades productivas, tanto para autoconsumo como industrial. En el primer caso, asegura la alimentación y ocupa la mano de obra familiar para obtener ciertos ingresos. En el segundo caso, el establecimiento se realiza con bajos costos de inversión, y si coincide con las condiciones agrostológicas apropiadas origina ingresos económicos, empleos y alimento para toda una región (2).

En México, el maíz se industrializa en la producción de masa para tortillas, atoles, bebidas fermentadas, harinas; se obtiene almidón, aceite, fructosa, etanol, inclusive es materia prima en la elaboración de artesanías (2,3). Las mazorcas verdes son consumidas en gran escala, asadas o hervidas. La planta de maíz que todavía esté verde cuando se cosechan las mazorcas tiernas proporciona forraje para la alimentación del ganado (2,5).

Actualmente, mediante biotecnología se obtienen variedades resistentes a agentes patógenos, de alta calidad nutricional del grano, de mayor rendimiento forrajero y porte más alto, cuyo valor nutritivo se ha relacionado con la producción de grano al momento del corte; y los avances alcanzados se extienden al resto de las gramíneas forrajeras (6,7).

En la República Mexicana, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) han desarrollado poblaciones mejoradas para las regiones cálido húmedas (Cuadro 1), obteniendo híbridos y variedades de maíz con mejor calidad de proteína en el grano, precoces, resistentes al acame o tolerantes a la sequía sin perder su capacidad productiva, en los cuales se investiga cómo mejorar la digestibilidad del forraje (1,2,3,5,7,8).

**Cuadro 1. Ejemplos de híbridos (H) y variedades (V, VS) de maíz desarrolladas por INIFAP y CIMMYT para la región tropical de la República Mexicana (2).**

IDENTIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS GENERALES
H-512	Tolera el acame, 250 cm de altura y rendimiento de 7 ton/Ha de grano.
H-513	Resistente al acame, 235 cm de altura, y un rendimiento de 8 ton/Ha de grano.
V-530	Variedad de polinización libre, presenta 5% de acame, 215 cm de altura y rendimiento de 5.5.ton/Ha de grano.
VS-536	Variedad sintética tolerante al acame, 248 cm de altura y rendimiento de 6 ton/ Ha de grano.

Considerando su distribución geográfica en el país, la capacidad de producción de biomasa y su contenido de carbohidratos, el maíz en la alimentación animal constituye un forraje con buen aporte energético para rumiantes. Sin embargo, la

calidad del forraje se modifica con la edad, de manera que debe considerarse este factor si se pretende mejorar el aprovechamiento de la planta (3,4,5,7,8).

## **I.2. CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DEL MAÍZ PARA SU UTILIZACIÓN EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.**

Con base en lo antes mencionado, el forraje de maíz es un recurso común que, por su concentración de carbohidratos, resulta una fuente energética altamente palatable para el ganado.

Considerando un rendimiento promedio de 80 tonFF/Ha, con 35% MS, se puede presupuestar la disponibilidad y almacenar excedentes como reserva para las temporadas cuando escasea el forraje. En este sentido, generalmente se conserva ensilando la planta completa.

El ensilado de maíz es un complemento comúnmente utilizado en las dietas para vacas lecheras, bovinos en engorda, ovinos y caprinos; ya sea en estabulación o en sistemas mixtos (2,3,5,6).

### **I.2.1. CONTENIDO NUTRIMENTAL DE LA PLANTA DE MAÍZ**

En el forraje de maíz se ha reportado un contenido de 30% de materia seca (MS), 8-10% de proteína cruda (PC), 2.5-3.0 Mcal de energía digestible (ED)/Kg de MS, 53% de fibra detergente neutro (FDN), 32% de fibra detergente ácido (FDA), 15% de lignina (LIG). En el caso de hojas se refiere 12% de PC, 18% de FC y 2.4 Mcal de ED /Kg MS. En el tallo, 9%, 38% y 2.1 Mcal de ED /Kg MS, respectivamente. Y en el grano se considera 9% de PC, 3% de FC y 3.4 Mcal de ED /Kg MS (7,8,9).

Los aportes antes mencionados pueden cubrir los requerimientos nutricionales de bovinos (8.5-15% de PC; 2.78-3.15 Mcal de ED/kg MS, 2.36-2.71 Mcal de EM/kg MS; 17% de FC; 21% de FAD), ovinos (9.5-10.2% de PC; 2.6-3.0 Mcal de ED/kg MS; 2.0-2.4 Mcal de EM/kg MS), incluso equinos (8.5% de PC; 18% FC; 2.2-3.0 Mcal de ED/kg MS) (10,11).

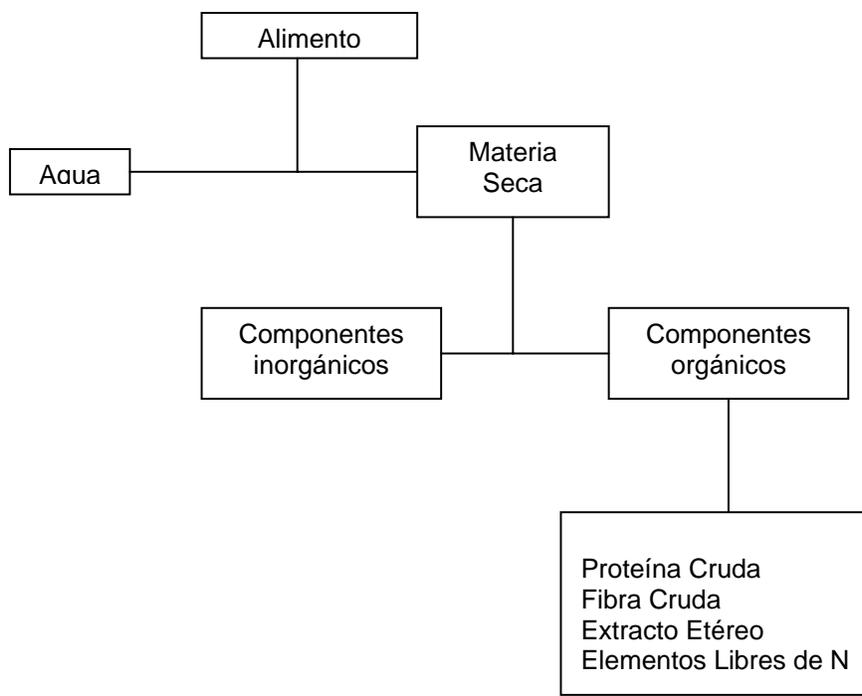
Como ensilado, las evidencias refieren un aporte de 30% de MS, 8.0% de PC, 26.0% de FC, 3.09 Mcal de ED/kg Ms, 2.5 Mcal de EM/kg MS; también se ha estimado un aporte de 1.70 Mcal de energía neta de lactancia (ENI)/kg MS, reafirmando su

carácter de alimento energético, impactando principalmente en la producción lechera (8,11).

#### I.2.1.1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL (AQP).

El A.Q.P. es un análisis común, práctico, de bajo costo e importante porque muestra la cantidad de nutrimentos contenidos en el alimento, y orienta respecto a la calidad nutricional que pueda tener (12,13).

El Análisis inicia separando el contenido de humedad y de materia seca (MS); y a partir de ésta se cuantifica el porcentaje de Proteína Cruda (PC) o nitrógeno total del alimento; la Fibra Cruda (FC) o contenido de carbohidratos estructurales; el Extracto Etéreo (EE) o compuestos lipídicos; las Cenizas (Cen) o minerales; y finalmente se estima el contenido de Elementos Libres de Nitrógeno (ELN) que corresponde al contenido de carbohidratos solubles, estimado matemáticamente a partir de los anteriores (9,10). La separación de estas fracciones se esquematiza en la Figura 2.



**Fig. 2. Fracciones químicas obtenidas en un AQP (13).**

A partir de los datos del A.Q.P. se estima en porcentaje el Total de Nutrientes Digestibles (TND); y con base en éste, se calcula el contenido de Energía Digestible (ED) y Energía Metabolizable (EM) en kilocalorías por Kg de MS (14).

La ED y EM indican la capacidad del alimento de aportar energía útil para las funciones celulares; por consiguiente son indicadores de la calidad de la MO del alimento (12,14).

Las fracciones químicas de mayor importancia a considerar en un forraje son las determinaciones de PC y FC, así como la estimación de TND, y por consiguiente, ED y EM (13).

El contenido de PC indica la cantidad de nitrógeno utilizable en primer momento por los microorganismos del rumen. En los rumiantes, el requerimiento de proteína está en función de satisfacer la demanda de la población ruminal para mantener la funcionalidad fermentativa y, en consecuencia, la fisiología del rumiante (10,14,15).

Respecto a FC, constituye el sustrato sobre el cual actuarán los microorganismos ruminales. Por su carácter de herbívoros, los rumiantes deben consumir fibra vegetal (carbohidratos que estructuran la pared celular), y tienen la capacidad de aprovecharla al máximo mediante la fermentación ruminal. Como resultado de este proceso, el animal obtiene moléculas que le proporcionan energía para la función celular, los ácidos grasos volátiles (10,14).

Por otro lado, aunque el TND es una estimación matemática, su utilidad es como indicador indirecto de la digestibilidad del forraje. Y a partir de este resultado, el cálculo de ED y EM permite estimar la cantidad de energía asimilable (ED) y disponible (EM) para los tejidos del animal que consuma el forraje (10,14).

**I.2.1.2. CONTENIDO DE PROTEÍNA.**

Las proteínas son los principales compuestos nitrogenados de los vegetales y animales. En el caso de los forrajes, la mayoría de las proteínas se encuentran en forma de enzimas; el contenido es mayor en plantas en crecimiento, descendiendo a medida que las plantas maduran debido a la menor actividad metabólica para sintetizar tejidos (10,15).

Los animales requieren nitrógeno para la síntesis protéica; mientras que los alimentos contienen proteínas donde se encuentra la mayor parte del nitrógeno de su composición química. Por lo tanto, es adecuado expresar el contenido de nitrógeno de los alimentos como proteína cruda (PC), una de las principales determinaciones obtenidas en el A.Q.P. (10,15,16).

Si bien el contenido de nitrógeno del alimento se emplea para calcular el contenido de proteína, en la nutrición de rumiantes se considera el requerimiento de PC, ya que los microorganismos ruminales representan el primer nivel de aprovechamiento del nitrógeno en el alimento, tanto de carácter protéico como el no protéico (10,14,17,18).

El contenido de PC en el maíz se ha determinado entre 8.0 y 10%. Sin embargo, el desarrollo de nuevas variedades forrajeras propone diversas edades de corte por su carácter precoz, o bien por estar adaptadas a diferentes condiciones climáticas que afectan su velocidad de crecimiento y maduración. A ello se suma que la función de las partes de la planta determina la mayor o menor concentración de proteínas, pues las hojas y los tallos jóvenes son sitios con alta actividad metabólica, mientras que los tallos maduros presentan ritmos metabólicos más lentos (18,19,20).

### I.2.1.3. CALIDAD DE LA FIBRA Y CONTENIDO ENERGÉTICO.

#### I.2.1.3.1. ESTRUCTURA DE LA FIBRA.

Las paredes celulares se integran por los carbohidratos celulosa y hemicelulosa (arabinoxilano) organizados en microfibrillas entramadas entre sí (Fig. 4). También están presentes derivados del ácido galacturónico o pectinas (arabinogalactano), y la lignina, que es un polímero de alcoholes (cumarílico, coniferílico y sinapílico) unidos por enlaces éter, la cual liga las microfibrillas de celulosa a las hemicelulosas y pectinas (13,21,22).

Las paredes celulares son estructuras que proporcionan rigidez y protección contra temperatura ambiental, evaporación, plagas y enfermedades (Fig. 3). Y el concepto de *fibra vegetal* se refiere a la presencia de carbohidratos estructurales que conforman las paredes celulares de las plantas; en el A.Q.P. están comprendidos en la FC (12,13,14).

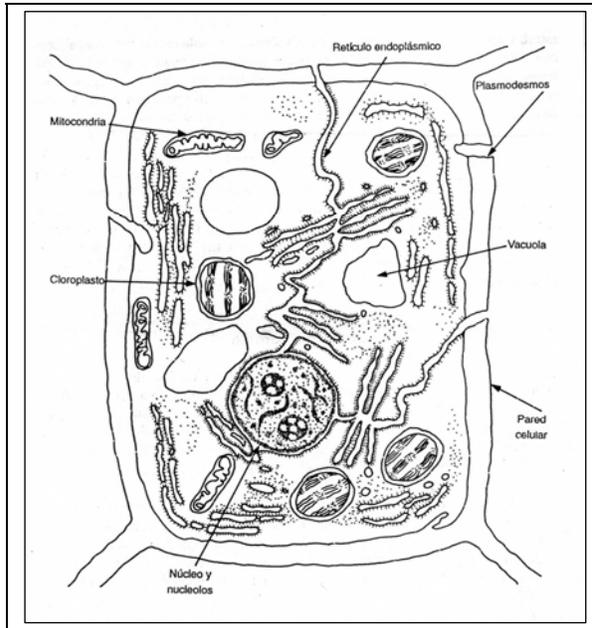


Figura 3. Representación esquemática de una célula vegetal (21).

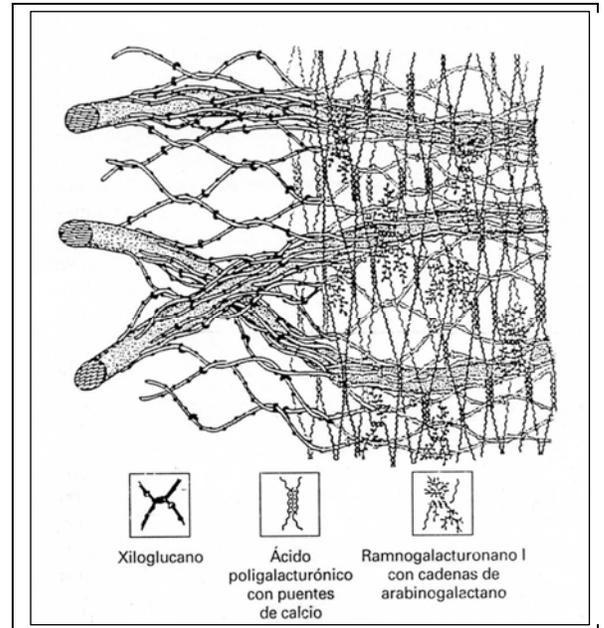


Figura 4. Representación esquemática de la estructura de la pared celular: modelo de redes interdependientes entre los componentes de la pared celular (22).

La concentración de fibra se relaciona con el contenido nutricional y la digestibilidad del forraje. La composición química de los forrajes describe dos situaciones opuestas, desde el punto de vista nutricional; por un lado, en las plantas jóvenes, la cantidad de biomasa está constituida mayoritariamente por agua y con mínima MS disponible, aunque la fibra sea altamente digestible. Por otro lado, en forrajes maduros el contenido de MS es elevado, y está constituida por fibra no digestible debido a la presencia de paredes celulares lignificadas (9,21,22,23).

En las plantas jóvenes, la pared celular, que está escasamente lignificada, se adelgaza y engrosa durante la diferenciación y multiplicación celular para aumentar el tamaño de los tejidos. Conforme la planta crece se acumula lignina, que da fortaleza y soporte en tallos y hojas. Cuando la planta alcanza su máximo desarrollo (etapa de floración), la lignina sustituye progresivamente a los carbohidratos estructurales (21,22,24).

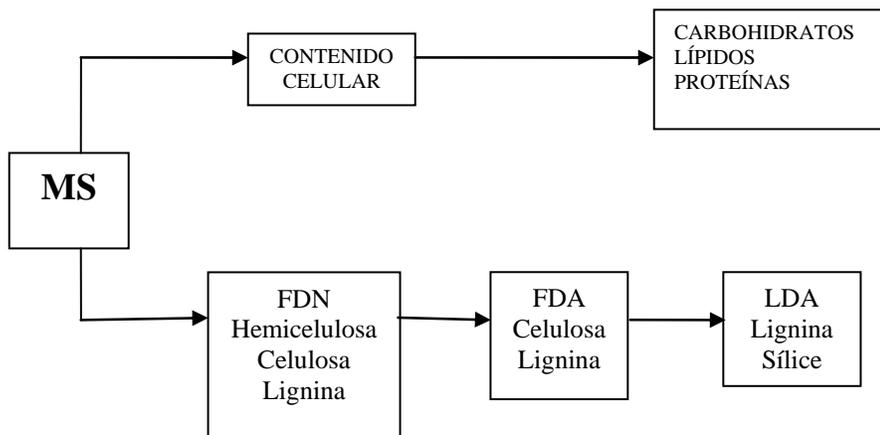
Desde el punto de vista de la nutrición animal, un forraje joven tiene mayor digestibilidad porque contiene mayor proporción de hemicelulosa que de celulosa unida a lignina. Por el contrario, en los forrajes maduros, la mayor proporción es de celulosa y lignina con menor contenido de hemicelulosa, siendo un material poco digestible. En el rumen el conjunto de los carbohidratos estructurales y lignina actúa como barrera limitando la acción de las enzimas microbianas cuando el animal consume el forraje demasiado maduro (13,21,22,23).

#### I.2.1.3.2. ANÁLISIS DE VAN SOEST Y DIGESTIBILIDAD.

Como se mencionó anteriormente, la hemicelulosa es más digestible que la celulosa, y ambas son mejores que la lignina. Por lo tanto, se busca conocer con exactitud las fracciones de la fibra mediante la metodología propuesta por Van Soest y colaboradores (13,25,26).

Las fracciones de la fibra (Figura 5) indican la concentración del tipo de carbohidratos estructurales a partir de la degradación de una muestra en soluciones detergentes. Primero se disuelve el contenido celular, el remanente,

constituido por paredes celulares y algunas proteínas ligadas, se denomina fibra detergente neutro (FDN); después se realiza una solubilización en detergente ácido cuyo remanente, compuesto por celulosa y lignina, se denomina fibra detergente ácido (FDA). Por último, la FDA en ácido sulfúrico dará un residuo denominado lignina detergente ácido (LDA). Se expresan como porcentaje de la materia seca del forraje (13,25,26).



**Fig. 5. Composición química de la célula vegetal y fracciones de la fibra. Modificado de Bassi(13).**

En este sentido, FDN corresponde al total de paredes celulares en porcentaje de MS, la FDA refiere la proporción menor de carbohidratos estructurales, y LDA o LIG indica el porcentaje de compuestos indigestibles presentes en la pared celular. Por consiguiente, se ha corroborado (8,27,28) que a mayor porcentaje de FDN se tiene un forraje de regular a baja calidad; un valor mayor de FDA indica paredes celulares más lignificadas y baja calidad de forraje. El contenido de LIG siempre es indicador de calidad de la fibra, ya que si predomina este compuesto se trata de paredes celulares de difícil degradación ruminal (21,22,23).

La proporción de las fracciones antes mencionadas, influye sobre el aprovechamiento del alimento en el tracto digestivo; es decir, sobre la *digestibilidad* del forraje (13).

La *digestibilidad* es la proporción de alimento que ha sido absorbida por el organismo por lo tanto, no es excretada en heces, y permite estimar el *valor nutritivo* del alimento (13,15,29).

La digestibilidad del *contenido celular* tiene un promedio casi constante del 98%, mientras que en las *paredes celulares*, la digestibilidad varía por la proporción que guardan la *hemicelulosa*, *celulosa* y *lignina*; lo que depende directamente de la edad de la planta. En otras palabras, existirán diferentes cantidades de hemicelulosa, celulosa y lignina de acuerdo con la etapa de crecimiento o desarrollo (21,22,23).

Los valores cuantificados de fracciones de la fibra se utilizan como indicadores de calidad porque se han correlacionado con el porcentaje de digestibilidad del forraje. Las paredes celulares de una planta joven contienen principalmente celulosa y hemicelulosa, y en menor proporción, lignina. Una vez que sucede la movilización de reservas nutricionales para formar la semilla, alcanzada la madurez, la concentración de lignina aumenta mejorando la resistencia del tejido vegetal, pero que disminuye la digestibilidad del forraje (5,7,8,9,21,22,23,27).

El grado de digestibilidad del maíz es afectado, además de la edad de la planta, por su relación con otros ingredientes de la ración, la preparación y presentación como se ofrece el alimento (29).

La forma como se ofrece el forraje considera la preparación y presentación: se pueden ofrecer picados o molidos. Hay evidencias (16,27,28,30) que muestran que las partículas mayores a 5cm o menores a 2cm disminuyen la digestibilidad debido a que limitan la superficie de degradación para los microorganismos ruminales o aumentan la tasa de pasaje, respectivamente. Mientras que también se practican tratamientos, químicos y físicos, para aumentar la digestibilidad de los forrajes maduros (10,17,29).

Si la cantidad de energía en rumen es mayor que la proteína, de manera inicial se estimula la actividad fermentativa, aunque posteriormente se limita por falta de sustrato protéico; de tal modo, la degradación ruminal del alimento determina la absorción intestinal (15,17,31).

Existen métodos para determinar la digestibilidad como el método *in vivo* el cual considera la diferencia entre la cantidad de alimento que consume un animal y las excretas que produce; expresando el resultado como porcentaje de Materia Seca Digestible (MSD). Los métodos *in vitro* simulan en el laboratorio, la actividad del tracto gastrointestinal. En los métodos *in situ* se colocan muestras en bolsas de material sintético y permeable dentro del rumen, a través de una fístula, donde permanecen hasta 120 horas. Las técnicas calculan la diferencia entre el peso inicial menos el peso del remanente para estimar el material que desaparece, es decir, el material digestible (15,32).

### **I.3. APROVECHAMIENTO DEL MAÍZ EN LA ALIMENTACIÓN ANIMAL.**

La planta de maíz se ofrece principalmente como ensilado y rastrojo. Si bien hay pocos reportes del empleo de forraje de maíz fresco, en muchas regiones de la República Mexicana, se practica el “despunte de la milpa” antes de cosechar la mazorca (2,3).

El ensilado es una alternativa para ofrecer un alimento de calidad muy semejante al material en fresco; pero que debe garantizar la cantidad y calidad del forraje. El ensilado es un forraje húmedo, picado y apisonado, conservado mediante un proceso fermentativo en condiciones de anaerobiosis. El pH alcanzado no permite la proliferación microbiana y mantiene, con una ligera merma, la calidad del forraje almacenado (9,27,28,32).

Comúnmente se estima el momento de corte del maíz entre los 120-130 días de edad o bien el conocido estado lechoso-masoso del grano, lo cual indica que los almidones del grano se están movilizando para formar semilla (9,23,32).

Por el crecimiento de la planta, se considera que la porción basal sea la más lignificada, mientras que las puntas de tallos sean las menos lignificadas. La utilización de la planta completa implica que la posible baja calidad de la base del

tallo disminuya la calidad del forraje total y por consiguiente, la calidad del ensilado resultante (19,22).

Bajo esta perspectiva, la optimización del aprovechamiento del maíz puede sugerir la utilización de las partes con la mejor calidad, regulando la altura de corte de la planta respecto al suelo. Si bien ya no implicaría el uso de la planta completa. O bien, cuantificar la composición química y nutricional en diferentes secciones de la planta, y analizar su comportamiento a lo largo del tiempo para determinar el mejor momento de corte cuando todas las secciones presenten la mejor calidad (33).

Actualmente, existen diversos materiales genéticos para cultivar maíz; tanto las variedades sintéticas como los híbridos desarrollados presentan especificidades de condiciones edafoclimáticas (adaptaciones de clima, tipos de suelo, requerimientos de agua, etc.), de rendimiento e incluso en la calidad nutricia del forraje o de grano. Sin embargo, algunas investigaciones (5,7,8) reportan diferencias entre variedades en el contenido químico –PC, o FDN, FDA- así como en el momento de corte y rendimiento de forraje; mientras que otros autores (9,27,33,34) no han encontrado diferencias significativas en estos mismos aspectos.

Por lo anterior, es evidente que existe escasa información sobre el perfil nutricional de los maíces actuales que refiera su distribución conforme crece la planta. Resultando en prácticas tradicionales pero ineficientes de utilización del forraje mejorado actual (23,33,34).

## **JUSTIFICACIÓN**

El conocimiento sobre las características nutricionales de la planta de maíz, de acuerdo a distintas fases de su crecimiento ayudará para mejorar el tipo de forraje ofrecido dentro de una ración.

En la actualidad, los diferentes cultivares de maíces hacen necesario conocer la variación en la distribución de nutrimentos conforme al desarrollo para fundamentar la elección de la edad de corte que garantice la mejor calidad nutritiva del forraje en fresco y hacer la proyección de su comportamiento al ensilar.

## **HIPÓTESIS**

- La concentración de nutrimentos será mayor en hojas que en tallos de la planta de maíz, conforme se desarrolle el cultivo.
- Los nutrimentos en el tallo tendrán menor concentración en la porción basal y mayor en la porción apical, conforme aumente la edad de la planta.
- En los 100 y 120 días de edad post-siembra, el forraje de mejor calidad será el constituido por hojas y la porción apical de tallos de la planta de maíz.

## **OBJETIVOS**

- Cuantificar la concentración de nutrimentos en las hojas de la planta de maíz cortada a los 60, 80, 100 y 120 días de edad.
- Cuantificar la concentración de nutrimentos en el tallo de maíz en sus porciones basal, medio y apical, a los 60, 80, 100 y 120 días.
- Describir la distribución e identificar las relaciones de nutrimentos en las hojas y secciones de tallo de planta de maíz durante el avance de la edad desde los 60 hasta los 120 días.

## II. MATERIAL Y MÉTODOS.

**Ubicación.** El estudio se realizó en dos etapas. La primera se desarrolló en el rancho “San Francisco”, antes CEIEPByC, ubicado en el Municipio de Chalco, Estado de México, que se caracteriza con un clima Cw: templado subhúmedo con lluvias en verano; la temperatura media anual es de 15.6° C, alcanzando durante el verano los 31° C, mientras que en invierno presenta un promedio de 8.2° C. Existe temporada de heladas de tres meses a partir de Octubre. La precipitación pluvial oscila entre los 600 y 1,200 mm anuales (35).

La segunda etapa se llevó a cabo en el Laboratorio de Bromatología en el Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica. Ambas pertenecen a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, U.N.A.M.

**Especie vegetal.** Se estableció un cultivo de maíz (*Zea mays*) variedad A179, con 80% de germinación y 99% de pureza.

**Área experimental.** Se utilizó una superficie de 0.5 Ha de suelo descrito como arcillo-arenoso, a la cual se realizaron en tiempo las labores culturales: Arado, rastreo, nivelación, trazos de riego, desarrolladas a 30, 15, 10 y 5 días previos a la siembra, respectivamente.

De acuerdo a lo anterior, se dispuso de 22 surcos con 80 cm de distancia entre ellos y 300 m de largo, aproximadamente.

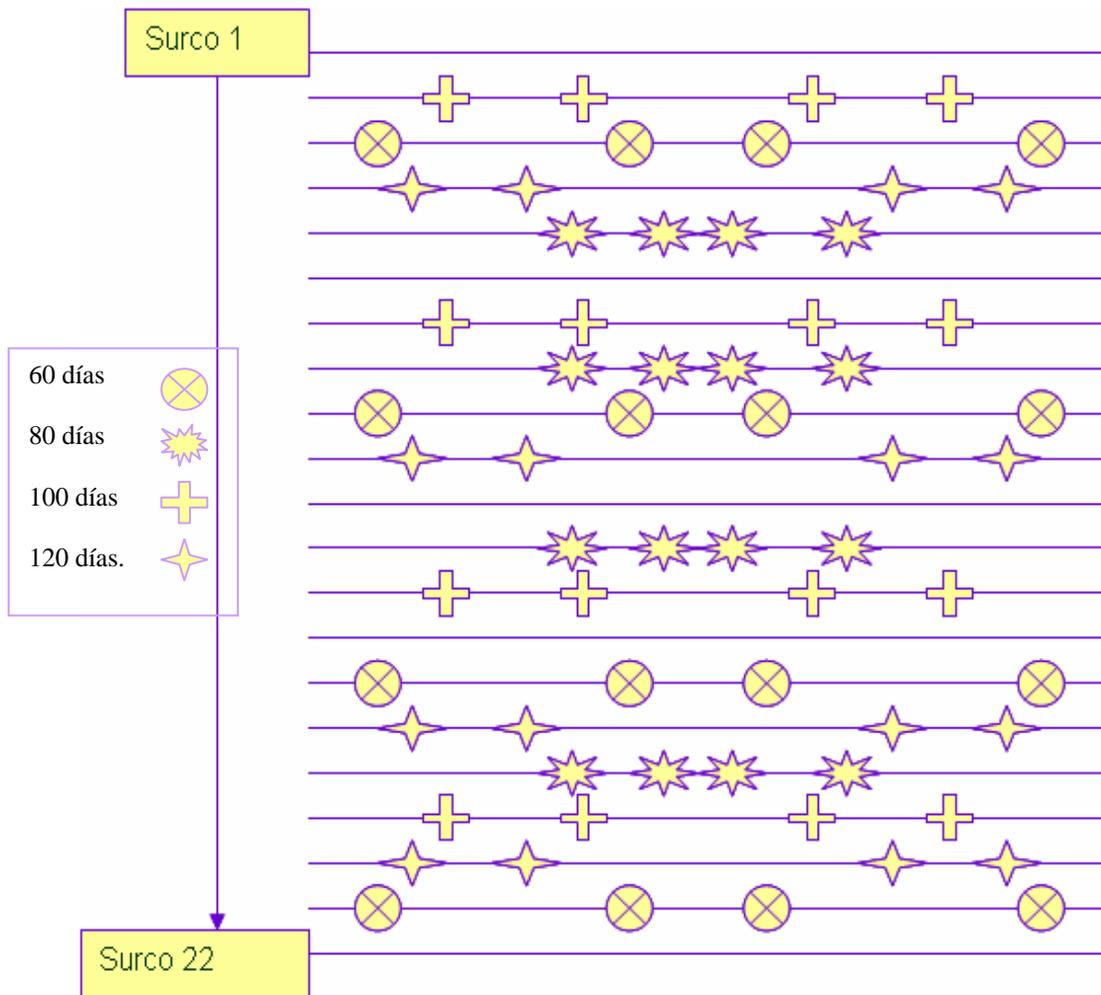


**Fig. 6. Riego rodado sobre la superficie de siembra.**

La siembra se realizó al día siguiente de aplicar un riego por inundación parcial (Fig. 6). Se utilizó una densidad de siembra de 100,000 semillas/Ha depositando 2 semillas por cada 10 cm de distancia.

A los 40 días de edad se aplicó nitrógeno y fósforo a una dosis/Ha (46-23-00). Los fertilizantes fueron Urea y Superfosfato Triple.

**Muestras.** La toma de muestras se realizó a los 60, 80, 100 y 120 días de edad, se evitaron las orillas de la superficie de siembra. En cada edad, se eligieron 4 surcos y a lo largo de cada uno se ubicaron 4 sitios de muestreo, como se ilustra en la Figura 7, obteniendo 10 plantas de cada sitio que conformaron un total de 40 plantas/surco. De este conjunto de plantas se separaron hojas y tallos.



**Fig. 7. Patrón de colección de muestras.**

**Cuadro 2. Relación de surcos muestreados en cada fecha de corte.**

Edad (días)	Número surcos muestreados
60	3, 9, 15 y 20.
80	5, 8, 12 y 17.
100	2, 7, 13 y 18.
120	4, 10, 16 y 19.

Las muestras colectadas fueron las hojas (HJ) y tallos; éstos últimos se dividieron a los 60 días, en las secciones apical y basal, para las edades de 80, 100 y 120, las secciones fueron basal (TB), media (TM) y apical (TA). Se obtuvieron mazorcas (MZ) a 100 y 120 días (Fig. 7 y 8).

**Fig. 8. Recolección de las muestras de plantas completas de maíz.**

**Análisis de laboratorio.** Las muestras fueron remitidas al Laboratorio Bromatológico, del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica, FMVZ-UNAM, donde se determinó el contenido de Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Fibra Cruda (FC), Extracto Etéreo (EE), Cenizas (Cen) y Elementos Libres de

Nitrógeno (ELN), y con base en estas determinaciones, se estimaron el contenido de Materia Orgánica (MO), el Total de Nutrientes Digestibles (TND), la Energía Digestible (ED) y Energía Metabolizable (EM), según AOAC (1990).

Además, se valoraron fracciones de la pared celular: Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácido (FDA), y Lignina (LIG), de acuerdo a la Técnica para la Determinación de Fracciones de la Fibra (Van Soest, 1970).

**Análisis Estadístico.** Con los datos recabados, mediante Estadística Descriptiva, se obtuvieron los valores de media y desviación estándar para cada fracción vegetal en cada edad.

Además, se realizó el análisis de Regresión Lineal Simple entre la edad y las fracciones químicas MS, PC, ED, EM, MO, FDN, FDA y LIG en las diferentes secciones de la planta. Asimismo, se realizó Correlación entre MS y PC, MS y MO, MO y FDA, MO y FDN, utilizando el programa estadístico SAS (36).

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Con los datos obtenidos del A.Q.P. se realizó la distribución de nutrimentos en la planta completa de maíz y en las secciones obtenidas de ésta en las cuatro edades de corte, como se muestran en las gráficas y cuadros referidos en el Anexo.

#### III.1. Planta completa.

Se cuantificó un contenido promedio de 16.07% de MS, 10.98% de PC, 26.12% de FC, 5.05% de EE, 47.85% de ELN, 68.10% de TND, 2992.24 Mcal/kgMS de ED y 2462.62 Mcal/kgMS de EM. Estas determinaciones estuvieron contenidas en 90.47% de MO. En cuanto a la fibra, se obtuvieron valores de 57.57% para FDN, 33.88% para FDA y 4.66% de LIG (Gráfica 1).

Se observó que el contenido de MS (16.07%) obtenido en el presente estudio está por abajo de lo citado por las referencias -30-35%- (9,27,28,32). Aunque hay un elevado contenido de FDN (57.57%), los contenidos de FDA y LIG fueron inferiores. Lo anterior sugiere que las paredes celulares estaban conformadas principalmente por carbohidratos estructurales digestibles (hemicelulosa), lo cual favorece el aprovechamiento de MO, el incremento de TND y por lo tanto, se incrementa el contenido de energía digestible y metabolizable. Esta situación no coincide con lo referido por Núñez, *et. al.* (7,8) quienes relacionaron negativamente la digestibilidad del forraje con más del 56% de FDN.

Se encontró que, conforme al comportamiento de las cuatro edades, el contenido de MS aumenta y disminuye PC (Gráficas 2, 3 y Cuadro 1). PC disminuyó desde el intervalo entre el primero y segundo corte. FDN y FDA estabilizaron su presencia en la planta y el contenido de LIG se mantuvo en niveles mínimos (5%), hasta los 120 días. Las otras fracciones químicas mostraron un comportamiento ascendente.

Al realizar una regresión lineal de ED, EM y MO en función de TND (Cuadro 2), se determinó una relación positiva entre estas variables. De manera que un incremento de MO conlleva al incremento de TND. Considerando que a partir de TND se estiman los valores de ED y EM, se asume que la relación entre ED y EM

con MO sea igualmente positiva; por lo tanto, el comportamiento de TND, ED y EM pueden considerarse indicadores de la calidad de MO; mientras que MO se utiliza como estimador del aporte energético del maíz.

Los resultados de correlación mostraron que el contenido de MS se asoció positivamente ( $P < 0.05$ ) con MO, ELN, TND, ED y EM. Por el contrario, se encontró asociación negativa ( $P < 0.05$ ) entre PC y EE con MS (Cuadro 3).

No se encontró aumento significativo en FC ni fracciones de la fibra con el avance de la edad (Cuadro 1). Debido a que LIG no se incrementó ni tuvo correlación significativa con TND, ED o EM (Cuadro 3), se sugiere que FDN y FDA se mantuvieron constantes, contribuyendo a la calidad de la materia orgánica y al contenido energético del forraje. Esto explica el incremento de TND, ED y EM (Gráficas 3, 4 y 5; Cuadros 1 y 3).

Lo anterior sugiere presencia de fibra digestible debido a mayor contenido de carbohidratos estructurales que de LIG; y que al formar parte de la materia orgánica, favorezca el aprovechamiento del forraje. Las evidencias (23,27,28) reportan que la LIG (6 a 9%) limita el aprovechamiento de la FDN y FDA; pero en este trabajo se encontró un contenido de LIG bajo –valor promedio de 4.66%– (Gráfica 1 y 2), que favorece la calidad de la MO. Aunado a que la última edad de corte fue a los 120 días, difiriendo de los resultados reportados sobre un mayor contenido de LIG (9,15,16,32), ya que en dichas investigaciones se refiere una edad de utilización a los 130 días post-siembra (32,33).

Del incremento de MS la mayor proporción es MO que contiene fibra digestible.

### **III.1.1. A 60 días de edad.**

A esta edad se hace la consideración de que no se pretende el uso para alimentación, sino únicamente monitorear el perfil de nutrimentos.

Se encontró (Cuadro 4) que la cantidad de **MS** se asocia positivamente ( $P < 0.05$ ) con **FC**, **FDN**, y **FDA**, lo cual sugiere que en ese momento la planta está sintetizando carbohidratos estructurales para garantizar un óptimo crecimiento, ya que éstos darán soporte y resistencia.

Por otro lado, el contenido de **MO** se correlacionó positivamente ( $P < 0.05$ ) con el contenido de **TND**, **ED** y **EM**; esto hace suponer que el contenido energético no está siendo limitado por **FDA** o **FDN** debido, probablemente, a que no hay una lignificación considerable, es decir, es limitada la concentración de elementos indigestibles, como se observó a lo largo de los diferentes cortes, donde **LIG** no se incrementó categóricamente (Gráfica 3).

Lo anterior se refuerza con la correlación positiva ( $P < 0.05$ ) entre **EE** con **TND**, **ED** y **EM**; estas tres últimas también se asociaron positivamente ( $P < 0.05$ ). Cabe aclarar que la relación entre **TND**, **ED** y **EM** se debe principalmente a que las dos últimas son derivadas matemáticamente del **TND**; por lo que en adelante se considerará principalmente este último.

Respecto al contenido de componentes de la pared celular, en primer lugar se correlacionaron negativamente ( $P < 0.05$ ) con **PC**, mientras que se asociaron positivamente ( $P < 0.05$ ) con **MS**. Si bien, **FDN**, **FDA** y **LIG** se asocian entre sí, debe considerarse que se mantuvieron en niveles inferiores y proporcionalmente constantes en las diferentes edades de corte de la planta.

### III.1.2. A 80 días de edad.

Considerando como base los datos de contenido químico a los 60 días, se tiene que los componentes, en general, aumentaron (Gráfica 2). Se encontró que el nivel de **MS** está asociado positivamente ( $P < 0.05$ ) con **PC**, lo cual puede deberse al aumento de tamaño de la planta que implica una mayor demanda de proteína para la síntesis de tejidos.

**ELN** y **EE** se correlacionaron positivamente ( $P < 0.05$ ) con **TND**, **ED** y **EM**, de forma que participan en el contenido energético; sin embargo, **FC** lo limita, indicado por la correlación negativa ( $P < 0.05$ ) con los anteriores. Sin embargo, el efecto de la fibra no resulta tan contundente debido a que **MO** y **ELN** se asociaron ( $P < 0.05$ ) con **ED** y **EM**. Es decir, aunque se encontró correlación positiva entre **LIG** y **FDA**, por los niveles cuantificados en las diferentes edades de muestreo, no resulta tan importante ya que los componentes energéticos (**ELN**, **EE**, **MO**) están presentes en niveles mayores a las fracciones de la fibra (Gráficas 3,4,5 y Cuadro 5).

### III.1.3. A 100 días de edad.

El contenido de **EE**, **ELN** y **MO** se vuelve a correlacionar positivamente ( $P < 0.05$ ) con **TND**, **ED** y **EM**. Sin embargo, **MO** tuvo correlación negativa ( $P < 0.05$ ) con **MS** y **PC**; esto sugiere que aunque pudiera aumentar el aporte energético, la calidad de la **MO** está siendo limitada (Cuadro 6).

Este efecto lo ejerce el contenido de fibra considerando la correlación negativa ( $P < 0.05$ ) entre **FC** con **TND**, **ED** y **EM**; y se reafirma con la asociación negativa ( $P < 0.05$ ) entre **LIG** y **PC**, que indica merma en la calidad de **MO** al disminuir **PC** debido a un incremento en el contenido de **LIG**, aunado a la asociación positiva ( $P < 0.05$ ) entre **FC** con **FDN**, **FDA** y **LIG**.

### III.1.4. A 120 días de edad.

A diferencia de los cortes anteriores, **EE** tuvo correlación positiva ( $P < 0.05$ ) con **FDN**. Sin embargo, ninguna correlación entre **EE** y las fracciones del aporte energético fue significativa; esto puede indicar disminución de **EE** y por ello una baja influencia en el aporte energético.

Se obtuvieron correlaciones negativas ( $P < 0.05$ ) entre **MO**, **TND**, **ED** y **EM** con **FDN**, **FDA** y **LIG**. Estas asociaciones indican que el contenido energético queda limitado por la presencia de carbohidratos estructurales, principalmente la celulosa ligada a lignina (**FDA**), considerando la correlación negativa ( $P < 0.05$ ) de **FDA** con **MO** y **ELN**, así como la de **LIG** ( $P < 0.05$ ) con **TND**, **ED** y **EM**.

Lo anterior se reafirma por la asociación negativa ( $P < 0.05$ ) de **ELN** con **PC** y **FC** que sugiere una menor participación de éste en el aporte energético o la restricción efectuada por el contenido de fibra, aunque hubiera correlación positiva ( $P < 0.05$ ) de **ELN** con **MO**.

### III.1.5. Calidad de la Materia Orgánica.

En los primeros dos cortes (60 y 80 días), la distribución de nutrimentos refleja los procesos de crecimiento y especialización de tejidos. El incremento en las fracciones de la fibra indica que entre los 60 y 80 días la planta sintetizó componentes estructurales para darle sostén y protección (19,21,22,33).

Buxton et. al., y Jung et. al., señalan que el incremento en componentes de la fibra se traduce en una merma de la digestibilidad y por ende, de la calidad del forraje (23,24). Sin embargo, en los cortes a 60 y 80 días se identificó que los compuestos indigestibles fueron mínimos, de manera que las fracciones de la fibra forman parte de la MO y no limitan el aporte energético. El proceso de lignificación no es tan activo en estas edades debido a que la planta cursa por una etapa que prioriza el crecimiento antes que el soporte mecánico (20,24).

Por otro lado, la MO se correlacionó con el incremento de ELN, que indica el incremento en el contenido de carbohidratos solubles. Considerando la fisiología del maíz dichos resultados sugieren que desde edades tempranas comienza la acumulación de estos compuestos. Además, el incremento de EE puede explicarse por la presencia de ceras o terpenos (20) que cumplen con funciones específicas, sin embargo, resultaron asociados al aporte energético.

A los 60 y 80 días, el rendimiento de forraje es bajo, con alta calidad de MO, pero también mayor contenido de humedad. En estas edades el aprovechamiento del forraje está limitado por su volumen y contenido de humedad, no por su calidad.

Mientras que a 100 y 120 días, la planta continuó su crecimiento, pero aparentemente las fracciones de la fibra mantuvieron la misma proporción en el total de la planta; lo que varía es el total de biomasa en el que están contenidas.

Sin embargo, la calidad del forraje a 100 días pareció limitada por los componentes de la fibra. Si el contenido de hemicelulosa equivale a fibra digestible y la celulosa es fibra medianamente digestible, el contenido de LIG, si bien limita la degradación ruminal (19,22,24), la concentración cuantificada en este corte fue baja (4.69%), siendo posible el aprovechamiento de las otras fracciones con un mínimo efecto limitante.

En el corte a 120 días, resultó más evidente el efecto limitante de las fracciones de la fibra sobre el aporte energético y la MO, principalmente celulosa ligada a lignina. Es decir, las paredes celulares son más resistentes a esta edad.

En los cortes a 100 y 120 días el crecimiento vegetal aparentemente dejó de ser prioritario, y durante esta etapa los excedentes de energía son utilizados alternando entre producción foliar, síntesis de metabolitos secundarios (como lignina), acumulación de reservas o la maduración de semilla (llenado del elote) (20). Aunque todavía es alto el contenido de MO, la calidad comenzó a mermar en el corte a 120 días.

En los cortes a 100 y 120 días, se describió buena calidad de MO, con alto aporte energético principalmente asociado al contenido de carbohidratos solubles; pero con un total de biomasa mayor al de los cortes de 60 y 80 días. Aunque el corte a 100 días sugiere el mejor forraje de planta completa por tener un menor efecto limitante de LIG sobre MO.

- En la planta completa se reporta un alto contenido de MO y un mínimo contenido de LIG.
- Entre los 60 y 80 días, el aprovechamiento del forraje queda limitado por su volumen y contenido de humedad, pero contiene alta calidad de MO.
- El corte a 100 días sugiere el mejor forraje de planta completa por tener un mayor rendimiento con el menor efecto limitante de LIG sobre MO.

## **III.2. Contenido químico y distribución de nutrimentos en secciones de tallo y hojas.**

### **III.2.1. TALLO BASAL (TB).**

El **TB** presentó como promedio de todas las edades, 16.79% de MS, 8.87% de PC, 90.51% de MO, 50.12% de ELN, 2997 kcal de ED, 2457 kcal de EM, 56.28% de FDN, 33.96% de FDA y 4.84% de LIG (Gráfica 6).

A los 120 días, el contenido de MS fue de 28.03%, lo que representa un aumento a partir del corte de 60d de 498.7%; siendo MO en 95.87% de MS. Sin embargo, a pesar del mayor contenido de MS, la PC fue de 5% (Gráfica 6 y Cuadro 8).

El mayor contenido de FDN (63.98%), FDA (42.59%) y LIG (7.11%) se presentó a los 80 días, disminuyó a los 100 días y se mantuvo en el último corte. A los 120 días, hubo un incremento en el contenido de FDN equivalente al 14.98% con respecto al corte a 60 días, resultando uno de los mayores incrementos de las fracciones químicas del **TB** en los cuatro cortes. FDA mantuvo un valor constante, si bien a los 80 días (42.59% FDA) aumentó 40% respecto a los 60 días, proporcionalmente disminuyó en los cortes a 100 y 120 días (30.32% a 120d), (Cuadro 8).

Por otro lado, ED y EM sólo incrementaron en 11.3% desde los 60 a los 120 días, resaltando que en el corte a 80 días, cuando las fracciones de la fibra aumentaron, el contenido energético disminuyó. En cuanto a MO presentó incremento acumulado de 17.40% con respecto al corte a 60 días (Gráfica 6 y Cuadro 8).

A esta edad se puede decir que la MS estuvo constituida por carbohidratos, principalmente estructurales (hemicelulosa y celulosa), y en menor proporción otros compuestos como la proteína. El incremento de carbohidratos estructurales en la MS del **TB** sugiere el desarrollo de tejido de sostén para soportar el peso de la planta en crecimiento, además de la acumulación de reservas energéticas para continuar el crecimiento (19,21,22).

En cuanto a la relación entre componentes, existió un aumento ( $P<0.05$ ) de **MS**, **MO**, **TND**, **ED**, y **EM** conforme avanzó la **edad**. Mientras que **FDN** incrementó ( $P<0.05$ ) paulatinamente, **FDA** disminuyó ( $P<0.05$ ) y **LIG** no fue significativa respecto a **edad** (Gráfica 7, Cuadro 13).

El contenido de **MS** se correlacionó positivamente ( $P<0.05$ ) con **ELN**, **MO**, **TND**, **ED** y **EM**, lo que indica incremento en el aporte energético, participando

principalmente los carbohidratos no estructurales (**ELN**). Esto se reafirma por la correlación positiva ( $P < 0.05$ ) de **MO** con **ELN**, y al identificar que las fracciones de la fibra (**FDN**, **FDA** y **LIG**) no tuvieron correlación significativa con **MO**, **ELN** ni el aporte energético (Cuadro 15).

Lo anterior sugiere que la concentración de **FDN**, **FDA** y **LIG** no limitan el aporte de **ED** y **EM** ni la calidad de **MO**.

Por otro lado, **MS** se asoció negativamente ( $P < 0.05$ ) con **PC**, lo cual reafirma la disminución de esta fracción indicada por la regresión en función del avance de la **edad** (Gráficas 6 y 7, Cuadros 13 y 15).

En el corte de 100 días el contenido de **MO**, **ED** y **EM** se incrementó 4.4%, 9.75% y 10.81%, respectivamente, y **PC** disminuyó 2.76%; y a los 120 días estas mismas variables incrementaron solamente 1.39%, 0.32%, y 0.31%, respectivamente; y **PC** disminuyó 13% (Cuadro 8). Esas variaciones indican que dejar pasar 20 días más supone una disminución en la calidad por contenido de **PC**, y aunque aumente **MS** no cambia el aporte energético. De manera que la mejor edad de utilización para esta sección vegetativa es a los 100 días post-siembra.

- La sección **TB** presentó mayor aporte de **ED** y **EM** que de **PC**. Su mejor calidad nutricional se estima en el corte a los 100 días post-siembra.
- La disminución de **PC** conforme avanza la edad del cultivo se compensa con el aporte de Energía proporcionado por las fracciones **FDN**, **FDA** y los carbohidratos solubles que almacene. Esto queda fundamentado por el alto contenido de **MO** que registró esta sección.
- Asimismo, el contenido de **MO** tiene alta disponibilidad dado el bajo contenido de **LIG**, mismo que no restringe el potencial de aprovechamiento de las paredes celulares (**FDN**).

### III.2.2. TALLO MEDIO (TM).

Esta sección de tallo se obtuvo a partir del corte a 80 días. Presentó un contenido químico, como promedio de los cuatro cortes, de 15.50% de MS, 7.35% de PC,

53.05% de ELN, 94.12% de MO, 3031 kcal de ED, 2485 kcal de EM, 58.88% de FDN, 35.48% de FDA y 5.26% de LIG (Gráfica 8).

De los 80 a los 120 días, MS, MO, y LIG se incrementaron 84.7%, 4.6% y 8.5%, respectivamente; mientras el contenido de PC, FDN, FDA, ED y EM disminuyeron 49.63%, 20.13%, 21.0%, y 48% (ambas energías), respectivamente, en el mismo intervalo (Cuadro 9).

La disminución de las fracciones FDN, FDA, ED y EM indicó movilización de reservas que favorece la síntesis de tejido foliar y mantiene el crecimiento de la caña. Inclusive es edad (80 días) en que inicia la formación de la mazorca (7,19,22).

Conforme aumentó la **edad** se incrementaron ( $P < 0.05$ ) **MS** y **MO**; sin embargo, disminuyeron ( $P < 0.05$ ) **ED**, **EM** y **FDA**. (Gráfica 9 y Cuadro 13)

Aunado a las regresiones se encontró asociación positiva ( $P < 0.05$ ) entre **MS** y **MO** con **ELN**. Esto sugiere un incremento del aporte energético. Por otro lado, se obtuvo asociación negativa ( $P < 0.05$ ) entre **MS** con **FC** y **FDN**, lo que indica un bajo contenido de fibra (paredes celulares) y explica porqué no hay más correlaciones significativas entre fracciones de la fibra con **MO**, **TND**, **ED** ó **EM**, aunque **EE** se asociara positivamente ( $P < 0.05$ ) con **FDA** (Cuadro 15).

Por lo anterior, se identifica un contenido de **MO** en aumento, con aporte energético todavía influenciado por **ELN** sin estar limitado por el contenido de fibra indigestible.

Cabe mencionar que el contenido de **PC** no tuvo variación significativa (Gráfica 9 y Cuadros 13 y 15).

La disminución de **FDN**, **FDA**, **ED** y **EM** en el último corte se consideró indicador de la continuidad del crecimiento. Aunque la porción basal se haya estabilizado, **TM** aporta nutrimentos para la porción apical y la formación de hojas (19), por lo tanto, se requiere una movilización de reservas energéticas –carbohidratos- que provocó adelgazamiento de paredes celulares, así que disminuyeron las fracciones de la fibra; si bien **LIG** mantuvo una concentración mínima en todas las

secciones de planta porque ésta es muy joven (21,22,23). Por lo tanto, disminuye el aporte energético e incluso proteico porque la planta usa esos compuestos para su metabolismo (19,24,33).

- La sección **TM** presentó disminución de **PC** así como de **ED**, **EM**, **FDN** y **FDA**, por lo tanto su aporte nutricional aparentemente es más bajo; sin embargo, el contenido de **MO** sigue siendo elevado (94%) y el de **LIG** es mínimo (6%), permitiendo el aprovechamiento de la **MO**.
- Por la distribución de nutrimentos, el mejor contenido lo alcanza en el corte a los 120 días, edad en que aumentan todas las fracciones químicas, y la disminución de **PC** es de escasamente 0.43%.

### III.2.3. TALLO APICAL (TA).

Se cuantificó como promedio de los cuatro cortes, un contenido químico de 11.58% de MS, 11.28% de PC, 47.69% de ELN, 90.37% de MO, 55.30% de FDN, 33.96% de FDA, 5.08% de LIG, 3014 kcal de ED, 2479 kcal de EM (Gráfica 10).

**TA** destacó por ser la sección del tallo con el menor contenido de MS (16.87% a 120d), aunque incrementó 175.2% con el avance de la edad, a partir de los 60 días. Se esperaba que el contenido de PC tuviera un comportamiento ascendente por tratarse de una sección en síntesis activa. Por el contrario, disminuyó en 69.57% durante el transcurso de los 60 a los 120 días, finalizando a los 120 días con 6.12% de PC (Cuadro 10).

Las fracciones FDN, FDA y LIG se incrementaron desde el primer corte hasta los 100 días y, disminuyeron en el último corte. En esta fluctuación FDN, FDA y LIG aumentaron 15.76%, 35.36% y 97.7%, respectivamente, respecto a la concentración inicial a 60 días. La MO alcanzó 94.19% a los 120 días, que equivale al 14.09% más, respecto al contenido en el corte a 60 días (Gráfica 10 y Cuadro 10).

En **TA** el aumento de MS esperado, estuvo por debajo del nivel contenido en las otras dos porciones de tallo (16.87% a 120d); lo cual se atribuyó a que es la

sección más joven y con mayor contenido de agua (no supera el 20% MS). Esto sugiere que el descenso en el contenido de PC se expresara tan acentuado a pesar de tener inicialmente un contenido mayor (20.11% a los 60 días).

Las fracciones de la fibra también fueron incrementándose, LIG mostró el aumento más evidente (6.23% a 120d) con 97.78% acumulado desde los 60 días; y tanto FDN como FDA, aumentaron casi paralelamente (15.76% y 35.36% en el intervalo de 60 a 120 días), tendiendo a estabilizarse (Gráfica 10, 11 y Cuadro 10).

Si bien **TA** es una sección de planta que necesita sintetizar mayor cantidad de tejido de resistencia, no debe perderse de vista que contiene mucha agua todavía (más del 70% en el corte a 120d); además, la concentración de LIG sigue siendo menor del 10% de la MS (Gráfica 10 y Cuadro 10); por consiguiente, no afecta la disponibilidad de la MO que superó el 90% en el último corte.

Se encontró incremento ( $P < 0.05$ ) de **MS**, **MO**, **FDA** y **LIG** al avanzar la **edad** del cultivo. El contenido de **PC** disminuyó ( $P < 0.05$ ) conforme avanzó la **edad** (Gráfica 11 y Cuadro 13).

Fue negativa la asociación ( $P < 0.05$ ) de **MS** con **PC** y **EE**, coincidiendo con la regresión ( $P < 0.05$ ) de **PC** en función de la **edad**. Por otro lado, **MS** se asoció positivamente ( $P < 0.05$ ) con **FC**, **MO**, **ELN**, **FDN**, **FDA** y **LIG** (Gráfica 11, Cuadros 13 y 15).

Las correlaciones de **MS** así como las asociaciones positivas ( $P < 0.05$ ) de **MO** con **FC**, **FDN**, **FDA**, **LIG** y nuevamente con **ELN**; sugieren el incremento en el contenido de fibra formando parte de la **MO**, con menor concentración de carbohidratos solubles, y por ello no hubo incremento significativo en **TND**, **ED** ó **EM** que indicaran mayor aporte energético. Es decir, se incrementó la fibra sin mermar la calidad de **MO** (Gráfica 11, Cuadros 13 y 15).

Se observó que a 100 días de edad, el contenido de **ED**, **EM** y **PC** disminuyó 2.41%, 2.42% y 3.15%, respectivamente. Para los 120 días las energías recuperaron 2.87%, 2.81% y **PC** vuelve a disminuir en 1.61% más (Gráfica 10 y Cuadro 10). Por consiguiente la mejor calidad de esta porción podría encontrarse

a los 120 días, cuando recuperó la pérdida de **ED** y **EM**, a pesar de que la disminución de **PC** continúa.

- La sección **TA** presentó su mejor distribución de nutrientes a los 120 días. La disponibilidad de **MO** sigue siendo alta ya que el contenido de **LIG** no excede el 10%.
- Además, debe recordarse que aún presenta un gran contenido de agua por ser la sección vegetativa más joven; eso implica que el contenido de **MS** y **MO** pueda ser aprovechado por el ganado sin dificultad.

### III.2.4. HOJA (HJ).

El contenido químico promedio de los cuatro cortes fue de 24.3% de MS, 12.58% de PC, 43.58% de ELN, 88.71% de MO, 63.19% de FDN, 37.45% de FDA, 4.93% de LIG, 2934 kcal/kg de ED y 2413 kcal/kg de EM (Gráfica 12).

**HJ** presentó una distribución uniforme de las fracciones químicas. Los niveles de LIG fueron muy bajos: no supera el 6% incluso a los 120 días post-siembra (5.88%). La MS se incrementó rápidamente entre los 60 y 80 días, después presentó un aumento lento (Gráfica 12).

Esta sección presentó inicialmente un incremento en su contenido de MS (9.8% de los 60 a los 80d); pero en los siguientes cortes (100 y 120 días) su contenido ya no aumentó a la misma velocidad (1.98 y 0.45%, respectivamente). Nuevamente en **HJ** se observó disminución de PC (40.81% acumulado desde los 60 a 120d); sin embargo, fue un descenso gradual entre fechas de corte (Cuadro 11). FDN, FDA y LIG se incrementaron ligeramente (5.89%, 1.86% y 1.65%, respectivamente, entre los 60 y 120 d de corte). En MO existió mínimo incremento (5.95%) de los 60 a los 120 días, manteniendo constante la cantidad de esta fracción química. También ED (4.48%) y EM (3.19%), mostraron una mínima variación en el mismo intervalo de tiempo (Cuadro 11 y Gráfica 12).

En **HJ** las variaciones en contenido nutricional serán más evidentes en edades posteriores pues su velocidad de cambio es más lenta, manteniendo su calidad nutricional durante más tiempo (24,29).

Realizando una proyección de la distribución de nutrimentos en **HJ** se encontró que **MS**, **MO** y **LIG** se incrementaron ( $P < 0.05$ ) al avanzar la **edad**. Y resultó negativa ( $P < 0.05$ ) la regresión de **PC** respecto a **edad**.

El contenido de **MS** se correlacionó de manera positiva ( $P < 0.05$ ) con **TND**, **ED** y **LIG**, indicando incremento en el contenido energético, con también aumento de fibra indigestible. Lo anterior se reafirma con la asociación positiva ( $P < 0.05$ ) entre **MO** con **ELN** y **LIG** refiriendo el incremento en el contenido de fibra indigestible (Gráfica 13, Cuadros 13 y 15).

Por otro lado, **PC** se asoció negativamente ( $P < 0.05$ ) con **MO**. Esto reafirma la disminución de **PC**, aunque la concentración varió poco durante el intervalo de tiempo del presente trabajo (Gráfica 13, Cuadros 13 y 15).

Por consiguiente, en **HJ** hubo incremento del aporte energético principalmente correlacionado ( $P < 0.05$ ) con **ELN**, pero la calidad de **MO** puede resultar limitada por presencia de **LIG**.

De los 100 hacia los 120 días, se observó un incremento promedio de 3.5% en **ED** y **EM** resultando el mayor en las cuatro edades de corte analizadas. Por el contrario, continuó el descenso de **PC** (-3.03%), que también es el mayor valor de las cuatro edades; mientras que **MO** únicamente incrementó 1.5% en ese mismo intervalo.

- A los 120 días hay menor calidad por disminución de **PC**, aunque recupere energía.
- **HJ** es la sección vegetal con la distribución de nutrimentos más constante.

### III.2.5. MAZORCA (MZ).

El contenido químico promedio de los cuatro cortes fue 16.22% de **MS**, 10.99% de **PC**, 56.20% de **ELN**, 95.64% de **MO**, 53.62% de **FDN**, 23.63% de **FDA**, 2.52% de

LIG, 3128 kcal/kg de ED y 2657 kcal/kg de EM (Gráfica 14). Esta sección de la planta se obtuvo en los cortes de 100 y 120 días.

**MZ** presentó el mejor contenido proteico, sólo disminuyó un 2.89% entre los 100 y 120 días, conservando un contenido de 9.45% de PC a 120 días. En MS se encontró incremento equivalente a 22.97% entre una fecha de corte a otra, alcanzando 18.33% de MS a los 120 días. En las fracciones FDN, FDA y LIG también presentó incrementos (7.60%, 20.37% y 37.94% acumulado, respectivamente), que fueron valores intermedios entre todas las secciones vegetales. En contenido de MO el incremento fue menor (equivalente a 1.7%), alcanzando 96.44% a los 120d. Y en el contenido de ED incrementó en 6.29%, mientras EM, por el contrario, disminuyó 1.09% (Gráfica 14 y Cuadro 12).

Específicamente, los contenidos de FDA y LIG fueron los de menor concentración de las secciones vegetales (26.31% y 3.11%, respectivamente a los 120 días). En ED y EM, la sección MZ presentó contenidos iniciales importantes (3033 kcal/kg y 2671 kcal/kg, respectivamente, a 100d), superando a las demás secciones vegetales con 3223 Kcal y 2642 Kcal, a los 120d, respectivamente; la disminución en EM a los 120 días es muy baja, por lo que MZ conservó su mayor contenido energético (Cuadro 12).

Esta situación del contenido energético se explica porque se trata de la parte vegetal donde se acumula almidón como reserva nutricional en la formación de semilla (5,8,9,17).

En cuanto a las interacciones entre fracciones químicas, **MZ** se obtuvo en los dos últimos cortes (edades de 100 y 120 días), lo que explica por qué la mayoría de las regresiones no resultaron significativas teniendo sólo dos fechas de observación. Destacó que al avanzar la **edad**, aumentó ( $P < 0.05$ ) **MO** y **FDA**; mientras que disminuyó ( $P < 0.05$ ) **PC** (Gráfica 15 y Cuadro 13).

Además, se encontró asociación negativa ( $P < 0.05$ ) entre **PC** con **FC**, **FDN**, **FDA** y **LIG**; por el contrario, hubo asociación positiva ( $P < 0.05$ ) de **PC** con **EE**. Asimismo, **EE** se asoció negativamente ( $P < 0.05$ ) con **FDA** y **LIG**. Esto sugiere que un

incremento en las fracciones de la fibra limitará el contenido de **PC** y la participación de **EE** en el contenido energético (Gráfica 15, cuadros 13 y 15).

Por otro lado, **ELN** se asoció positivamente ( $P < 0.05$ ) con **ED**; lo cual indica que el aporte energético en esta sección depende del contenido de carbohidratos solubles (Gráfica 15, cuadros 13 y 15).

Sin embargo, teniendo sólo dos lecturas de datos, no fue posible determinar interacciones significativas entre fracciones de la fibra con **MO** o el aporte energético.

Varios autores indican que la calidad nutricional del grano y, por consiguiente, el contenido de mazorca son los factores que determinan la mejor calidad de un cultivo de maíz o de su capacidad de fermentación y calidad de ensilado (2,5,7,8,9,13); sin embargo, para efectos del presente trabajo la presencia de mazorca fue un indicador de edad, ya que teniendo sólo dos fechas de obtención de mazorca no es representativo el comportamiento de las fracciones químicas en esta sección. Si bien, **MZ** expresa los contenidos de **ED** y **EM** más altos de todas las secciones vegetativas.

- La presencia de mazorca en cortes tempranos del maíz no es principal parámetro de calidad del forraje, aunque participe en el aporte energético.
- Es importante considerar el perfil nutrimental de la planta completa, dado que es la mayor proporción del forraje.

### III.3. Relación fibra: energía.

Los cortes a 100 y 120 días son los momentos de corte con mayor rendimiento de forraje de las cuatro fechas analizadas en el presente trabajo. Por eso se revisó más detenidamente la relación entre composición de la fibra y el aporte energético en estas dos últimas fechas.

Considerando la distribución y asociaciones entre fracciones químicas por secciones vegetales, se ha mencionado que en TB la mejor calidad nutricional se observó en el corte a 100 días, para TM y TA fue a 120 días, y para HJ resultó a

100 días también. La alimentación con forrajes pretende aprovechar la mayor cantidad posible de la planta y, en el caso del maíz, los resultados analizados sugieren el corte a 100 días para obtener el mayor aprovechamiento de la planta completa, principalmente teniendo en cuenta que la mejor calidad de hojas (HJ) se observó en ese corte y es la sección vegetal mejor consumida por los animales (10,30). Además, también fue el momento de mejor calidad del tallo basal (TB), y si se toma en cuenta que esta sección de la caña suele ser la más resistente, esto supondría un mejor consumo y asimilación de nutrientes. Sobre todo si se considera que durante el crecimiento y desarrollo de tejidos, los tallos acumulan mayor cantidad de compuestos no digeribles en sus paredes celulares, por lo tanto forman fibra de menor calidad que las hojas, las cuales desarrollan tejidos especializados para la fotosíntesis que no lignifican sus paredes celulares a la misma velocidad que el tallo (19,21,22,24).

Por consiguiente, en la planta completa a 100 días se observaron contenidos de 57.71% para FDN, 34.375 para FDA y 4.68% de LIG. Mientras que en el corte a 120 días estas mismas fracciones fueron de 57.61%, 32.45% y 5.03%, respectivamente.

El contenido de FDN se relaciona con la digestibilidad determinada *in vitro* o *in vivo* (12,25,26), debido a que equivale a la composición de las paredes celulares modifica esta característica del forraje. Por ello se ha utilizado el valor de FDN como predictor de la digestibilidad del maíz. Los resultados observados en el corte a 100 días reafirman la sugerencia de ser el mejor momento de corte, cuando el forraje ofrezca la mejor digestibilidad porque el contenido de lignina es mínimo (4.68%), mientras FDN y FDA forman parte de la materia orgánica asimilable. Algunos trabajos reportan que valores de 53% de FDN, 25% de FDA y 15% de LIG indican una calidad de forraje regular a baja (8,9). Sin embargo, en el intervalo de tiempo analizado en el presente trabajo no se alcanzaron esas proporciones.

La concentración de LIG no representa una proporción importante de MS, por lo tanto, puede sugerirse una mayor digestibilidad de FDN integrada por mayor cantidad de carbohidratos estructurales, potencialmente fermentables, que lignina

unida y limitante de su digestibilidad (16,24,25,26,29). Asimismo, la interacción de las fracciones de la fibra influiría sobre la degradabilidad (calidad) de la MS del maíz.

Lo anterior se refuerza con el comportamiento de MO que superó el 90%. En TM y HJ se observaron los menores incrementos, lo cual indica un contenido constante de MO.

Considerando el contenido de materia orgánica y de fracciones de la fibra, se puede analizar el aporte de ED y EM como indicadores de la calidad del forraje de maíz (34). Las principales interacciones del aporte energético fueron con ELN y MO; sin embargo, las asociaciones entre fracciones de la fibra con el aporte energético no resultaron significativas ( $P > 0.05$ ) en su mayoría, de manera que en el corte a 100 días no ejercen efecto limitante sobre el aporte energético. A 120 días la asociación entre FDN, FDA y LIG con ED y EM resultó negativa ( $P < 0.05$ ).

Ahora bien, en los cortes a 100 y 120 días se tuvo presencia de mazorca. Aunque el cultivo de maíz para producción de grano se evalúa considerando la cantidad de mazorca y grano obtenidos, en el caso de los híbridos forrajeros este criterio no es lo mejor. Como se ha mencionado, su utilidad radica en la calidad de la planta completa para la alimentación animal.

En este sentido, los trabajos con híbridos forrajeros de Núñez *et. al.* (7,8,33) y Peña *et. al.* (5), realizados en la zona norte de la República Mexicana, obtuvieron diferentes resultados sobre la correlación del valor energético del maíz con la proporción de mazorca en el cultivo, así como en la relación entre el contenido de grano y la digestibilidad *in vitro* del forraje. Por ejemplo, en un trabajo (7), concluyen que la calidad del forraje depende del contenido nutricional del grano y que el mejor momento de corte para ser ensilado es cuando presenta “un avance en la línea de leche de  $\frac{1}{4}$  del grano”. Sin embargo, siguiendo es línea de investigación, en otras investigaciones (5,8) observaron que la distribución de componentes nutritivos tanto en la mazorca como en el resto de la planta resulta influenciada por la edad de corte y, por consiguiente la menor calidad nutritiva de hojas y tallos diluye la mejor calidad nutritiva del grano (8).

Esta última conclusión coincide con la propuesta realizada en el presente estudio sobre evaluar la distribución de nutrimentos en la planta completa a lo largo del tiempo. Y de esta forma aprovechar el volumen del forraje con la mejor calidad nutricional sin depender de la presencia y contenido de grano. Por consiguiente, reafirma la importancia del presente trabajo en el sentido de evaluar el forraje cortado a menores edades de las practicadas tradicionalmente.

Otro trabajo de Núñez *et. al.* (33), concluye que la relación entre proporción de mazorca y digestibilidad *in vitro* no fue significativa en maíces híbridos con alta calidad protéica. Resultados semejantes reportan Peña *et. al.* (5), en cuanto a que la proporción de MS del elote, como indicador de la producción de grano, no se correlacionó con la digestibilidad *in vitro*, explicando que influyeron las diferencias de madurez trabajando con grupos genéticos diferentes (híbridos y poblaciones).

Considerando la variación de resultados, estos investigadores coinciden en que el contenido de grano no es la única ni la principal determinante de la calidad del forraje y que es necesario monitorear la composición química en toda la planta. Como se ha mencionado, en el presente trabajo se ha analizado el contenido químico y su distribución en distintas secciones de la planta de maíz en cuatro edades de corte, precisamente buscando el mejor momento de aprovechamiento de este recurso en función de su calidad nutritiva.

Se comprueba que la presencia de mazorca (MZ) no es el único parámetro de evaluación de la calidad nutritiva, sino que es consecuencia del estado de madurez del cultivo; en cambio, la distribución nutrimental de la planta completa sí determina la calidad del forraje de maíz, coincidiendo con los autores antes citados.

Por lo anterior, se recomienda utilizar la variedad A179 a los 100 días, considerando las variaciones en el contenido nutrimental registradas entre los cortes a 100 y 120 días.

#### IV. CONCLUSIONES.

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el presente estudio, se concluye que en la variedad de maíz A179:

- 1) Hasta los 120 días de edad, las hojas de maíz son la sección vegetal con la distribución de nutrimentos más constante, en comparación con el tallo.
- 2) Las secciones TB, TM y TA mantienen adecuado potencial para la utilización de la fibra como aporte de Energía, ya que el contenido de lignina no restringe el aprovechamiento de la fibra.
- 3) La presencia de mazorca no fue determinante en la composición nutrimental del forraje porque es la sección que equivale a la menor proporción de planta.
- 4) El perfil nutricional de la planta completa indicó que FDN y FDA participan en el aporte energético medido con ED y EM. Por lo tanto, el mejor potencial nutritivo lo ofrece el forraje de planta completa a 100 días de edad, por la calidad de MO, el aporte energético y la cantidad de biomasa.
- 5) La presencia de mazorca en cortes tempranos del maíz no es principal parámetro de calidad del forraje, aunque participe en el aporte energético.
- 6) Para condiciones de clima templado, se recomienda considerar la edad de corte de esta variedad de maíz a los 100 días, favoreciendo su utilización como forraje fresco o ensilado.
- 7) La disminución en la edad de corte reduce el ciclo de cultivo del maíz forrajero permitiendo rotar cultivos antes de terminar el temporal; e inclusive sugiere la oportunidad de obtener dos cultivos de maíz con estas edades.

## V. LITERATURA CITADA

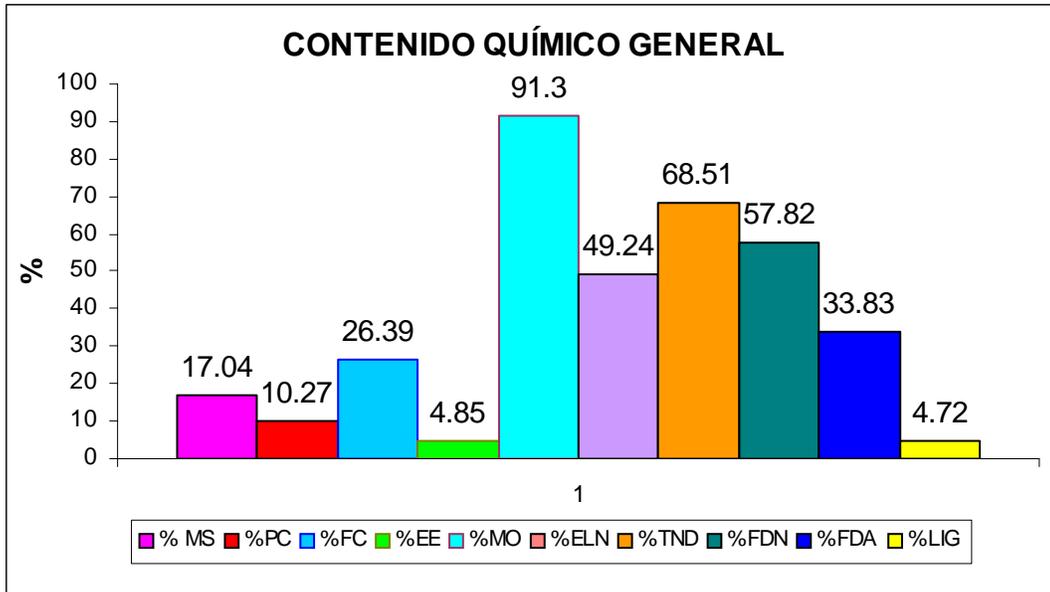
1. Paliwal RL., Granados G. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y Producción. Citado en 2003, septiembre 30. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/003/X7650S/x7650s00.htm#toc;>
2. Tinoco CA: Manual de Producción de Maíz para los Estados de Veracruz y Tabasco. 2002. INIFAP-CIRGOC. Campo Experimental Papaloapan. Libro Técnico Núm. 9. Veracruz, México.
3. Jiménez MA. La producción de forrajes en México. 1989. Universidad Autónoma Chapingo-FIRA. México.
4. Aguado GA., Rascón Q., Pons JL., Grajeda O., García E. Manejo biotecnológico de gramíneas forrajeras. Téc. Pecu. Méx. INIFAP, México 2004; 42(2): 261-276.
5. Peña RA, Núñez HG, González CF. Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. Téc. Pecu. Méx. INIFAP, México 2002; 40(3):215-228.
6. Juscafresca B. Forrajes: Fertilizantes y valor nutritivo. 1983. Editia Mexicana S.A. y Aedos Barcelona. 2ª. Ed. México. Pp.85-88.
7. Núñez HG., Faz CR., González CF., Peña RA. Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. Téc. Pecu. Méx. INIFAP, México 2005; 43(1): 69-78.
8. Núñez HG, Contreras EF, Faz CR. Características agronómicas y químicas importantes en híbridos de maíz para forraje con alto valor energético. Téc. Pecu. Méx. INIFAP, México 2003; 41(1): 37-48.
9. Di Marco ON, Aello MS. Calidad nutritiva de la planta de maíz para silaje. Unidad Integrada Balcarces, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Mar del Plata. Citado en 2004, Febrero 5. Disponible en [www.elsitioagricola.com](http://www.elsitioagricola.com) .
10. McDonald RA. Nutrición animal. 1988. Editorial Acribia S.A. España.

11. Church, DC. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 1987. Grupo Noriega Editores. México.
12. Colombatto D. Análisis de alimentos: Aplicaciones prácticas. Argentina. Citado en 2005, Febrero 18. Disponible en: [http://www.agro.uba.ar/catedras/p\\_lechera/resumencolombatto.pdf](http://www.agro.uba.ar/catedras/p_lechera/resumencolombatto.pdf)
13. Bassi T. Conceptos básicos sobre la calidad de los forrajes. Cátedra de Manejo de pasturas, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina. Citado en 2005, Febrero 26. Disponible en: <http://mejorpasto.com.ar/UNLZ/2004/TX4/htm>.
14. Official Methods of Analysis. 1990. Association of Official Analytical Chemists. 15th. Edition. U.S.A.
15. Villalobos GC, González VE, Ortega SJ. Técnicas para estimar la degradación de proteína y materia orgánica en el rumen y su importancia en rumiantes en pastoreo. Téc. Pec. Méx. INIFAP, México 1998; 36(3):.
16. Overton TR, Cameron MR, Elliot JP, Clark JH. Ruminant fermentation and passage of nutrients to the duodenum of lactating cows fed mixtures of corn and barley. Journal of Dairy Science. 1995; 9(78): 1981-1998.
17. Cunningham JG. Fisiología veterinaria. 1994. Interamericana, McGraw-Hill. México.
18. Van Soest P. Nutritional Ecology of the Ruminant. 1983. O & B Books, Inc. U.S.A.
19. Bidwell RGS. Fisiología vegetal. 1990. AGT Editor S.A. México.
20. Terradas J. Ecología de la vegetación. 2001. Ediciones Omega. España.
21. Rojas M. Fisiología vegetal aplicada. 1993. Interamericana-McGraw Hill. México.
22. Azcón-Bieto J, Talón M. Fundamentos de fisiología vegetal. 2000. McGraw-Hill Interamericana. España.
23. Buxton D, Redfearn D, Jung H, Mertens D. Improving forage quality-related characteristics of corn. Informational Conference with Dairy and Forage Industries. U.S. Dairy Forage Research Center. U.S.A. 1996: 23-28.
24. Jung H, Buxton D. Forage cell wall structure and digestibility. 1993. American Society of Agronomy, Inc. U.S.A.

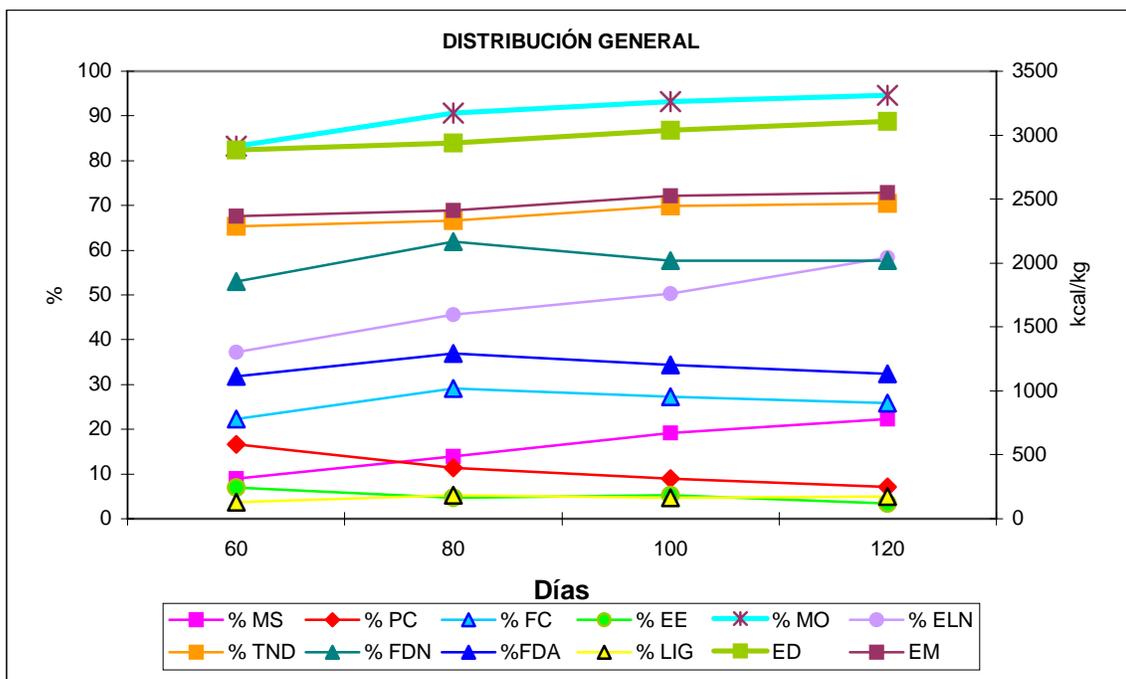
25. Göering HK, Van Soest PJ. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). USDA: Agricultural Research Service. Handbook number 379. 1970. Modified by Mertens, DR.
26. Van Soest PJ, Robertson JB, Lewia BA. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 1991 (74): 3583-3597.
27. Abdelhadi LO; Santini FJ; Gagliostro GA. Suplementación con silajes de planta entera de maíz a bovinos en pastoreo: Efectos sobre la producción y el ambiente ruminal. Rev. Agr. Prod. Anim. 2001; 21(3-4): 147-158. Universidad de Mar del Plata, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina.
28. Nomdedeu M, Di Marco ON. Digestibilidad in vivo e in vitro y composición química del silaje de maíz en tres estados de madurez. Universidad Nacional del Mar del Plata, Argentina. Pp. 119-127.
29. Ortega ME. Factores que afectan la digestibilidad del alimento en rumiantes. Estudio Recapitulativo. Vet. Méx. 1987. (18): 55-60.
30. Van der Heide D, Kanis EA, Osse JW. Regulation of feed intake. 1999. CABI Publishing. Holanda.
31. Tilley JMA, Terry RA. A two stage technique for in vitro digestion of forage crops. J. Brit. Grass Soc. 1963, (18): 104-111.
32. Cañeque MV, Sancha SJ. Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. 1998. Ediciones Mundi-Prensa. España.
33. Núñez G, Faz R, Tovar MR, Zavala A. Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. Téc. Pecu. Méx. INIFAP, México. 2001; 39(2): 77-88.
34. Cusicanqui, A., Lauer, J. Plant density and hybrid influence on corn forage yield and quality. Agron. Journal. 1999. (91): 911-915.
35. Anuario Estadístico del Estado de México. 1997. INEGI. México.
36. Programa Estadístico SAS, ver. 8.0. Copyright 1999-2001 by SAS Institute Inc., Cary, N.C., U.S.A. SAS Proprietary Software Release 8.2.

VI. ANEXO ESTADÍSTICO.

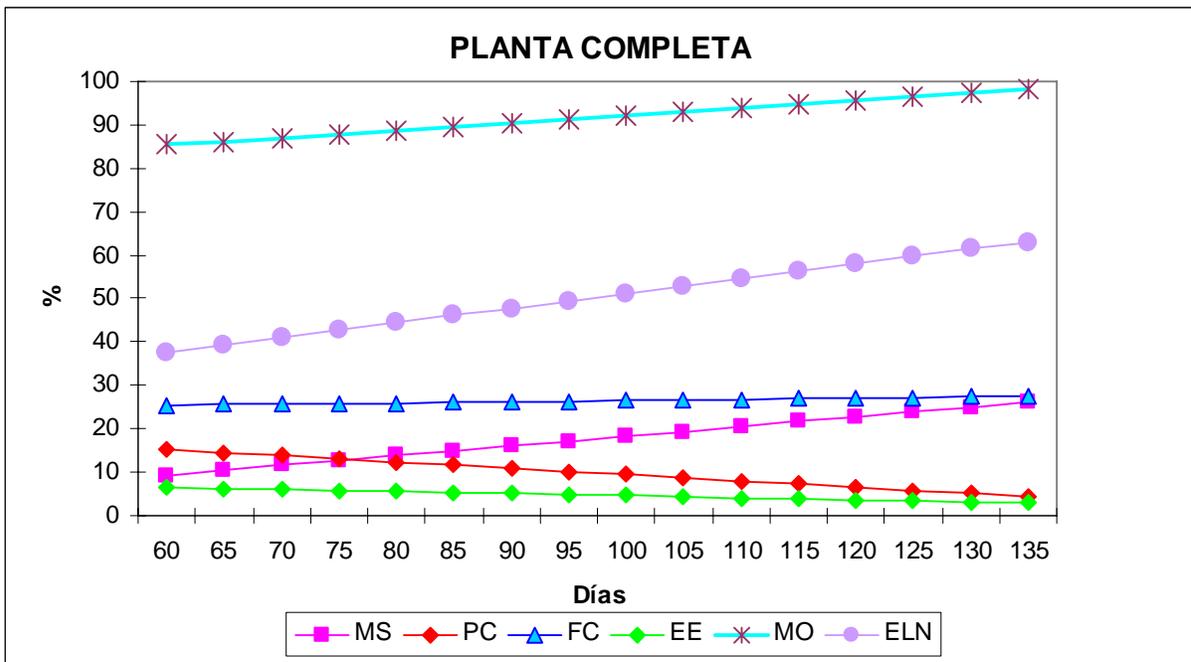
XI.1. Gráficas y Cuadros correspondientes a Planta Completa de maíz.



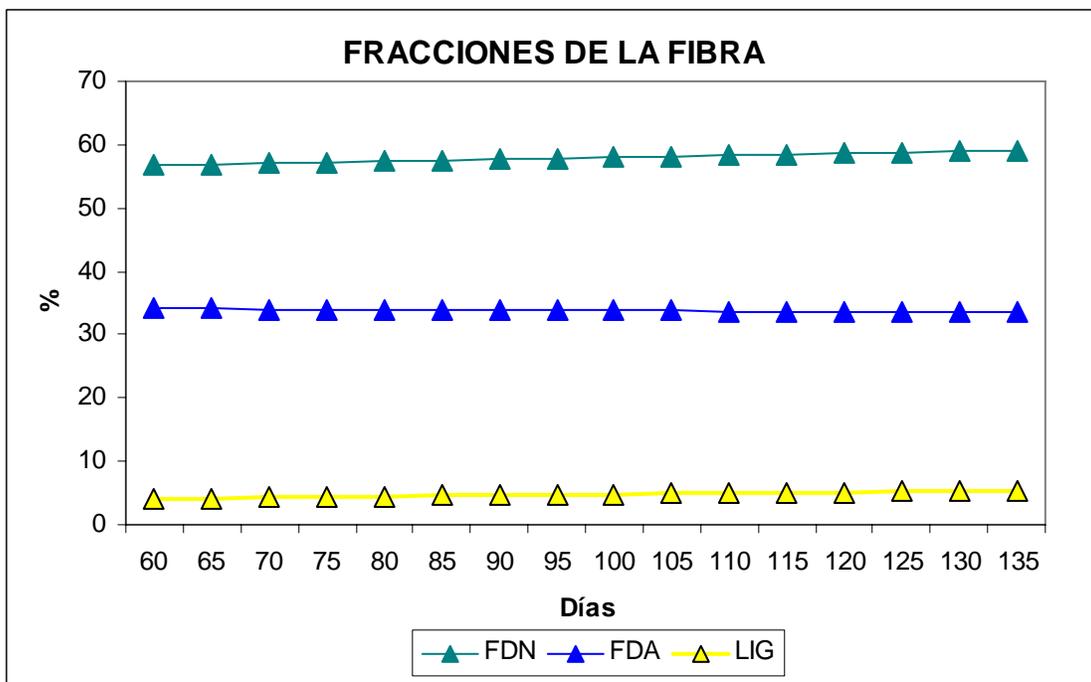
Gráfica 1. Contenido químico promedio determinado en la planta completa



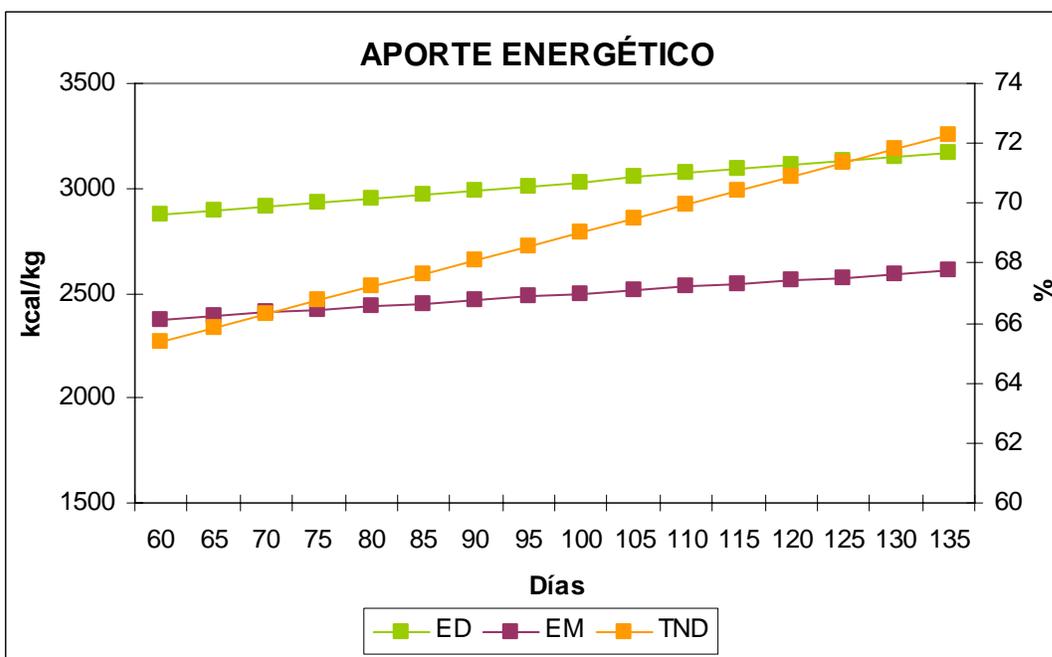
Gráfica 2. Distribución promedio de las fracciones químicas en la planta completa de maíz en cuatro edades de corte.



**Gráfica 3. Regresión lineal simple de las fracciones químicas en relación a la edad en la planta completa.**



**Gráfica 4. Regresión lineal simple de las fracciones de la fibra en relación a la edad en la planta completa.**



Gráfica 5. Regresión lineal simple del aporte energético en relación a la edad en la planta completa.

Cuadro 1. Información de regresión lineal simple entre fracciones químicas y edad.

Fracción	Valor B0	Valor B1	Prob.< 0.05	R <sup>2</sup>
MS	-3.997	0.223	<0.001	0.334
PC	23.96	-0.145	<0.001	0.545
FC	23.736	0.028	P = 0.349	0.013
EE	9.42	-0.048	<0.001	0.242
CEN	24.882	-0.171	<0.001	0.653
MO	75.117	0.171	<0.001	0.653
ELN	17.301	0.339	<0.001	0.624
TND	59.792	0.092	<0.001	0.239 *
ED	2640.66	3.897	<0.001	0.1831 *
EM	2190.11	3.081	<0.001	0.213 *
FDN	54.929	0.031	P = 0.456	0.008 *
FDA	34.591	-0.008	P = 0.82	0.0007
LIG	3.193	0.016	P =0.074	0.047

**Cuadro 2. Información de regresión lineal simple del aporte energético y MO en función a TND.**

Fracción	Valor B0	Valor B1	Prob<0.05	R <sup>2</sup>
ED	307.541	39.41	<0.001	0.671
EM	95.147	34.813	<0.001	0.975
MO	41.885	0.721	<0.001	0.411

Cuadro 3. Resultados de correlaciones entre fracciones químicas en planta completa.

	MS	PC	FC	EE	MO	TND	ED	EM	FDN	FDA	LIG
<b>MS</b>	1.000										
<b>PC</b>	-0.330**	1.000									
<b>FC</b>	0.081	-0.459**	1.000								
<b>EE</b>	-0.252*	0.409**	-0.255*	1.000							
<b>MO</b>	0.405**	-0.728**	0.151	-0.386**	1.000						
<b>TND</b>	0.302*	-0.278*	-0.318**	0.204	0.642**	1.000					
<b>ED</b>	0.295*	-0.302*	-0.205	0.195	0.526**	0.819**	1.000				
<b>EM</b>	0.275*	-0.263*	-0.266*	0.233	0.614**	0.988**	0.827**	1.000			
<b>FDN</b>	0.236	-0.202	0.691**	-0.118	0.096	-0.244*	-0.155	-0.279*	1.000		
<b>FDA</b>	0.089	-0.303*	0.904**	-0.156	-0.106	-0.489**	-0.340**	-0.530**	0.668**	1.000	
<b>LIG</b>	0.139	-0.416**	0.733**	-0.275*	0.141	-0.297*	-0.174	-0.338**	0.507**	0.768**	1.000

(\*\*) P&lt;0.01; (\*) P&lt;0.05

Cuadro 4. Correlaciones ente fracciones químicas en planta completa a 60 días.

	<i>MS</i>	<i>PC</i>	<i>FC</i>	<i>EE</i>	<i>MO</i>	<i>ELN</i>	<i>TND</i>	<i>ED</i>	<i>EM</i>	<i>FDN</i>	<i>FDA</i>	<i>LIG</i>
<b>MS</b>	1.000											
<b>PC</b>	-0.18	1.00										
<b>FC</b>	0.76*	-0.48	1.000									
<b>EE</b>	0.11	-0.05	-0.19	1.000								
<b>MO</b>	0.58	-0.09	0.29	0.24	1.000							
<b>ELN</b>	0.37	0.04	-0.57	0.10	0.38	1.000						
<b>TND</b>	0.26	0.28	-0.15	0.71*	0.65*	0.46	1.000					
<b>ED</b>	0.09	0.11	-0.34	0.81**	0.61*	0.51	0.86**	1.000				
<b>EM</b>	0.16	0.17	-0.29	0.74**	0.69*	0.54	0.92**	0.93**	1.000			
<b>FDN</b>	0.80**	-0.34	0.89**	-0.32	0.43	-0.46	-0.16	-0.28	-0.24	1.000		
<b>FDA</b>	0.69*	-0.59*	0.96**	-0.14	0.18	-0.54	-0.20	-0.35	-0.35	0.84**	1.000	
<b>LIG</b>	0.43	-0.27	0.81**	-0.53	0.23	-0.37	-0.29	-0.47	-0.45	0.80**	0.74**	1.000

(\*\*) P&lt;0.001; (\*) P&lt;0.05

Cuadro 5. Correlaciones entre fracciones químicas en planta completa a 80 días.

	<i>MS</i>	<i>PC</i>	<i>FC</i>	<i>EE</i>	<i>MO</i>	<i>ELN</i>	<i>TND</i>	<i>ED</i>	<i>EM</i>	<i>FDN</i>	<i>FDA</i>	<i>LIG</i>
<b>MS</b>	1.000											
<b>PC</b>	0.55*	1.000										
<b>FC</b>	-0.44	-0.64	1.000									
<b>EE</b>	0.02	-0.04	-0.37	1.000								
<b>MO</b>	-0.24	0.16	-0.32	0.46	1.000							
<b>ELN</b>	0.01	0.11	-0.74**	0.20	0.48	1.000						
<b>TND</b>	0.08	0.23	-0.66**	0.89**	0.71**	0.52*	1.000					
<b>ED</b>	0.08	0.23	-0.66**	0.89**	0.71**	0.52*	1.0**	1.000				
<b>EM</b>	0.08	0.23	-0.66**	0.89**	0.71**	0.52*	1.0**	1.0**	1.000			
<b>FDN</b>	-0.15	-0.29	0.59	-0.11	-0.04	-0.51*	-0.27	-0.27	-0.27	1.000		
<b>FDA</b>	-0.24	-0.63	0.89	-0.39	-0.57*	-0.70**	-0.71**	-0.71**	-0.71**	0.49	1.000	
<b>LIG</b>	-0.07	-0.41	0.49	-0.07	-0.29	-0.47	-0.20	-0.20	-0.20	0.33	0.69**	1.000

(\*\*)  $P < 0.001$ ; (\*)  $P < 0.05$ 

Cuadro 6. Correlaciones entre fracciones químicas en planta completa a 100 días.

	<i>MS</i>	<i>PC</i>	<i>FC</i>	<i>EE</i>	<i>MO</i>	<i>ELN</i>	<i>TND</i>	<i>ED</i>	<i>EM</i>	<i>FDN</i>	<i>FDA</i>	<i>LIG</i>
<b>MS</b>	1.000											
<b>PC</b>	0.17	1.000										
<b>FC</b>	0.01	-0.53	1.000									
<b>EE</b>	0.03	0.10	-0.12	1.000								
<b>MO</b>	-0.57**	-0.45*	-0.33	0.13	1.000							
<b>ELN</b>	-0.04	-0.33	-0.31	0.08	0.52*	1.000						
<b>TND</b>	-0.24	0.07	-0.62**	0.73**	0.67**	0.31	1.000					
<b>ED</b>	0.03	-0.18	-0.12	0.57**	0.36	0.71*	0.55*	1.000				
<b>EM</b>	-0.24	0.07	-0.62**	0.73**	0.67**	0.31	1.0**	0.55*	1.000			
<b>FDN</b>	0.31	0.01	0.69**	-0.18	-0.61*	-0.35	-0.66**	-0.17	-0.66**	1.000		
<b>FDA</b>	0.11	-0.46	0.95**	-0.20	-0.45*	-0.33	-0.71**	-0.19	-0.71**	0.71**	1.000	
<b>LIG</b>	0.01	-0.55**	0.91**	-0.24	-0.22	-0.22	-0.61	-0.15	-0.61**	0.61**	0.88**	1.000

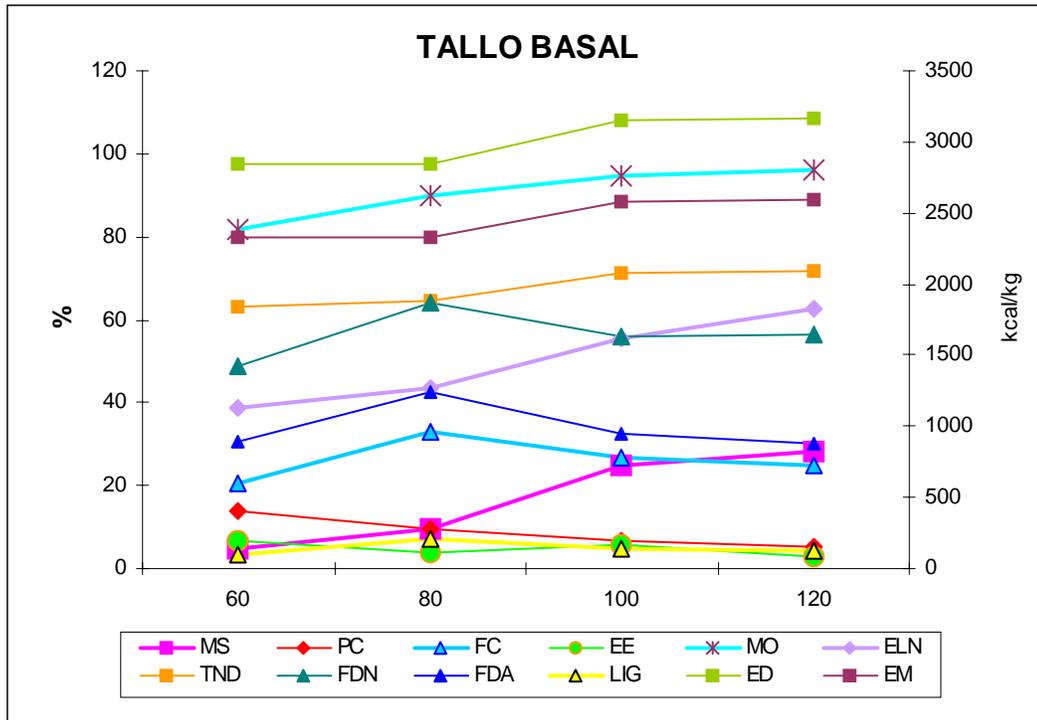
(\*\*)  $P < 0.001$ ; (\*)  $P < 0.05$

**Cuadro 7. Correlaciones entre fracciones químicas en planta completa a 120 días.**

	<i>MS</i>	<i>PC</i>	<i>FC</i>	<i>EE</i>	<i>MO</i>	<i>ELN</i>	<i>TND</i>	<i>ED</i>	<i>EM</i>	<i>FDN</i>	<i>FDA</i>	<i>LIG</i>
<b>MS</b>	1.000											
<b>PC</b>	0.02	1.000										
<b>FC</b>	0.07	-0.32	1.000									
<b>EE</b>	0.09	0.08	-0.05	1.000								
<b>MO</b>	-0.31	-0.40	-0.41	-0.16	1.000							
<b>ELN</b>	-0.21	-0.50*	-0.53*	-0.36	0.89**	1.000						
<b>TND</b>	0.09	0.06	-0.29	-0.11	0.32	0.29	1.000					
<b>ED</b>	0.10	0.06	-0.29	-0.11	0.32	0.29	1.0**	1.000				
<b>EM</b>	0.10	0.06	-0.29	-0.11	0.32	0.29	1.0**	1.0**	1.000			
<b>FDN</b>	0.28	0.14	0.42	0.63**	-0.48*	-0.66**	-0.23	-0.23	-0.23	1.000		
<b>FDA</b>	0.24	-0.01	0.76**	0.21	-0.81**	-0.81**	-0.54*	-0.54*	-0.54*	0.59**	1.000	
<b>LIG</b>	-0.04	-0.10	0.61**	0.02	-0.52*	-0.51*	-0.67**	-0.67**	-0.67**	0.20	0.71**	1.000

(\*\*) P<0.001; (\*) P<0.05

**XI.2. Gráficas y Cuadros correspondientes a las Secciones Vegetales de planta de maíz.**

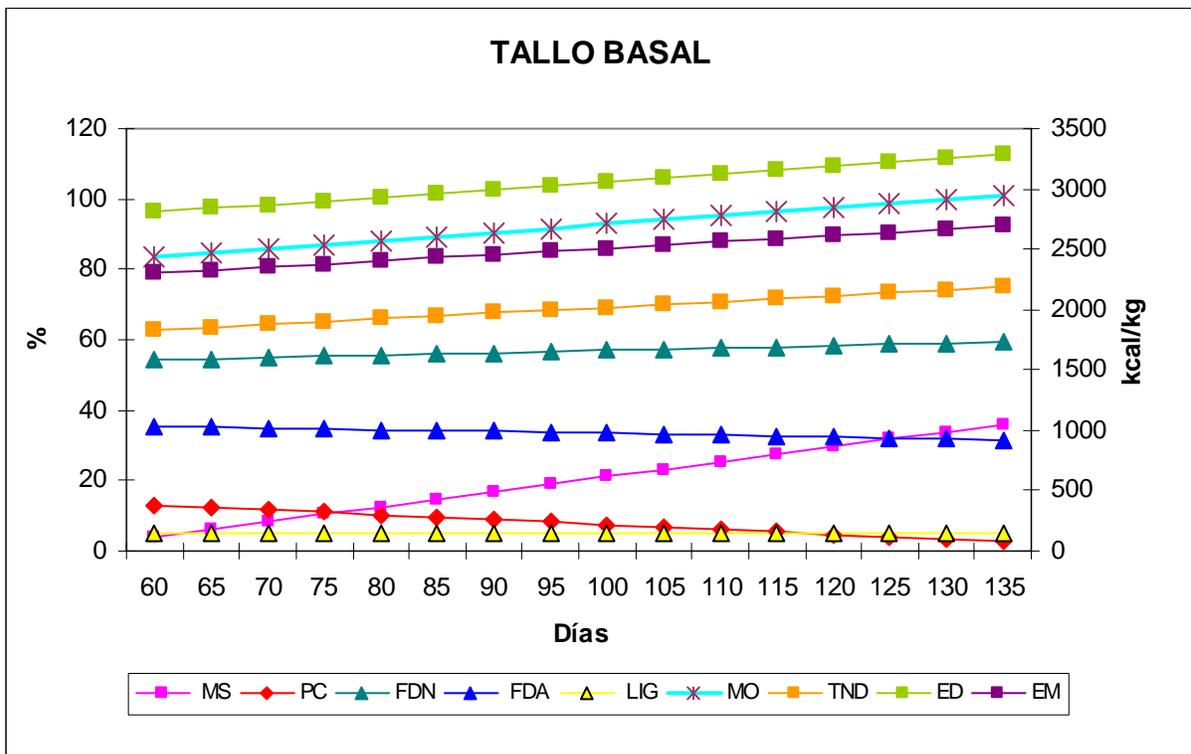


**Gráfica 6. Distribución de fracciones químicas en la sección tallo basal (TB), en las cuatro edades de corte de la planta de maíz.**

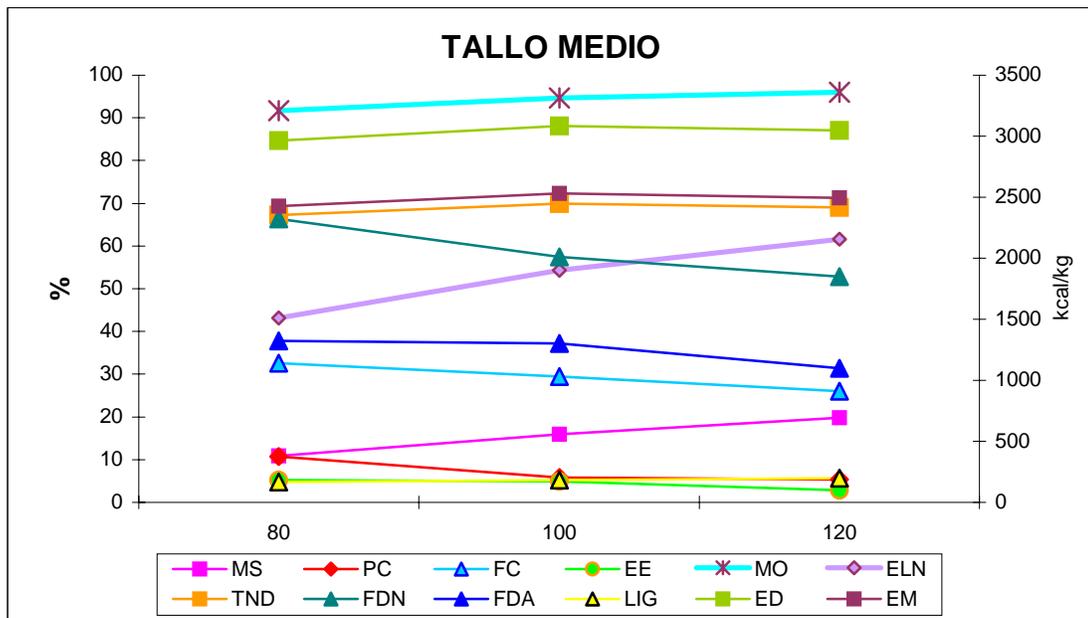
**Cuadro 8. Media, desviación estándar y porcentaje acumulado de fracciones químicas en TB.**

<b>TB</b>	<b>60 días</b>	<b>80 días</b>	<b>100 días</b>	<b>120 días</b>	<b>% acum.(*)</b>
<b>MS</b>	4.68±0.13	9.59±0.52	24.86±0.89	28.02±5.92	<b>498.71</b>
<b>PC</b>	13.83±2.11	9.49±0.54	6.73±0.25	5.43±2.29	<b>-60.73</b>
<b>FDN</b>	48.92±6.46	63.98±2.96	55.98±4.34	56.25±2.81	<b>14.98</b>
<b>FDA</b>	30.36±5.27	42.59±0.89	32.56±2.73	30.32±1.68	<b>-0.13</b>
<b>LIG</b>	3.33±1.17	7.11±0.86	4.73±1.83	4.21±1.15	<b>26.42</b>
<b>MO</b>	81.66±2.78	90.04±0.98	94.48±0.30	95.87±0.60	<b>17.40</b>
<b>ED</b>	2838±248.09	2842±96.06	3149±77.87	3159±169.29	<b>11.31</b>
<b>EM</b>	2326±202.82	2330±78.76	2582±64.07	2590±138.80	<b>11.34</b>

(\*) Porcentaje acumulado hasta los 120 días respecto al corte a 60 días.



Gráfica 7. Análisis por regresión lineal simple para las fracciones químicas y su relación con la edad en la sección TB de planta de maíz.

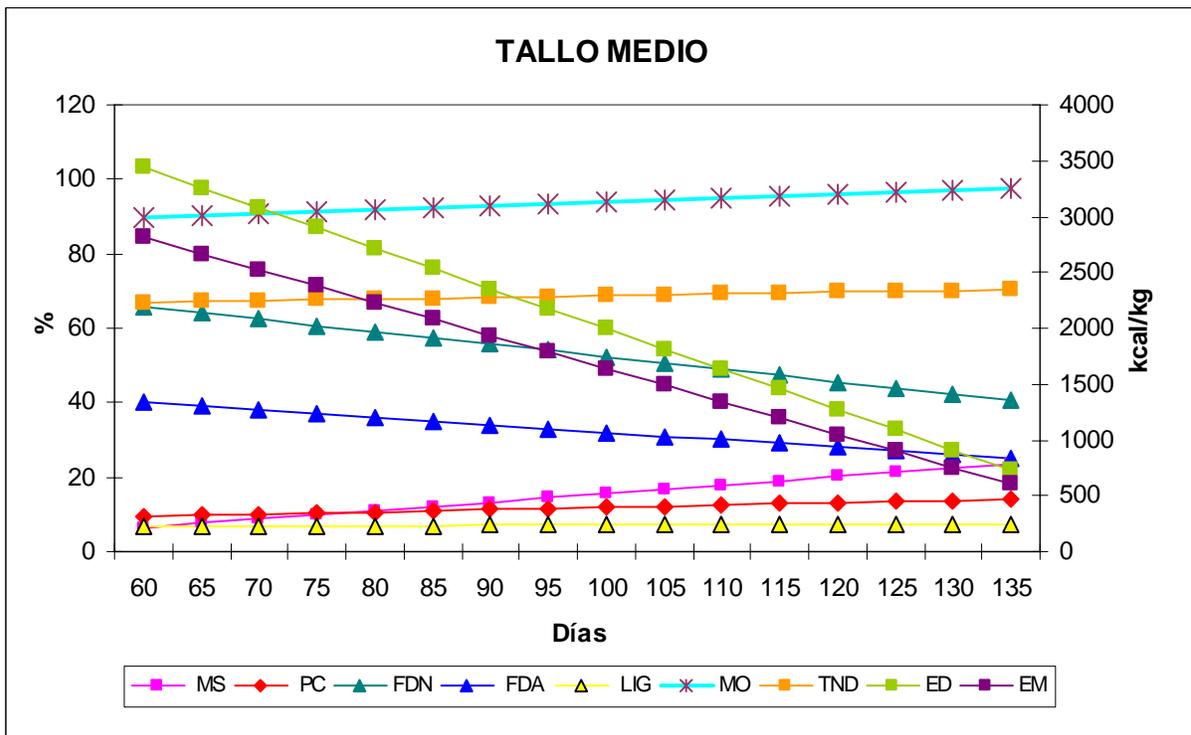


Gráfica 8. Distribución de fracciones químicas en la sección tallo medio (TM), en tres edades de corte de la planta de maíz.

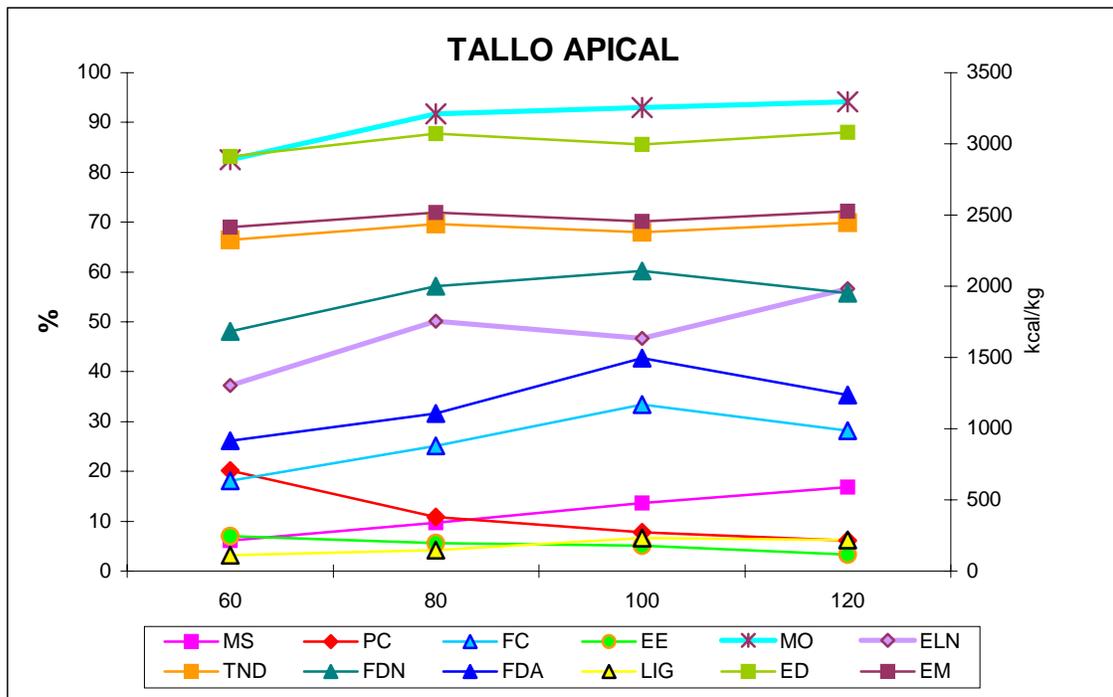
Cuadro 9. Media, desviación estándar y porcentaje acumulado de fracciones químicas en TM.

<b>TM</b>				
	<b>80 días</b>	<b>100 días</b>	<b>120 días</b>	<b>% acum.(*)</b>
<b>MS</b>	10.79±2.91	16.01±0.13	19.93±1.09	<b>84.71</b>
<b>PC</b>	10.78±4.95	5.86±0.29	5.43±1.37	<b>-49.63</b>
<b>FDN</b>	66.40±10.34	37.57±2.88	53.03±5.07	<b>-20.13</b>
<b>FDA</b>	37.81±3.60	28.38±1.89	29.86±1.28	<b>-21.05</b>
<b>LIG</b>	4.81±1.09	11.55±0.63	5.22±0.49	<b>8.52</b>
<b>MO</b>	91.72±0.92	94.72±0.83	95.94±0.74	<b>4.60</b>
<b>ED</b>	2963±64.67	1500±56.68	1520±49.29	<b>-48.70</b>
<b>EM</b>	2429±53.04	1232±46.49	1248±40.42	<b>-48.62</b>

(\*) Porcentaje acumulado hasta los 120 días respecto al corte a 80 días.



Gráfica 9. Análisis por regresión lineal simple para las fracciones químicas y su relación con la edad en la sección TM de la planta de maíz.

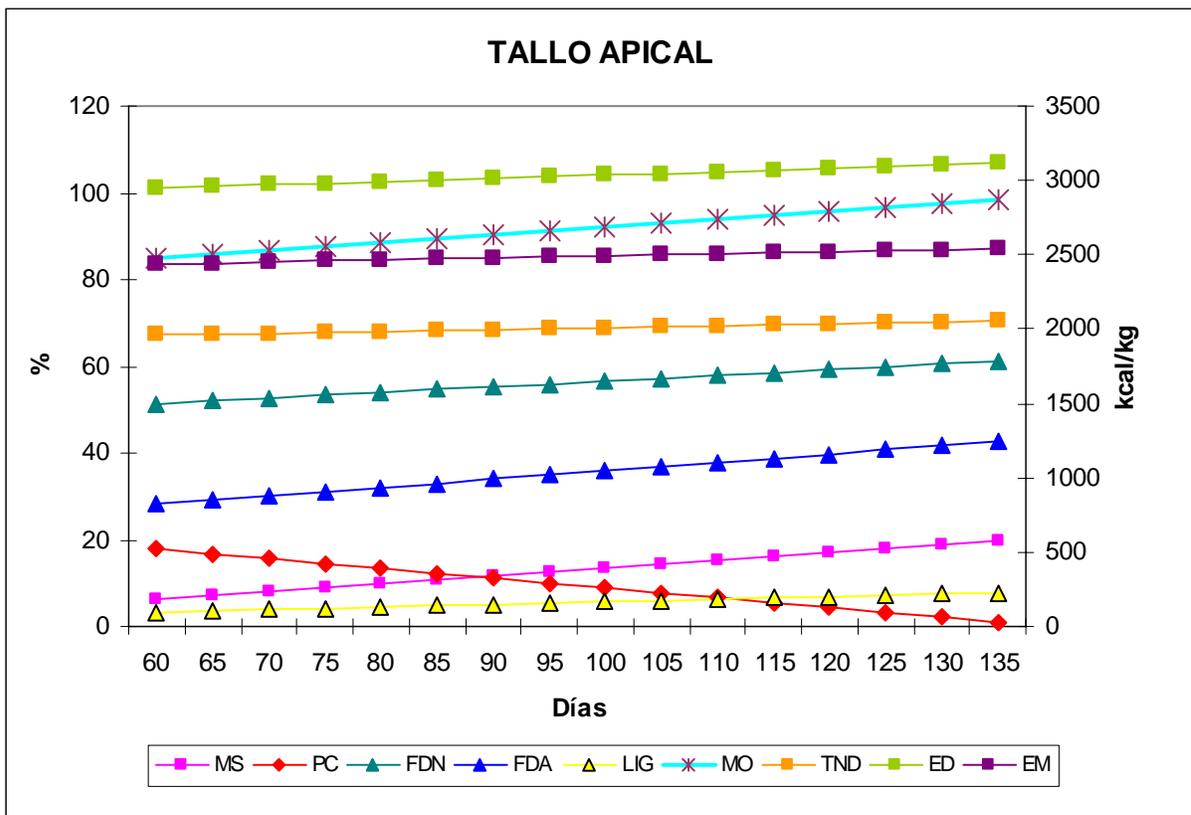


Gráfica 10. Distribución de fracciones químicas en la sección tallo apical (TA), en las cuatro edades de corte de la planta de maíz.

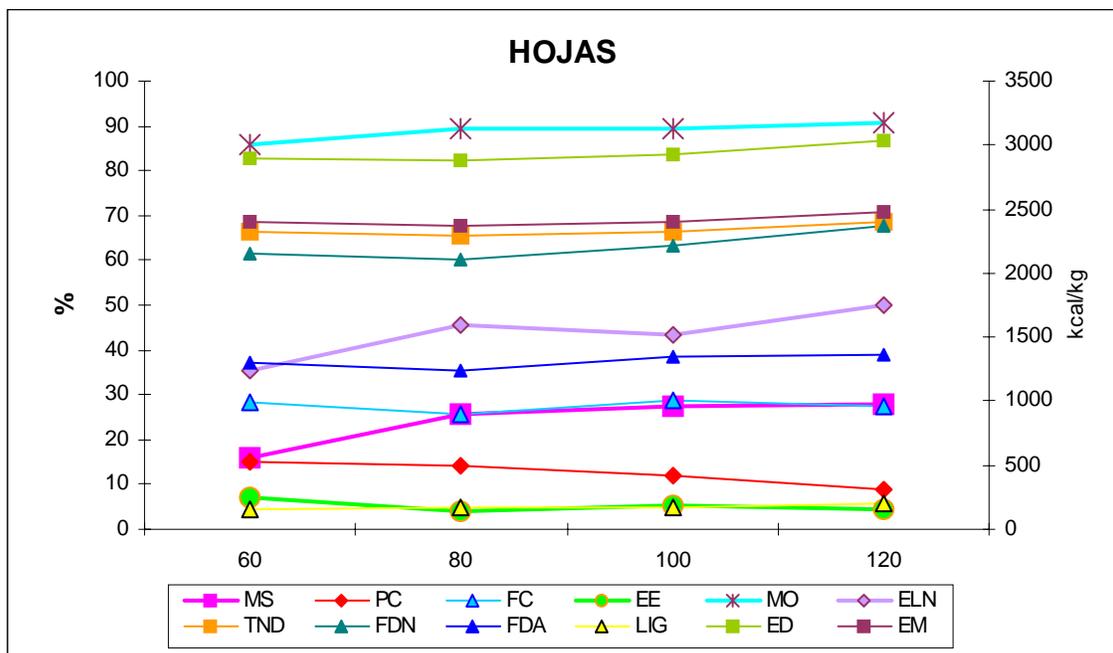
Cuadro 10. Media, desviación estándar y porcentaje acumulado de fracciones químicas en TA.

<b>TA</b>					
	<b>60 días</b>	<b>80 días</b>	<b>100 días</b>	<b>120 días</b>	<b>% acum.(*)</b>
<b>MS</b>	6.13±0.09	9.07±1.03	13.66±0.78	16.87±2.21	<b>175.20</b>
<b>PC</b>	20.11±1.50	10.88±2.64	7.73±0.55	6.12±1.51	<b>-69.57</b>
<b>FDN</b>	48.15±3.81	57.11±4.97	60.20±3.17	55.74±7.04	<b>15.76</b>
<b>FDA</b>	26.13±3.78	31.69±6.17	42.67±1.71	35.37±0.87	<b>35.36</b>
<b>LIG</b>	3.15±1.16	4.24±0.32	6.69±0.38	6.23±1.24	<b>97.78</b>
<b>MO</b>	82.56±0.24	91.71±1.84	93.03±0.86	94.19±1.69	<b>14.09</b>
<b>ED</b>	2910±105.28	3070±262.71	2996±188.72	3082±123.60	<b>5.91</b>
<b>EM</b>	2415±88.38	2517±215.41	2456±154.73	2527±101.34	<b>4.64</b>

(\*) Porcentaje acumulado hasta los 120 días respecto al corte a 60 días.



Gráfica 11. Análisis por regresión lineal simple para las fracciones químicas y su relación con la edad en la sección TA de la planta de maíz.



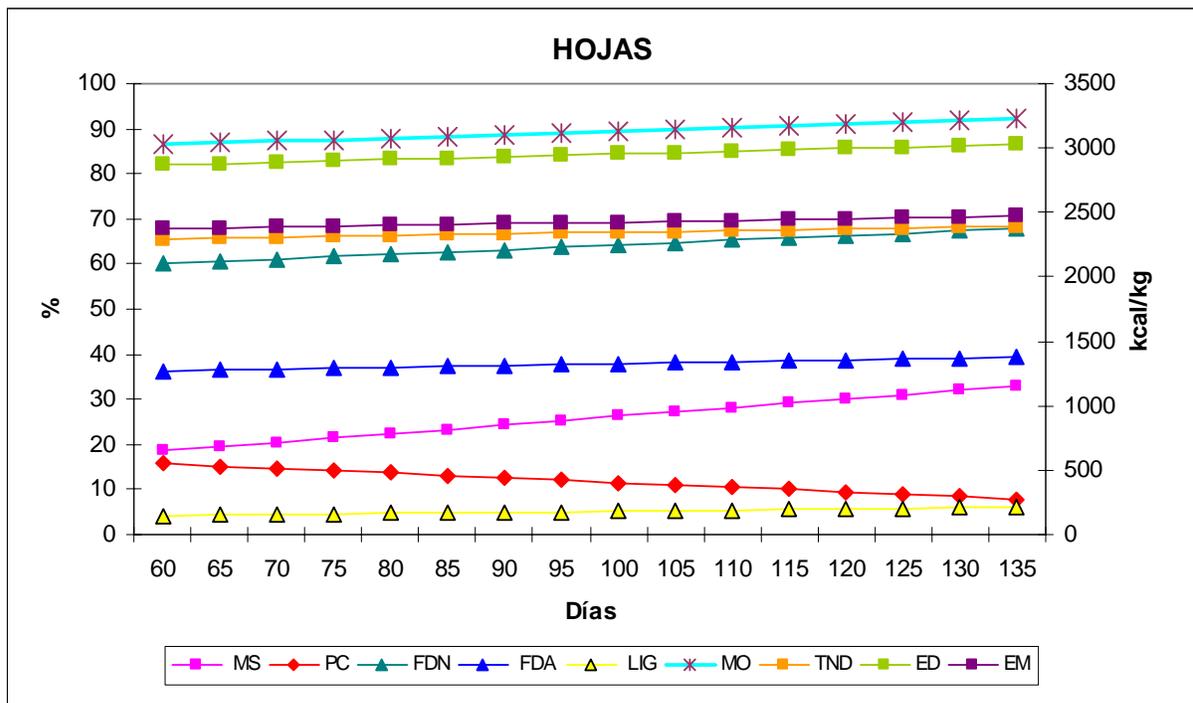
Gráfica 12. Distribución de fracciones químicas en la sección hojas (HJ), en las cuatro edades de corte de la planta de maíz.

Cuadro 11. Media, desviación estándar y porcentaje acumulado de fracciones químicas en HJ.

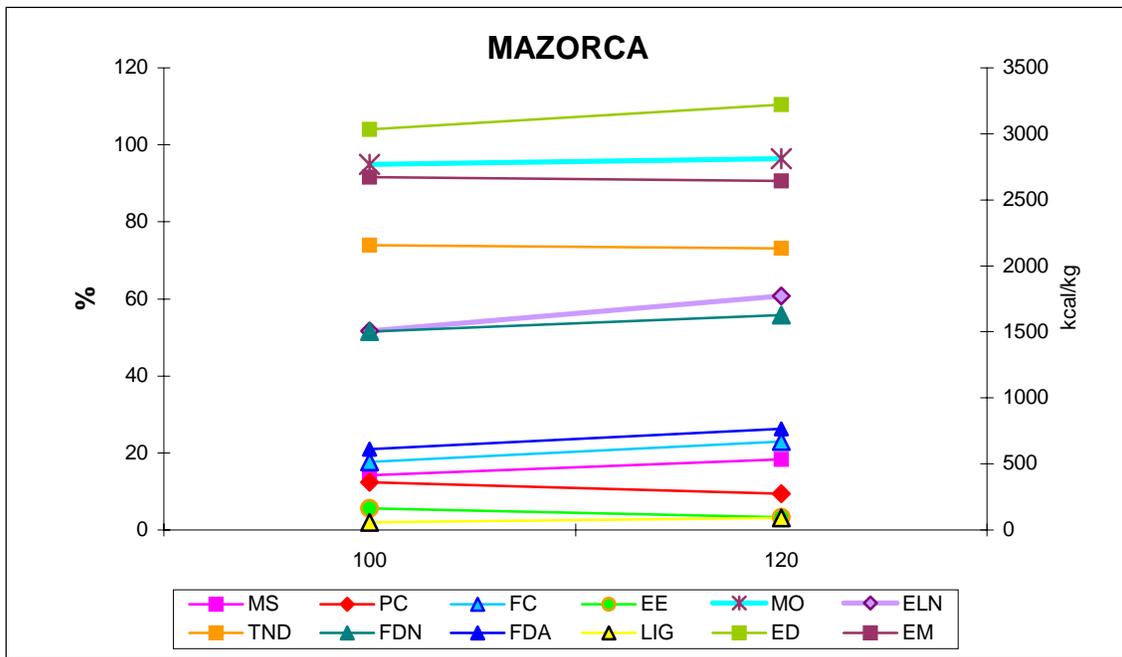
<i>HJ</i>					
	60 días	80 días	100 días	120 días	% acum.(*)
<b>MS</b>	15.85±0.32	25.65±10.38	27.63±1.61	28.08±10.17	<b>77.16</b>

<b>PC</b>	15.14±0.77	14.26±1.16	11.99±0.66	8.96±1.55	<b>-40.81</b>
<b>FDN</b>	61.64±4.42	60.22±4.84	63.37±7.93	67.53±1.52	<b>9.55</b>
<b>FDA</b>	37.02±2.24	35.48±2.36	38.43±1.72	38.88±1.52	<b>5.02</b>
<b>LIG</b>	4.23±0.75	4.82±0.49	4.79±0.44	5.88±0.73	<b>39.01</b>
<b>MO</b>	85.65±3.57	89.31±1.44	89.16±1.18	90.75±0.77	<b>5.95</b>
<b>ED</b>	2900±78.93	2884±160.41	2921±11.05	3030±103.05	<b>4.48</b>
<b>EM</b>	2407±65.42	2364±131.53	2395±91.05	2484±84.49	<b>3.19</b>

(\*) Porcentaje acumulado hasta los 120 días respecto al corte a 60 días.



**Gráfica 13. Análisis por regresión lineal simple para las fracciones químicas y su relación con la edad en la sección HJ de planta de maíz.**



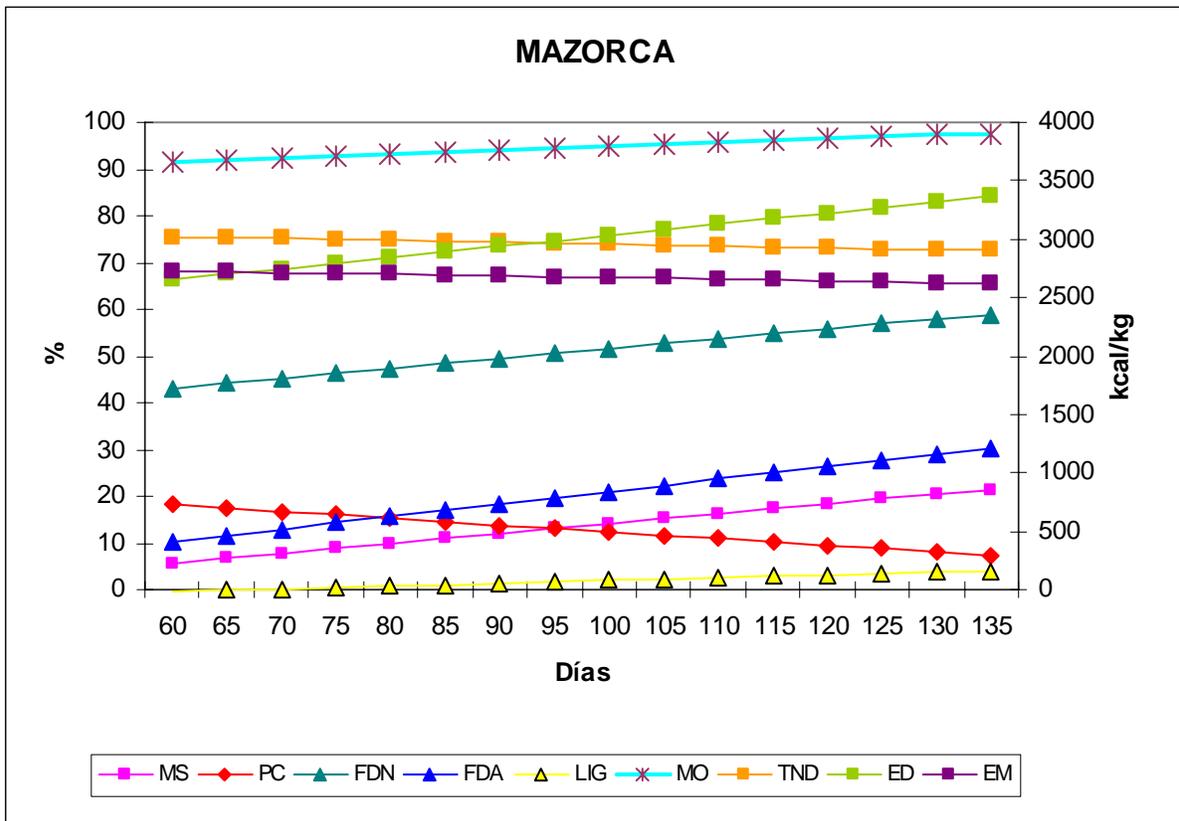
Gráfica 14. Distribución de fracciones químicas en la sección mazorca (MZ) en dos edades de corte de la planta de maíz.

Cuadro 12. Media, desviación estándar y porcentaje acumulado de fracciones químicas en MZ.

<i>MZ</i>		
100 días	120 días	% acum. (*)

<b>MS</b>	14.12±4.72	18.33±2.67	<b>22.97</b>
<b>PC</b>	12.34±0.90	9.45±0.87	<b>-30.58</b>
<b>FDN</b>	51.51±3.01	55.75±4.00	<b>7.60</b>
<b>FDA</b>	20.95±3.43	26.31±1.67	<b>20.37</b>
<b>LIG</b>	1.93±0.44	3.11±1.33	<b>37.94</b>
<b>MO</b>	94.84±0.20	96.44±0.96	<b>1.70</b>
<b>ED</b>	3033±499.96	3223±139.51	<b>5.89</b>
<b>EM</b>	2671±100.02	2642±114.39	<b>-1.09</b>

(\*) Porcentaje acumulado hasta los 120 días respecto al corte a 100 días.



Gráfica 15. Análisis por regresión lineal simple para las fracciones químicas y su relación con la edad en la sección MZ de planta de maíz.

**Cuadro 13. Regresiones lineales simples entre fracciones químicas y edad en las secciones TB, TM, TA, HJ y MZ de planta de maíz.**

<b>SECCIÓN</b>	<b>FR. QUÍM.</b>	<b>Intercep. <math>\beta_0</math></b>	<b>Valor <math>\beta_1</math></b>	<b><math>P &lt; 0.05</math></b>	<b><math>R^2</math></b>
<b>TB</b>	MS	-21.60	0.43	<0.0001	0.87
	PC	21.44	-0.14	<0.0001	0.80
	MO	69.33	0.23	<0.0001	0.85
	TND	52.92	0.16	0.002	0.52
	ED	2426.13	6.34	0.004	0.45
	EM	1986.88	5.22	0.004	0.46
	FDN	49.99	0.07	0.3730	0.06
	FDA	38.52	-0.05	0.4634	0.04
	LIG	4.73	0.001	0.953	0.0003
<b>TM</b>	MS	-7.28	0.23	<0.0001	0.85
	PC	5.51	0.063	0.2175	0.15
	MO	83.58	0.10	<0.0001	0.81
	TND	64.04	0.05	0.243	0.13
	ED	5600.29	-36.83	0.0004	0.74
	EM	4588.21	-29.52	0.0004	0.73
	FDN	85.75	-0.33	0.1814	0.17
	FDA	52.92	-0.20	0.01	0.49
	LIG	6.17	0.01	0.871	0.003
<b>TA</b>	MS	-4.69	0.18	<0.0001	0.93
	PC	31.51	-0.22	<0.0001	0.81
	MO	74.10	0.18	<0.0001	0.73
	TND	64.62	0.043	0.34	0.06
	ED	2815.34	2.21	0.2781	0.28
	EM	2355.71	1.37	0.40	0.05
	FDN	43.66	0.13	0.068	0.22
	FDA	16.54	0.19	0.0083	0.41
	LIG	-0.18	0.06	0.0002	0.64
	MS	6.89	0.19	0.03	0.29
	PC	21.95	-0.104	<0.0001	0.82
	MO	81.90	0.07	0.0058	0.43
	TND	63.38	0.04	0.23	0.10

<b>HJ</b>	ED	2741.51	2.13	0.115	0.17
	EM	2295.3	1.30	0.244	0.09
	FDN	53.82	0.10	0.1057	0.18
	FDA	33.62	0.04	0.089	0.19
	LIG	2.71	0.02	0.003	0.47
<b>MZ</b>	MS	-6.90	0.21	0.17*	0.28
	PC	26.79	-0.14	0.0016	0.83
	MO	86.84	0.08	0.017	0.64
	TND	77.85	-0.04	0.71	0.02
	ED	2081.57	9.51	0.49	0.08
	EM	2813.61	-1.43	0.72	0.02
	FDN	30.29	0.21	0.1413	0.32
	FDA	-5.82	0.27	0.03	0.57
	LIG	-3.98	0.06	0.1429	0.32

**Cuadro 14. Regresión lineal simple de MO, ED y EM en función de TND en las secciones de planta de maíz.**

<b>SECCIÓN</b>	<b>Fr. Quím</b>	<b>Intercep B0</b>	<b>Valor B1</b>	<b>P&lt;0.05</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
TB	MO	31.52	0.87	0.0004	0.60
	ED	272.97	40.27	<0.0001	0.94
	EM	216.33	33.12	<0.0001	0.94
TM	MO	62.01	0.47	0.08	0.26
	ED	015	44.10	<0.0001	1.0
	EM	0.433	36.14	<0.0001	1.0
TA	MO	55.71	0.51	0.12	0.16
	ED	-48.31	44.72	<0.0001	0.98
	EM	26.64	35.81	<0.0001	0.99
HJ	MO	58.90	0.46	0.07	0.21
	ED	61.78	43.04	<0.0001	0.92
	EM	-4.05	36.22	<0.0001	0.99
MZ	MO	106.54	-0.15	0.34	0.15
	ED	-1130.95	57.95	0.27	0.21
	EM	-0.973	36.16	<0.0001	1.0

Cuadro 15. Correlaciones encontradas entre fracciones químicas en las secciones vegetales de planta de maíz.

	MS	PC	FC	EE	MO	TB ELN	TND	ED	EM	FDN	FDA	LIG
MS	1.000											
PC	-0.842**	1.000										
FC	0.088	-0.321	1.000									
EE	-0.452	0.441	-0.445	1.000								
MO	0.864**	-0.925**	0.302	-0.378	1.000							
ELN	0.907**	-0.864**	-0.400	-0.063	0.891**	1.000						
TND	0.764**	-0.704**	-0.082	0.052	0.775**	0.798**	1.000					
ED	0.729*	-0.675*	-0.204	0.124	0.733**	0.765	0.968**	1.000				
EM	0.731*	-0.676*	-0.200	0.122	0.735**	0.766*	0.970**	0.999**	1.000			
FDN	-0.102	-0.373	0.852**	-0.490	0.331	0.028	-0.119	-0.198	-0.196	1.000		
FDA	-0.273	0.031	0.904**	-0.261	-0.030	-0.386	-0.353	-0.466	-0.464	0.788**	1.000	
LIG	-0.090	-0.065	0.848**	-0.298	-0.147	0.215	-0.257	-0.358	-0.355	0.825**	0.875**	1.000
						TM						
MS	1.000											
PC	-0.566	1.000										
FC	-0.676*	0.274	1.000									
EE	-0.433	-0.054	0.623*	1.000								
MO	0.862**	-0.495	-0.802*	-0.455	1.000							
ELN	0.837**	-0.668*	-0.868**	-0.565	0.896**	1.000						
TND	0.391	-0.503	-0.274	0.509	0.512	0.349	1.000					
ED	0.392	-0.503	-0.275	0.509	0.512	0.350	1.00**	1.000				
EM	0.392	-0.504	-0.275	0.509	0.512	0.350	1.00**	1.00**	1.000			
FDN	-0.616*	0.367	0.742*	0.527	-0.549	-0.720*	-0.104	-0.104	-0.104	1.000		
FDA	-0.554	-0.019	0.883**	0.640*	-0.651*	-0.656*	-0.108	-0.108	-0.108	0.521	1.000	
LIG	0.330	-0.407	0.044	-0.265	0.055	0.235	-0.263	-0.262	-0.262	-0.101	0.137	1.000
						TA						
MS	1.000											
PC	-0.879**	1.000										
FC	0.677*	-0.841**	1.000									
EE	-0.517*	0.537*	-0.474	1.000								
MO	0.863**	-0.908**	0.667*	-0.367	1.000							
ELN	0.784**	-0.767**	0.337	-0.545*	0.854**	1.000						
TND	0.256	-0.110	-0.188	0.460	0.406	0.355	1.000					
ED	0.291	-0.157	-0.147	0.430	0.447	0.391	0.993**	1.000				

<b>EM</b>	0.228	-0.076	-0.216	0.477	0.372	0.327	0.996**	0.979**	1.000			
<b>FDN</b>	0.562*	-0.738*	0.841**	-0.291	0.654*	0.330	-0.175	-0.136	-0.202	1.000		
<b>FDA</b>	0.637*	-0.799**	0.981**	-0.459	0.610*	0.281	-0.231	-0.191	-0.258	0.785**	1.000	
<b>LIG</b>	0.747**	-0.788**	0.799**	-0.408	0.716*	0.482	0.049	0.097	0.015	0.606*	0.807**	1.000
<b>HJ</b>												
<b>MS</b>	1.000											
<b>PC</b>	-0.312	1.000										
<b>FC</b>	-0.441	-0.090	1.000									
<b>EE</b>	-0.129	0.337	0.141	1.000								
<b>MO</b>	0.466	-0.516*	-0.293	-0.490	1.000							
<b>ELN</b>	0.509	-0.675*	-0.494	-0.665*	0.866**	1.000						
<b>TND</b>	0.504*	-0.195	-0.344	0.253	0.463	0.335	1.000					
<b>ED</b>	0.572*	-0.248	-0.363	0.206	0.493	0.375	0.962**	1.000				
<b>EM</b>	0.496	-0.189	-0.340	0.257	0.458	0.329	0.999**	0.954**	1.000			
<b>FDN</b>	0.004	-0.470	0.381	-0.155	0.320	0.219	-0.062	-0.021	-0.065	1.000		
<b>FDA</b>	-0.154	-0.579*	0.549*	-0.147	-0.146	0.001	-0.418	-0.352	-0.422	0.603*	1.000	
<b>LIG</b>	0.567*	-0.642*	-0.086	-0.251	0.754**	0.673*	0.435	0.463	0.430	0.654*	0.153	1.000
<b>MZ</b>												
<b>MS</b>	1.000											
<b>PC</b>	-0.260	1.000										
<b>FC</b>	-0.190	-0.865*	1.000									
<b>EE</b>	0.117	0.743*	-0.785*	1.000								
<b>MO</b>	0.658	-0.641	0.404	-0.305	1.000							
<b>ELN</b>	0.471	-0.334	0.186	-0.082	0.430	1.000						
<b>TND</b>	0.261	0.268	-0.387	0.526	-0.386	0.089	1.000					
<b>ED</b>	0.379	-0.185	0.088	0.135	0.165	0.901**	0.455	1.000				
<b>EM</b>	0.261	0.268	-0.387	0.526	-0.385	0.090	1.00**	0.455	1.000			
<b>FDN</b>	0.068	-0.664	0.776*	-0.440	0.534	0.411	-0.292	0.324	-0.291	1.000		
<b>FDA</b>	-0.142	-0.856*	0.955**	0.834*	0.488	0.117	-0.468	-0.032	-0.467	0.629	1.000	
<b>LIG</b>	-0.102	-0.631	0.814*	-0.751*	0.474	0.129	-0.551	-0.050	-0.550	0.834*	0.779*	1.000

(\*) P<0.05; (\*\*) P<0.001