



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS

**RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FORRAJE DE CUATRO CEREALES DE
GRANO PEQUEÑO EN TRES ETAPAS DE CRECIMIENTO Y DOS
NIVELES DE NITROGENO EN EL VALLE DE TOLUCA**

T E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TITULO DE
INGENIEROAGRONOMO FITITECNISTO**

PRESENTA:

ROBERTO CARLOS ÁLVAREZ ROMERO

ASESORES:

Dr. CARLOS GUSTAVO MARTÍNEZ RUEDA

Dr. GASPAR ESTRADA CAMPUZANO



CAMPUS UNIVERSITARIO EL CERRILLO, TOLUCA MÉXICO AGOSTO DEL 2017

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	2
RESUMEN.....	4
I. INTRODUCCIÓN.....	5
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1 Concepto de forraje.....	7
2.2 Características deseables de un buen forraje.....	7
2.3 Importancia de los cereales forrajeros en la alimentación animal.....	8
2.4 Aspectos importantes de los cereales de grano pequeño con aptitudes forrajeras.....	9
2.4.1 Avena (<i>Avena sativa</i> L.).....	9
2.4.2 Cebada (<i>Hordeum vulgare</i> L.).....	10
2.4.3 Triticale (<i>X. Triticosecale</i> Wittmack).....	10
2.4.4 Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	11
2.5 Composición química y calidad nutricional de los forrajes.....	12
2.6 Fisiología y ecología de cereales forrajeros.....	13
2.6.1 Desarrollo de los cereales forrajeros.....	13
2.6.2 Efecto de las principales variables medioambientales en el desarrollo de cereales forrajeros.....	14
2.7 Influencia de la fertilización nitrogenada en el desarrollo de cereales forrajeros.....	15
2.7.1 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los componentes de calidad y rendimiento en los cereales forrajeros.....	15
2.8 Importancia del estado de desarrollo en los cereales forrajeros.....	16
2.9 Rendimiento forrajero y calidad nutricional en cereales de grano pequeño.....	18
2.9.1 Estudios en avena.....	18
2.9.2 Estudios en cebada.....	19
2.9.3 Estudios en triticale.....	20
2.9.4 Estudios en trigo.....	21
III. MATERIALES Y METODOS.....	22
3.1 Ubicación y descripción del área de estudio.....	22
3.2 Factores de estudio.....	22
3.3 Diseño experimental.....	24
3.4 Manejo del trabajo experimental.....	24
3.5 Variables de estudio.....	25
3.5.1 Producción de forraje y componentes del Rendimiento de Materia Seca (RMS).....	25
3.5.2 Distribución de la materia seca.....	25
3.5.3 Contenido nutricional del forraje.....	25
3.6 Análisis estadístico.....	29
IV. RESULTADOS.....	30
4.1 Elementos del clima.....	30

4.2	Análisis de varianza.....	31
4.2.1	Producción de forraje y componentes del Rendimiento de Materia Seca (RMS).....	31
4.2.2	Composición química y contenido nutricional del forraje.....	32
4.3	Efectos generales de los diferentes factores y niveles evaluados.....	33
4.3.1	Producción de forraje y componentes de Rendimiento de Materia Seca (RMS).....	33
4.3.1.1	Efecto de la dosis de nitrógeno.....	33
4.3.1.2	Efecto de la etapa de corte.....	33
4.3.1.3	Efectos genotípicos.....	34
4.3.2	Composición química y contenido nutricional del forraje.....	35
4.3.2.1	Efecto de la dosis de nitrógeno.....	35
4.3.2.2	Efecto de la etapa de corte.....	36
4.3.2.3	Efectos genotípicos.....	36
4.4	Interacción genotipo x nitrógeno.....	38
4.5	Interacción nitrógeno x etapa de corte.....	41
4.6	Interacción genotipo x etapa de corte.....	44
4.7	Interacción Genotipo x Nitrógeno x Etapa de corte.....	49
4.8	Acumulación de materia seca en tres etapas de corte.....	53
4.9	Comportamiento promedio por especie en tres etapas de corte.....	54
4.9.1	Asignación de materia seca.....	54
4.9.2	Etapa de embuche.....	55
4.9.3	Etapa de antesis.....	57
4.9.4	Etapa de grano lechoso-masoso.....	58
V.	DISCUSIÓN.....	61
VI.	CONCLUSIONES.....	66
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	68

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de las diferentes fracciones del análisis inmediato de los alimentos.....	12
Cuadro 2. Denominación y origen del material genético utilizado en el trabajo experimental.....	23
Cuadro 3. Factores de estudio y niveles evaluados en el trabajo experimental.....	23
Cuadro 4. Fuentes de variación (F.V), grados de libertad (g.l.), suma de cuadrados (S.C.), cuadrados medios (C.M.) y valores de F para el análisis de varianza.....	29
Cuadro 5. Valores F y su significancia estadística del análisis de varianza combinado para número de tallos por m ² (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de tallos (PST), peso seco de hojas (PSH), relación hoja-tallo (RHT) y peso seco de inflorescencia (PSI).....	32
Cuadro 6. Valores F y su significancia estadística del análisis de varianza para proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).....	33
Cuadro 7. Efectos generales de los principales factores y niveles para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de tallos (PST), peso seco de hojas (PSH), peso seco de inflorescencia (PSI) y relación hoja-tallo (RHT).....	35
Cuadro 8. Efectos generales de los principales factores y niveles para proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Interacción de los componentes de calidad y rendimiento de forraje con el estado de desarrollo de la planta en cereales de grano pequeño (modificado de Slafer and Rawson, 1994).....18
- Figura 2. Variaciones de la precipitación y la temperatura a lo largo de la temporada de crecimiento del cultivo.....30
- Figura 3. Comportamiento de los 8 genotipos en estudio en dos dosis de nitrógeno, N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹), para proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y cenizas (CZ).....39
- Figura 4. Comportamiento de los 8 genotipos en estudio en dos dosis de nitrógeno, N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹), para energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).....40
- Figura 5. Efecto de dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹) en tres etapas de crecimiento, E1 (embuche), E2 (antesis), E3 (grano lechoso-masoso), en las variables Peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de inflorescencia (PSI) y relación hoja-tallo (RHT).....42
- Figura 6. Efecto de dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹) en tres etapas de crecimiento, E1 (embuche), E2 (antesis), E3 (grano lechoso-masoso), en las variables proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), cenizas (CZ) y energía neta de ganancia (ENG).....43
- Figura 7. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3), para peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de tallos (PST) y peso seco de hoja (PSH).....46
- Figura 8. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3), para peso seco de espigas (PSE), relación hoja-tallo (RHT), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN).....47
- Figura 9. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3), para fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL) y energía neta de ganancia (ENG).....48
- Figura 10. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3), para valor alimenticio relativo (VAR).....49
- Figura 11. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3) y dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120

kgN ha-1), para número de tallos (NT), peso seco de forraje (PSF), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN).....	51
Figura 12. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3) y dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha-1) y N2 (120 kgN ha-1), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL) y energía neta de ganancia (ENG).....	52
Figura 13. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3) y dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha-1) y N2 (120 kgN ha-1), para valor alimenticio relativo (VAR).....	53
Figura 14. Rendimiento de materia seca de los ocho genotipos evaluados en tres etapas de corte, □ embuche, ◇ antesis y ○ grano lechoso-masoso.....	54
Figura 15. Asignación de materia seca en sus componentes peso seco de tallo (PST), pesos seco de hoja (PSH), peso seco de espiga (PSE) y relación hoja-tallo (RHT) en tres etapas de corte.....	55
Figura 16. Comportamiento de cuatro especies de cereales de grano pequeño en la etapa de embuche para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), relación hoja-tallo (RHT), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).....	56
Figura 17. Comportamiento de cuatro especies de cereales de grano pequeño en la etapa de antesis para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), relación hoja-tallo (RHT), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).....	58
Figura 18. Comportamiento de cuatro especies de cereales de grano pequeño en la etapa de grano lechoso-masoso para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), relación hoja-tallo (RHT), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).....	60

RESUMEN

En el valle de Toluca la producción de forraje se deriva principalmente de cultivos de cereales como son la avena y el maíz, establecidos bajo condiciones de temporal. Si bien la producción de forraje obtenida por estos cultivos cumple con la demanda para alimentación del ganado, no siempre está relacionado con la calidad nutricional requerida para optimizar dicho proceso. En el presente trabajo se evaluaron dos variedades de avena (Avemex y Karma), dos de cebada (Capuchona y Esmeralda), una variedad y una línea avanzada de triticale (Bicentenario y L3) y dos variedades de trigo (Baguette y Tollocan). El experimento se llevó a cabo en el ciclo primavera-verano 2015 en el valle de Toluca, México. La siembra se realizó el 26 de junio de 2015, con una densidad de siembra de 300 semillas por m², bajo un diseño experimental de parcelas divididas en tiempo bajo un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones, donde la parcela experimental constó de 4 surcos a doble hilera de 6 m de longitud con una separación de 80 cm entre surcos y 20 cm entre hileras. Se estudió el efecto de dos dosis de nitrógeno (60 y 120 kgN ha) y tres etapas fenológicas al corte (embuche, anthesis y grano lechoso-masoso), sobre el rendimiento del forraje y algunos componentes de calidad nutricional en las tres etapas de corte mencionadas. La producción de materia seca y el contenido nutricional del forraje mejoró al aumentar la dosis de fertilización nitrogenada. El rendimiento de forraje se incrementó a medida que se retrasó la etapa de corte pero la calidad nutricional se vio disminuida conforme avanzó la madures de la planta. La L3 de triticale presentó mayor acumulación de biomasa en la etapa de grano lechoso-masoso (16.5 t ha⁻¹), mientras que la variedad de trigo Baguette destacó en la etapa de embuche, ya que mostró el mejor comportamiento en los componentes de calidad nutricional de forraje, además de sobresalir por su alto contenido de proteína cruda incluso en la etapa de grano lechoso-masoso (103 g kg⁻¹). Los resultados obtenidos indican que algunas de las variedades evaluadas pueden ser una opción viable para cumplir con la demanda de forraje con buena calidad para la alimentación de ganado lechero y de engorda en el valle de Toluca, México.

I. INTRODUCCIÓN

El campo de los cultivos forrajeros es amplio y complejo. Por lo tanto, cuando se trata de establecer un sistema de producción de forraje deben considerarse un gran número de factores climatológicos, como la altitud, latitud, la temperatura, el fotoperiodo, entre otros, ya que las especies forrajeras responden de diferentes maneras a los estímulos del medio donde se desarrollan, por lo que se deberá contar con el material genético apropiado para las distintas condiciones ambientales de la zona de producción y que a su vez cumpla con el aporte de calidad nutricional requerida por el ganado (Cantú 1989).

Para la ejecución de cultivos forrajeros es necesario contar con las variedades adecuadas que cumplan con ciertas características, como poseer ciclo de intermedio a largo y estar adaptadas a fechas de siembra tempranas, lo cual resultaría en una fase vegetativa larga, que al mismo tiempo nos permitiría acumular una mayor cantidad de materia seca con buenas características nutricionales (Morant et al., 2009).

El nitrógeno es el elemento nutricional que más influye en el crecimiento de las plantas; no cabe duda que el nitrógeno aplicado en formulas equilibradas en las especies de cereales, además de fomentar el desarrollo de las plantas, aumenta el contenido nitrogenado del forraje, mejora el valor biológico de la proteína bruta y con ello sus principios nutritivos (Juscafresa, 1974).

Por otra parte la etapa fisiológica en la cual se encuentra la planta al momento de la cosecha resulta de gran importancia, ya que de ello dependerá la cantidad de forraje y el contenido nutricional en la alimentación para ganado (Cantú 1989); De tal modo que a medida que la planta se va desarrollando, hay una pérdida del contenido de agua y de las materias nitrogenadas que abundan en las hojas, al mismo tiempo que va aumentando su contenido en celulosa (Duthil, 1980).

En el valle de Toluca el aporte de forraje se deriva principalmente del cultivo de cereales como el maíz, avena, cebada, algunos pastos y el triticale, los cuales en la mayoría de los casos se producen bajo condiciones de temporal. Si bien muchos de los cultivos antes mencionados suelen cumplir con la cantidad de forraje demandada para la alimentación del ganado, no significa que dicha cantidad esté relacionada con la calidad o aporte nutrimental para optimizar los recursos en dicho proceso.

La investigación sobre rendimiento y valor nutricional de anteriores y nuevas variedades de las especies utilizadas en la producción de forraje es escasa, así también existe poca información acerca de la mejor etapa de madurez al corte para lograr obtener el mejor rendimiento y la mejor composición química del forraje (Ramírez et al., 2013). Por lo tanto, resulta de gran importancia la generación de información de los puntos anteriormente mencionados, con relación a las diferentes zonas de producción y a las distintas especies y variedades utilizadas.

Con base en lo anterior se realizó el presente trabajo, teniéndose los siguientes objetivos:

- Evaluar la respuesta de las cuatro especies en estudio a dos dosis de nitrógeno en relación a la calidad nutricional y el rendimiento de forraje a obtenerse.
- Estudiar la influencia de tres etapas de corte en relación a la calidad nutricional y el rendimiento de las especies mencionadas.
- Comparar las especies estudiadas en cuanto a sus características nutricionales y de producción de forraje para su producción en el valle de Toluca bajo condiciones de temporal.

Las hipótesis de trabajo fueron las siguientes:

- Existe variación entre las diferentes especies evaluadas con relación a su ciclo de crecimiento, rendimiento y calidad nutricional de forraje.
- El incremento en la fertilización nitrogenada se verá reflejado en un mejor contenido nutricional y un mayor rendimiento de forraje en las especies en estudio.
- La etapa fenológica en la que se realice el corte tendrá una influencia directa sobre la cantidad de biomasa producida y el contenido nutricional del forraje.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Concepto de forraje

El termino forraje se utiliza comúnmente en el ámbito agronómico para señalar a las especies vegetales que el hombre emplea en la alimentación de ganado. El forraje se puede considerar como cualquier parte comestible, no dañina de una planta que tiene un valor nutritivo y que está disponible para la alimentación directa de animales, ya sea en pastoreo o bien que puede ser cosechada para después ser consumida por los mismos (Huss 1981).

2.2 Características deseables de un buen forraje

Existen dos características importantes que debe de cubrir un cultivar para la obtención de forraje. Una es producir la mayor cantidad de biomasa posible, y la otra es la calidad de la biomasa producida en términos de materia digestible (Cooper y Morris, 1986).

Para obtener los mejores resultados en cuanto a rendimiento y calidad nutricional de las especies forrajeras se requiere contar con variedades que tengan buena adaptación a la zona de producción (Valdés 2006). Entre las principales características de una buena planta forrajera se tienen las siguientes:

1. Alto valor nutritivo
2. Fácil establecimiento
3. Estabilidad de la producción de forraje
4. Buena palatabilidad
5. Adaptación a factores particulares (inundación, corte, conservación, respuesta a la fertilización etc.)
6. Ausencia de sustancias toxicas o antinutricionales
7. Índice de área foliar elevado
8. Alta proporción de hojas con relación a los tallos

9. Tolerancia a condiciones adversas

10. Periodo vegetativo largo

2.3 Importancia de los cereales forrajeros en la alimentación animal

En los países desarrollados los cereales representan la principal fuente de alimentación para los animales. Sin embargo a pesar de su alto contenido energético algunos de ellos tienen como limitación su alto contenido en celulosa.

A pesar del carácter eminentemente energético de los cereales y dada la escasez de materias primas para la elaboración de alimentos balanceados se ha vuelto una necesidad mejorar su composición nutricional, principalmente el contenido de proteínas, de tal modo que se obtenga mayor cantidad de alimentos, con mayor valor alimenticio y a un menor costo. (López 1991).

El modelo de producción ganadera actual demanda un aumento en el rendimiento de forraje con calidad para las diferentes regiones agrícolas, lo cual se puede lograr empleando mejores prácticas de manejo, y a través del mejoramiento genético de las especies forrajeras, optimizando así el uso de los diferentes recursos para su desarrollo (Osuna et al., 2015).

En México las evidencias obtenidas en diversos trabajos de investigación demuestran que el mejoramiento genético de las especies de cereales forrajeros, así como también su continua evaluación, constituyen la forma más viable para incrementar los índices de producción y productividad animal al mismo tiempo que se reducen los costos para estos procesos. Por lo tanto cada día cobra mayor importancia la necesidad de disponer de nuevos y mejores cultivares para la obtención de forraje, que teniendo en cuenta sus características agronómicas y sus cualidades nutritivas, superen a los cultivares anteriores e incluso a los que actualmente se utilizan para este fin (Medina 2014).

Según datos del SIAP (2015) del total de la producción forrajera que proviene del cultivo de cereales de grano pequeño en el país, el estado de México contribuye con el 10%, sobresaliendo el cultivo de avena con la mayor superficie sembrada (61,439 ha), mientras que el trigo para fines forrajeros es el de menor importancia.

En la actualidad se presentan muchos problemas en cuanto a la producción de forrajes debido a las necesidades alimenticias de la población que se encuentra en continuo crecimiento, mientras que la superficie para la producción forrajera es cada vez menor. Por lo anterior cada vez cobra mayor importancia la evaluación e introducción de nuevos cultivares adaptados a las condiciones particulares de cada región, que además sean altamente rendidores con un alto valor nutricional y requieran de una menor cantidad de insumos para lograr tales objetivos (Medina 2014).

2.4 Aspectos importantes de los cereales de grano pequeño con aptitudes forrajeras

2.4.1 Avena (*Avena sativa* L.)

La avena es una importante planta productora de grano en varios países, que también se utiliza como forraje para la alimentación de animales en pastoreo, heno o ensilado. Esta gramínea produce forraje de buena calidad cuando otros cultivos forrajeros de mejor calidad son escasos, por su amplio rango de adaptabilidad y su capacidad de producción en una gran variedad de climas, puesto que su cultivo es posible a una altitud que va desde los 0 hasta los 3000 msnm (Ramírez, *et al.* 2013).

La avena ocupa el quinto lugar en producción mundial de cereales, siendo el cereal de mayor importancia en climas templados y fríos del hemisferio norte. Su principal aprovechamiento es en la alimentación animal como forraje, en pastoreo, heno o ensilado, siendo en cualquier estado un forraje apetecible y digestible para el ganado.

La productividad de la avena en unidades forrajeras es menor que el de otras especies de cereales de grano pequeño debido a su alto contenido de celulosa en el grano (López 1991).

Como forraje, la avena tiene alta digestibilidad, alta cantidad de energía metabolizable y su fibra presenta mejores cualidades que otros cereales de grano pequeño, mientras que el grano es rico en carbohidratos, proteínas y vitamina B.

El cultivo de avena forrajera es importante en la región de valles altos, por su alto rendimiento de forraje, además de su buena adaptación a ambientes templados, en esta zona se siembran 100 mil ha en altitudes que van de los 2000 a 3000 msnm, con más del 90% del área mencionada bajo condiciones de temporal (Espitia *et al.*, 2012).

2.4.2 Cebada (*Hordeum vulgare* L.)

La cebada es conocida como la especie cultivada con mayor antigüedad en la historia del hombre, cuyos granos se utilizaron para la producción de pan, incluso antes que el trigo. Tiene la ventaja sobre otros cereales de ser una planta más rústica, tolerante a la sequía y a la salinidad, además de cultivarse sobre terrenos marginales. Presenta un desarrollo rápido, lo que le permite producir forraje de buena calidad en menor tiempo y a un menor costo que otras especies forrajeras anuales (Colín *et al.*, 2007).

En México el cultivo de cebada se destina principalmente a la producción de malta para la industria cervecera, teniendo menor importancia su uso en la alimentación animal, ya sea como forraje o como grano para la elaboración de concentrados (Rojas *et al.*, 2000).

A pesar de sus bondades, en México se utiliza muy poco en la producción de forraje en comparación con la superficie que se le dedica a otros cultivos forrajeros tales como la avena. Lo anterior debido a la ausencia de variedades diseñadas para la producción de forraje, y el desconocimiento de su valor nutritivo al momento de ser cosechada (Colín *et al.*, 2009).

2.4.3 Triticale (*X. Triticosecale* Wittmack)

El triticale es un híbrido intergenérico producto de la cruce entre el trigo y centeno. El uso del triticale como cultivo forrajero se visualizó hace aproximadamente 40 años, actualmente el interés en el aprovechamiento del triticale como forraje para la alimentación de rumiantes sigue aumentando, sobre todo en países en vías de desarrollo donde se tiene escasos de alimento de buena calidad para el ganado (Quiroz 2006).

El triticale es un cereal que con el paso de los años y gracias a los avances en su mejora genética ha ganado interés a nivel mundial. Según datos de FAOSTAT (2014) entre los años 2000 y 2014 la superficie sembrada del cultivo de triticale en México se ha elevado de 1,170 a 23,700 hectáreas respectivamente.

En triticale el rendimiento de materia seca y la calidad de forraje son más prometedores que la producción de grano; asimismo el triticale presenta tolerancia a factores adversos, como la sequía,

enfermedades foliares, suelos pobres etc., por lo que cuenta con aptitudes suficientes para la producción de forraje con buena calidad en zonas de cultivo marginales (Murillo *et al.*, 2001).

El triticale en la alimentación animal puede utilizarse como grano o en forma de forraje, además de poder consumirlo animales monogástricos y rumiantes, a diferencia del grano de trigo, con el cual los rumiantes tienen cierta restricción en su consumo debido al contenido de gluten.

El forraje de triticale posee una mayor calidad que el de avena, además de una aceptable rendimiento de materia seca pudiendo igualar e incluso superar a la avena en este aspecto, incluso si se corta en etapas poco avanzadas del crecimiento se puede obtener forraje de buena calidad en periodos muy cortos (Polo, 2010).

2.4.4 Trigo (*Triticum aestivum L.*)

El trigo es una planta anual de crecimiento invierno-primaveral, que debido a su gran diversidad genética, puede crecer y reproducirse en ambientes muy diferentes entre sí. Este cultivo se ampliamente en muchas partes del mundo, por ser una especie que tiene un amplio rango de adaptación y por su gran consumo en muchos países (Moreno *et al.*, 2001).

El trigo no es una especie cultivada específicamente para ser aprovechado como forraje, en México la superficie destinada a tal fin es mínima comparándola con otros cereales de mayor importancia en este rubro como lo es la avena. De acuerdo con datos de SIAP (2015) en el Estado de México solo se destinan 2 hectáreas al cultivo de trigo con fines forrajeros.

Sin embargo en otras regiones del mundo el trigo es cultivado para la obtención de forraje bajo el sistema denominado trigo doble propósito (TDP), donde se tiene una primera producción de forraje y posteriormente un rebrote del cultivo para la obtención de grano. Esta práctica se extiende cada vez más y también el trigo va tomando un lugar importante dentro de las especies forrajeras por lo que los genotipos desarrollados para este sistema de TDP se orientan más en la obtención de un forraje de alta calidad nutricional (Morant *et al.*, 2009).

También es importante resaltar ciertos aspectos favorables del trigo respecto a otros cereales que lo vuelven una alternativa para la producción de forraje en ciertas regiones como son: mayor resistencia al frío, resistencia genética a enfermedades de la hoja, excelente reacción al pastoreo y

buena calidad y cantidad de forraje producido a lo largo del ciclo de cultivo (Bainotti y Gómez, 2006).

2.5 Composición química y calidad nutricional de los forrajes

En el Cuadro 1 se señalan los componentes de los forrajes y el grupo del nutriente al cual pertenece cada uno de ellos (Valdez 2006).

Cuadro 1. Composición de las diferentes fracciones del análisis inmediato de los alimentos.

Componente	Determinación del análisis proximal	Compuestos químicos que teóricamente pueden estar presentes en cada determinación
Agua	Humedad	Agua
Proteínas	Proteína cruda	Proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, aminos, nitratos, glúcidos
Lípidos	Extracto etéreo	Grasas, aceites, ceras, ácidos orgánicos, lipoproteínas, pigmentos liposolubles, esteroides, y vitaminas liposolubles (A, D, E, K)
Carbohidratos estructurales	Fibra cruda	Celulosa, hemicelulosa y lignina
Carbohidratos solubles	Extracto libre de nitrógeno	Monosacáridos, disacáridos y trisacáridos, pectinas, almidones, glucolípidos, almidón, resinas, taninos, pigmentos, ácidos orgánicos hidrosolubles y vitaminas hidrosolubles
Minerales	Cenizas	Elementos mayores: Ca, K, Mg, Na, P, S, Cl Esenciales traza: Fe, Mn, Cu, Co, I, Zn, Mo, Se, Cr Elementos no esenciales: Si, Ni, Ti, Al, V, B, Pb, Sn

Los forrajes en la alimentación de los animales cumplen la función de suministrar aquellos elementos que les son necesarios para atender a su crecimiento y desarrollo de manera normal. La cantidad de alimento consumida por un animal está determinada por varios factores, entre los más importantes esta la calidad de estos. La calidad de un forraje está determinada por la concentración de nutrientes que contiene (valor nutritivo) y las diferencias de estas concentraciones en sus diferentes fracciones botánicas (Pearson & Ison 1997).

La estructura celular está compuesta por material soluble, contenido principalmente en el citoplasma, vacuola y otros órganos. Uno de los principales componentes de la materia seca

relacionada con la calidad es el contenido de proteína, el cual se encuentra en diferente concentración, de acuerdo a la especie o la variedad de la cual se obtiene el forraje.

De manera general las especies de leguminosas contienen una mayor concentración de proteína cruda que los cereales, mientras que estos últimos se caracterizan por sus características energéticas debido a su mayor contenido de fibras (Hoopkins, 2000).

2.6 Fisiología y ecología de cereales forrajeros

El desarrollo de un cultivo está regulado por procesos complejos, a los cuales responde de manera distinta, ya que estos procesos se ven influenciados por factores tanto genéticos como ambientales, habiendo también interacción entre ambos.

Los cereales se caracterizan por su aptitud al amacollado, que consiste en la formación de numerosos tallos a partir del nudo de ahijamiento a nivel del suelo. El número de tallos o macollos resultantes está en función de (López, 1991):

- a. La aptitud genética del cultivar.
- b. La duración y condiciones de crecimiento en la etapa de amacollamiento.
- c. De la nutrición de la planta.

2.6.1 Desarrollo de los cereales forrajeros

El ciclo de desarrollo de los cereales se divide en diferentes periodos o fases, cada una de estas se define por las características que la planta manifiesta durante el mismo, y la importancia que tiene cada una de estas sobre los componentes productivos de nuestro interés.

- a. Periodo vegetativo: transcurre desde la germinación hasta el fin del macollage, este periodo se caracteriza por la formación de hojas y macollos.
- b. Periodo reproductivo: este periodo se define por un cambio estructural a nivel de meristemo, cambiando su función vegetativa por la reproductiva (diferenciación floral), comienza con la etapa de elongación de tallo y finaliza con la fecundación.
- c. Periodo de maduración: comienza después de la fecundación y la formación del embrión hasta la maduración completa de la semilla, pasando por una etapa de división celular y de

acumulación de carbohidratos y proteínas, incrementando el tamaño del grano (López, 1991).

2.6.2 Efecto de las principales variables medioambientales en el desarrollo de cereales forrajeros

El rendimiento de las especies de cereales forrajeras es el resultado de la interacción de distintos recursos que tienen las plantas para su desarrollo. Las variables a las que se les atribuye un mayor efecto sobre el desarrollo de especies de cereales son las climáticas, de las cuales resaltan la temperatura, el fotoperiodo y la vernalización (Soto y Hernández, 2012).

En las diferentes especies de cereales el desarrollo fenológico tiene una respuesta universal a la temperatura, lo que significa que todas las etapas de desarrollo son sensibles a la temperatura. Esta respuesta universal permite estimar la duración del ciclo del cultivo y de sus etapas, en unidades de tiempo térmico (TT) que se mide en grados-día ($^{\circ}\text{C d}$), de tal modo que a temperaturas más elevadas el desarrollo de la planta se acelera, acortando la duración de las diferentes etapas, dentro de umbrales de temperatura establecidos (Satorre *et al.*, 2003).

La permanencia de la planta en periodo vegetativo por un tiempo adecuado es necesaria para la formación de la superficie foliar, para posteriormente iniciar su etapa reproductiva. Algunas variedades necesitan de un periodo frío denominado vernalización para estimular el cambio de estado vegetativo a reproductivo, en cuyo caso de no cubrir el requerimiento de vernalización las plantas permanecerán en estado vegetativo, diferenciando hojas y macollando de manera abundante, retrasando la diferenciación floral, mientras que las variedades que no requieren de vernalización completan su desarrollo de manera normal (López, 1991).

La respuesta al fotoperiodo de las especies de cereales muestra diferencia entre los originarios de regiones templadas y de regiones cálidas, por lo general especies de cereales de grano pequeño (trigo, cebada, avena, etc.) son plantas de día largo, por lo cual la diferenciación floral se ve estimulada con un régimen de días con duración de entre 12 a 14 horas. Sin embargo las necesidades de días largos no son absolutas, pues días más cortos no siempre impiden la diferenciación floral, aunque si la retrasan, alargando el periodo vegetativo (López, 1991).

2.7 Influencia de la fertilización nitrogenada en el desarrollo de cereales forrajeros

El nitrógeno es el principal elemento mineral y el de mayor influencia en el rendimiento de los cereales, un adecuado crecimiento dependerá de una cantidad suficiente de nitrógeno disponible en el suelo a lo largo del ciclo de desarrollo de la planta.

Las reservas de nitrógeno provenientes de la descomposición de la materia orgánica y la fijación biológica por microorganismos, no siempre es la adecuada para soportar el mayor potencial de rendimiento, por lo que es necesario suplementar la cantidad de nitrógeno requerida por la planta con la adición de fertilizantes nitrogenados (Goodall, 1987).

2.7.1 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los componentes de calidad y rendimiento en los cereales forrajeros

Es difícil determinar el efecto de la adición de nitrógeno sobre la calidad y el rendimiento de forraje en especies de cereales, ya que la respuesta final podría variar debido a muchos factores (Satorre 2003). La respuesta a la fertilización nitrogenada de cereales forrajeros depende entre otros factores del momento de aplicación, en periodos de activo crecimiento se tiene una alta respuesta a la aplicación de nitrógeno, por lo que una aplicación oportuna y en adecuada cantidad se obtiene una importante mejora en los componentes de rendimiento de forraje (Goodall, 1987).

En algunos estudios relacionados se ha demostrado que el incremento en la dosis de nitrógeno aplicado al suelo se ve reflejado en una mayor acumulación de biomasa, del mismo modo al incrementar la cantidad de nitrógeno en etapas de alta demanda de este elemento se espera un incremento de otros componentes de rendimiento de forraje como son el número de tallos por metro cuadrado y la relación hoja-tallo (Gil *et al.*, 2014).

La mayoría de trabajos realizados con el uso de cereales forrajeros se centran en la mejora de los rendimientos sin prestar mucha atención a los cambios implícitos en su contenido nutricional. Para el caso de la calidad nutricional de cereales forrajeros el nitrógeno tiene especial importancia ya que la cantidad y calidad de las proteínas que contenga el forraje, dependerá de la cantidad de nitrógeno absorbido por la planta, siendo el contenido proteico uno de los aspectos más importantes para la obtención de un forraje de buena calidad (Goodall, 1987).

2.8 Importancia del estado de desarrollo en los cereales forrajeros

En términos generales los mismos factores que influyen en el rendimiento de materia seca también determinan la calidad del forraje; uno de los principales factores es el manejo del cultivo, y dentro de este la etapa fenológica en la cual se encuentra el cultivo al momento del corte o es pastoreado por el ganado. Para obtener el mejor forraje posible es necesario conocer los cambios físicos y químicos que ocurren en las diferentes etapas del crecimiento.

En las especies de cereales forrajeros, conforme avanza la madurez de la planta hay una disminución progresiva en el contenido de proteína, acompañada por un incremento en la concentración de fibras y consecuentemente una disminución en la digestibilidad (Cooper y Morris, 1986).

A medida que la planta envejece cambia su aspecto, la masa foliar que es de color verde oscuro en un principio se convierte más tarde en un haz de tallos secos, portadores de flores y frutos, al mismo tiempo que los limbos foliares dejan de crecer y se van desecando. Esta transformación morfológica corresponde a una regresión regular de la relación hoja/tallo.

Los limbos son ricos en agua y en constituyentes protoplasmáticos, mucho más que los tallos, en los que se acumula la celulosa, de tal modo que a medida que la planta va cumpliendo las fases de su desarrollo, pierde gradualmente parte del agua y de las materias nitrogenadas que abundan en los limbos foliares, al mismo tiempo que se va incrementando su contenido en celulosa. El aumento en el contenido de celulosa al envejecer la planta puede traer consigo una baja muy importante en su digestibilidad y su valor energético. De esta forma a medida que la planta envejece y ya no produce hojas, si no tallos, pierde una buena parte de su valor nutritivo (Duthil, 1980).

La calidad nutritiva del forraje de cereales de grano pequeño en etapa de crecimiento vegetativo es comparable con el aporte de un alimento concentrado, con lo cual es posible disminuir e incluso sustituir la suplementación alimenticia proveniente de los concentrados, disminuyendo así los costos de producción (Keles *et al.*, 2016).

La obtención del forraje de plantas en estados de desarrollo demasiado joven tiene ciertos inconvenientes, por contener un alto porcentaje de agua en su peso, lo que resultaría en un rendimiento de materia seca bajo. Por lo tanto la elección de un momento óptimo de corte está dado

por su estado de desarrollo donde se obtenga un rendimiento aceptable de este, combinado con una buena calidad nutricional que pueda ser aprovechable por los animales que lo consumirán (Muslera, 1991).

La comprensión de la dinámica entre el contenido nutricional de un forraje con las diferentes etapas en el crecimiento de este es muy importante en la elaboración de planes de alimentación en explotaciones ganaderas.

En las diferentes especies de cereales de grano pequeño, el rendimiento de materia seca digestible se incrementa de manera considerable en etapas del crecimiento más avanzadas, mientras que la calidad nutricional del forraje sigue un crecimiento inversamente proporcional (Figura 1). La dinámica entre la elevada acumulación de biomasa y el decremento en la calidad nutritiva del forraje en etapas avanzadas del crecimiento es diferente entre especies e incluso entre variedades, lo cual pudiera estar relacionado con los cambios en la relación hoja-tallo que mantiene la planta (Keles *et al.*, 2016).

La calidad del forraje de cereales de grano pequeño se ve influenciada por sus diferentes fracciones, en etapas avanzadas del crecimiento la calidad del forraje puede mejorar, disminuyendo la cantidad de fibra no digerible, esto como resultado del desarrollo del grano en estas etapas, habiendo un efecto de dilución en el contenido total de los componentes fibrosos, sin embargo en etapas avanzadas del crecimiento se tiene el mayor valor en la concentración de fibras en las fracciones de tallos y hojas (Ramírez *et al.*, 2013).

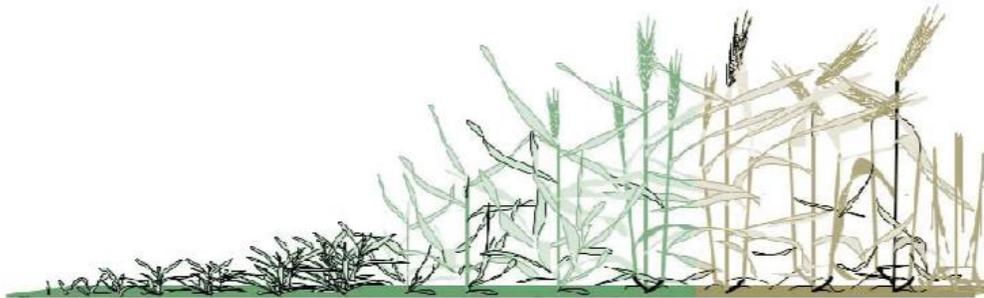
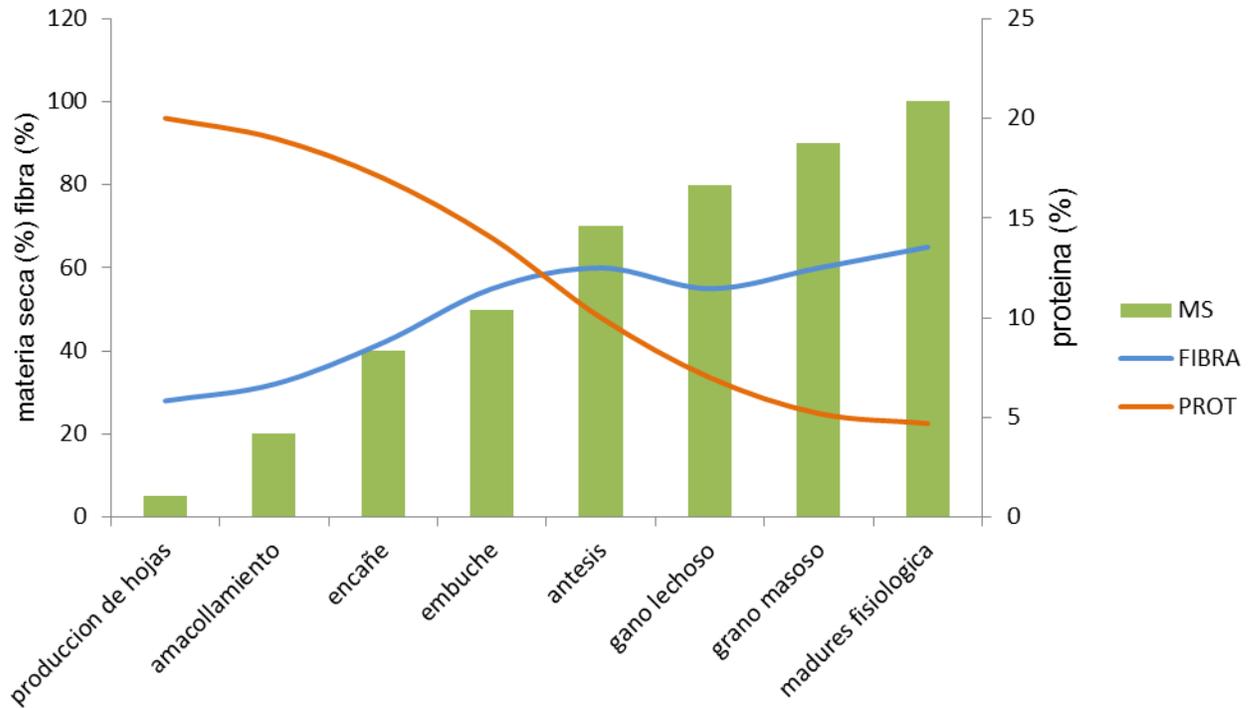


Figura 1. Interacción de los componentes de calidad y rendimiento de forraje con el estado de desarrollo de la planta en cereales de grano pequeño (modificado de Slafer and Rawson, 1994).

2.9 Rendimiento forrajero y calidad nutricional en cereales de grano pequeño

2.9.1 Estudios en avena

En una investigación conducida por Ramírez *et al.*, (2013), se determinó que la mejor etapa para el corte en avena es la de madurez fisiológica de grano, donde obtuvo el mayor rendimiento de forraje (4500 kg/ ha de MS en promedio) y una buena calidad de este mismo, lo cual lo atribuye a

la mayor proporción de grano en esta etapa, no obstante la concentración de fibra en la fracción follaje también alcanza su valor máximo en esta misma etapa.

Espitia *et al.*, (2007), en un estudio comparativo de variedades de avena en la zona de valles altos, obtuvieron el mejor rendimiento de materia seca (12.6t ha) y contenido de proteína cruda (11.8%), en la etapa de madurez fisiológica, en la variedad Obsidiana. Lo anterior lo relaciona con una mayor relación grano/paja de dicha variedad, con respecto al resto de las variedades en estudio.

Espitia *et al.*, (2012), en un trabajo donde se relacionó a la etapa de corte con la calidad nutricional en avena forrajera, resaltaron las etapas de grano masoso y grano lechoso, para optimizar la cantidad de forraje producido, obteniendo un rendimiento potencial de hasta 19t ha de MS, y la etapa de embuche en la cual alcanza el mayor contenido de proteína, obteniendo hasta 24% de proteína cruda.

Gil *et al.*, (2014) en un ensayo donde evaluó niveles de nitrógeno (60 y 100 N ha⁻¹) determinó que al aumentar la dosis de nitrógeno en avena incrementa el número total de macollos y la acumulación de materia seca, del mismo modo la mayor dosis de nitrógeno incrementa el contenido de proteína cruda, pero también el contenido de fibra aumenta.

2.9.2 Estudios en cebada

En un estudio conducido por Colín *et al.*, (2007) se encontraron genotipos de cebada imberbe con potencial para la producción de forraje en zonas con restricción en el uso del agua, debido a su precocidad y productividad, algunos materiales lograron obtener rendimientos superiores a 12 t ha⁻¹.

En un segundo ensayo realizado por Colín *et al.*, (2009) se concluyó que las líneas de cebadas imberbes evaluadas, conforme superan la etapa de embuche incrementan su materia seca, lignina y valores energéticos, mientras que disminuyen su contenido de proteína, fibras, cenizas y digestibilidad, manteniendo un adecuado valor nutritivo sin demeritar fuertemente su calidad.

Valdivieso (1999) realizó dos demostraciones con variedades de cebada (Capuchona y Esmeralda) en el estado de México, para la producción de forraje bajo condiciones de temporal y obtuvo como resultado en la primera demostración un rendimiento de cebada Capuchona de 11 t ha⁻¹ de forraje

verde en estado de madurez de inicio de espigamiento y en la segunda demostración en cebada esmeralda obtuvo de rendimiento de forraje verde 11.1 t ha^{-1} .

Catrileo *et al.* (2003), en un estudio de producción y calidad de ensilaje de cebada, determino que el momento óptimo de corte es en el estado de grano lechoso, donde obtuvo un 70% de digestibilidad, un contenido de proteína del 10.6% y una producción de materia seca de 14.1 t ha .

Valdes, (2006), en su trabajo de producción y calidad forrajera de 3 cereales de grano pequeño, obtuvo la mejor calidad nutricional en la variedad de cebada capuchona, por encima de las variedades de avena y triticale evaluadas, teniendo el valor más alto de proteína cruda en la etapa de embuche (11.59%) y en anthesis (8.62%), y el mejor valor valor alimenticio relativo también en ambas etapa, con valores de 145 y 109 MCal kg MS.

2.9.3 Estudios en triticale

Murillo *et al.*, (2001) en un experimento con líneas de triticale encontraron que las líneas de triticale facultativo presentan un mayor rendimiento de forraje con respecto a las líneas de triticale invernal y primaveral; obteniendo un rendimiento de hasta 30 t ha^{-1} de forraje verde.

Alatriste (2012) evaluó diferentes especies de cereales de invierno para la producción de forraje en cinco diferentes etapas de corte (45, 60, 75, 90 y 120 días), donde sobresalieron las líneas de triticale evaluadas en etapas tempranas del crecimiento (45 y 60 días), con el mayor rendimiento de materia seca, mayor peso de hojas y una cantidad menor de FDN y FDA, con respecto al resto de los cereales evaluados, mientras que en etapas más avanzadas del crecimiento (75,90 y 120 días) no encontró diferencias significativas entre especies en producción de forraje.

Polo, (2010), en su trabajo de evaluación de producción forrajera de variedades de triticale, en un primer muestreo en etapa de emergencia de la espiga, obtuvo un rendimiento de MS de hasta 8 t ha^{-1} en la variedad Trillan, mientras que en la etapa de grano masoso lechoso obtuvo hasta 17 t ha^{-1} en la variedad Titania.

Gil, (2008), estudio la influencia de la etapa de corte en la calidad del forraje de líneas de triticale, en este trabajo obtuvo un contenido de proteína de hasta 15% en la etapa de embuche, mientras que en la etapa de grano lechoso-masoso tuvo un valor máximo de 7.5%, destacando la variedad Supremo en ambas etapas, mientras que en los valores de FDA y FDN tuvo una menor

concentración en la etapa de embuche, mientras que en antesis obtuvo la mayor concentración, sin embargo en la etapa de grano lechoso-masoso la concentración de fibras disminuyó en todos los genotipos, dando como resultado una mejor digestibilidad.

2.9.4 Estudios en trigo

En un ensayo realizado por Carrillo *et al.*, (2010) se encontró que la producción de forraje de trigo se ve beneficiada utilizando dosis de nitrógeno de medias a bajas, donde se utilizó dosis de 30 y 60 kg de N ha⁻¹, obteniendo un rendimiento de forraje seco de 8.7 y 7.9 t ha⁻¹ respectivamente.

En su trabajo Morant *et al.*, (2009), compararon genotipos de trigo en sistemas de TDP, dándole mayor importancia a las características forrajeras deseables que a las de producción de grano de estas variedades, sobresalieron dos genotipos de trigo, las cuales menciona como con excelente aptitud forrajera, esto debido entre otras características a una alta relación hoja/tallo y a un gran número de hojas que se mantuvieron fotosintéticamente activas aun en etapas prolongadas del desarrollo. Estas características resultan altamente deseables cuando se trata de la producción de forraje; la manifestación de estas características se atribuyó principalmente a los altos requerimientos de frío y un periodo vegetativo de mayor duración de estas variedades.

Zamora, *et al* (2016), en su trabajo de evaluación de trigos imberbes para la producción de forraje, encontró líneas de trigo con adecuada producción y calidad de forraje, de manera similar o incluso superando a la avena y cebada. En la etapa de antesis obtuvieron un rendimiento promedio de MS de 13.32t ha⁻¹, y un contenido de proteína cruda de 10%, sobresaliendo por lo menos 5 genotipos de trigo imberbe por su mayor peso seco de hojas, con respecto a la avena y la cebada, evidenciando su selección para un mayor contenido de hojas.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 Ubicación y descripción del área de estudio

El trabajo se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano 2015 en los terrenos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el Campus Universitario “El Cerrillo”, a 18 kilómetros al norte de la Ciudad de Toluca. Este sitio se localiza geográficamente a 19° 17' de latitud norte, 99° 30' de longitud oeste y a una altitud de 2680 msnm.

El suelo predominante es del tipo Vertisol pélico de origen volcánico, caracterizado por presentar un alto contenido de arcillas con deficiente drenaje interno y con bajos contenidos en materia orgánica. La clase textural es franco arcillosa con un contenido de hasta 36% de arcilla. El clima prevaleciente de la región es el templado subhúmedo con lluvias en verano y poca oscilación térmica, presentando una precipitación promedio anual de 900 mm (Gil et al., 2014).

3.2 Factores de estudio

En el presente trabajo se estudiaron los efectos de la dosis de nitrógeno y la etapa de crecimiento al corte (embuche, anthesis y grano lechoso-masoso), y los efectos genotípicos dentro de 4 especies de cereales de grano pequeño.

En el Cuadro 2 se muestra el nombre y origen de las ocho variedades, la especie a la que pertenecen y el lugar o fuente donadora de donde se obtuvieron. La descripción de los diferentes factores y tratamientos en estudio establecidos en el experimento se observa en el Cuadro 3.

Cuadro 2. Denominación y origen del material genético utilizado en el trabajo experimental.

Núm.	Especie	Variedad	Fuente
1	Avena	Avemex	INIFAP ¹
2	Avena	Karma	INIFAP ¹
3	Cebada	Esmeralda	ICAMEX ²
4	Cebada	Capuchona	RSI ³
5	Triticale	Bicentenario	ICAMEX ²
6	Triticale	Línea 3	CIMMYT ⁴
7	Trigo	Tollocan	ICAMEX ²
8	Trigo	Baguette	INTA ⁵

¹ = Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

² = Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria del Estado de México.

³ = Resource Seeds International

⁴ = Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

⁵ = Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina.

Cuadro 3. Factores de estudio y niveles evaluados en el trabajo experimental

Factor	Nivel	Descripción
Nitrógeno	N1	60 kg N/ha
	N2	120 kg N/ha
Etapas de corte	E1	Embuche
	E2	Antesis
	E3	Grano lechoso-masoso
Genotipo	Avemex	
	Karma	
	Esmeralda	
	Capuchona	
	Bicentenario	
	Línea 3	
	Tollocan	
	Baguette	

3.3 Diseño experimental

Para cada uno de los dos niveles de nitrógeno se estableció un diseño de parcelas divididas en tiempo con arreglo en bloques completos al azar y tres repeticiones. Los genotipos fueron asignados a las parcelas principales y las etapas de corte a las parcelas chicas o subparcelas. La parcela experimental consistió en 4 camas de 80 cm de ancho por 6 m de largo. En cada cama se conformaron dos hileras de siembra con una separación de 20 cm entre hileras y la parcela experimental útil estuvo constituida por los 4 m interiores de las dos camas centrales.

3.4 Manejo del trabajo experimental

Para la preparación de la cama de siembra se realizó un barbecho, un paso de rastra y posteriormente se trazaron los surcos y se trazaron cada uno de los bloques y las unidades experimentales. La siembra se realizó el día 26 de junio del 2015, de forma manual, depositando la semilla en las hileras a manera de chorrillo. La densidad de siembra que se utilizó fue de 300 semillas por m².

El control de malezas se realizó de manera convencional con herbicidas, del mismo modo que se haría con un cultivo comercial, el herbicida utilizado para tal fin fue “Peak 57WG”, con ingrediente activo “Prosulfuron” a una dosis equivalente a 40g/ha. La aplicación del herbicida se realizó previa a la etapa de macollamiento, cuando la maleza no rebasaba los 5 cm de altura.

La fertilización al momento de la siembra fue igual para todo el experimento, con el tratamiento 60-60-30, utilizando como fuentes de nitrógeno, fosforo y potasio: urea, súper fosfato triple y cloruro de potasio respectivamente, y solo en las parcelas correspondientes al experimento donde se utilizó una dosis alta de nitrógeno (N2) se realizó una segunda aplicación de 60 unidades de nitrógeno en la etapa de macollamiento.

En cada una de las parcelas experimentales se llevaron a cabo muestreos dentro de las dos camas centrales en un área de 0.40 m² cuando las plantas alcanzaron las siguientes etapas fenológicas:

- **Embuche.** cuando la hoja bandera de las plantas se encontraba totalmente expandida, pero sin ser visibles las aristas de la inflorescencia
- **Antesis.** cuando el 50% de las plantas muestraban anteras visibles en sus inflorescencias

- **Grano lechoso-masoso.** cuando los granos de las espigas se encontraban en los últimos instares del estado lechoso

Las fases fenológicas anteriores corresponden a las etapas: Z45, Z65 y Z82, de la escala decimal propuesta por Zadoks, (1974).

3.5 Variables de estudio

3.5.1 Producción de forraje y componentes del Rendimiento de Materia Seca (RMS)

En cada una de las parcelas experimentales de los dos ensayos se estimó la producción de forraje y con ello la respuesta a la dosis de nitrógeno, para cada una de las etapas fenológicas descritas anteriormente. Con el material vegetal colectado de cada muestra se estimaron los siguientes componentes del RMS:

- **Numero de tallos por m² (NT).** Se contó el número de tallos obtenidos en el área de muestreo y al dividir el resultado entre 0.40m² se obtuvo el equivalente de macollos por m².
- **Peso fresco de forraje (PFF).** Se registró el peso de forraje producido de manera inmediata a la cosecha y se expresó en t ha⁻¹.
- **Peso seco de forraje (PSF).** Se registró el peso de forraje producido en cada parcela después de haber sido secado en una estufa con aire forzado a una temperatura de 55-60°C por un periodo de 72 h, el resultado se expresó en rendimiento de materia seca en t ha⁻¹.

3.5.2 Distribución de la materia seca

Del total de plantas colectadas en el área de muestreo se tomó una sub-muestra al azar de 25 macollos y se pesaron en fresco, dentro de cada sub-muestra se separaron las hojas (sin considerar la vaina), los tallos (incluyendo la vaina de la hoja) y las inflorescencias (excepto en la etapa de embuche), para ser secados en la estufa de manera separada a 55-60°C por un periodo de 72 h; enseguida se registró el peso en gramos de cada componente, para después expresarlo en gramos por m². La relación hoja-tallo (RHT) se obtuvo de dividir el peso seco de las hojas entre el peso seco del tallo.

3.5.3 Contenido nutricional del forraje

Las muestras de forraje seco de cada genotipo y etapa de corte se trituraron conjuntamente de manera preliminar en un molino de martillos, para posteriormente tomar una sub-muestra de 200 g, la cual recibió una segunda molienda en un molino ciclónico de tal modo que se obtuvo un tamaño de partícula de 0.8-1.0 mm. La muestra obtenida de la segunda molienda se empleó para realizar las siguientes determinaciones en laboratorio:

- **Cenizas (Cz).** Para esta prueba se sometió una muestra de forraje con un peso aproximado de 2g a incineración dentro de crisoles de porcelana en una mufla a temperatura de 550-600°C durante tres horas. El porcentaje de cenizas se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$Cz(\%) = \left[\frac{W_{cz} - W_c}{W_{ms}} \right] \times 100$$

Dónde:

W_c = peso constante del crisol

W_{ms} = peso de la muestra seca

W_{cz} = peso del crisol conteniendo las cenizas

- **Proteína cruda (PC).** Se determinó el contenido de N por el método microkjeldahl, colocando en un matraz de 100 ml una muestra de 0.20 g de forraje seco envuelto en un trozo de papel, el cual contenía 3 ml de H_2SO_4 y media pastilla digestora. Una vez realizada la digestión de la muestra se realizó una destilación, usando una mezcla de agua destilada (20 ml) y NaOH al 40% (15 ml). Para determinar el contenido de nitrógeno se realizó una titulación con HCl al 0.1 N, hasta obtener un viraje de azul a rosa y se registró el gasto de HCl. El contenido de N se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$N(\%) = \left[\frac{(mlg - mlb) \times 1.401}{W_{ms} \times 10} \right]$$

Dónde:

mlg = mililitros gastados en la titulación de la muestra

mlb= mililitros gastados en la titulación del blanco

Wms= peso seco de la muestra

El contenido de proteína cruda (PC) se obtuvo de multiplicar el contenido de nitrógeno por 6.25.

- **Fibra detergente neutra (FDN).** Se colocaron muestras de 0.5 g en bolsas para determinación de fracciones de fibra Ankom previamente pesadas y se colocaron en una solución detergente neutro dentro de un digestor de fibras Ankom por un periodo de 75 minutos, para después ser enjuagado con agua destilada a 90°C y dejarse en reposo durante 5 minutos, se eliminó el exceso de agua y se colocó en un vaso de precipitado con acetona durante 5 minutos y enseguida se secaron las bolsas en la estufa durante 1 h a 105° C, finalmente se dejaron enfriar y se pesaron las bolsas nuevamente para obtener el% de FDN como se describe a continuación:

$$FDN(\%) = \left[\frac{Wbd \left[Wbx \left[\frac{Wcod}{Wbco} \right] \right]}{Wm} \right] \times 100$$

Dónde:

Wbd= peso de la bolsa con muestra, después de la digestión DN

Wb= peso original de la bolsa

Wm= peso de la muestra seca

Wcod= peso de la bolsa del blanco después de la digestión DN

Wbco= peso de la bolsa del blanco

- **Fibra detergente ácido (FDA).** Las bolsas de donde se obtuvo la FDN se sometieron a una segunda digestión en solución detergente ácido en el digestor de fibras Ankom, por un periodo de 60 minutos. Posteriormente se enjuagaron las bolsas con agua destilada a 90°C y se dejaron en reposo durante 5 minutos, se eliminó el exceso de agua y se secaron en estufa durante 1 h a 105°C para después dejarse enfriar y finalmente pesar las bolsas para obtener el % de FDA tal como se describe a continuación:

$$FDA(\%) = \left[\frac{Wbd \left[Wbx \left[\frac{Wcod}{Wbco} \right] \right]}{Wm} \right] \times 100$$

Dónde:

Wbd= peso de la bolsa con muestra después de la digestión DA

Wb= peso original de la bolsa

Wm= peso de la muestra seca

Wcod= peso de la bolsa del blanco después de la digestión DA

Wbco= peso de la bolsa del blanco

Con los datos obtenidos de las fracciones de fibra (FDN, FDA) y PC se estimaron los siguientes parámetros, de acuerdo a las formulas propuestas por la universidad de Clemson (formulas for feed and forage análisis calculations, Agricultural Service Laboratory, Clemson University).

- **Total de nutrientes digestibles (TDN).**

$$TDN = 81.38 + [(CP \times 0.36) - (FDA \times 0.77)]$$

- **Energía neta de lactancia (ENL).**

$$ENL(Mcal\ kg^{-1}) = [(TND \times 0.0245) - 0.12]$$

- **Energía neta de ganancia (ENG).**

$$ENG(Mcal\ kg^{-1}) = [(0.029 \times TND) - 1.01]$$

- **Valor Alimenticio Relativo (VAR).**

$$VAR = \frac{[(88.9 - (0.779 \times FDA)) \times \left(\frac{120}{FDN}\right)]}{1.29}$$

3.6 Análisis Estadístico

Con la información obtenida de las variables de estudio y parámetros estimados de cada parcela experimental se realizó el análisis de varianza combinado para estudiar los efectos de los factores en estudio y sus diferentes niveles (descrito en el Cuadro 4), bajo el modelo estadístico del diseño experimental de parcelas divididas en serie, siguiendo el modelo lineal:

$$Y_{ijkl} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \delta_{ij} + \beta_k + \alpha\beta_{jk} + \lambda_{ijk} + \gamma_l + \alpha\gamma_{jl} + \beta\gamma_{kl} + \alpha\beta\gamma_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Las pruebas de comparación de medias se realizaron mediante la prueba del rango estudentizado de Tukey a un nivel de error del 0.05.

El análisis estadístico de los datos se llevó a cabo con el paquete estadístico SAS versión 8.12 (SAS, 1990).

Cuadro 4. Fuentes de variación (F.V), grados de libertad (g.l.), suma de cuadrados (S.C.), cuadrados medios (C.M.) y valores de F para el análisis de varianza.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fcal ^t
Repeticiones(R)	r-1	S.C. ₁	C.M. ₁	F=C.M. ₁ /C.M. ₃
Nitrógeno (N)	n-1	S.C. ₂	C.M. ₂	F=C.M. ₂ /C.M. ₃
RxN	(r-1)(n-1)	S.C. ₃	C.M. ₃	
Genotipo (G)	g-1	S.C. ₄	C.M. ₄	F=C.M. ₄ /C.M. ₆
GxN	(g-1)(n-1)	S.C. ₅	C.M. ₅	F=C.M. ₅ /C.M. ₆
N (GxR)	n(r-1)(g-1)	S.C. ₆	C.M. ₆	
Etapas (E)	e-1	S.C. ₇	C.M. ₇	F=C.M. ₇ /C.M. ₁₁
NxE	(n-1)(e-1)	S.C. ₈	C.M. ₈	F=C.M. ₈ /C.M. ₁₁
GxE	(g-1)(e-1)	S.C. ₉	C.M. ₉	F=C.M. ₉ /C.M. ₁₁
GxNxE	(n-1)(g-1)(e-1)	S.C. ₁₀	C.M. ₁₀	F=C.M. ₁₀ /C.M. ₁₁
GN (RxE)	gn(r-1)(e-1)	S.C. ₁₁	C.M. ₁₁	
Total	Rgne	S.C. ₁₂		

^t cálculo de los valores de F utilizando los cuadrados medios del error

IV. RESULTADOS

4.1 Elementos del clima

En la Figura 1 se muestran las condiciones climáticas de precipitación y temperatura a las que se expusieron los genotipos evaluados, desde el momento de la siembra y hasta la fecha del último muestreo realizado, medido en días después de la siembra (DDS).

Se observa que la precipitación total acumulada en los 120 días fue de 321.4 mm, mientras que la temperatura media fue de 14.6 °C. Entre los 80 y 90 DDS se registró la mayor cantidad de precipitación, correspondientes a las fechas entre el 11 y el 21 de septiembre, acumulando 92 mm de precipitación, mientras que entre 30 y 45 DDS, correspondientes a las fechas entre el 23 de julio y el 7 de agosto, se observa un periodo de muy baja precipitación, acumulando solo 4.8 mm en este periodo.

Las temperaturas se mantuvieron relativamente constantes a lo largo del periodo incrementando en pocos ° C en los periodos de precipitación baja o nula y disminuyendo cuando se presentaban lluvias considerables.

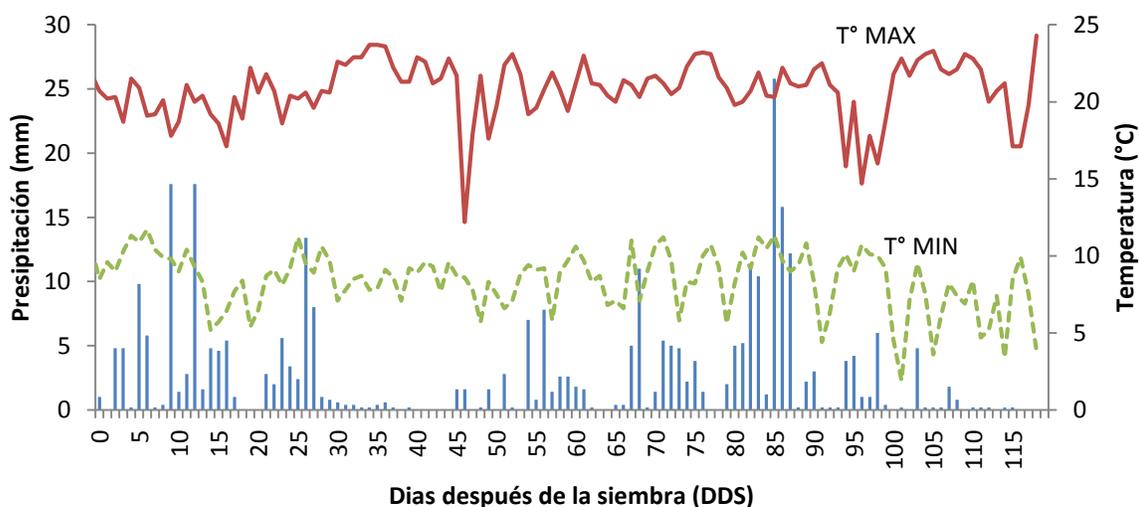


Figura 2. Variaciones de la precipitación y la temperatura a lo largo de la temporada de crecimiento del cultivo.

4.2 Análisis de varianza

4.2.1 Producción de forraje y componentes del Rendimiento de Materia Seca (RMS)

Los resultados del análisis de varianza se muestran en el Cuadro 5, donde se observa que para el factor Nitrógeno (N), se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en la relación hoja-tallo (RHT), mientras que para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de inflorescencia (PSI) y peso seco de hojas (PSH) se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) y para peso seco de tallos (PST), el valor de F no resultó significativo ($P > 0.05$). Para el factor Genotipo (G), los valores de F fueron altamente significativos ($P < 0.01$) para todas las variables en estudio, por otro lado en la interacción Genotipo x Nitrógeno (GxN), no se presentaron efectos significativos para ninguna de las variables, por lo que únicamente se compararon las medias de los efectos generales de los factores de esta interacción.

Para el factor de Etapa de corte (E) se detectaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para la mayoría de las variables en estudio, excepto en NT donde el valor de F resultó no significativo, mientras que para la interacción Nitrógeno x Etapa de corte (NXE), se presentaron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) en las variables PSF y PSI; para PFF, PST y RHT, los efectos de esta misma interacción fueron significativos al 0.05, mientras que para NT y PSH no fue significativa la interacción NxE ($P > 0.05$). Para la interacción Genotipo x Etapa de corte (GxE) el valor de F resultó no significativo ($P > 0.05$) únicamente para NT, mientras que para el resto de las variables se detectaron efectos altamente significativos ($P < 0.01$).

En la interacción Genotipo x Nitrógeno x Etapa de corte (GxNxE), se presentaron efectos significativos ($P < 0.05$) únicamente para NT mientras que en el resto de las variables los valores de F resultaron no significativos ($P > 0.05$).

Cuadro 5. Valores F y su significancia estadística del análisis de varianza combinado para número de tallos por m² (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de tallos (PST), peso seco de hojas (PSH), relación hoja-tallo (RHT) y peso seco de inflorescencia (PSI).

F.V.	g.l	NT	PFF	PSF	PST	PSH	RHT	g.l	PSI
N	1	9.75*	9.52*	8.28*	4.88 _{ns}	7.97*	22.17**	1	15.95*
G	7	16.41*	10.36*	12.69**	23.95**	7.16**	11.47**	7	12.74**
GxN	7	0.94 _{ns}	0.67 _{ns}	0.67 _{ns}	0.77 _{ns}	1.32 _{ns}	2.10 _{ns}	7	1.36 _{ns}
E	2	2.76 _{ns}	27.89*	358.86*	127.75*	15.34*	276.45*	1	373.17*
NxE	2	2.49 _{ns}	4.44*	10.49**	4.89*	0.36 _{ns}	3.67*	1	10.29**
GxE	14	1.38 _{ns}	4.42**	7.53**	10.95**	4.76**	4.62**	7	3.43**
GxNx E	14	2.5*	0.81 _{ns}	0.87 _{ns}	0.96 _{ns}	1.41 _{ns}	0.78 _{ns}	7	0.74 _{ns}
C.V.		11.18%	13%	13.14%	13.21%	13.46%	11.47%		17.79%

ns= no significativo.

*, **= significativo al 0.05, 0.01.

C.V.= coeficiente de variación

4.2.2 Composición química y contenido nutricional del forraje

Los resultados del análisis de varianza combinado se muestran en el Cuadro 6, en el que se observa que para el factor Nitrógeno (N) se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en las variables: proteína cruda (PC), energía neta de lactancia (ENL) y energía neta de ganancia (ENG), mientras que para fibra detergente ácido (FDA) y cenizas (CZ) se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) y para fibra detergente neutro (FDN) y valor alimenticio relativo (VAR) no hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las dosis de N. Para el factor Genotipo (G) y la interacción (GxN), se encontraron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) en todas las variables en estudio.

Para el factor Etapa de corte (E), se presentaron efectos altamente significativos para todas las variables en estudio; mientras que para la interacción Nitrógeno x Etapa de corte (NxE), se encontraron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) únicamente para PC y CZ y efectos significativos ($P < 0.05$) para FDN y ENG. En las interacciones Genotipo x Etapa de corte (GxE) y Nitrógeno x genotipo x Etapa de corte (NXGXE) se encontraron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) para todas las variables en estudio.

Cuadro 6. Valores F y su significancia estadística del análisis de varianza para proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).

F.V.	g.l	PC	FDN	FDA	CZ	ENL	ENG	VAR
N	1	702.81*	0.06 _{ns}	17.78*	36.76*	142.57*	177.12*	5.15 _{ns}
		*				*	*	
G	7	35.29**	173.63**	108.12*	26.71**	95.30**	99.36**	197.32**
				*				
GxN	7	13.80**	9.77**	8.46**	16.55**	7.12**	7.68**	15.08**
E	2	491.77*	1060.64*	354.17*	216.54*	251.80*	266.77*	1415.06*
		*	*	*	*	*	*	*
NxE	2	26.73**	4.30*	3.06 _{ns}	24.11**	2.81 _{ns}	3.63*	1.01 _{ns}
GxE	14	12.70**	81.75**	46.63**	9.45**	38.73**	40.65**	129.96**
GxNx	14	14.87**	9.91**	4.39**	6.21**	4.73**	5.86**	12.48**
E								
C.V.		5.77%	1.46	2.23%	5.54%	0.97%	2.04%	1.71%

ns= no significativo.

*, **= significativo al 0.05, 0.01.

4.3 Efectos generales de los diferentes factores y niveles evaluados

4.3.1 Producción de forraje y componentes de Rendimiento de Materia Seca (RMS)

4.3.1.1 Efecto de la dosis de nitrógeno

El aumento en la dosis de nitrógeno de una dosis de 60 kg N ha⁻¹ a 120 kg N ha⁻¹, afectó directamente a los componentes del rendimiento de materia seca, incrementándose los valores medios de dichos caracteres al aumentar la cantidad de nitrógeno aplicado (Cuadro 7).

Para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de tallos (PST), peso seco de hojas (PSH), peso seco de inflorescencia (PSI) y relación hoja-tallo (RTH), se observaron aumentos del 10%, 21.9%, 18.9%, 11.6%, 26.3%, 31.2% y 13.8%, respectivamente, sin embargo, para PST, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (P>0.05).

4.3.1.2 Efecto de la etapa de corte

La etapa de corte tuvo un efecto directo sobre la producción de materia seca y algunos de sus componentes morfológicos. Para NT, PSH, y RHT se observaron reducciones equivalentes a 5.5%, 14.8% y 42.8% respectivamente al pasar de la etapa de embuche a la etapa de antesis, mientras que para PFF, PSF y PST, se registraron incrementos del 4.3%, 47.4% y 23.5 respectivamente, sin embargo en NT y PFF, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$) entre las dos primeras etapas de corte (Cuadro 7).

Al pasar de la etapa de antesis a la etapa de grano lechoso-masoso observaron incrementos del 2%, 15%, 41.7%, 24.8%, 2.9% y 108%, en las variables NT, PFF, PSF, PST, PSH y PSI, respectivamente, sin embargo, en NT y PSH, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$), mientras que para RHT se presentó una reducción del 16.7% (Cuadro 7).

4.3.1.3 Efectos genotípicos

En el Cuadro 7 se presentan las medias generales obtenidas por cada uno de los genotipos evaluados en las diferentes variables de estudio. Para NT se observa que las variedades de trigo Baguette y cebada Capuchona mostraron la mejor capacidad de amacollamiento con el mayor número de tallos por m^2 (>500), destacando la variedad de trigo Baguette, mientras que la menor cantidad de tallos por m^2 , se observó en la variedad de trigo Tollocan.

Para PFF, las dos variedades de avena mostraron los promedios más altos, destacando la variedad Avemex con rendimientos de forraje fresco cercanos a las $42 t ha^{-1}$, mientras que la variedad de trigo Tollocan mostró el menor potencial de rendimiento de todos los genotipos ensayados. Para PSF, nuevamente destacaron las variedades de avena y también el triticale con rendimientos mayores a $9 t ha^{-1}$, siendo la variedad de triticale Bicentenario la que presentó el mejor rendimiento de materia seca, mientras que la variedad de cebada Esmeralda obtuvo el menor rendimiento.

Para PST, ambas variedades de triticale sobresalieron de los demás genotipos, mostrando pesos mayores de $600 g m^{-2}$, seguido por las variedades de avena sin diferenciarse de manera significativa ($P>0.05$) de estas, mientras que la variedad de cebada esmeralda presentó el menor peso.

En PSH, sobresalió la variedad de trigo Baguette, seguida de las dos variedades de triticale sin diferenciarse de manera significativa ($P>0.05$), mientras que la variedad de cebada Esmeralda registró el menor peso. Para PSI, las variedades de Avena mostraron los promedios más altos,

destacando la variedad Karma, mientras que el menor peso se observó en las dos variedades de trigo, diferenciándose de manera significativa ($P < 0.05$) con el resto de los genotipos.

Por lo que se refiere a la RHT, las variedades trigo Baguete y cebada Capuchona presentaron los promedios más altos con una diferencia de apenas 2.7% entre estas a favor de Baguette, mientras que ambas variedades de avena mostraron los valores más bajos.

Cuadro 7. Efectos generales de los principales factores y niveles para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de tallos (PST), peso seco de hojas (PSH), peso seco de inflorescencia (PSI) y relación hoja-tallo (RHT).

Factor/niveles	NT	PFF	PSF	PST	PSH	PSI	RHT
Dosis de nitrógeno	Tallos m ⁻²	-----t ha ⁻¹ -----	-----	-----g m ⁻² -----	-----	-----	-----
60 kg ha ⁻¹	422 b	29.2 b	7.9 b	482 a	133 b	269 b	0.29 b
120 kg ha ⁻¹	467 a	35.6 a	9.4 a	538 a	168 a	353 a	0.33 a
Etapas de corte							
Embuche	458 a	29.9 b	5.7 c	405 c	163 a		0.4 a
Antesis	434 a	31.2 b	8.4 b	500 b	142 b	202 b	0.28 b
Grano Lechoso-Masoso	443 a	35.9 a	11.9 a	624 a	146 b	420 a	0.24 c
Genotipo							
Avemex	451 bc	41.5 a	9.6 a	582 a	144 ab	354 a	0.26 d
Karma	470 bc	40.4 ab	9.4 a	548 a	137 bc	386 a	0.26 d
Capuchona	511 ab	29.3 cd	7.3 bc	409 c	147 ab	268 bc	0.36 ab
Esmeralda	411 cd	25.8 cd	6.9 c	354 c	110 c	338 ab	0.31 bcd
Bicentenario	361 d	34.2 abc	10.1 a	610 a	179 ab	326 ab	0.33 abc
L3	399 cd	32.1 bcd	9.9 a	606 a	163 ab	334 ab	0.29 cd
Baguette	560 a	31.9 bcd	8.8 ab	525 ab	187 a	253 c	0.37 a
Tollocan	394 cd	23.6 d	7.3 bc	444 bc	136 bc	228 c	0.31 bcd

*Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren significativamente entre sí (DMS 0.05)

4.3.2 Composición química y contenido nutricional del forraje

4.3.2.1 Efecto de la dosis de nitrógeno

El incremento en la aplicación de fertilizante nitrogenado afectó positivamente a la mayoría los componentes de calidad nutricional del forraje. En el Cuadro 8 se muestran las medias generales obtenidas por cada uno de los genotipos para cada variable en las dos dosis de nitrógeno evaluadas.

Para proteína cruda (PC), fue más evidente el efecto positivo al aumentar la dosis de nitrógeno, obteniéndose un incremento de 30%, mientras que en fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG), y valor alimenticio relativo (VAR), se registraron incrementos del 0.2%, 0.7%, 8.5%, 1.5%, 2.6%, y 0.9% respectivamente, sin embargo para FDN y VAR no se observaron diferencias estadísticamente significativas ($P>0.05$).

4.3.2.2 Efecto de la etapa de corte

La etapa de corte tuvo un efecto directo en los diferentes componentes de calidad nutricional del forraje. Para PC, CZ, ENL, ENG y VAR se observaron reducciones del 17.2%, 15%, 4.4%, 8.2% y 9.6% respectivamente, mientras que para FDN y FDA sus valores se incrementaron en 6.2% y 7.8% de manera respectiva, lo anterior al pasar de la etapa de embuche a antesis (Cuadro 8).

En la transición de la etapa de antesis a la etapa de grano lechoso-masoso, se redujeron las concentraciones de PC, FDN, FDA y CZ en 24.2%, 14.8%, 7.4% y 9%, respectivamente, mientras que en ENL, ENG y VAR se presentaron incrementos del 3.7%, 8.2% y 20.2% respectivamente. Para ENL Y ENG no se observaron diferencias significativas ($P>0.05$) entre las etapas de embuche y grano lechoso-masoso.

4.3.2.3 Efectos genotípicos

Los genotipos evaluados mostraron variación significativa para la mayoría de los componentes de calidad nutricional del forraje. La variedad de trigo Baguette destacó con el mayor contenido de proteína, diferenciándose de forma significativa ($P<0.05$) del resto de los genotipos, mientras que la variedad de cebada Esmeralda obtuvo el menor contenido de proteína, sin diferenciarse de manera significativa ($P>0.05$) de las dos variedades de avena y de la variedad de trigo Tollocan. Por lo que respecta a las fracciones de fibra, la variedad de cebada Esmeralda mostró la menor concentración de FDN, diferenciándose de manera significativa ($P<0.05$) del resto de los genotipos, mientras que el mayor contenido de FDN se encontró en la variedad de avena Avemex (Cuadro 8). De igual manera, para FDA la variedad de cebada Esmeralda mostró el valor más bajo, sin mostrar diferencias significativas ($P>0.05$) con el valor obtenido por la variedad de trigo Baguette,

mientras que la mayor concentración de FDA se observó en la variedad de avena Avemex, diferenciándose de manera significativa ($P<0.05$) de los demás genotipos. Las variedades de Cebada Esmeralda, triticale Bicentenario y trigo Tollocan mostraron los mayores contenidos de cenizas, con valores muy similares entre estas, mientras que la variedad de trigo baguette obtuvo el menor contenido de cenizas (Cuadro 8).

En cada uno de los ocho genotipos se observó una relación muy similar para ENL y ENG, donde sobresalieron las variedades de trigo Baguette y cebada Esmeralda con el mayor valor energético, mientras que la variedad de avena Avemex mostró el peor comportamiento, diferenciándose de manera significativa ($P<0.05$) del resto de las variedades. Por lo que se refiere al valor alimenticio relativo (VAR) destacó la variedad de cebada Esmeralda siendo la única con un VAR mayor a 120, diferenciándose de manera significativa ($P<0.05$) del resto de las variedades, mientras que la variedad de avena Avemex obtuvo el VAR más bajo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efectos generales de los principales factores y niveles para proteína cruda (PC), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).

Factor/niveles	PC	FDN	FDA	CZ	ENL	ENG	VAR
Dosis de nitrógeno	----- g kg ⁻¹ MS ----- ---Mcal kg ⁻¹ MS---						
60 kg ha ⁻¹	75 b	538 a	297 b	59 b	1.37 b	0.76 b	114 a
120 kg ha ⁻¹	98 a	539 a	299 a	64 a	1.39 a	0.78 a	115 a
Etapas de corte							
Embuche	102 a	541 b	295 b	69 a	1.41 a	0.79 a	114 b
Antesis	87 b	575 a	318 a	60 b	1.35 b	0.73 b	104 c
Grano lechoso-masoso	70 c	501 c	296 c	55 c	1.4 a	0.79 a	125 a
Genotipo							
Avemex	81 c	579 a	327 a	58 de	1.33 e	0.7 e	102 g
Karma	79 c	566 b	316 b	60 cd	1.35 d	0.72 d	106 f
Capuchona	78 c	541 c	298 c	58 de	1.38 c	0.76 c	113 e
Esmeralda	89 b	511 e	277 e	66 a	1.43 a	0.82 a	124 a
Bicentenario	90 b	522 d	298 c	66 a	1.39 bc	0.77 bc	118 bc
L3	92 b	536 c	301 b	62 bc	1.38 c	0.77 c	115 de
Baguette	98 a	535 c	283 de	56 e	1.42 a	0.82 a	117 cd
Tollocan	83 c	520 d	287 d	65 ab	1.4 b	0.79 b	120 b

*Medias con la misma letra dentro de cada columna no difieren significativamente entre sí (DMS 0.05).

4.4 Interacción genotipo x nitrógeno

Para el estudio de esta interacción se muestran solo los resultados obtenidos para las variables de rendimiento y calidad nutricional del forraje donde se encontraron efectos significativos en los análisis de varianza correspondientes al Cuadro 5 y Cuadro 6.

En los ocho genotipos se presentó una respuesta positiva en el contenido de proteína cruda (PC), al pasar de una dosis de nitrógeno baja (60 kg N ha^{-1}), a una dosis alta (120 kg N ha^{-1}), sin embargo, la respuesta fue más pronunciada en algunos genotipos. Tal fue el caso de la variedad de cebada Capuchona con un incremento en su contenido proteico cercano al 69%. La variedad de trigo Baguette obtuvo el mayor contenido de proteína con la dosis alta de nitrógeno, con un valor de 108 g kg^{-1} .

Por lo que se refiere a las fracciones de fibra los genotipos exhibieron una respuesta diferencial a la dosis de N. Por un lado, las dos variedades de cebada, y la variedad de trigo Baguette incrementaron su contenido de FDN con la dosis alta de N, mientras que en el resto de los genotipos se observó un efecto contrario al aumento en la dosis de N, destacando la variedad de avena Karma con una reducción en su contenido de FDN de 2.3%, sin embargo, que la menor acumulación de FDN (499 g kg^{-1}) se encontró con la cebada Esmeralda en la dosis baja de nitrógeno con.

En el caso de la fibra detergente ácido (FDA) se observó una respuesta positiva a la dosis de N en la cebada Esmeralda con un incremento cercano a 8.7%, mientras que en el resto de los genotipos no se observaron diferencias significativas entre las dos dosis de N, sin embargo, de nueva cuenta Esmeralda mostró la menor acumulación de FDA con la dosis baja de N, con un valor de 265 g kg^{-1} . Para cenizas (CZ) la cebada Esmeralda mostró el mejor comportamiento al aumentar la dosis de nitrógeno, ya que tuvo un incremento de 30%, y también Esmeralda obtuvo con la dosis más alta el mayor contenido de CZ, con 74 g kg^{-1} (Figura 3).

Para energía neta de lactancia (ENL), la mejor respuesta al N se observó en cebada Capuchona, con una diferencia de 29.4% entre las dos dosis de N, mientras que la cebada Esmeralda obtuvo el valor más alto en la dosis más baja, con $1.44 \text{ Mcal kg MS}^{-1}$. En el caso de la energía neta de ganancia (ENG), la variedad de trigo Tolloccan mostró el mejor comportamiento al aumentar la dosis de nitrógeno, con un incremento de 6.4%, sin embargo, de manera contraria se encontró que la cebada Esmeralda con una dosis baja de N obtuvo el valor más alto con $0.84 \text{ Mcal kgMS}^{-1}$. Para

valor alimenticio relativo (VAR) la cebada Esmeralda mostró una respuesta negativa al N, decreciendo su VAR en 8.4% al aumentar la dosis de nitrógeno, de igual forma, Esmeralda obtuvo el VAR más alto (129), con una dosis baja de N, mientras que en el resto de los genotipos no se presentaron respuestas significativas a la dosis de nitrógeno (Figura 4).

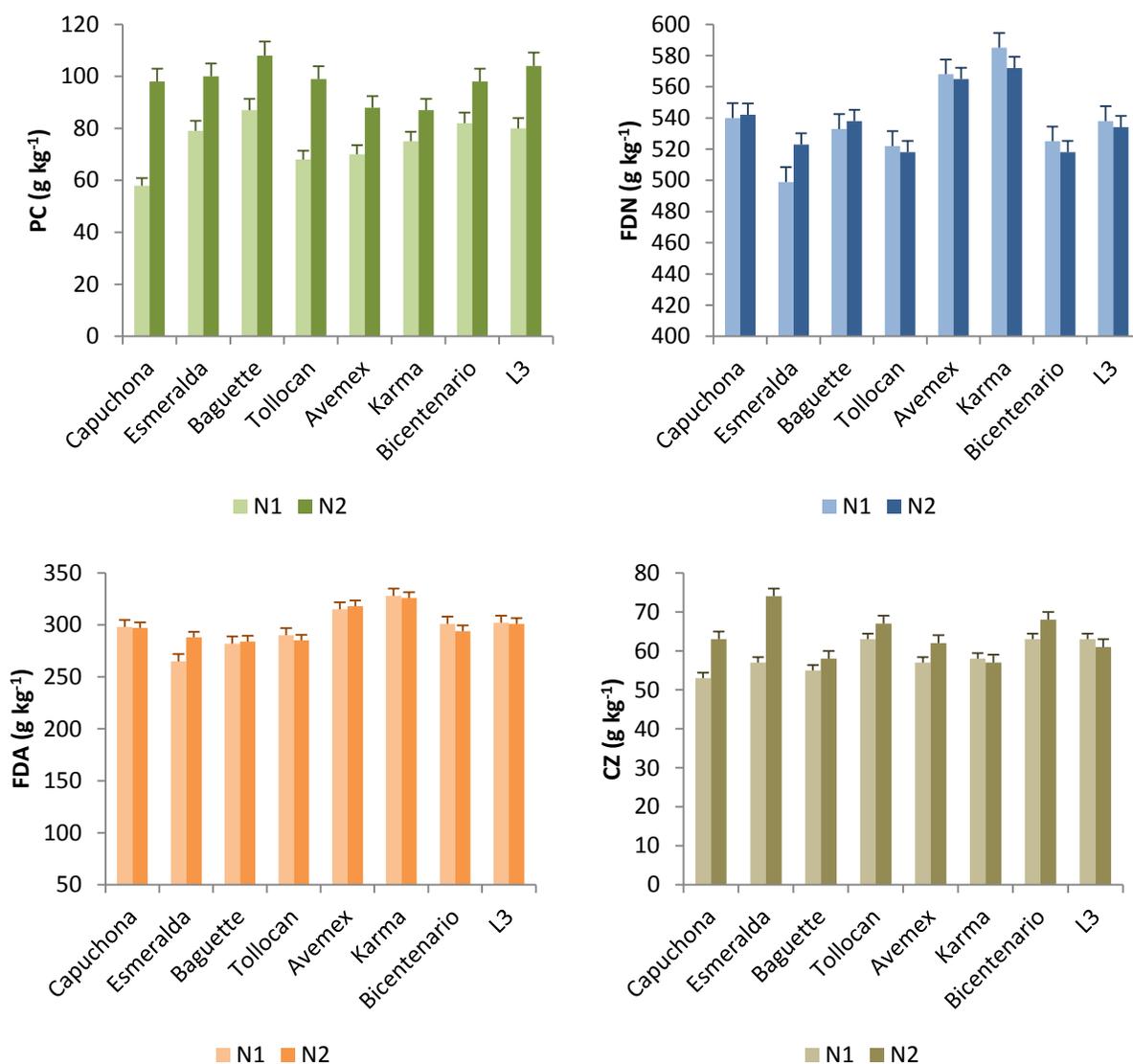


Figura 3. Comportamiento de los 8 genotipos en estudio en dos dosis de nitrógeno, N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹), para proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y cenizas (CZ).

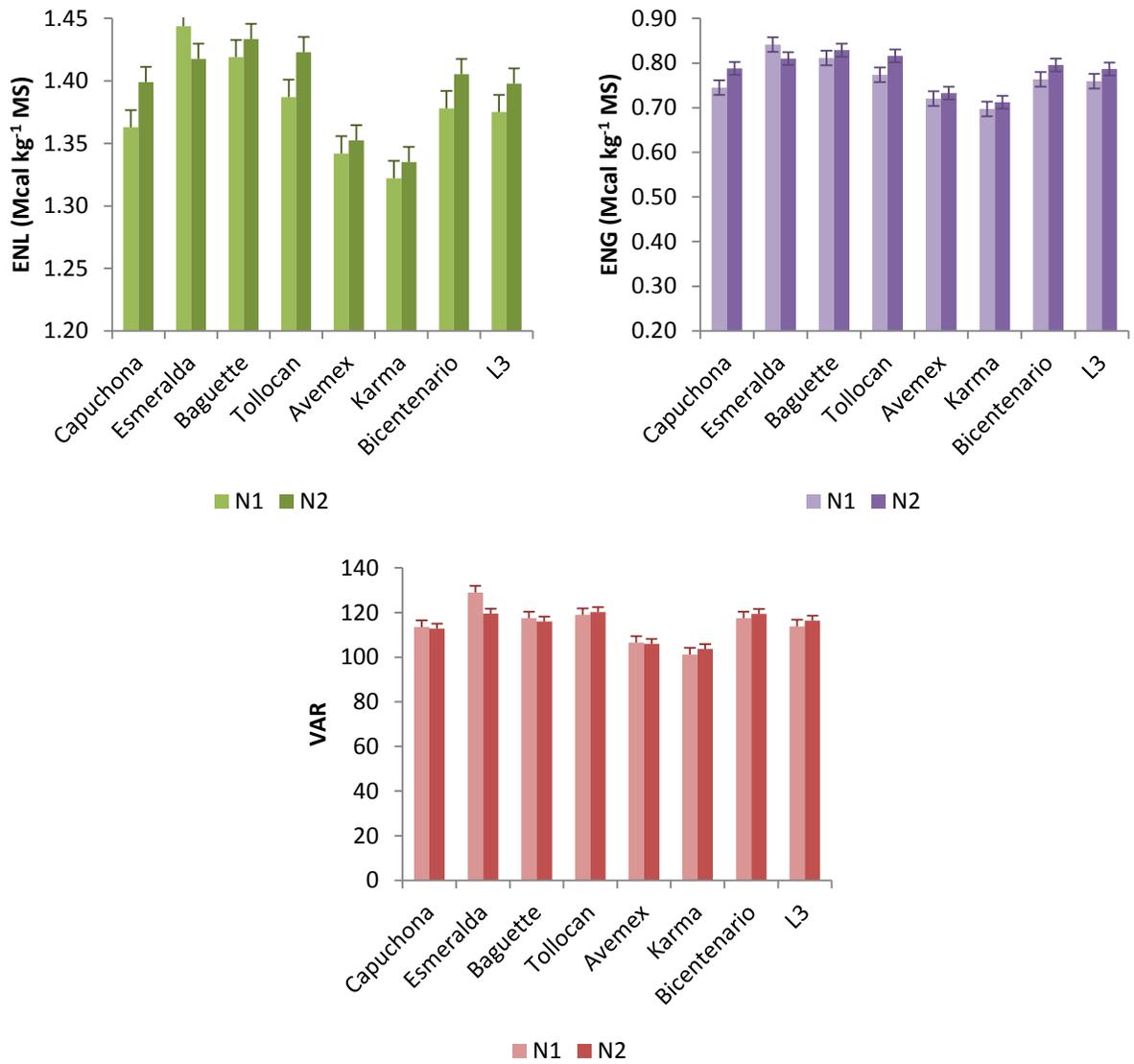


Figura 4. Comportamiento de los 8 genotipos en estudio en dos dosis de nitrógeno, N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹), para energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).

4.5 Interacción nitrógeno x etapa de corte

Para el caso de la interacción nitrógeno x etapa de corte (NxE) solo se describen los resultados de las variables donde se encontraron efectos significativos en los análisis de varianza mostrados en el Cuadro 5 y Cuadro 6.

Los pesos de forraje fresco (PFF) y seco (PSF) se comportaron de forma similar; en ambos casos el peso se incrementó a medida que se retrasó la etapa de corte, además en ambos casos se observó en la etapa de grano lechoso-masoso la mayor diferencia de peso al pasar de una dosis baja de nitrógeno (60 kgN ha^{-1}) a una dosis alta (120 kgN ha^{-1}), esta diferencia fue de 28% en PFF y de 24.5% en PSF. Para peso seco de la inflorescencia (PSI), se encontró una mejor respuesta al incremento en la dosis de nitrógeno en la etapa de grano lechoso-masoso, con un aumento de 33.3%, además de obtener la mayor acumulación de biomasa en esta etapa con la dosis más alta.

En la relación hoja-tallo (RHT), se observaron reducciones a medida que avanzó la madurez; en la etapa de embuche se encontró el mejor comportamiento con una diferencia de 19% cuando se incrementó la dosis de nitrógeno, además de en esta etapa obtener el valor más alto con la dosis alta de nitrógeno (Figura 5).

Se observó una disminución en el contenido de proteína cruda (PC) conforme se retrasó la etapa de corte, mientras que en los tres momentos de corte se presentó una respuesta positiva a la dosis de nitrógeno, donde destacó la etapa de embuche al aumentar en 36% el contenido de proteína. En fibra detergente neutro (FDN), se observó una mayor acumulación de esta fracción de fibra entre la etapa de embuche y anthesis, pero se redujo al pasar a la etapa de grano lechoso-masoso, sin embargo en ninguna de las tres etapas se presentó mostró respuesta significativa a la dosis de N (Figura 6).

Por lo que se refiere al contenido de cenizas (CZ), la mejor respuesta al incrementar la dosis de nitrógeno se obtuvo en la etapa de embuche, con un aumento de 15.6%, mientras que al retrasar la etapa de corte hasta anthesis se redujo el contenido de CZ. La energía neta de ganancia (ENG), se redujo al pasar de la etapa de embuche a anthesis, mientras que al avanzar a la etapa de grano lechoso-masoso el contenido energético del forraje se incrementó; al aumentar la dosis de nitrógeno en la etapa de embuche se incrementó la ENG en 3.8% (Figura 6).

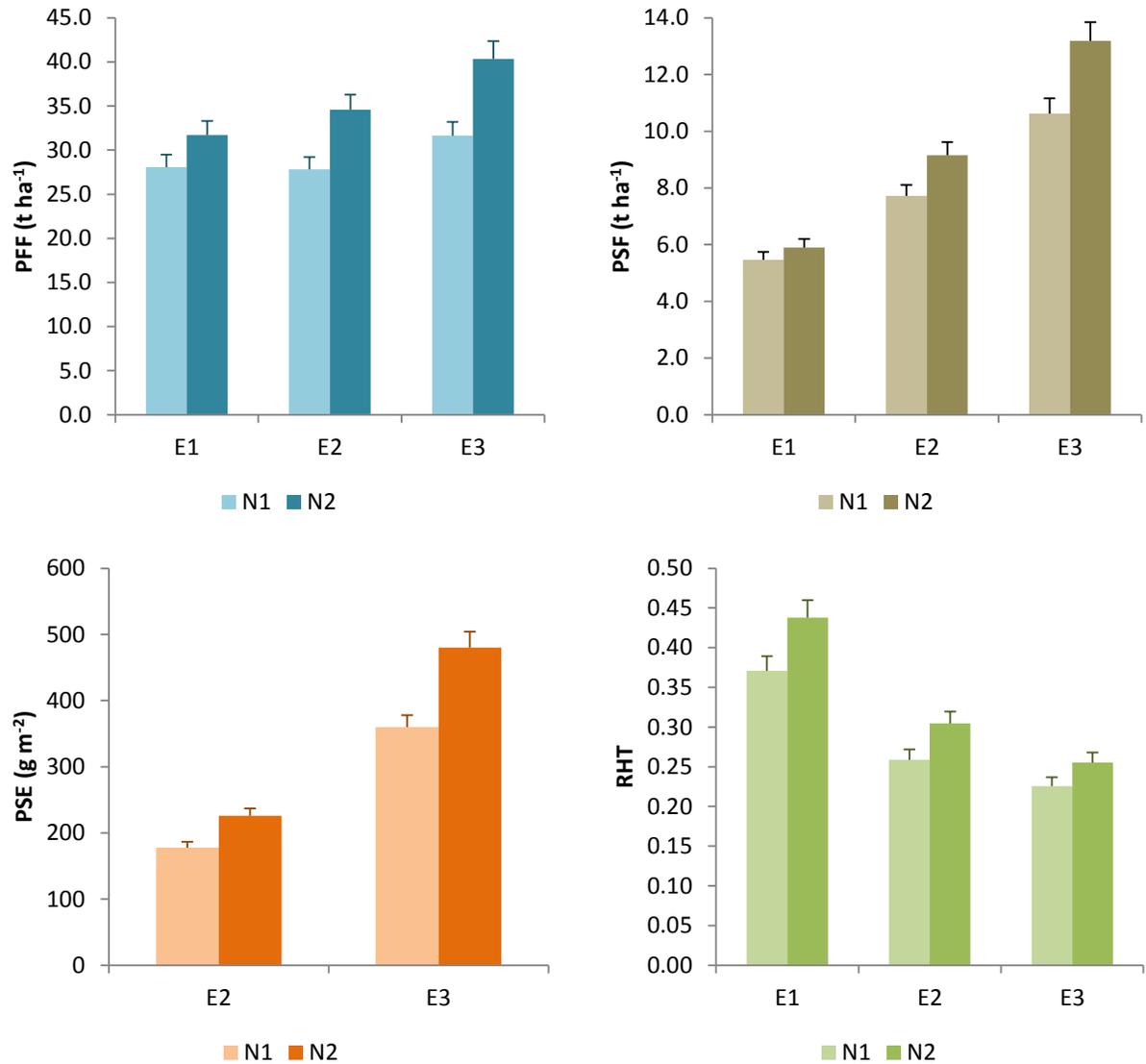


Figura 5. Efecto de dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹) en tres etapas de crecimiento, E1 (embuche), E2 (antesis), E3 (grano lechoso-masoso), en las variables Peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de inflorescencia (PSI) y relación hoja-tallo (RHT).

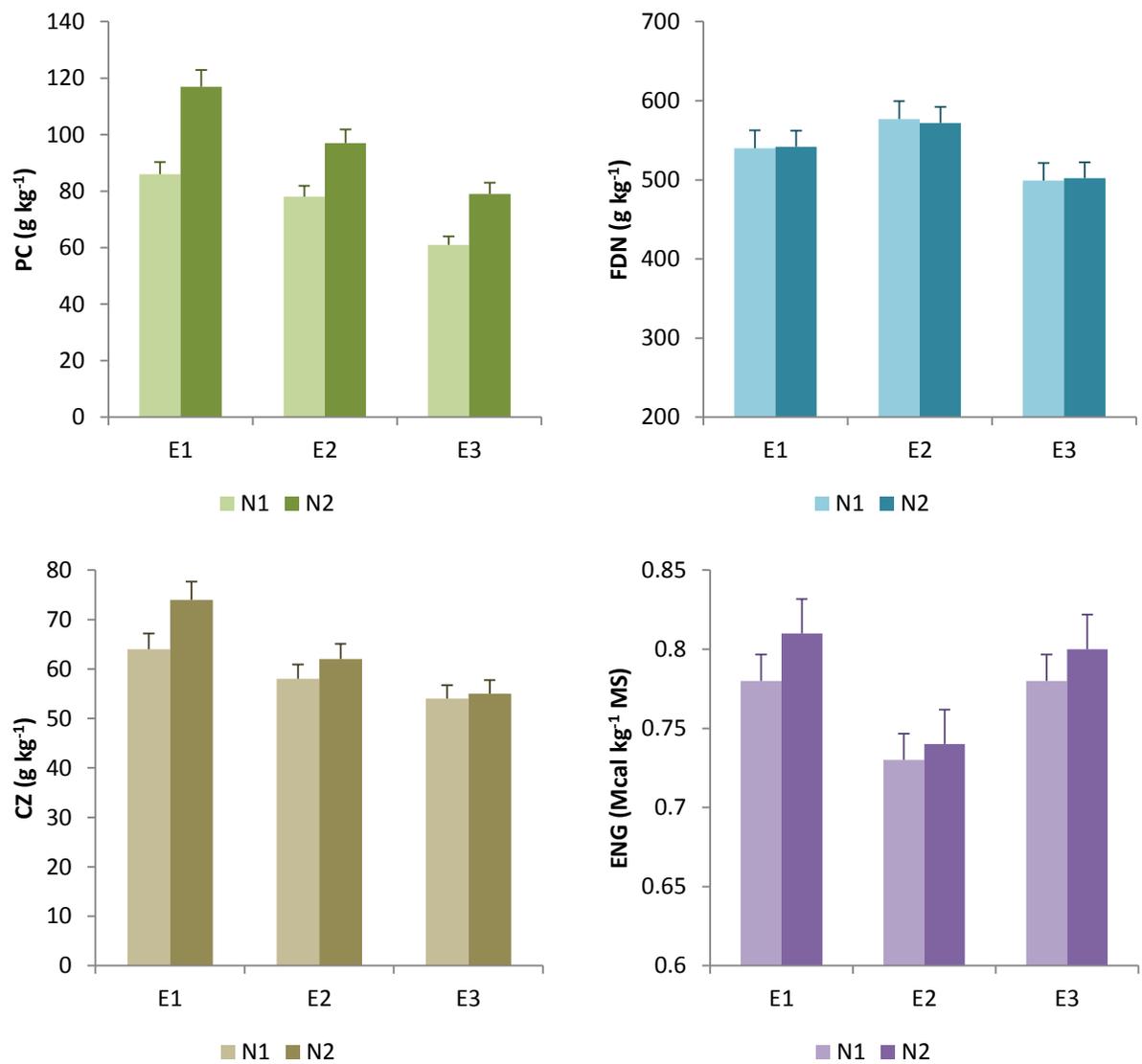


Figura 6. Efecto de dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹) en tres etapas de crecimiento, E1 (embuche), E2 (antesis), E3 (grano lechoso-masoso), en las variables proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), cenizas (CZ) y energía neta de ganancia (ENG).

4.6 Interacción Genotipo x Etapa de corte

En los ocho genotipos se observaron efectos directos atribuibles a la etapa de corte. De manera general, al retrasar la etapa de corte se incrementaron las variables relacionadas con el rendimiento de forraje y la acumulación de materia seca (MS), mientras que en algunos componentes de calidad nutricional del forraje se encontraron efectos negativos a medida que las plantas avanzaron hacia la madurez.

Para peso fresco de forraje (PFF), registraron los mayores promedios las dos variedades de avena en las tres etapas de corte, destacando Avemex en las etapas de embuche y grano lechoso-masoso, y Karma en la etapa de antesis, mientras que la variedad de trigo Tollocan mostró el menor peso en las tres etapas de corte. En peso seco de forraje (PSF), las variedades de triticale mostraron los mejores comportamientos en las tres etapas de corte, destacando Bicentenario en la etapa de grano lechoso-masoso, sin embargo las variedades de trigo Baguette y avena Karma mostraron mayor peso en las etapas de embuche y antesis respectivamente.

En el caso de la cebada el peso seco de tallos (PST), no varió significativamente entre las tres etapas de corte, mientras que los demás genotipos, mostraron una clara tendencia a incrementar el rendimiento de MS a medida que avanzaba la madurez, donde destacó la variedad de avena Karma en la etapa de embuche y para las etapas de antesis y grano lechoso masoso la variedad de triticale Bicentenario con el mayor PST. La variedad de trigo Baguette sobresalió por su peso seco de hojas (PSH), en las etapas de embuche y grano lechoso-masoso, mientras que para la etapa de antesis se observó mayor PSH en la variedad de triticale Bicentenario, además de mantener casi el mismo PSH a través de las 3 etapas. De manera contraria, las variedades de cebada mostraron una disminución muy marcada en PSH después de la etapa de embuche equivalente a 54% en Capuchona y 56% para Esmeralda (Figura 7).

Por lo que se refiere al peso seco de inflorescencia (PSI), los ocho genotipos mostraron incrementos en el peso de sus órganos reproductivos al avanzar de la etapa de antesis a grano lechoso-masoso, donde destacó la variedad de cebada Esmeralda con el promedio más alto en la etapa de grano lechoso-masoso con un incremento en PSI equivalente a 164%. Para relación hoja-tallo (RHT), se observaron reducciones en los 8 genotipos conforme se retrasó la etapa de corte, donde la cebada Capuchona sobresalió en la etapa de embuche con la mejor RHT, mientras que el trigo Baguette

obtuvo el mejor comportamiento en las etapas de antesis y grano lechoso-masoso, sin mostrar diferencias significativas en la RHT entre las dos últimas etapas de corte (Figura 8).

Los genotipos mostraron un comportamiento diferencial en sus contenidos de proteína cruda (PC) al retrasar la etapa de corte sobre todo de embuche a antesis, donde la avena Karma se mantuvo sin cambios mientras que el resto de los genotipos mostraron reducciones muy marcadas; al avanzar de antesis a grano lechoso-masoso se observó el mejor comportamiento en el trigo Baguette, ya que mostró muy poca variación en este componente, en las etapas de embuche y grano lechoso-masoso sobresalió Baguette con el mejor contenido proteico y para antesis la línea avanzada de triticale (L3) obtuvo el máximo promedio. En el contenido de fibra detergente neutro (FDN), se observó un aumento al pasar de la etapa de embuche a antesis, para luego disminuir al avanzar hacia la etapa de grano lechoso-masoso, excepto en la cebada esmeralda donde el contenido de FDN se redujo paulatinamente conforme se retrasó la etapa de corte, obteniendo la menor acumulación de FDN en antesis y grano lechoso-masoso, mientras que en embuche Bicentenario obtuvo la menor concentración de FDN (Figura 8).

Para fibra detergente ácido (FDA), los genotipos mostraron el mismo comportamiento de que en FDN, en la etapa de embuche se observó a Baguette con el menor contenido de FDA, mientras que en antesis y grano lechoso-masoso se observó el valor más bajo en cebada Esmeralda. El contenido de cenizas (CZ) se redujo de manera muy marcada en todos los genotipos al pasar de embuche a antesis; los promedios más altos se obtuvieron en esmeralda en la etapa de embuche, en la línea triticale L3 en antesis y en Avemex y Esmeralda en la etapa de grano lechoso-masoso (Figura 9).

Para energía neta de lactancia (ENL) y energía neta de ganancia (ENG), casi todos los genotipos tendieron a disminuir su valor energético al pasar de embuche a antesis y aumentar considerablemente en la etapa de grano lechoso-masoso, excepto en esmeralda ya que su contenido energético se incrementó al avanzar su ciclo ontogénico, por otro lado en la etapa de embuche destacó Baguette con los máximos promedios de ENL y ENG, mientras que en antesis y grano lechoso-masoso esmeralda mostró el mejor comportamiento (Figura 9).

El valor alimenticio relativo (VAR) tendió a incrementarse en todos los genotipos conforme se avanzó en su fenología alcanzándose lo máximos valores en la etapa de grano lechoso-masoso,

excepto en Baguette y las variedades de avena, en donde se redujo o no se presentaron diferencia importantes entre las etapas de embuche y grano lechoso-masoso (Figura 10).

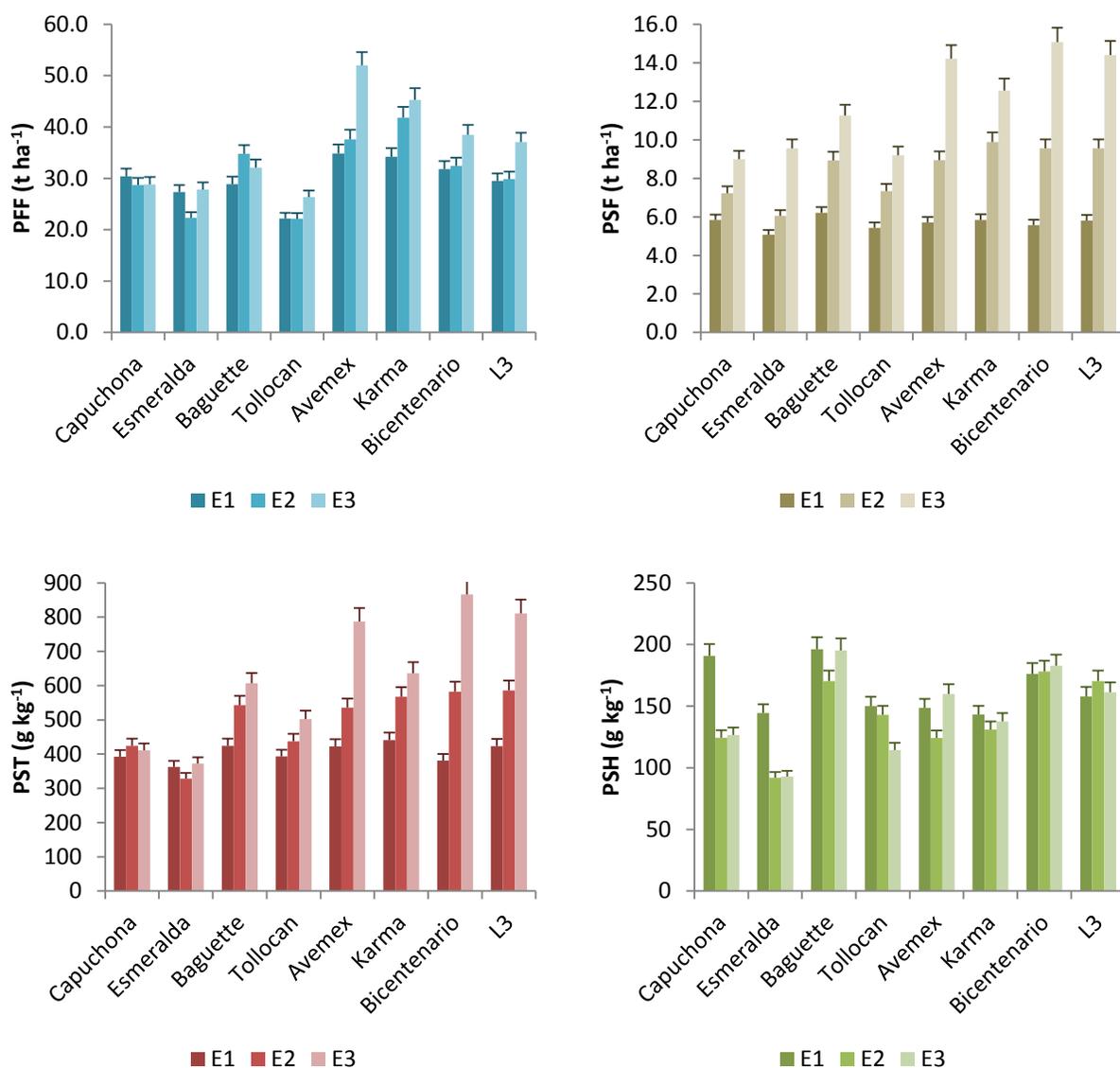


Figura 7. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3), para peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), peso seco de tallos (PST) y peso seco de hoja (PSH).

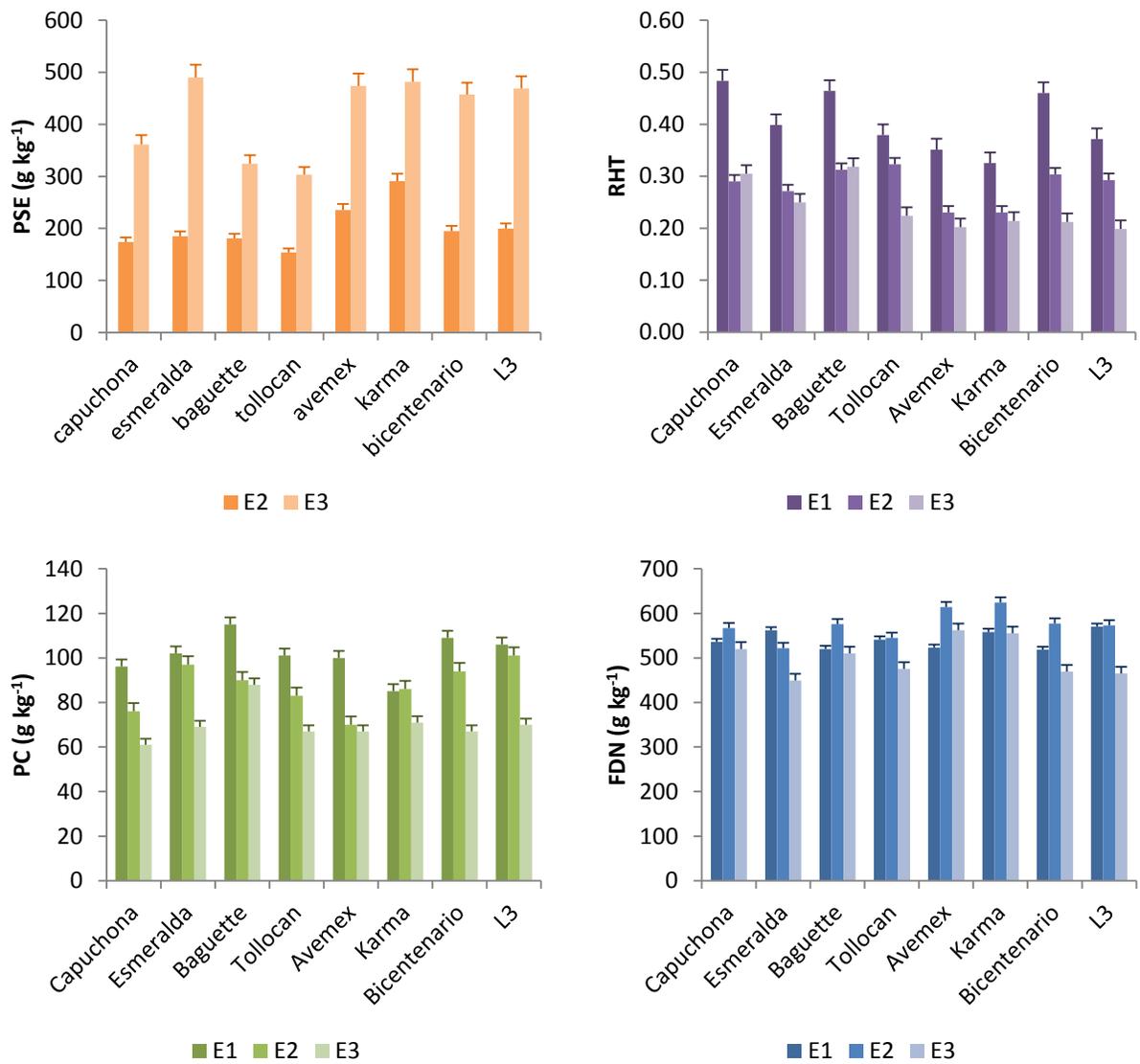


Figura 8. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), anthesis (E2), grano lechoso masoso (E3), para peso seco de espigas (PSE), relación hoja-tallo (RHT), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN).

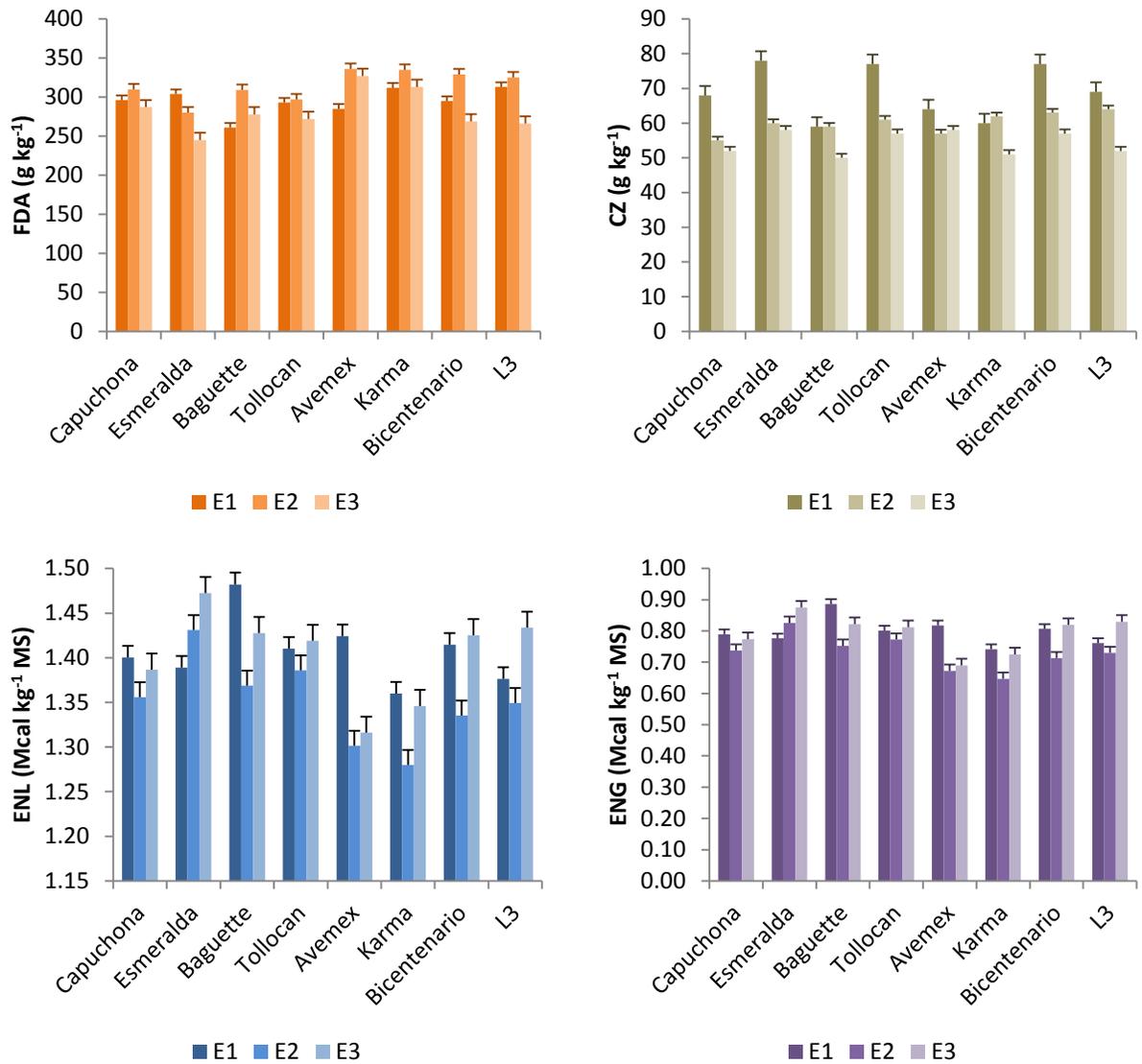


Figura 9. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3), para fibra detergente acido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL) y energía neta de ganancia (ENG).

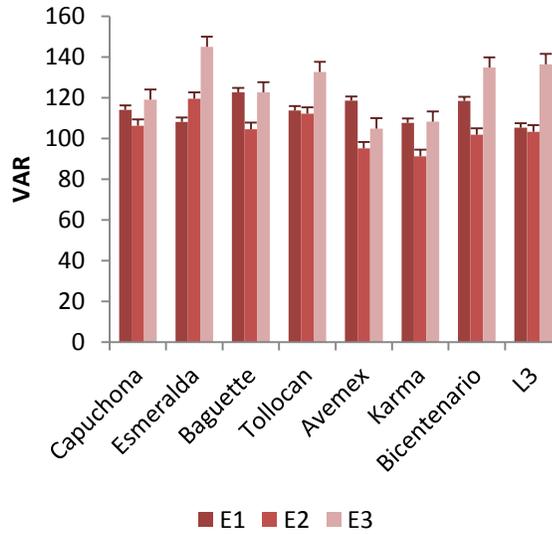


Figura 10. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesís (E2), grano lechoso masoso (E3), para valor alimenticio relativo (VAR).

4.7 Interacción Genotipo x Nitrógeno x Etapa de corte

Los ocho genotipos estudiados mostraron respuestas distintas a la dosis de nitrógeno de 60 a 120 kgN ha⁻¹ a través de las tres etapas de corte al incrementar, en las diferentes variables de rendimiento y calidad nutricional del forraje.

En número de tallos (NT), se observó en grano lechoso-masoso el mejor comportamiento, donde destacó el trigo Baguette con una diferencia de 31% entre las dos dosis de nitrógeno, además también obtuvo la mayor cantidad de tallos en esta etapa con la dosis de 120 kgN ha⁻¹. Por lo que se refiere al peso seco de forraje (PSF), los genotipos mostraron el mejor comportamiento a la dosis de nitrógeno en la etapa de grano lechoso-masoso, donde destacó el triticale L3, mientras que en las etapas de embuche y antesís tuvieron los mejores rendimientos el trigo baguette y el triticale bicentenario respectivamente, con la dosis de 120 kgN ha⁻¹ (Figura 11).

Para proteína cruda (PC), la mejor respuesta de los genotipos a la dosis de N se observó en la etapa de embuche, donde sobresalió la cebada Capuchona al incrementar su contenido en 92.4%, además de obtener el valor más alto con la dosis de 120 kg N ha⁻¹, mientras que para las etapas de antesís y grano lechoso-masoso los mayores contenidos de PC se observaron en la cebada Esmeralda y el trigo Baguette, respectivamente. En fibra detergente neutro (FDN), en general los genotipos

mostraron mejor comportamiento en la etapa de grano lechoso-masoso, en donde la línea avanzada de triticale (L3) redujo su contenido en 8.3% al incrementar la dosis de nitrógeno, sin embargo el contenido más bajo de FDN se observó en la cebada Esmeralda en la misma etapa con la dosis baja de nitrógeno (Figura 11).

Los contenidos de fibra detergente ácido (FDA), se redujeron en la mayoría de los genotipos durante la etapa de grano lechoso-masoso; la línea de triticale L3 mostró el efecto más favorable al incrementar la dosis de nitrógeno, donde su contenido se redujo 6.2%, no obstante, el valor más bajo lo obtuvo la cebada Esmeralda con la dosis de 60 kg N ha⁻¹ en la misma etapa. Para el contenido de cenizas (CZ) la mejor respuesta al aumento en la dosis de nitrógeno se encontró en la etapa de embuche con la cebada Esmeralda, con una diferencia de 49.2%, además esta misma variedad obtuvo también el contenido más alto de CZ en embuche con la dosis de N más alta (Figura 12).

En energía neta de lactancia (ENL), los genotipos mostraron un mejor comportamiento en la etapa de embuche donde sobresalió la cebada Capuchona con la mejor diferencia (4.4%) al incrementar la dosis de nitrógeno, mientras que el valor más alto lo obtuvo el trigo Baguette en la etapa de embuche con la dosis de 120 kg N ha⁻¹. Para energía neta de ganancia (ENG) se encontró una mejor respuesta a la adición de nitrógeno en la etapa de embuche donde el trigo Tollocan destacó con un incremento de 9% en este valor, mientras que el contenido más alto se encontró en el trigo Baguette en esta misma etapa con la dosis de N más alta (Figura 12).

Para valor alimenticio relativo (VAR), se encontró un mejor comportamiento en la etapa de grano lechoso-masoso donde la línea de triticale L3 mostró mayor respuesta al incremento en la dosis de N, con un aumento de 10%, mientras que el valor más alto lo obtuvo la variedad de cebada Esmeralda en la etapa de grano lechoso-masoso con la dosis baja de N (Figura 13).

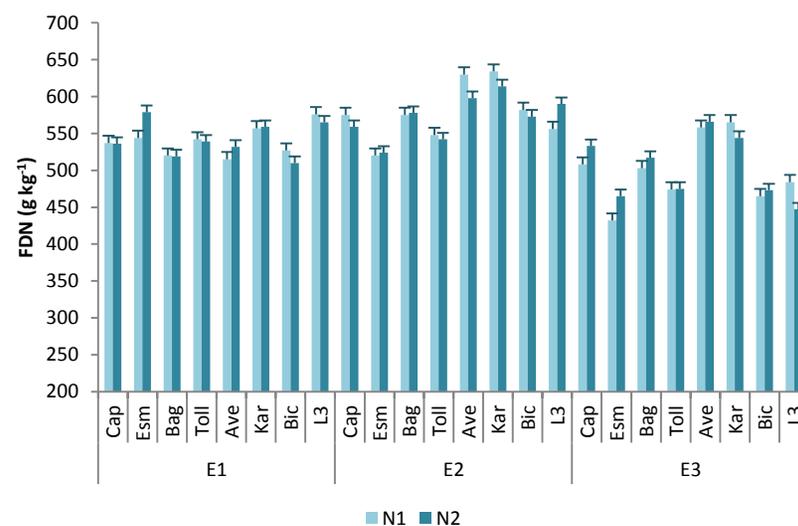
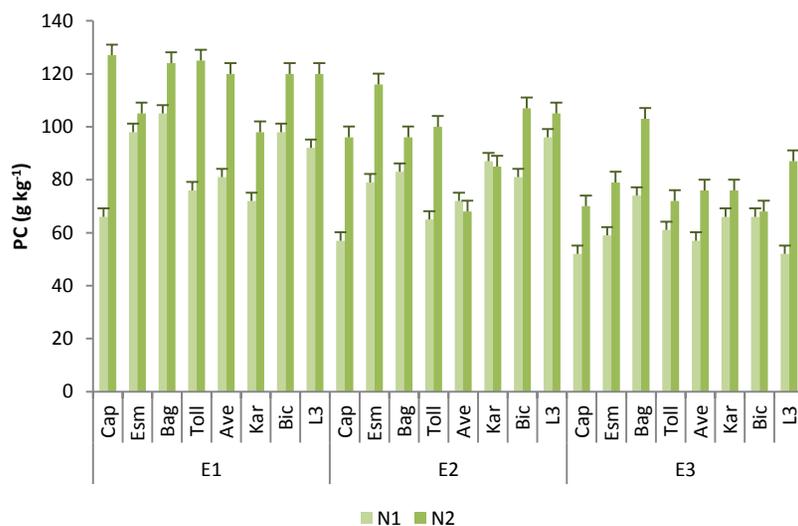
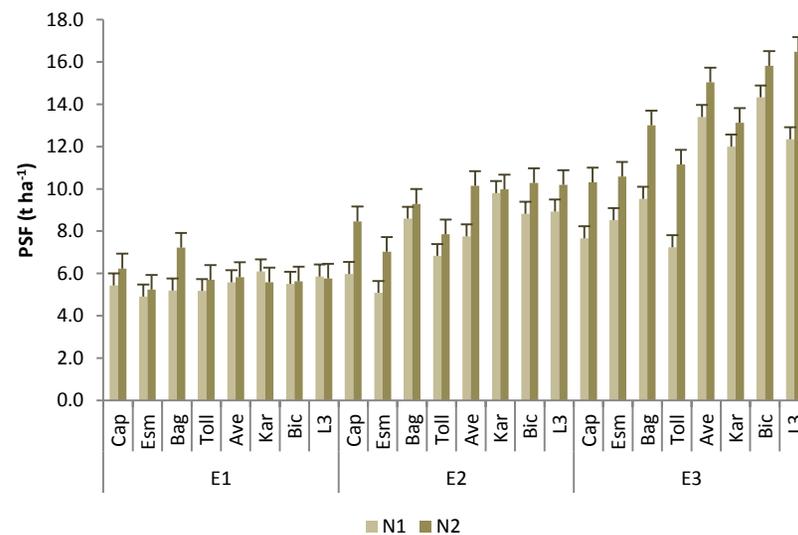
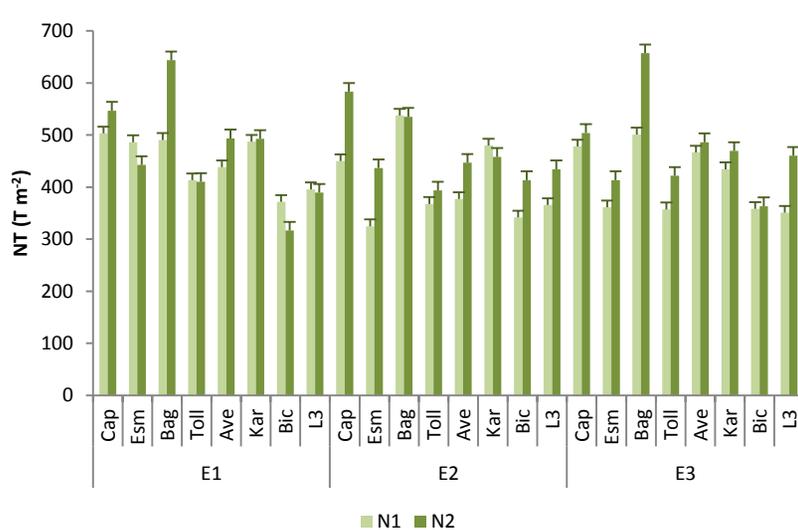


Figura 11. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3) y dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹), para número de tallos (NT), peso seco de forraje (PSF), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN).

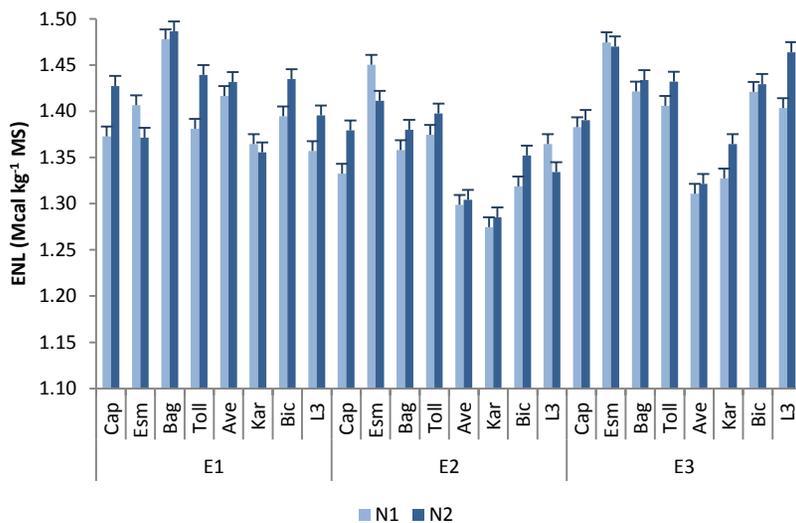
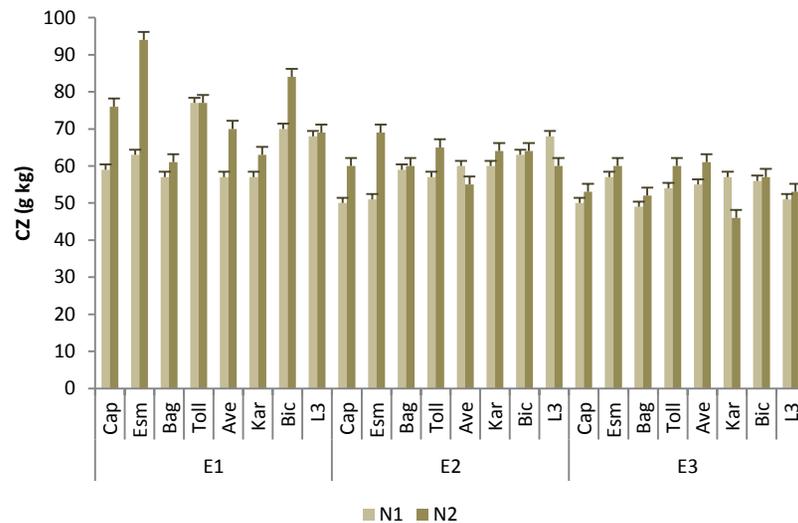
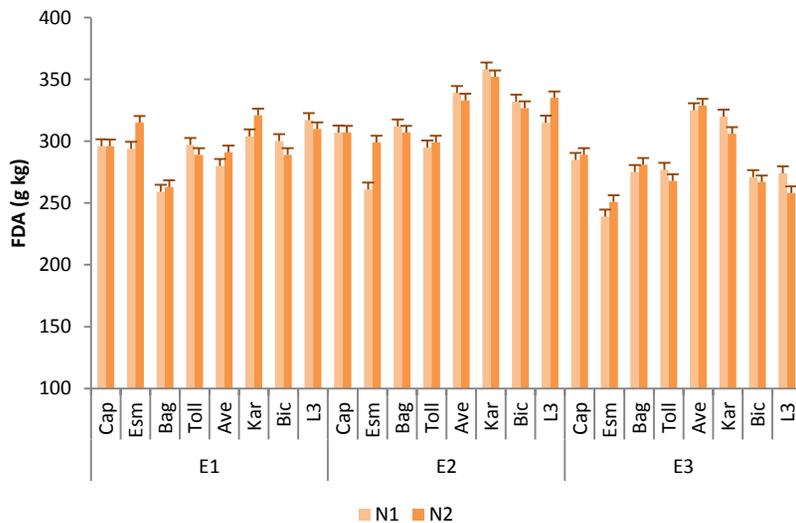


Figura 12. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3) y dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL) y energía neta de ganancia (ENG).

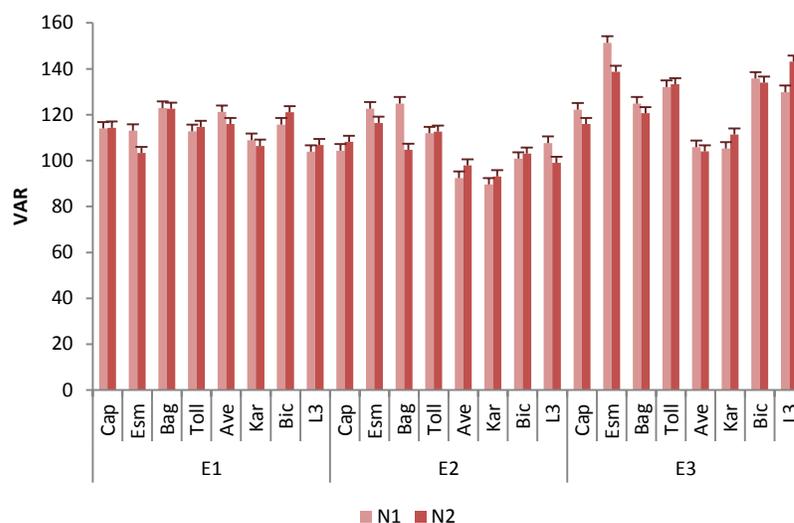


Figura 13. Comportamiento de los ocho genotipos en las etapas de corte de embuche (E1), antesis (E2), grano lechoso masoso (E3) y dos dosis de nitrógeno N1 (60 kgN ha⁻¹) y N2 (120 kgN ha⁻¹), para valor alimenticio relativo (VAR).

4.8 Acumulación de materia seca en tres etapas de corte.

La variedad de cebada Esmeralda mostró ser la más precoz con un periodo de 77 días desde la siembra (DDS) hasta la etapa de grano lechoso-masoso, mientras que la variedad de trigo Baguette fue la más tardía, con 113 DDS hasta la etapa de grano lechoso-masoso, 35 días después con respecto a Esmeralda (Figura 14).

En cuanto a rendimiento de forraje seco destacó el trigo Baguette con el mayor rendimiento durante la etapa de embuche, en la etapa de antesis la avena Karma obtuvo el mejor rendimiento y para la etapa de grano lechoso-masoso destacaron los dos genotipos de triticale, mientras que las dos variedades de cebada mostraron el menor rendimiento de materia seca en las tres etapas de corte (Figura 14).

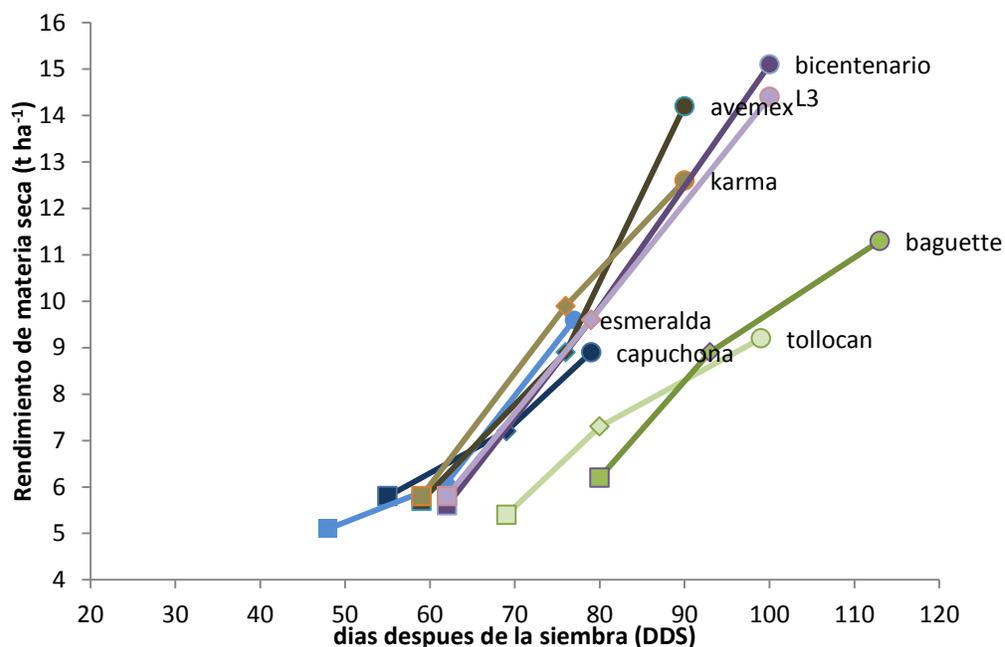


Figura 14. Rendimiento de materia seca de los ocho genotipos evaluados en tres etapas de corte, □ embuche, ◇ antesis y ○ grano lechoso-masoso.

4.9 Comportamiento promedio por especie en tres etapas de corte

4.9.1 Asignación de materia seca

En la relación hoja tallo (RHT) se observó el mejor comportamiento en la cebada con los valores más altos en las etapas de antesis y grano lechoso-masoso, mientras que en embuche destacó el trigo. Para el caso de peso seco de inflorescencia (PSI), la avena mostró el mejor comportamiento en las etapas de antesis y grano lechoso-masoso, mientras que el menor peso en ambas etapas se observó en el trigo.

Para peso seco de hoja (PSH), en la etapa de embuche destacó el trigo con el mayor peso y en las etapas de antesis y grano lechoso-masoso el triticale mostró el mejor peso de hojas, mientras que la avena tuvo el peso más bajo de este componente en las 3 etapas. Por lo que se refiere a peso seco de tallos (PST), el mayor peso lo obtuvo la avena en la etapa de embuche, mientras que el triticale mostró el mejor comportamiento en antesis y grano lechoso-masoso. En forma contraria la cebada mostró menor PST en las 3 etapas de corte. Cabe destacar que para el total de biomasa acumulada

destacó el trigo en la etapa de embuche, mientras que en antesis y grano lechoso-masoso el triticale obtuvo el mayor peso acumulado (Figura 15).

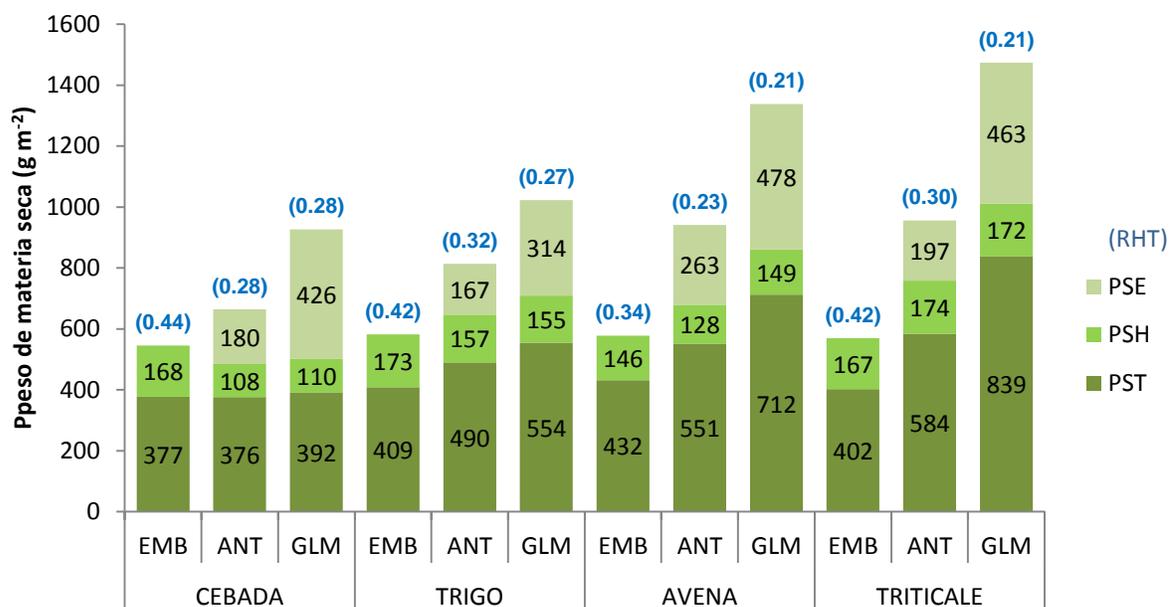


Figura 15. Asignación de materia seca en sus componentes peso seco de tallo (PST), pesos seco de hoja (PSH), peso seco de espiga (PSE) y relación hoja-tallo (RHT) en tres etapas de corte.

4.9.2 Etapa de embuche

En esta etapa de corte sobresalió el trigo, ya que exhibió el mejor comportamiento promedio en seis de las once variables estudiadas, mientras que el resto de las especies (cebada, avena y triticale) mostraron también un buen comportamiento en los diferentes componentes del rendimiento y calidad nutricional del forraje.

La cebada mostró mayor cantidad de tallos por m², mientras que el triticale mostró menor capacidad de amacollamiento con el menor NT. Por su parte, la avena destacó por sus altos rendimientos de forraje fresco (PFF), sin embargo sus rendimientos de materia seca (PSF) fueron equivalentes a 16.8% con respecto al peso fresco de forraje, mientras que el trigo mostró el mejor comportamiento promedio con mayor PSF y un contenido MS equivalente a 22.7%. La cebada se caracterizó por alcanzar mayor relación hoja-tallo (RHT), caso contrario al de Avena la cual mostró la RHT más baja (Figura 16).

El contenido de proteína cruda (PC) en el forraje de trigo y triticale fue muy similar, aunque el trigo tuvo un contenido proteico ligeramente mayor, mientras que la avena obtuvo el menor contenido promedio de este componente. Por lo que se refiere a las fracciones de fibra (FDN y FDA), el trigo mostró el mejor comportamiento ya que en ambos tipos de fibra obtuvo el contenido más bajo mientras que la cebada y el triticale tuvieron los contenidos más altos de FDN y FDA respectivamente. La cebada y el triticale destacaron por su alto contenido de CZ, mientras que la avena tuvo el contenido más bajo de este componente.

Por lo que se refiere al valor energético del forraje destacó el trigo con los mayores promedios de energía neta de lactancia (ENL) y energía neta de ganancia (ENG), superando ampliamente a las otras tres especies, las cuales mostraron un comportamiento muy similar. En esta etapa de corte el trigo alcanzó el mayor valor alimenticio relativo (VAR) superando ampliamente a las otras tres especies (Figura 16).

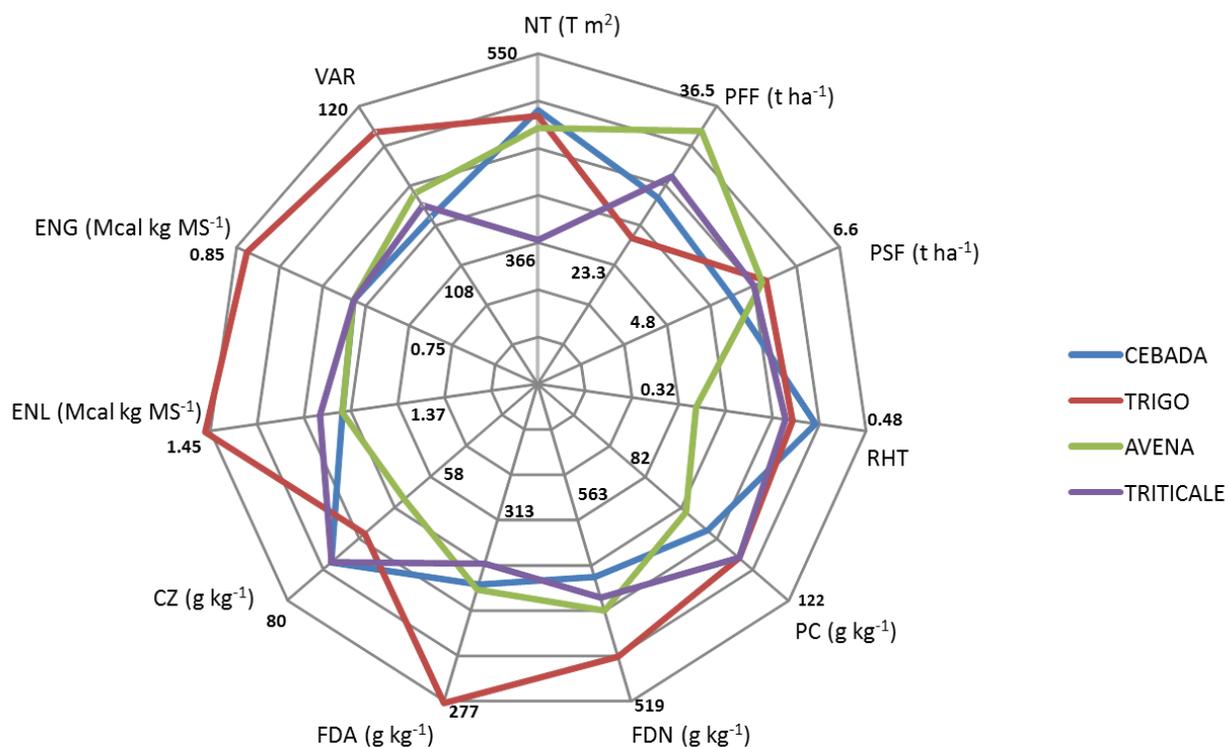


Figura 16. Comportamiento de cuatro especies de cereales de grano pequeño en la etapa de embuche para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), relación hoja-tallo (RHT), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).

4.9.3 Etapa de antesis

Para la etapa de antesis la cebada se destacó en la mayoría de los atributos relacionados con calidad nutricional del forraje, sin embargo no fue así para los componentes del rendimiento de forraje, donde obtuvo los valores más bajos; por el contrario la avena mostró el peor comportamiento en cuanto a calidad nutricional del forraje, en comparación con las demás especies evaluadas.

En esta etapa de corte el trigo mostró la mayor capacidad de amacollamiento, mientras que el triticale obtuvo la menor cantidad de tallos por m². La avena y el triticale mantuvieron los mayores rendimientos de forraje fresco y seco respectivamente, mientras que la cebada mostro los niveles de rendimiento más bajo. La mejor RHT se observó en el trigo, mientras que el valor más bajo lo obtuvo la avena (Figura 17).

El triticale destacó por presentar la mayor concentración de PC, mientras que el contenido más bajo se observó en la avena. Para las fracciones de fibra FDN y FDA la cebada sobresalió con el menor contenido de ambos componentes, mientras que la mayor concentración de fibras se observó en la avena en ambos componentes. El triticale obtuvo en promedio mayor contenido de CZ, mientras que el promedio más bajo lo obtuvo la cebada.

De nueva cuenta, el forraje de cebada tuvo mayor contenido energético (ENL y ENG) y valor alimenticio relativo más alto que las tres especies restantes, mientras que la avena mostró los menores contenidos energéticos y el VAR más bajo (Figura 17).

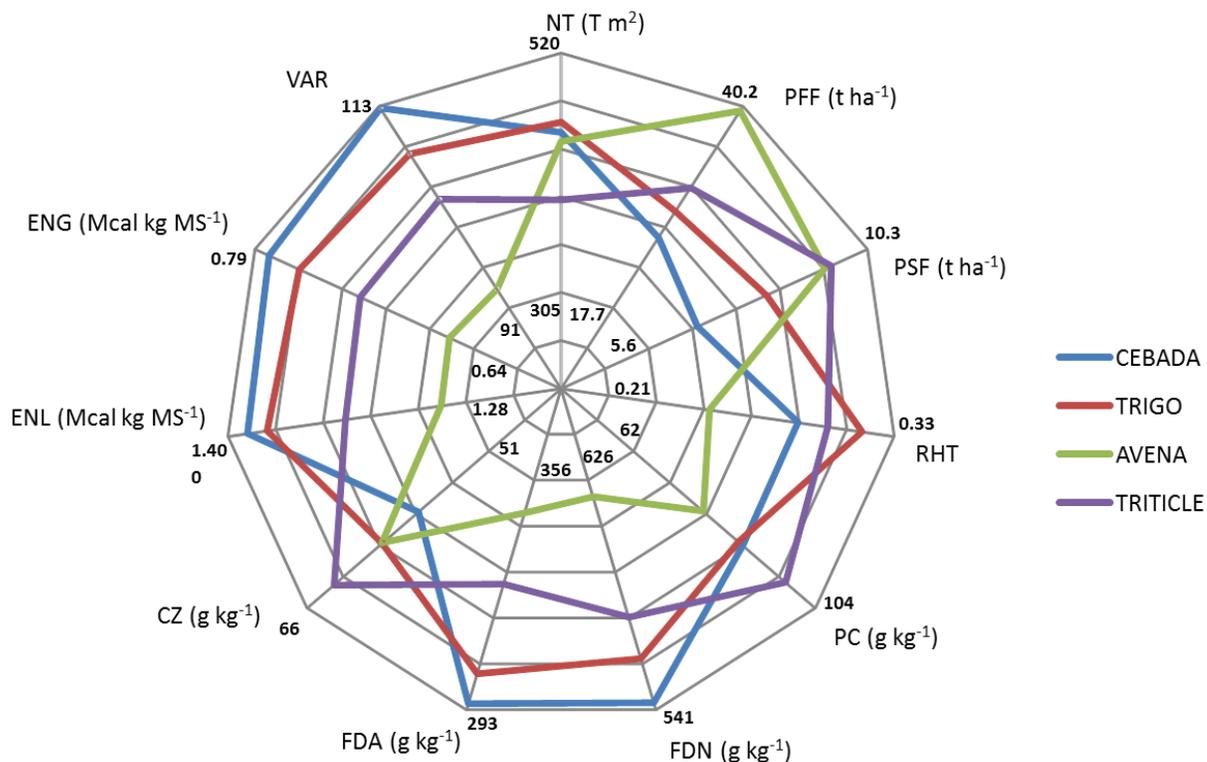


Figura 17. Comportamiento de cuatro especies de cereales de grano pequeño en la etapa de antesis para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), relación hoja-tallo (RHT), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).

4.9.4 Etapa de grano lechoso-masoso

En esta etapa la avena mostro el peor comportamiento con relación a la calidad nutricional del forraje, mientras que las demás especies no mostraron diferencias muy marcadas entre sus promedios generales. En esta etapa, las cuatro especies alcanzaron su máxima producción de materia seca, por otro lado fue la etapa donde las cuatro especies mostraron la mayor acumulación de materia seca, sobre todo la avena y el triticale.

Nuevamente, el trigo mantuvo un mayor número de tallos mientras que en la cebada llegó a esta etapa de corte con un menor número de macollos. El triticale y la avena mostraron los mayores rendimientos de forraje fresco y seco respectivamente, mientras que la cebada obtuvo los niveles de producción de forraje más bajos. El trigo y la cebada se comportaron de manera similar por lo

que se refiere a la relación hoja-tallo y mantuvieron su superioridad sobre avena y triticale, (Figura 18).

Por lo que se refiere a los parámetros nutricionales del forraje, el trigo mantuvo un mejor contenido de PC, en comparación con los otros tres cereales, mientras que la cebada tuvo el contenido proteico más bajo. En las fracciones de fibra el triticale destacó con el contenido más bajo en la fracción de FDN, mientras que en FDA la cebada y el triticale mostraron valores muy similares, siendo ligeramente menor el contenido de FDA en la cebada. En el contenido de CZ la cebada, la avena y el triticale obtuvieron valores muy similares, mientras que el trigo mostró el contenido más bajo de este componente.

El forraje obtenido de la cebada y el triticale en esta etapa de corte mantuvo los mayores de niveles de ENG y ENL superando ampliamente a la avena, para. El triticale y la cebada mostraron la mejor calidad nutricional representada por el VAR, en seguida se ubicó el trigo y por debajo de este último se mantuvo la avena con el VAR más pobre de los cuatro cereales evaluados (Figura 18).

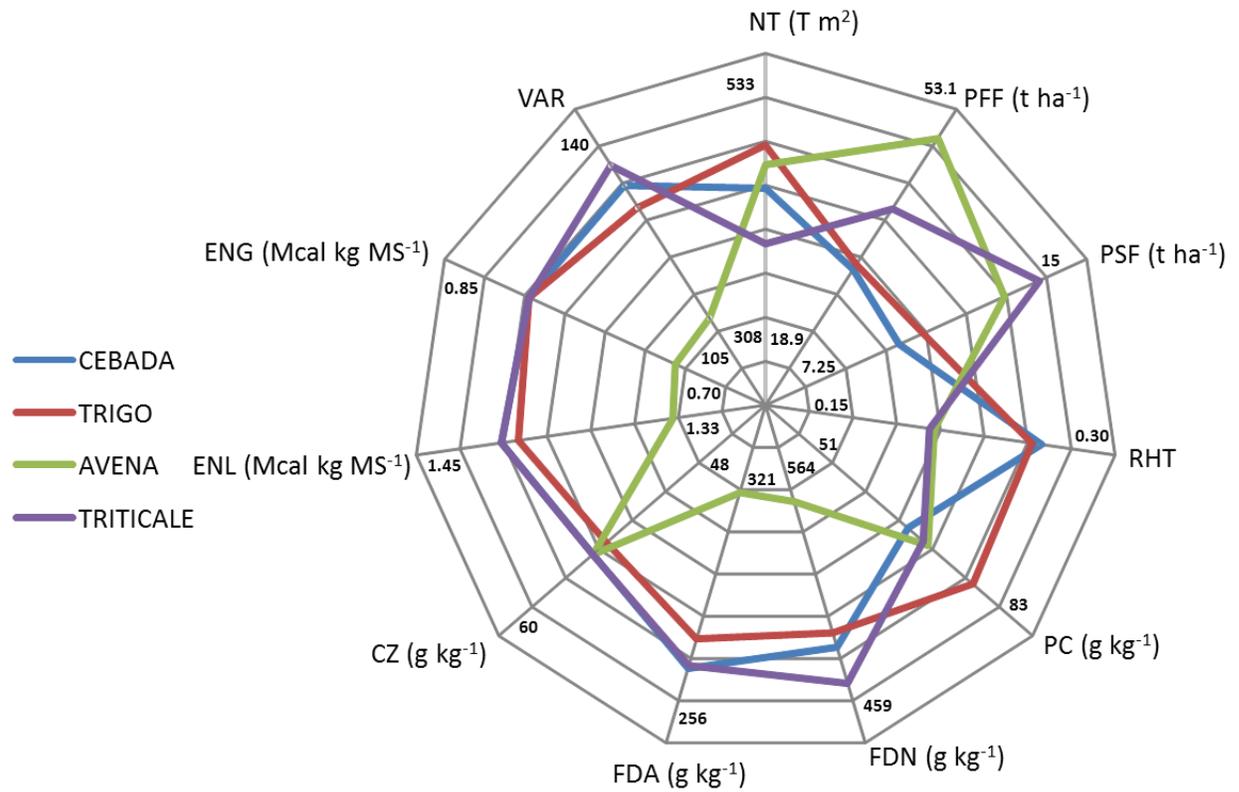


Figura 18. Comportamiento de cuatro especies de cereales de grano pequeño en la etapa de grano lechoso-masoso para número de tallos (NT), peso fresco de forraje (PFF), peso seco de forraje (PSF), relación hoja-tallo (RHT), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), cenizas (CZ), energía neta de lactancia (ENL), energía neta de ganancia (ENG) y valor alimenticio relativo (VAR).

V. DISCUSIÓN

Los cuatro cereales evaluados en este experimento se adaptaron favorablemente a las condiciones ambientales y condiciones de manejo. Todos los genotipos lograron completar su ciclo de crecimiento de manera normal hasta lograr la madurez, sin embargo, cabe mencionar que en las variedades de avena evaluadas se observaron problemas de acame posteriormente a la etapa de antesis y de igual manera en la cebada posterior a la etapa de llenado de grano.

El nitrógeno (N) tuvo un efecto directo sobre los componentes de rendimiento y producción de materia seca, ya que en todos al aumentar la dosis de N se incrementó la acumulación de materia seca total en el forraje y en cada uno de los componentes morfológicos de las plantas, además de favorecer la sobrevivencia de mayor número de tallos por m² (NT) y la relación hoja-tallo (RHT); lo anterior concuerda con lo descrito por Goodall, (1987), donde destaca la importancia de la suplementación nitrogenada con el fin de alcanzar el mayor potencial de rendimiento forrajero por el cultivo, mientras que en otro trabajo Gil et al., (2014), mencionan un efecto positivo en el número de tallos por m² y en la RHT, al incrementar la dosis de nitrógeno. En cuanto a los atributos de calidad nutricional del forraje también se observaron efectos positivos de la mayor fertilización nitrogenada, sobre todo en contenido de proteína cruda (PC), lo cual coincide con lo descrito por Hoopkins, (2000) y Goodall, (1987), quienes señalan que el contenido proteico del forraje está directamente relacionado con la cantidad de nitrógeno absorbido por la planta y es considerado uno de los indicadores más importante de su calidad nutricional.

Las etapas de corte también tuvieron una influencia directa sobre los componentes del rendimiento de forraje. De manera similar con lo planteado por Muslera, (1991), en la etapa de embuche se obtuvo en todos los casos el rendimiento de materia seca más bajo, y a medida que se retrasó el corte la acumulación de materia seca se incrementó en gran medida, debido a que en las etapas menos avanzadas del crecimiento el porcentaje de agua en la constitución de la planta es mayor, mientras que como es descrito por Duthil, (1980), conforme la madurez avanzó el aumento en el contenido de celulosa y la consecuente lignificación de los tejidos en la planta causaron un incremento en la acumulación de materia seca. De igual forma se observaron ganancias en el peso seco de las fracciones de tallos (PST) e inflorescencias (PSI) en las etapas más avanzadas del desarrollo, mientras que la fracción de hojas (PSH), tuvo un comportamiento inverso,

disminuyendo su peso a medida que se retrasó el corte, lo cual dio como resultado una menor proporción de peso seco de hoja con relación al peso seco de tallo.

La etapa de corte también determinó en gran medida la calidad nutricional del forraje de las cuatro especies evaluadas; de manera general se observaron contenidos de PC mayores en la etapa de embuche (> 10%), sin embargo, al avanzar el ciclo de crecimiento hacia antesis y posteriormente en grano lechoso-masoso la concentración de este componente se redujo significativamente, mientras que los contenidos de las fracciones de fibras (FDN y FDA) se incrementaron en las últimas dos etapas de corte, lo que resultó en un abatimiento de la calidad nutricional del forraje, impactando negativamente en el contenido energético (ENG y ENL) y el valor alimenticio relativo (VAR) del forraje; lo anterior se relaciona estrechamente con la descripción de Keles et al., (2016) quienes mencionan la relación de pérdida en calidad del forraje a medida que transcurre el desarrollo fenológico de la planta. Sin embargo, la concentración de fibras disminuyó, al avanzar hacia la etapa de grano lechoso-masoso, lo cual se vio reflejado con un mayor contenido energético (ENL y ENG) y el mayor VAR del forraje. De acuerdo con Ramírez et al., (2013), en el forraje proveniente de cereales de grano pequeño algunos de los atributos de calidad nutricional pueden sufrir mejoras en etapas avanzadas del crecimiento, como resultado del crecimiento de los granos, existiendo un efecto de dilución en el contenido fibroso y un incremento en los carbohidratos y proteínas en el endospermo de los granos en crecimiento, aumentándose así su digestibilidad.

La relación entre la acumulación de materia seca y los cambios en la calidad alimenticia del forraje a lo largo del ciclo de desarrollo fueron variables entre especies y en algunos casos entre variedades. De acuerdo con Keles et al., (2016), la magnitud de los cambios experimentados en la calidad del forraje en etapas avanzadas del crecimiento pueden ser atribuidos al comportamiento que mantiene la planta en su RHT, la cual difiere en cada especie o variedad.

En los componentes relacionados con el rendimiento de forraje, la cebada Esmeralda obtuvo el mayor PSI en la etapa de grano lechoso masoso y en la etapa de embuche se destacó la cebada Capuchona en la RHT, ambas variedades de cebada mostraron la menor acumulación de biomasa a lo largo de las tres etapas de corte, se obtuvo un rendimiento máximo de 10.6 t ha⁻¹ en la etapa de grano lechoso-masoso, sin embargo hay evidencias de que la cebada puede tener mayor potencial de rendimiento, como es el caso de Colín et al., (2007), quienes encontraron rendimientos superiores a 12 t ha⁻¹ en genotipos de cebada imberbe. En lo que respecta al trigo, la variedad

Baguette tuvo el mejor PSH a través de las tres etapas de corte, así como la RHT más alta en las etapas más avanzadas del crecimiento. De acuerdo con Morant et al., (2009), estas características son muy deseables en un genotipo apto para la producción de forraje, además de explicar que en el caso del trigo este comportamiento se asocia a una mayor duración de su periodo vegetativo. En el rendimiento de forraje seco (PSF), el trigo Baguette destacó en la etapa de embuche con más de 7 t ha⁻¹, mientras que obtuvo un rendimiento máximo de 13 t ha⁻¹ en grano lechoso-masoso, superando el rendimiento obtenido por Carrillo et al., (2010) de hasta 8.7 t ha⁻¹, y un rendimiento similar al alcanzado por Zamora et al., (2016) de 13.3 t ha⁻¹ en líneas imberbes de trigo.

Los dos genotipos de avena destacaron en la producción de forraje fresco (PFF) durante las tres etapas de corte, con un peso promedio de 48.6 ton ha⁻¹ en grano lechoso-masoso, mientras que en el peso seco de forraje (PSF) la variedad Avemex mostró un rendimiento de hasta 14.2 t ha⁻¹ en la etapa de grano lechoso-masoso, con lo que superó el mayor rendimiento encontrado por Espitia et al., (2007) de 12.6 t ha⁻¹ en su estudio comparativo de variedades de avena, sin embargo en un segundo trabajo en 2012 obtuvo un rendimiento potencial de 19 t ha⁻¹ en la etapa de grano masoso. El comportamiento del triticale fue muy sobresaliente con relación a la acumulación de materia seca. En las tres etapas de corte mostró en promedio mayor PST, mientras que también sobresalió en el PSF, principalmente en las etapas de anthesis y grano lechoso-masoso; en esta última se destacó la línea avanzada L3 con un potencial de rendimiento de forraje seco de hasta 16.5 t ha⁻¹, siendo este un rendimiento muy similar al obtenido por Polo, (2010) de 17 t ha⁻¹ de materia seca en el mismo estado de grano lechoso-masoso.

En lo referente a la calidad nutricional del forraje, el trigo superó de manera significativa al promedio de las tres especies restantes durante la etapa de embuche, mostrando el mejor comportamiento en la mayoría de los componentes de calidad. La cebada Capuchona obtuvo el contenido más alto de PC con 127 g kg⁻¹, sin embargo ambas variedades de trigo tuvieron un contenido proteico muy similar de 125 g kg⁻¹. En esta misma etapa se destacó el trigo Baguette en las fracciones de FDN y FDA lo que resultó también en el mejor contenido energético y VAR con respecto al resto de los genotipos. Lo anterior puede ser explicado por la fuerte relación con su ciclo vegetativo largo y su alta RHT (Morant et al., 2009). Al avanzar a la etapa de anthesis se redujo la calidad nutricional en los 8 genotipos evaluados sin embargo, logró sobresalir la cebada Esmeralda con un contenido proteico de 116 g kg⁻¹, superando en este componente a lo obtenido

por Catrileo et al., (2003) de 106 g kg^{-1} en ensilaje de cebada, mientras que también Esmeralda mostró la menor acumulación en las fracciones de FDN y FDA, lo cual repercutió en su alto contenido energético y el más alto en VAR, de hasta 116, observando una mejora con respecto a lo encontrado por Valdés (2006) con un VAR de 109 en la variedad de cebada capuchona.

El trigo Baguette mantuvo el mejor contenido de PC en estados avanzados del desarrollo, obteniendo 103 g kg^{-1} de proteína en la etapa de grano lechoso-masoso, superando ligeramente lo encontrado por Zamora et al., (2016) con un contenido de 100 g kg^{-1} para el mismo componente, en líneas imberbes de trigo. Con respecto a las fracciones de FDN y FDA en la etapa de grano lechoso-masoso los ocho genotipos experimentaron reducciones significativas para estos componentes, debido al desarrollo del grano en esta etapa, tal como lo menciona Ramírez et al., (2013), como consecuencia de un efecto de dilución en su concentración en el forraje, por lo que también mejoraron los componentes de calidad nutricional ENL, ENG y VAR. En esta etapa sobresalió la línea de triticale L3 por su bajo contenido de FDN, mientras que la cebada Esmeralda tuvo el menor contenido de FDA; el contenido energético del forraje (ENL y ENG) en estos dos genotipos fue muy similar, siendo Esmeralda ligeramente superior a la línea de triticale sin embargo, esta última mostró el mejor indicador de la calidad del forraje VAR, lo anterior concuerda con lo obtenido por Gil, (2008), donde en etapas avanzadas del crecimiento tuvo una mejor respuesta en triticale en la calidad alimenticia del forraje en comparación con la avena y la cebada. Por otro lado los dos genotipos de avena mostraron mayor acumulación de las fracciones de fibras lo que demeritó su calidad nutricional. Lo anterior concuerda con López, (1991) quien menciona que la avena como especie forrajera presenta un alto contenido de celulosa en la fracción del grano, por lo que el efecto de dilución de fibras se hace menos notorio.

En el presente trabajo fue posible comprobar la importancia de la fertilización nitrogenada, la elección de la especie o genotipo y la etapa fenológica del cultivo al momento de la cosecha; para optimizar la producción de materia seca y el contenido nutricional del forraje. También se destacan los avances logrados en la obtención de nuevos cultivares de cereales para la producción de forraje, con buena adaptación a las condiciones que imperan en los valles altos de Toluca. Cabe resaltar que en los últimos años se ha incrementado el interés por la inclusión de cereales de grano pequeño en los sistemas de producción de forraje en diferentes regiones del país. Tal es el caso del triticale, cebada y trigo, los cuales pueden remplazar a los cultivos tradicionales como maíz y avena que

siguen ocupando mayor superficie sembrada. Si bien el valle de Toluca, México no es una zona eminentemente forrajera, se obtuvieron resultados alentadores para la utilización de cereales forrajeros en sistemas de rotación de cultivo como alternativa al monocultivo de maíz, que predomina en la zona, haciendo así un uso más sustentable de los suelos agrícolas de la región. Sin embargo, la obtención de forraje henificado en el valle de Toluca durante las etapas tempranas de crecimiento se puede ver afectada por el largo periodo de lluvias que se tiene en la región durante el verano, por lo que una estrategia para la cosecha y henificado del forraje podría basarse en la siembra de cultivares de ciclo largo para que el corte pueda realizarse hacia el otoño, justamente cuando termina el periodo de lluvias. Otra opción sería la siembra de cereales de grano pequeño en el ciclo invierno-primavera bajo régimen de riego, y de esta manera producir forraje de buena calidad durante la etapa de estiaje.

VI. CONCLUSIONES

- La avena, cebada, trigo y triticale mostraron variación interespecífica e intraespecífica con relación a su ciclo de crecimiento, asignación de materia seca, rendimiento y calidad nutricional de forraje.
- Al aumentar la dosis de N se afectó positivamente a los componentes de rendimiento y algunos parámetros de calidad de forraje, sobre todo al contenido de proteína.
- Conforme se retrasó la etapa de corte se incrementó la producción de materia seca, mientras que el contenido de proteína se redujo de manera significativa.
- Los genotipos de los cuatro cereales evaluados exhibieron interacción con la dosis de N y la etapa de corte, alcanzando los mayores rendimientos de materia seca y en la mayoría de los casos mayor calidad nutricional de forraje en la etapa de grano lechoso-masoso.
- La avena obtuvo el rendimiento más alto de forraje fresco, pero mostró mayor acumulación de fibras que los otros tres cereales, lo cual repercutió negativamente en su calidad nutricional de forraje.
- La cebada Esmeralda destacó en las etapas más avanzadas del crecimiento por su bajo contenido de fibras, lo que resultó en mayor contenido energético y alto valor alimenticio relativo, sin embargo, fue la variedad con el rendimiento de materia seca más bajo.

- El trigo Baguette sobresalió en la etapa de embuche por su mejor contenido nutricional, además de mostrar el mayor contenido de proteína en las diferentes etapas fenológicas. En los componentes del rendimiento de materia seca tuvo el mejor peso seco de hoja y relación hoja-tallo a lo largo del ciclo de crecimiento, mientras que en el rendimiento de forraje seco ligeramente menor al de avena.

- La línea experimental de triticales L3 mostró mayor aptitud forrajera, alcanzando los niveles más altos de producción de materia seca, además de mantener un adecuado contenido de proteína y fibras, apenas por debajo de baguette y esmeralda respectivamente.

- Los resultados obtenidos en la presente investigación indican que los cereales de grano pequeño cultivados en los valles altos del estado de México pueden ser una opción viable para el abastecimiento de forraje de calidad en sistemas de producción pecuaria de pequeña y gran escala.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Agricultural Service Laboratory Clemson University. 1996. FORMULAS FOR FEED AND FORAGE ANALYSIS CALCULATION. Disponible: <http://www.clemson.edu/agsrv1b/Feed%20formulas.txt>
- Alatríste, T.S. 2012. COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO Y CRECIMIENTO DE CEREALES DE INVIERNO CON FINES FORRAJEROS EN ZONAS SEMIÁRIDAS. Tesis de licenciatura, Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Bainotti, C. y Gómez D. 2006. EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE TRIGO COMO DOBLE PROPÓSITO. INTA-EEA. P 3. Consulta: 2015. Sitio argentino de producción animal. Disponible: http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_evaluacin_de_cultivares_de_trigo_para_doble_pro.pdf
- Carrillo, R.R. Esqueda M.H. y Báez A.D. 2010. Uso de inoculante y fertilización nitrogenada en la producción de forraje de avena, ballico y trigo. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 1 (2)b: pp. 141-143
- Catrileo, A., Rojas, C., Matus, J. (2003). EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE CEBADA SEMBRADA SOLA Y ASOCIADA A ESPECIES FORRAJERAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENSILAJE. Agricultura Técnica (Chile), 63 (2), pp. 135-145.
- Colín, R.M. y Zamora V.M. 2007. Caracterización y selección de nuevos genotipos imberbes de cebada forrajera para el norte y centro de México. Técnica Pecuaria en México. 45 (3): pp. 249-262.
- Colín, R.M. y Zamora V.M. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en la Región Lagunera de México. Técnica Pecuaria en México. 47 (1): pp. 27-40.
- Cooper, M., and Morris, D.W. 1986. Agricultura forrajera. Buenos Aires, Argentina: EL ATENEO. pp. 37-40
- Duthil, J. 1980. Producción de forrajes. 3ª ed., Ed. MUNDI-PRENSA, Madrid. p. 367.

- Espitia, E., Villaseñor, H., Huerta, J., Salmerón, J., González, R., Osorio L. 2007. Obsidiana, variedad de avena para la producción de grano y forraje en México. *Agricultura Técnica en México*, 33 (1), pp. 95-98.
- Espitia, E., Villaseñor, H., Tovar, R., Olán, M., Limón, A. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (4), pp. 771-783.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION (FAOSTAT). 2014. Disponible: http://faostat3.fao.org/browse/Q/*/E
- Gil, H. 2008. INFLUENCIA DE TRES ETAPAS DE CORTE EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FORRAJE ENSILADO Y HENIFICADO EN LÍNEAS EN LÍNEAS AVANZADAS DE TRITICALE. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gil, H., Martínez, C.G., Estrada, G. 2014. Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5 (6). p. 951-964.
- Goodwall, D.W. 1987. *Ecosystems of the world, Managed grasslands anatical studies*. New york, USA: Elsevier. p. 278
- Hopkins, A. 2000. *GRASS Its Production and Utilization*. United Kingdom: British Grassland Society. p. 289.
- Huss, D.L. 1981. *Fundamentos de manejo de pastizales*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey NL., México. p. 215.
- Juscáfresa, B. 1974. *Forrajes: fertilizantes y valor nutritivo*. 1ª ed., Ed. AEDOS, Barcelona España. p. 203.
- Keles, G., Ates, S., Coskun, B., Mustafa, S., Isik, S. 2016. Forage yields and feeding value of small grain winter cereals for lambs. *Journal of the Science of Food and Agriculture.*, 96, pp. 4168-4177.

- López, L. 1991. Cultivos Herbáceos Vol. 1 Cereales. Madrid, España: Mundi-Prensa, pp.
- Medina, G.A. 2014. Manual de Cultivos Forrajeros. F.C.A. Universidad Autónoma del Estado de México. p. 116
- Morant, A., Merchán, H. y Lutz, E. 2009. Identificación de características forrajeras deseables para un ideotipo de trigo doble propósito. *Revista Argentina de Producción Animal*. 29, pp. 111-117.
- Moreno, I. y Ramírez, A. 2001. EL CULTIVO DEL TRIGO. ALGUNOS RESULTADOS DE SU PRODUCCIÓN EN CUBA. *Cultivos Tropicales*. 22 (4): pp. 55-67.
- Murillo, B., Escobar, A., Fraga, H. y Pargas, R. 2001. Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en baja California sur, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 24 (2): pp. 145-152
- Muslera, P.E. y Ratera G.C. 1991. Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. 2a ed. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. p. 702.
- Osuna, E., Aria, L., Nuñez, G., & Gonzales, F. 2015. Producción de forrajes de temporal con estiércol bovino y captación de agua en siembra a triple hilera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6 (8), pp. 1743-1756.
- Pearson, C.J., Ison, R.L. 1997. *Agronomy at Grassland Systems*. United Kingdom: Cambridge University Press. p. 163.
- Polo, I. 2010. EVALUACION DE VARIEDADES DE TRITICALE PARA DISTINTOS APROVECHAMIENTOS: GRANO, FORRAJE Y BIOMASA ENERGETICA Y ESTUDIO COMPARATIVO CON VARIEDADES DE TRIGO. Navarra, España. Tesis de licenciatura, Universidad Pública de Navarra.
- Quiroz, M.J. 2006. POTENCIAL DEL RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FORRAJE EN LÍNEAS DE TRITICALE (*X triticosecale* Wittmack) DE CICLO LARGO PARA CONDICIONES DE TEMPORAL EN TOLUCA, MÉXICO. TESIS DE LICENCIATURA. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México.

- Ramírez, O.S. y Domínguez, D. D. 2013. Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*.36 (4): pp. 395-403
- Robles, S.R. 1978. PRODUCCIÓN DE GRANOS Y FORRAJES. 2ª ed. Ed. Limusa. México DF. pp. 235-240.
- Satorre, E., Benech, R., Slafer, G., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M., & Savin, R. (2003). PRODUCCIÓN DE GRANOS. Bases Funcionales para su Manejo. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. p. 783.
- Servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP). 2015. Disponible: <http://www.gob.mx/siap/> (17/09/2016).
- Slafer, G.A. Rawson, H.M. 1994. Sensitivity of Wheat Phasic Development to Major Environmental Factors: a Re-Examination of Some Assumptions Made by Physiologists and Modellers. *Functional Plant Biology* 21, p. 393-426.
- Soto, F., & Hernández, N. 2012. Influencia de tres fechas de siembra en el crecimiento y rendimiento de especies de cereales cultivadas en condiciones tropicales. cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench var. ISIAP DORADO). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) Cultivos Tropicales, 33 (2), pp 50-55.
- Valdés, S.N. 2006. PRODUCCIÓN Y CALIDAD NUTRICIONAL DE FORRAJE EN TRITICALE, AVENA Y CEBADA EN TRES ETAPAS PROGRESIVAS DE MADUREZ EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO. TESIS DE LICENCIATURA, Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Zadoks JC, Chang TT and Konzak CF, 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Wee Res* 1:415–421
- Zamora, V. M., Colín, M., Torres, M. A., García, A., & Jaramillo, M. 2016. Producción y valor nutritivo en fracciones de trigos imberbes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7 (2), 291-300.