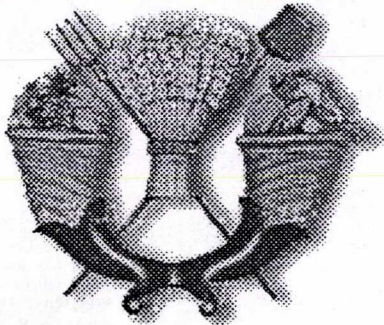




**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA.
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN ANIMAL**

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RIEGO EN PRADERAS
DE AVENA Y RAIGRÁS ANUAL**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCIÓN ANIMAL**



DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

MARÍA DE LAS MERCEDES FLORES PAREDES

**DICIEMBRE DE 2001
CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO**



BIBLIOTECA CENTRAL U. A. C.

BIB 96773

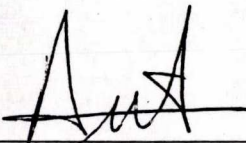
**FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RIEGO EN PRADERAS
DE AVENA Y RAIGRÁS ANUAL**

Tesis realizada por **María de las Mercedes Flores Paredes** bajo la dirección del Comité
Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener
el grado de:

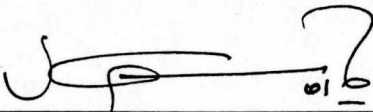
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN ANIMAL

DIRECTOR:  _____

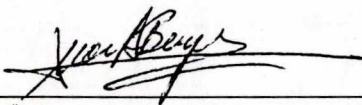
Ir. Ricardo Daniel Améndola Massiotti

ASESOR:  _____

Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR:  _____

Dr. Victor Ordaz Chaparro

ASESOR:  _____

M. C. Juan Andrés Burgueño Ferreira

39134

**FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RIEGO EN PRADERAS
DE AVENA Y RAIGRÁS ANUAL**

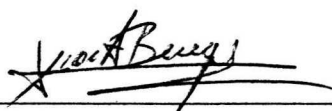
El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **María de las Mercedes Flores Paredes** autora de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Producción Animal estuvo constituido por:

PRESIDENTE: 

Ir. Ricardo Daniel Améndola Massiotti

ASESOR: 

Dr. Victor Ordaz Chaparro

ASESOR: 

M. C. Juan Andrés Burgueño Ferreira

DEDICATORIA

A mis padres:

Mercedes Paredes Gutiérrez y Manuel Flores Amador. Como una muestra de agradecimiento y amor por todo lo que he recibido de ustedes. Los quiero mucho.

A mis hermanos:

Jesús, Lety, Antonio, Martín, Manuel y César. En todo momento han estado a mi lado y son mis mejores amigos.

A mis sobrinos:

Emmanuel, Mercedes, Armando, Pamela, Rosario, Benjamin, Daniela, Patricia Yamel y Octavio. Ustedes son mi inspiración.

A mis tíos:

Maura Paredes Gutiérrez y Mario Hernández. Gracias por su apoyo y cariño.

A mis cuñadas y mi cuñado:

Estela, Dolores, Raquel, Ana, Patricia y Gustavo. Gracias por su cariño.

A mis amigos. Ustedes siempre están en mis pensamientos.

A la memoria del Dr. Andrés Aguilar Santelises.

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo, por brindarme la oportunidad de ingresar a su programa de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo brindado en la realización de mis estudios de maestría

Al Ir. Ricardo Daniel Améndola Massiotti por sus valiosas enseñanzas, su dedicación, su ejemplo, su amistad y por la acertada dirección de este trabajo.

Al Dr. Víctor Manuel Ordaz Chaparro, por sus acertadas sugerencias para mejorar este trabajo así como por sus consejos y la atención que siempre me brindo.

Al M. C. Juan Andrés Burgueño Ferreira por su invaluable apoyo en la parte estadística de esta investigación, así como por su disponibilidad para asesorarme.

Al Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández por sus comentarios sobre este trabajo.

A la Lic. María Luisa Saavedra Solá por sus sugerencias en la redacción de este trabajo. Gracias por sus valiosos consejos.

A la M. C. Antonia González Embarcadero y a la Maestra Hilda Flores Brito por su apoyo en la parte de laboratorio, de este trabajo.

A Enrique, Toño, Adriana, Pánfilo, Gianga, Pepe y Alondra quienes contribuyeron en la realización de esta tesis.

Gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente investigación Ingeniero Agrónomo Zootecnista María de las Mercedes Flores Paredes, es originaria de Puebla, Puebla. Realizó estudios de Educación Media Superior en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México. Los estudios de Educación Superior los realizó en el Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en el Estado de México, donde curso la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnista. Posteriormente se desempeño como docente en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Mesoamericana en Puebla, Puebla.

RESUMEN

Flores, P. M. M.; R. D. Améndola M.

FERTILIZACIÓN NITROGENADA Y RIEGO EN PRADERAS DE AVENA Y RAIGRÁS ANUAL

(Noviembre 2001)

Se evaluó la respuesta a nitrógeno (N) (0, 50, 100 y 150 kg N ha⁻¹ cosecha⁻¹) y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d⁻¹) en la producción de materia seca (MS) Kg ha⁻¹ y N cosechado en praderas de avena con raigrás anual, bajo corte durante tres cosechas, en Chapingo, México. La respuesta promedio a la fertilización nitrogenada fue de 16.6, 11.9 y 10.3 kg MS kg⁻¹N para 50, 100, 150 kg N ha⁻¹ cosecha⁻¹. El porcentaje de recuperación aparente (RAN) promedio de los riegos fue de 51, 42 y 43 %. El aumento del riego afectó negativamente la absorción de nitrógeno cosechado y positivamente a la intercepción de luz. La fertilización aumentó la eficiencia de uso del agua de riego y la competitividad de raigrás

Palabras clave: rendimiento, composición botánica, eficiencia de uso del fertilizante y el agua, intercepción de luz, competencia.

SUMMARY

Flores, P. M.M. ; R. D. Améndola M.

NITROGEN FERTILISATION AND IRRIGATION ON OATS AND ANNUAL RYEGRASS PASTURES

(November 2001)

The effect of four levels of N fertilisation (0, 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹ harvest⁻¹) and two levels of irrigation water [67 and 100 mm (14d)⁻¹] on herbage dry matter (DM) and N-yield of oats and annual ryegrass pastures, was studied under cutting in three harvest cycles at Chapingo, Mexico, between November 1998 and April 1999.

The average apparent effect of N fertilisation (ANE) was 17, 12 and 10 kg DM (kg N)⁻¹ with 50, 100 and 150 kg N ha⁻¹ harvest⁻¹, respectively. The apparent recovery of fertiliser N (ANR) averaged 46% and was lower with the highest level of irrigation water and in the first and third harvest cycles. Increasing the level of irrigation affected negatively N-uptake and positively light interception. Nitrogen fertilisation increased the efficiency of utilisation of irrigation water and the competitive ability of ryegrass.

Key words: herbage yield, botanical composition, efficiency of utilisation of fertiliser and irrigation water, radiation interception, competition.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. General	3
2.2. Particulares	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1. Cultivos invernales	4
3.1.1. Avena (<i>Avena sativa</i> L.)	4
3.1.2. Raigrás anual (<i>Lolium multiflorum</i> Lam)	5
3.2. Características de la asociación avena-raigrás	6
3.3. Nitrógeno	8
3.3.1. Importancia del nitrógeno	8
3.3.2. Importancia fisiológica del nitrógeno	10
3.4. Respuesta del forraje a la fertilización con nitrógeno	12
3.4.1. Influencia de la especie	12
3.4.2. Influencia del patrón de aplicación de Nitrógeno	12
3.4.3. Influencia de la intensidad de la defoliación	12
3.4.4. Influencia del método de utilización del forraje	13
3.4.5. Influencia de la luz	13
3.4.6. Influencia de la temperatura	13
3.4.7. Efecto de la humedad en la respuesta a Nitrógeno	14
3.4.8. Influencia de la fertilidad del suelo	15
3.4.9. Influencia de la estación del año	15
3.4.10. Influencia de la fuente de nitrógeno en la fertilización	16
3.5. Interacción del Nitrógeno con otros minerales	17
3.6. Efecto del nitrógeno en el valor nutritivo del forraje de gramíneas	17
3.7. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la composición botánica de praderas de avena y raigrás	18
IV. HIPÓTESIS	19
V. MATERIALES Y MÉTODOS	20
5.1. Localización y periodo experimental	20

5.2. Clima	20
5.3. Suelos	21
5.4. Tratamientos	23
5.4.1. Niveles de Nitrógeno	23
5.4.2. Nivel de riego	23
5.5. Diseño experimental	24
5.6. Siembra	25
5.7. Muestreos de rendimiento	25
5.8. Muestreos de nitrógeno en material vegetal	25
5.9. Muestreos de nitrógeno en suelo	25
5.10. Estimación de la curva de crecimiento	26
5.11. Determinaciones en laboratorio	26
5.11.1. Nitrógeno en suelo y planta.	26
5.11.2. Determinación de materia seca	26
5.11.3. Determinación de Cenizas	27
5.11.4. Composición botánica del forraje	27
5.12. Análisis Estadístico	27
5.12.1. Estimación de la masa de forraje semanal por técnicas indirectas	27
5.12.2. Análisis de rendimiento	28
5.12.3. Análisis de variables para el rebrote en la segunda cosecha	29
VI. RESULTADOS	30
6.1. Establecimiento de los experimentos	30
6.2. Rendimiento de forraje y Nitrógeno Cosechado	30
6.3. Masa de forraje residual, contenido de Nitrógeno y kilogramo de Nitrógeno en el forraje residual.	33
6.4. Contenido de N en el suelo.	36
6.5. Eficiencia de utilización del agua de riego	37
6.6. Acumulación de forraje entre la primera y segunda cosecha	38
6.6.1. Masa de forraje, contenido de Nitrógeno en el forraje y Nitrógeno cosechable en el rebrote	38
6.7. Intercepción de luz en el rebrote	43
6.8. Composición Botánica	44
6.8.1. Masa de forraje, contenido de Nitrógeno en el forraje y Nitrógeno cosechable en el rebrote de raigrás	44

6.8.2. Masa de forraje, contenido de Nitrógeno en el forraje y Nitrógeno cosechable en el rebrote	46
6.9. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la composición botánica en el rebrote de avena-raigrás	49
VII. DISCUSIÓN	50
7.1. Producción de materia seca y nitrógeno cosechado	50
7.2. Rebrote entre la primera y segunda cosecha	56
7.2.1. Producción de materia seca y Nitrógeno cosechado en el rebrote	56
7.2.2. Efecto de los tratamientos en la composición botánica	58
VIII. CONCLUSIONES.	60
IX. RECOMENDACIONES	61
X. LITERATURA CITADA	62
XI. ANEXOS	68

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Respuesta a la fertilización con nitrógeno de la asociación avena-raigrás en algunos trabajos realizados en Chapingo, México	8
Cuadro 2. Características físicas y químicas del suelo, preliminares al experimento.....	22
Cuadro 3. Ecuaciones de regresión de masa de forraje (kg MO ha^{-1}) contra lecturas de técnicas indirectas	38
Cuadro 4. Costo del forraje producido ($\text{\$ kg}^{-1}$ MS) con diferentes tratamientos de fertilización y riego	56

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama del metabolismo del Nitrógeno en plantas	11
Figura 2. Temperatura promedio, máxima y mínima durante el periodo experimento.....	20
Figura 3. Evaporación y humedad relativa durante el periodo experimental	21
Figura 4. Precipitación y radiación solar durante el periodo experimental	21
Figura 5. Curvas de retención de humedad del suelo	23
Figura 6. Balance de humedad para los dos niveles de riego	24
Figura 7. Diseño de los experimentos y aleatorización de tratamientos	24
Figura 8. Rendimiento de forraje de la asociación de Avena – Raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	31
Figura 9. Contenido de Nitrógeno en el forraje cosechado de la asociación de Avena - Raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	32
Figura 10. Cantidad de N cosechado en la asociación de avena con raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	33
Figura 11. Masa de forraje residual de la asociación de avena - raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	34
Figura 12. . Contenido de N en el forraje residual N (kgMS-1) de la asociación de avena con raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	35
Figura 13. Correlación entre contenido de Nitrógeno en el forraje cosechado y en el forraje residual	35
Figura 14. N en el forraje residual (kg N ha-1) de la asociación de avena - raigrás en tres cosechas, con dos niveles de riego (67 y 100 mm 14d-1)	36
Figura 15. Contenido de N nítrico en el suelo después de cada cosecha (mg N kg de suelo-1) de la asociación de avena con raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14d-1)	37
Figura 16. Contenido de Nitrógeno mineral en el suelo después cada cosecha (mg N kg suelo-1) de la asociación de avena con raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	37
Figura 17. Masa promedio de forraje durante un periodo de rebrote con diferentes niveles de fertilización nitrogenada	39

Figura 18. Curva de acumulación de forraje durante un período de rebrote, promedio de cuatro niveles de fertilización $\times$ dos niveles de riego	39
Figura 19. Masa de forraje cosechable en diferentes días del período de rebrote con cuatro niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	40
Figura 20. Contenido de N en el forraje por encima de 5 cm durante el rebrote (g N. MS ha ⁻¹) de la asociación de avena con raigrás en 45 días de rebrote con dos niveles de riego (67 y 100 mm 15 d-1)	41
Figura 21. Cantidad de N en el forraje cosechable durante el rebrote kg N ha ⁻¹ de la asociación de avena con raigrás en 45 días de rebrote con 4 dosis de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 15 d-1)	42
Figura 22. Correlación entre el contenido de N en el forraje residual y el contenido de N en el forraje cosechable de la asociación de avena - raigrás	42
Figura 23. Radiación interceptada durante el rebrote (%) de la asociación de avena con raigrás en cuatro semanas de rebrote, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d-1)	43
Figura 24. Masa de forraje de Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote (kg MS ha ⁻¹) de la asociación de avena con raigrás en cuatro días de rebrote, 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	44
Figura 25. Contenido de N en Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote [g N (kg MS) ⁻¹] de la asociación de avena - raigrás en cuatro días de rebrote, 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego	45
Figura 26. Cantidad de N en Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote (kg N ha ⁻¹) de la asociación de avena - raigrás, en 30 días de rebrote y con dos niveles de riego	45
Figura 27. Masa de forraje de Avena por encima de 5 cm de la asociación de avena - raigrás (kg MS ha ⁻¹) en 38 días de rebrote, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y con dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d-1), entre la segunda y tercera cosecha	46
Figura 28. Correlación entre la masa de forraje de avena y la masa de forraje de raigrás	47
Figura 29. Contenido de N de Avena por encima de 5 cm [g N (kg MS) ⁻¹] en la asociación de avena - raigrás en 38 días de rebrote y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14d-1), entre la segunda y tercera cosecha	47
Figura 30. Cantidad de N cosechable en Avena por encima de 5 cm (kg N ha ⁻¹) de la	

asociación de avena - raigrás en 30 días de rebrote, 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm d-1), entre la segunda y tercera cosecha	48
Figura 31. Cantidad de nitrógeno cosechable en avena y raigrás en 30 días de rebrote con cuatro niveles de fertilización nitrogenada	48
Figura 32. Porcentaje de Raigrás en la asociación Avena-Raigrás, durante 38 días de rebrote, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d-1), entre la segunda y tercera cosecha	49

I. INTRODUCCIÓN

El balance estacional entre la producción de forrajes y la demanda de los animales es uno de los aspectos que más afecta la eficiencia biológica y económica de explotaciones que intentan usar al máximo el forraje para la alimentación de los animales. En el caso concreto de la producción de leche bajo pastoreo de praderas templadas, una de las opciones para mantener una alta oferta de forraje en el invierno es la complementación de praderas de alfalfa con cultivos forrajeros, como la asociación avena-raigrás anual y en el verano con maíz para ensilar.

La producción de forraje de las praderas de avena y raigrás depende en gran medida de fertilización nitrogenada y del riego. Sin embargo ambos insumos representan una alta proporción del costo de producción. Asimismo constituyen factores fundamentales de los efectos del sistema de producción sobre el medio ambiente.

La fertilización con N (N) incrementa la producción total del forraje debido a que promueve un mayor desarrollo inicial o vegetativo y en consecuencia una mayor producción de materia seca (MS). La respuesta a la fertilización con N es casi lineal con dosis de hasta 350 kg por hectárea, pero con dosis cercanas o mayores 500 kg, la respuesta se estabiliza. En los cultivos forrajeros las aplicaciones de N son altas debido a la intensidad del uso del forraje (cortes o pastoreos); por tal motivo es conveniente encontrar una óptima dosis de N, para el mejor aprovechamiento de este recurso.

La humedad del suelo favorece la disponibilidad de N para las plantas debido a que permite la absorción de N por las raíces. En consecuencia hay una mayor concentración de N en los tejidos y una mayor producción de MS.

El efecto de N y riego combinados, generan respuestas en la producción mayores a las obtenidas cuando estos se aplican en forma independiente. Por esto el manejo eficiente de la fertilización y el riego constituye una herramienta imprescindible para incrementar la sustentabilidad del sistema de producción animal basado en forrajes,

La composición botánica de las praderas de avena y raigrás, varía en función de la fertilización nitrogenada y el avance en la estación de crecimiento. Además el balance entre las especies es un factor importante en la productividad de forraje de esta asociación. El conocimiento acerca del efecto de la fertilización nitrogenada sobre la composición botánica es por lo tanto necesario para diseñar prácticas de manejo de la fertilización.

Por todo lo anterior, en el presente trabajo se plantearon los siguientes objetivos:

II. OBJETIVOS

2.1. General

- ♦ Evaluar la respuesta de la asociación avena-raigrás anual a la fertilización con nitrógeno y al riego.

2.2.Particulares

- ♦ Evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de la asociación avena-raigrás anual.
- ♦ Valuar la evolución de la composición botánica de la asociación avena-raigrás anual a diferentes niveles de fertilización nitrogenada.
- ♦ Evaluar el efecto de la disponibilidad de humedad sobre la respuesta a nitrógeno.

III. Revisión de Literatura

3.1. Cultivos invernales

Los cultivos forrajeros generalmente son especies anuales que se utilizan mediante corte para conservación, aunque se pueden aprovechar directamente en pastoreo (Muslera, 1991). La utilización de cultivos invernales constituye una de las principales herramientas para enfrentar el déficit de invierno (Carámbula, 1977). Normalmente se utilizan cereales de invierno como cebada, avena, centeno y raigrás, ya que se aprovecha de estas especies, el ciclo corto de vegetación rápida y precoz que permite obtener una mayor cantidad de materia seca (Muslera, 1991; Domínguez, 1984).

3.1. 1. Avena (*Avena sativa* L.)

No se sabe con certeza su origen, pero se cree que fue la región del Asia Menor, extendiéndose hacia el norte y oeste hasta Europa. La avena se caracteriza por desarrollarse durante la estación fría del año. Obtiene su mayor producción en los climas templados, secos o húmedos no extremos preferentemente durante el invierno, su temperatura máxima, mínima y óptima es de 31-37, 4-8 y 25-31 respectivamente. Se adapta muy bien a suelos ácidos, compactados o sueltos con pH de 5-7, no salinos, limosos y de aluvión (López, 1991).

La avena es una planta anual de crecimiento herbáceo en macollos, sus hojas son de color verde oscuro brillante con las nervaduras muy marcadas en las hojas, sus vainas presentan dos aurículas largas y una lígula visible (Muslera, 1991).

Plantas bajas o medianas, anuales con panículas angostas o abiertas con pocas flores en espiguillas grandes (Rodríguez, 2000). Espiguillas biflosculadas, flores no separadas raquilla pubescente, con desarticulación arriba de las glumas y entre los flósculos; glumas casi iguales y más grandes que el primer flósculo, membranosas o papiráceas,

con 7 a 9 nervaduras, más largas que el flósculo inferior, por lo regular; lemas glabras y duras, con excepción de la parte apical, con 5 a 9 nervaduras, bidentadas, arista generalmente recta o ausente (Rodríguez, 1996; Rodríguez, 2000).

3.1.2. Raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam)

Es nativo de las regiones del Mediterráneo, sur de Europa, Norte de Africa y Asia menor. Se cree que fue cultivado por primera vez en el norte de Italia. Suele considerarse como una especie anual aunque, bajo algunas condiciones, se comporta como bianual o incluso perenne de vida corta. Crece en manojos, alcanza una altura de 60-90 cm, forma abundantes hojas y es tierno. En lugares donde los inviernos son moderados, se siembra al principio del otoño. Se recomienda sembrar de 11 a 28 kg ha⁻¹ (Schoth, 1970).

El raigrás es una gramínea de muy buen rebrote, gran resistencia al pastoreo y al exceso de humedad, poco exigente en cuanto a suelos, se adapta a suelos desde arcillosos a arenosos; pero tiene mejor productividad en suelos con fertilidad alta (mayor potencial de eficiencia al uso de N, (Carámbula, 1977). Tiene gran capacidad de cubierta sobre todo mezclado con otras especies en praderas temporales. Desempeña un valioso papel como indicador de la cosecha, suprime las hierbas pobres y malas hierbas que sobrevivan al cultivo inicial. Los tallos son cilíndricos y la base es de color rojizo (Muslera, 1991).

Durante el verano su crecimiento es lento debido a su bajo denso sistema radical y a las altas temperaturas, siendo su temperatura óptima entre 18-20°C (Muslera, 1991). Es una planta que requiere suelos fértiles, es sensible a la sequía y es susceptible a las heladas. (Pearson, 1979).

El raigrás responde rápidamente a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, por lo que es necesario que durante el invierno se le adicione para que pueda expresar su potencial productivo (Muslera, 1991; Pearson, 1979; Schoth, 1970).

Plantas anuales o perennes con limbos planos y espigas delgadas, por lo general aplanadas (Rodríguez, 2000). Culmos cilíndricos, inflorescencia espiga; espiguillas multiflosculadas, solitarias, sésiles, dispuestas en ángulo recto con relación al raquis continuo con el margen interior encajonado en la cavidad alterna del raquis, la raquilla desarticulándose arriba de las glumas y entre los flósculos; primera gluma ausente, (con excepción de la raquilla desarticulándose arriba de las glumas y entre los flósculos; primera gluma ausente, con excepción de la espiguilla terminal y rara vez en 1 a 2 espiguillas de la espiga, la segunda es exterior con 3 a 5 nervaduras prominentes, de igual a mayor longitud que el segundo flósculo; lemas redondeadas en el dorso, con 5 a 7 nervaduras, obtusas, agudas o con arista (Rodríguez, 1996; Rodríguez, 2000).

3.2. Características de la asociación avena-raigrás

Uno de los cultivos invernales que son una buena alternativa en cuanto a la producción invernal es la asociación avena-raigrás. Esta asociación es utilizada para estabilizar la estacionalidad del forraje disponible en esa época debido a que estas especies son capaces de crecer a bajas temperaturas (Lattanzi *et al.*, 1997). Se ha observado que la mejor densidad de siembra de la asociación es de 50% avena y 50% raigrás obteniéndose en seis cortes 1.2 t ha⁻¹ de materia seca (MS) (Melgoza, *et al.*, 1991).

En lo que respecta a trabajos realizados en Chapingo, México, García *et al.*, (1994) reportan producciones por arriba de 10 t ha⁻¹ entre enero y junio. En lo que respecta a la producción total de avena, Morales (1998) obtuvo con variedades bajo pastoreo un promedio de 4 t de MS en un periodo de 180 días, aplicando en total 100 kg de nitrógeno

y 60 kg de fósforo. Améndola y Morales (1997), reportan mayores rendimientos de forraje de la asociación avena-raigrás en comparación a monocultivos de cada especie y Martínez (1999), obtuvo mayores niveles de producción de materia seca neta en cultivos invernales comparando con la producción obtenida en praderas de alfalfa-ovillo.

Se ha observado que la productividad de la asociación está en función de los niveles fertilización nitrogenada empleados (Marino *et al.* , 1995).

Dorantes (1997) evaluó, en Chapingo, diferentes leguminosas asociadas con avena-raigrás, comparándolas con la asociación avena-raigrás fertilizada con 200 unidades de N por hectárea (50 después de la siembra y 50 luego de cada pastoreo). En la medida que el trébol berseem (*Trifolium alexandrinum*) desapareció rápidamente, la composición entre los tratamientos avena-raigrás-berseem y avena-raigrás fertilizado permite estimar la respuesta a N. Esta respuesta fue de 3.9, 12.8, 30.6 y 32.0 kg MS por kg de N para el primer, segundo, tercer y cuarto pastoreo respectivamente. A su vez, para los mismos pastoreos en el mismo orden las proporciones de raigrás: avena, como porcentaje fueron 14: 86; 37:63; 58: 42 y 76:24. La respuesta a N llegó a ser muy alta dependiendo claramente de la proporción de raigrás.

También en Chapingo, trabajando con diferentes niveles de fertilización nitrogenada en la asociación avena-raigrás (Pérez, 1999), se encontró el mismo tipo de respuesta, observándose que la avena presentó baja capacidad de respuesta y el raigrás alta, por lo que la fertilización alteró la composición botánica elevando la proporción de raigrás. Uno de los efectos encontrados en raigrás fue el incremento en el número de hijatos por planta.

De manera general podemos decir que la asociación avena-raigrás presenta una mayor respuesta en producción de forraje cuando se fertiliza con N, como se puede observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Respuesta a la fertilización con nitrógeno de la asociación avena-raigrás en algunos trabajos realizados en Chapingo, México.

Autor	Asociación	Fertilización	FO	FR	FD	Masa Total
		Kg ha ⁻¹	-----	Kg MS ha ⁻¹	----	Kg MS ha ⁻¹
Cortez, 1998	Avena-raigrás, con invasión de cebada (2 ciclos de pastoreo)	60 P y 164 N	7200	4809	2391	
Martínez, 1999	Avena-raigrás (pastoreo)	60 P y 60 N	5890	2021	3846	
Pérez, 1999	Avena-raigrás (2 pastoreos)	25 N				4653
		100 N				5856
		175 N				6503
		250 N				6174
		325 N				6934
Roman, 2000	Avena-raigrás (2 cortes)	0 N	766	1330		
		50 N	1543	1456		
		100 N	1830	1635		
		150 N	2112	1581		
Rivera, 2001	Avena-raigrás-cebada (4 ciclos de pastoreo)					4853

3.3. Nitrógeno

3.3.1. Importancia del nitrógeno

El N afecta la productividad del forraje debido a sus efectos sobre la fisiología y morfología de las plantas. La respuesta en crecimiento es influenciada por las condiciones ambientales.

El N es el elemento clave para la producción de forraje, ningún otro nutrimento da como respuesta un aumento acentuado en el crecimiento. Únicamente con la aplicación regular y adecuada de N, sin depender de la fuente empleada y siempre que no existan otros factores limitantes, la pradera puede alcanzar el máximo de crecimiento. (Pearson, 1979). El nitrógeno es indispensable para que la planta elabore los materiales de reserva para el crecimiento y desarrollo de órganos.

En gramíneas el N asimilable a disposición de la planta afecta el crecimiento vegetativo y al rendimiento. Si es insuficiente, la planta es raquítica y el rendimiento de grano es escaso; en cambio si es excesivo, la planta adquiere un desarrollo vegetativo exuberante y un alto índice de área foliar (López, 1991). La fertilización nitrogenada en gramíneas influye en el crecimiento de la planta a través de su efecto sobre aspectos morfológicos como el desarrollo de hijatos, y fisiológicos como la capacidad fotosintética (Whitehead, 1995; Grindlay, 1997). Esto se debe a que el N incrementa la capacidad fotosintética de las hojas, como lo reportan Woledge y Pearse (1985), quienes encontraron una respuesta lineal entre el contenido de N en hojas por unidad de área y su mayor tasa fotosintética, sobre todo a principios del rebrote.

Según Carámbula (1977), en las especies anuales de gramíneas, la aplicación de N permite obtener alto porcentaje en la recuperación del nutrimento. La disponibilidad de N no sólo afecta la producción total de forraje, sino que afecta sensiblemente el ciclo de las especies, promoviendo un desarrollo inicial mayor. El comportamiento en general de la respuesta es casi lineal en dosis de hasta 350 kg pero al acercarse a 500 kg y por encima de este nivel, la respuesta se estabiliza. El contenido de MS y proteína aumentan por cada kg de N aplicado, y la respuesta en el contenido de proteína es mayor con niveles muy altos, superiores a los requeridos para MS. La aplicación fraccionada del N promueve una distribución más homogénea de la producción.

El mayor beneficio de la fertilización nitrogenada se observa en pastos, donde la producción de forraje se incrementa así como el contenido de proteína; en el caso de la digestibilidad el efecto no es directo y por lo tanto no es consistente (Morrison, 1987; Viglizzo, 1981). Otro efecto de la fertilización nitrogenada es la reducción del contenido de carbohidratos solubles (sobre todo de fructosa) cuando aumentan los niveles de

nitrógeno aplicados al forraje (Morrison, 1987; Noller, 1974; Viglizzo, 1981). Esto se debe a que el nitrógeno estimula la producción y crecimiento de hojas como resultado de la utilización de carbohidratos de reserva para el crecimiento a expensa de los carbohidratos solubles sobre todo de la fructosa (Noller, 1974).

Las praderas con leguminosas incrementan los niveles de N en el suelo (Tisdale y Nelson, 1985). En la medida que la respuesta a N es función de la disponibilidad de N en el suelo, una rotación de cultivos con praderas de leguminosa reduce los requerimientos de fertilización nitrogenada (Tisdale y Nelson, 1985; Martino *et al.*, 1986). A este respecto Martino *et al.*, (1986), en un experimento de nueve años de duración, evaluaron el efecto de la duración de praderas de gramíneas/leguminosas sobre el suministro de nitrógeno a cultivos posteriores a ellas y encontraron que praderas de mayor edad (4 años) aportaron un promedio de 131 kg N ha⁻¹ a cultivos de trigo.

3.3.2. Importancia fisiológica del nitrógeno

La importancia del N en el crecimiento de las plantas se relaciona con la formación de las proteínas y de los ácidos nucleicos de la planta. Algunas plantas tienen la capacidad de fijar N atmosférico, como es el caso de las leguminosas. Las gramíneas no pueden fijar el N por lo cual se requiere la fertilización nitrogenada (Domínguez, 1984; Mengel y Kirkby, 1982; Smith y Wood, 1998; Whitehead, 1995).

La asimilación de nitrógeno permite su utilización para formar compuestos orgánicos como glutamina, asparagina, citrulina y arginina (Richter, 1993). Marschner (1989) menciona que los aminoácidos glutamato y glutamina pueden ser utilizados para la síntesis de amidas, ureidas, otros aminoácidos y compuestos de alto peso molecular como las proteínas, como se puede observar en la Figura 1.

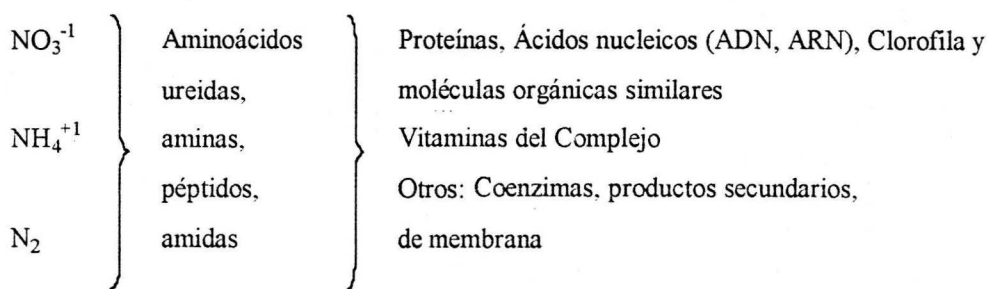


Figura 1. Diagrama del metabolismo del Nitrógeno en plantas adaptado de Merschner , 1989 y Raven *et al.*, 1992.

Las plantas sintetizan glutamina a partir de amoníaco (NH_3) y glutamato a partir de glutamina, estas moléculas desempeñan funciones clave en la síntesis de todos los demás aminoácidos y otros compuestos como, lignina, porfirinas, etc. (Conn *et al.*, 2000).

El N es considerado un elemento móvil debido a que una vez que entra a la célula como nitrato (NO_3^-) o amonio (NH_4^+) es utilizado para formar parte de bases nitrogenadas para distintas funciones fisiológicas, por ejemplo el ATP, AMP, GTP, hormonas, ácidos nucleicos y clorofila. Debido a esto cuando hay suficiente cantidad de N hay mayor cantidad de clorofila así como mayor asimilación y síntesis de productos orgánicos. En consecuencia aumenta la velocidad de crecimiento determinado por un aumento de volumen y peso, lo que conlleva a una mayor producción de hojas de buena calidad (con más proteína) y sanidad (Rodríguez, 1996).

El crecimiento vegetativo consiste principalmente de la formación y crecimiento de nuevas hojas, tallos y raíces. Como el tejido meristemático tiene un metabolismo proteico muy activo, el transporte de fotosintatos a estos sitios es usado predominantemente en la síntesis de ácidos nucleicos y proteínas. Es por esta razón que durante el estado vegetativo la nutrición con N de la planta controla la tasa de crecimiento de la planta. Una alta tasa de crecimiento sólo ocurre cuando la disponibilidad de N es abundante (Mengel y Kirkby, 1982; Woledge y Pearse, 1985).

3.4. Respuesta del forraje a la fertilización con nitrógeno

3.4.1. Influencia de la especie

Améndola (1996) menciona que las gramíneas templadas responden en buenas condiciones de humedad y temperatura en forma lineal con $20\text{-}25 \text{ kg MS kg N}^{-1}$ hasta dosis de $300 \text{ kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, en tanto que las gramíneas tropicales en igualdad de condiciones pueden responder con hasta $40 \text{ kg MS kg N}^{-1}$ manteniendo esa respuesta hasta dosis de $500 \text{ a } 600 \text{ kg N ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. Las especies seleccionadas para alta producción de forraje tienen una mayor respuesta a altas tasas de fertilización que las especies indígenas. También se ha observado que en asociaciones de gramíneas con leguminosas, la respuesta de la asociación a la aplicación de N es menor (Whitehead, 1995).

3.4.2. Influencia del patrón de aplicación de Nitrógeno (dosis y fraccionamiento)

A medida que se incrementa la dosis de N, la respuesta por unidad de N aplicado es menor, como resultado de la ley de rendimientos decrecientes (Carámbula, 1977).

El fraccionamiento de la dosis total de N mejora la respuesta en cuanto a producción de forraje (Cummins, 1965; Whitehead, 1995). Como en muchos suelos el N se encuentra mayoritariamente como nitrato en la solución del suelo este puede lixivarse; además es rápidamente absorbido por la planta llegando a niveles de consumo "de lujo". No es posible entonces mantener altos niveles de N en el suelo por largo tiempo. Ante esto se sugiere dividir la dosis de N a aplicar, para hacer un uso eficiente del N, aplicándose partes iguales luego de cada pastoreo o corte (Améndola, 1996; Muslera y Ratera, 1991).

3.4.3. Influencia de la intensidad de la defoliación (frecuencia y altura de la defoliación)

Las aplicaciones de nitrógeno en los cultivos forrajeros generalmente son altas debido a los cortes que se suceden en el ciclo (anuales o perennes). Las gramíneas necesitan más nitrógeno que las leguminosas y éstas requieren en cambio un buen nivel de fósforo y

potasio (Rodríguez, 1996₁). Cuanto más pronto sea utilizado el forraje, menor será la respuesta en materia seca y mayor la cantidad de N en la planta (Carámbula, 1977).

Whitehead (1995) menciona que bajo corte con una frecuencia de corte de 6 semanas y con una altura de corte de entre 4-5 cm, se puede esperar en promedio, una mayor producción durante el año, pero a costa de una menor digestibilidad.

3.4.4. Influencia del método de utilización del forraje

Bajo pastoreo, buena parte del N retorna con heces y orina por lo que los requerimientos de fertilización son menores que bajo corte. A su vez también es menor la respuesta a la fertilización (Améndola, 1996).

3.4.5. Influencia de la luz

El crecimiento de las gramíneas y su respuesta a la fertilización están influenciados por la variación en la intensidad de luz y por la longitud del día. En zonas templadas los días cortos en invierno, limitan la respuesta a la fertilización con N (Whitehead, 1995). Esto se debe a que en las hojas verdes, existe una estrecha relación entre la intensidad de luz y la reducción de N (por acción de la Nitrato Reductasa); este efecto se refleja en las fluctuaciones de carbohidratos y la correspondiente aplicación de equivalentes reducidos como Ferredoxina y NADPH. Hojas de plantas en situaciones de baja intensidad de luz usualmente tienen niveles bajos de actividad de la Nitrato Reductasa, la actividad enzimática se incrementa después de que la planta es transferida a condiciones de alta intensidad de luz, sin embargo un exceso de luz puede afectar la estabilidad de la enzima (Marschner, 1989).

3.4.6. Influencia de la temperatura

Temperatura y humedad afectan la respuesta de la planta a la fertilización con N. La absorción de N está relacionada en forma íntima con la actividad de las plantas. Limitaciones impuestas al crecimiento y desarrollo por bajas temperaturas o deficiencia

de agua impiden una utilización eficiente de N. Estas condiciones adversas generalmente afectan más seriamente la producción de materia seca que la absorción de N, por lo que la concentración de este elemento en las plantas puede ser mayor a dichas condiciones (Carámbula, 1977). Weihng (1963) observó que la respuesta a N medida como producción de forraje, se ve favorecida por temperaturas entre 18-20°C.

3.4.7. Efecto de la humedad en la respuesta a Nitrógeno

La cantidad de humedad disponible en praderas de gramíneas durante la estación de crecimiento es un factor de gran importancia en la variación de la producción durante cada año. La disponibilidad de agua en los suelos es importante sobre todo para permitir que la fertilización nitrogenada manifieste sus efectos sobre la producción de forraje. Cuando se fertiliza con N es necesario aplicar un riego para su movilización a las zonas radicales (Viglizzo, 1981; Mannetje, 1972).

El efecto de la combinación de fertilizante y riego, genera respuestas productivas que exceden a las obtenidas cuando ambos se aplican en forma independiente (Viglizzo, 1981). La respuesta a la aplicación de N es limitada cuando la disponibilidad de agua (precipitación y riego) es restringida. Un óptimo régimen de humedad aumenta la respuesta a N (Mengel y Kirkby, 1982; Cummins *et al.*, 1965). Sin embargo, niveles muy altos de humedad producen pérdidas de N por lavado y por falta de oxígeno, se retarda el crecimiento y la actividad de las raíces (desperdicio de N y menor crecimiento) (Carámbula, 1977).

Cuando hay una menor cantidad de humedad en el suelo la concentración de N aumenta pero este no está disponible para la planta debido a que no hay suficiente humedad en el suelo para transportar el N a las raíces y poder ser absorbido por estas. Entonces la concentración del mineral en el tejido de la planta disminuye por una baja absorción y se reduce la producción de materia seca de la planta (Keulen, 1981).

La actividad de los microorganismos sobre los compuestos nitrogenados de la materia orgánica requiere de humedad. Si el contenido de humedad es muy bajo la actividad microbiana disminuye. Cuando se fertiliza con N, si la humedad no es suficiente, pueden haber pérdidas de N por volatilización (Bolton, 1981). La mineralización es limitada tanto bajo condiciones extremas de humedad como de sequía.

Cuando humedad, temperatura y luminosidad son adecuadas, la respuesta será mayor. Se cree falsamente que es mejor fertilizar sólo en el pico de la curva de crecimiento, sin embargo como la respuesta final es económica y el valor de un Kg de forraje en invierno es mayor que en primavera-verano, la opción podría ser fertilizar igualmente todo el año (Améndola, 1996). Circunstancialmente se han encontrado en Chapingo respuestas muy bajas a la fertilización nitrogenada en momentos de déficit de riego (Pérez, 1999).

3.4.8. Influencia de la fertilidad del suelo

Suelos pobres favorecen la respuesta a la fertilización con N, esto se debe a la movilización del N en el suelo (Carámbula, 1977). Generalmente se plantea ajustar la fertilización a los resultados de análisis de suelos, con esto se tendrá una respuesta, en un principio menor en un suelo rico en materia orgánica (MO) pero como la "fertilidad" es compleja pueden existir múltiples excepciones a esa regla (Améndola, 1996).

3.4.9. Influencia de la estación del año

En regiones templadas se observa mayor respuesta de las gramíneas bajo corte a la fertilización nitrogenada en el periodo anterior a la máxima tasa de crecimiento. La respuesta a N y la producción de forraje en cosechas subsecuentes durante el verano y otoño son influenciados por las variaciones en la humedad del suelo, la intensidad de luz, la temperatura, la densidad de hijatos, y la severidad de las defoliaciones previas. En áreas de temperaturas altas, la fertilización con N puede estimular el crecimiento de pastos en invierno, si la intensidad de luz es adecuada (Whitehead, 1995).

3.4.10. Influencia de la fuente de nitrógeno en la fertilización

El nitrato es la forma en que es absorbido con mayor facilidad el N por las raíces de la mayoría de las plantas (Raven *et al.*, 1992). Las formas nítricas (NO_3^-) poseen mayor movilidad y rápida absorción por parte de la planta, por lo tanto debe aplicarse cuando su utilización sea inmediata. Las formas amoniacales (NH_4^+), al ser absorbidas al complejo absorbente del suelo, poseen menos movilidad, además del mayor tiempo en que las bacterias aerobias las transforman a nitratos se debe aplicar de manera anticipada a los periodos críticos de la planta o ser aplicado en momentos de nuevas necesidades del cultivo ya que sirven como reservas permanentes. El nitrato de amonio contiene las dos formas constituyendo una fuente de amplia duración y complementariedad (Rodríguez, 1996). Las plantas pueden utilizar amoniaco, nitritos y nitrato para elaborar compuestos orgánicos nitrogenados en las hojas (Beevers y Hageman, 1983; Domínguez, 1984; Smith y Wood, 1998). Los fertilizantes más comunes son urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio. Aunque las respuestas con urea tienden a ser un poco menores, las diferencias entre fuentes son mínimas al comparar los efectos de los demás factores (Améndola, 1996).

Las diferentes respuestas a las formas de N se deben sobre todo a diferencias en las pérdidas de N del suelo más que a las formas de consumo de N. En general, el amonio (NH_4^+) y el nitrato (NO_3^-) producen una respuesta similar en gramíneas sin embargo, en algunas ocasiones la respuesta a amonio es significativamente mayor que a nitrato y viceversa, cuando esto ocurre, se debe a las condiciones del suelo y del tiempo, que influyen la volatilización, denitrificación y lixiviación de N (Whitehead, 1995). El N en su forma nítrica puede lixivarse y el ión amonio puede volatilizarse (Rowarth, 1997). El consumo de NH_4 y NO_3^- esta influenciado por el pH del suelo, temperatura y presencia de otros aniones en el suelo (Benton *et al.*, 1991).

3.5. Interacción del Nitrógeno con otros minerales

En muchos casos la respuesta a dosis altas de N se ve limitada por falta de fósforo (Améndola, 1996). Por otro lado el exceso de nitrógeno puede causar un desequilibrio nutritivo sobre todo en P y Potasio (K) (Juscáfresca, 1974). Con respecto a la absorción de minerales por la planta y su relación con N, se ha encontrado un menor nivel de absorción de Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y K cuando se aporta N en forma amoniacal que cuando se aplica en forma nítrica (Wild, 1992).

3.6. Efecto del nitrógeno en el valor nutritivo del forraje de gramíneas

El N altera la composición de la planta mucho más que cualquier otro compuesto. En gramíneas como el raigrás un incremento en la fertilización con N puede aumentar el contenido de N total hasta en dos unidades como porcentaje de la materia seca pero a costa de la disminución hasta del 1% de materia seca en carbohidratos solubles y con aumentos hasta del 4% de materia seca de celulosa (Marschner, 1997). Esto implica una mayor competencia por fotosintatos entre varias vías metabólicas como la formación de fitohormonas, amidas y aminoácidos.

El metabolismo de la planta también se relaciona con la cantidad y el tipo de N en los tejidos. Una mayor concentración de N en su forma amoniacal puede estar relacionada con mayor tasa de transpiración que puede implicar situaciones de estrés hídrico o por altas temperaturas en la planta, además esta situación se puede dar en condiciones de pH con tendencia a la alcalinidad (Marschner, 1997).

La fertilización nitrogenada eleva el valor nutritivo de las gramíneas en términos del contenido de proteína, pero a costa del contenido de no estructurales. En cuanto a digestibilidad, en términos generales se ha observado un incremento en la digestibilidad del forraje tierno y un deterioro de la digestibilidad del forraje maduro (Améndola, 1996).

El contenido de MS y proteína aumenta por cada kg de N aplicado y es aún mayor la proteína con niveles muy altos de N, superiores a los requeridos para MS, durante todos los estados de desarrollo de la planta (Carámbula, M. 1977; Herron *et al.*, 1963). Cortez (1998) encontró un porcentaje de 11.57, 55.08, 71.30 y 9.66, 57.62, 66.89 de proteína cruda, fibra detergente neutro y digestibilidad *in situ* de la materia seca en forraje ofrecido y forraje residual, respectivamente, en el cultivo fertilizado con N y P. Por otra parte Morales (1998) reporta un porcentaje de cerca de 12% de proteína y un 69% de digestibilidad en promedio para el total de la planta de avena.

El N en planta, también puede generar toxicidad en los animales. Una excesiva acumulación de N en la planta puede ocasionar envenenamiento de la sangre con nitrato (metahemoglobina), en animales y en el hombre, así como una reducción en el contenido de vitamina A (Domínguez, 1984).

3.7. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la composición botánica de praderas de avena y raigrás

Dorantes (1997) encontró evidencia circunstancial sobre el incremento de la proporción de raigrás en su asociación con avena como consecuencia de una mayor disponibilidad de nitrógeno. Pérez (1999) encontró que con niveles crecientes de N, el rendimiento de raigrás aumentó en tanto que el de avena decreció. La eficiencia de utilización del N fue mayor en avena que en raigrás. Sin embargo debido a una menor habilidad para absorber N con altos niveles de fertilización, el N ofrecido en la masa de forraje decreció con esos mayores niveles de fertilización. Por lo tanto al aumentar el nivel de fertilización nitrogenada cambió el resultado de la competencia entre avena y raigrás. Este puede ser un factor importante de la respuesta de las praderas de avena y raigrás a la fertilización nitrogenada, ya que Améndola y Morales (1997) reportaron que la productividad de estas praderas dependió del balance entre especies.

IV. HIPÓTESIS

Las hipótesis planteadas en el trabajo de investigación son:

- La producción total de forraje (Kg de MS ha^{-1}) se incrementará con la fertilización nitrogenada (Kg N ha^{-1}).
- La proporción de raigrás en la asociación se incrementará con la fertilización nitrogenada.
- La respuesta a nitrógeno se incrementará con la mayor disponibilidad de humedad.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización y periodo experimental

El experimento se realizó en el predio “La Huerta” del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicado en Chapingo Estado de México a 19°29' N, 98°54' W y 2240 m. s. n. m. El experimento se llevó a cabo de noviembre de 1998 a abril de 1999.

5.2. Clima

De acuerdo a García (1988), el clima de la región se define como un C(w_o)(w)b(i')g lo cual indica que corresponde al grupo de los templados subhúmedos con lluvias en verano, época seca en invierno, poca oscilación térmica, temperatura media anual de 15°C y precipitación promedio anual de 664.8 mm. El mes de máxima temperatura es el mes de mayo y enero es el mes más frío. En la Figura 2, Figura 3 y Figura 4 se presenta información sobre algunas variables climáticas durante el periodo experimental.

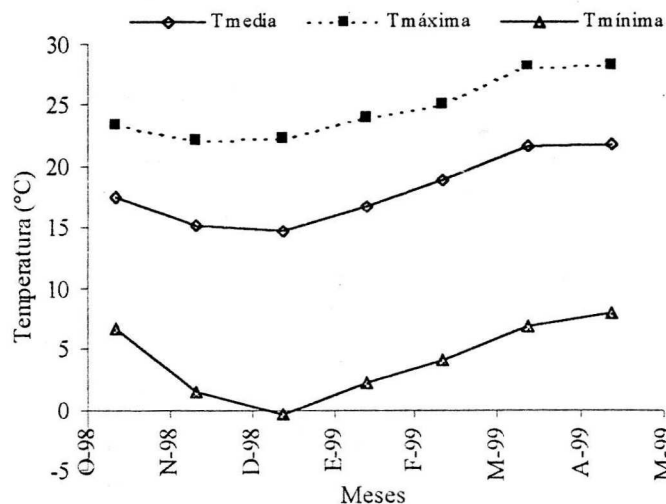


Figura 2. Temperatura promedio, máxima y mínima durante el periodo experimento

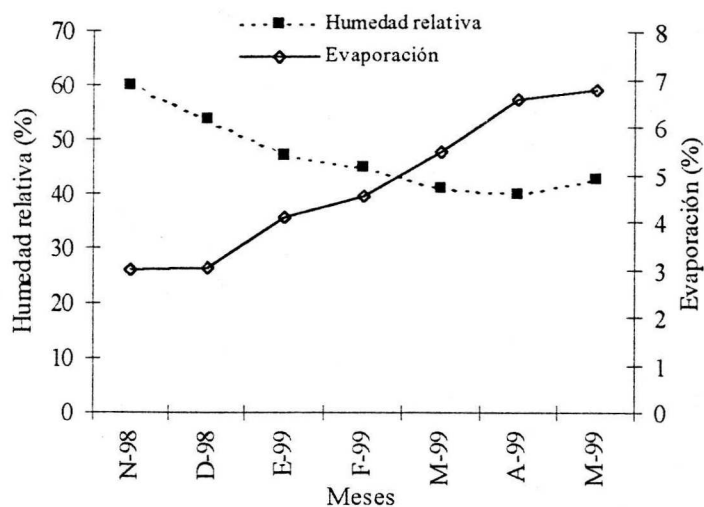


Figura 3. Evaporación y humedad relativa durante el periodo experimental

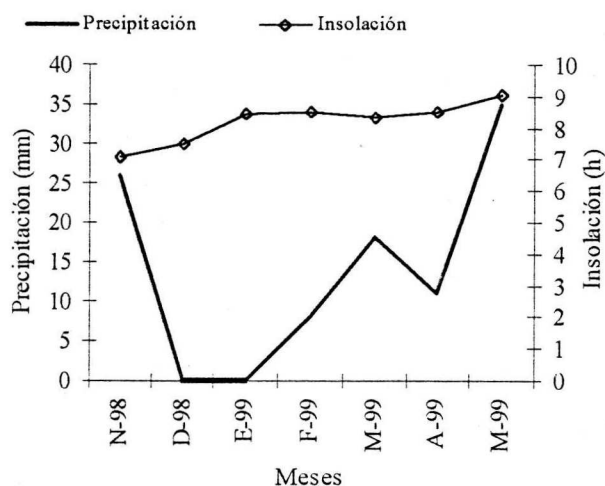


Figura 4. Precipitación y radiación solar durante el periodo experimental.

5.3. Suelos

De acuerdo con la FAO (1990), los suelos del lugar pertenecen al grupo de los Pheoaems háplicos (PHh). Son suelos con un horizonte A móllico que carecen de horizontes cálcico, Gypsic y de concentraciones de caliza pulvurulenta blanda. Tienen un grado de saturación del 50% como mínimo (por $\text{NH}_4\text{+4OA}$) en los 125 cm superiores del perfil; no poseen horizonte B nátrico; carecen de propiedades sálicas y de

propiedades gléicas en una profundidad de 100 cm a partir de la superficie, no tienen horizonte B árgico y carecen de granos de arena y limo sin revestimientos sobre las superficies de las unidades estructurales. El horizonte A móllico es intenso en color, hasta una profundidad de al menos 15. Los PHh son suelos no calcáreos entre 20 y 50 cm de profundidad; además no poseen propiedades estángicas. En el Cuadro 2 y Figura 5, se presentan algunas características del suelo.

Cuadro 2. Características físicas y químicas del suelo, preliminares al experimento

	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Fe	Cuy	Zn	Mn
		%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Profundidad	1:2	%	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
0-30	6.83	1.55	36.00	220	1705	345	16.71	0.43	1.07	14.08
30-60	6.92	0.90	22.47	208	2136	428	14.21	0.48	0.85	12.15
60-90	6.95	1.80	21.66	218	2240	443	12.06	0.44	0.67	43.75
Profundidad	ARENA (%)		LIMO (%)		ARCILLA (%)		CLASIFICACIÓN TEXTURAL			
0-30	42		35		22		FRANCO			
30-60	37		40		22		FRANCO			
60-90	37		34		28		MIGAJOSO			

Concentración de nitrógeno antes del experimento

Profundidad	MO (%)	Nt (%)	NH ₄ (mg kg ⁻¹)	NO ₃ (mg kg ⁻¹)
0-30	1.55	0.093	22.4	9.9
30-60	0.90	0.082	32.2	17.1

Metodología empleada en laboratorio: pH: potenciométrico relación suelo-agua 1: 2; MO: walkley and black; P: ray P-1; K: intercambiable AOC 1N pH 7.0 relación 1: 21 y determinado por espectrofotometría de emisión de flama; Ca: intercambiable AOC 1N pH 7.0 relación 1: 21, relación 1: 21 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica; Mg: intercambiable AOC 1N pH 7.0 relación 1:21 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica; Fe, Cu, Zn, Mn: extraído con DTPA relación 1: 4 y determinado por espectrofotometría de absorción atómica; Composición mecánica: hidrómetro de Bouyucos; CRH: membrana y olla de presión; NT: calculo; NIN: extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor KJETE auto analyzer 1030.

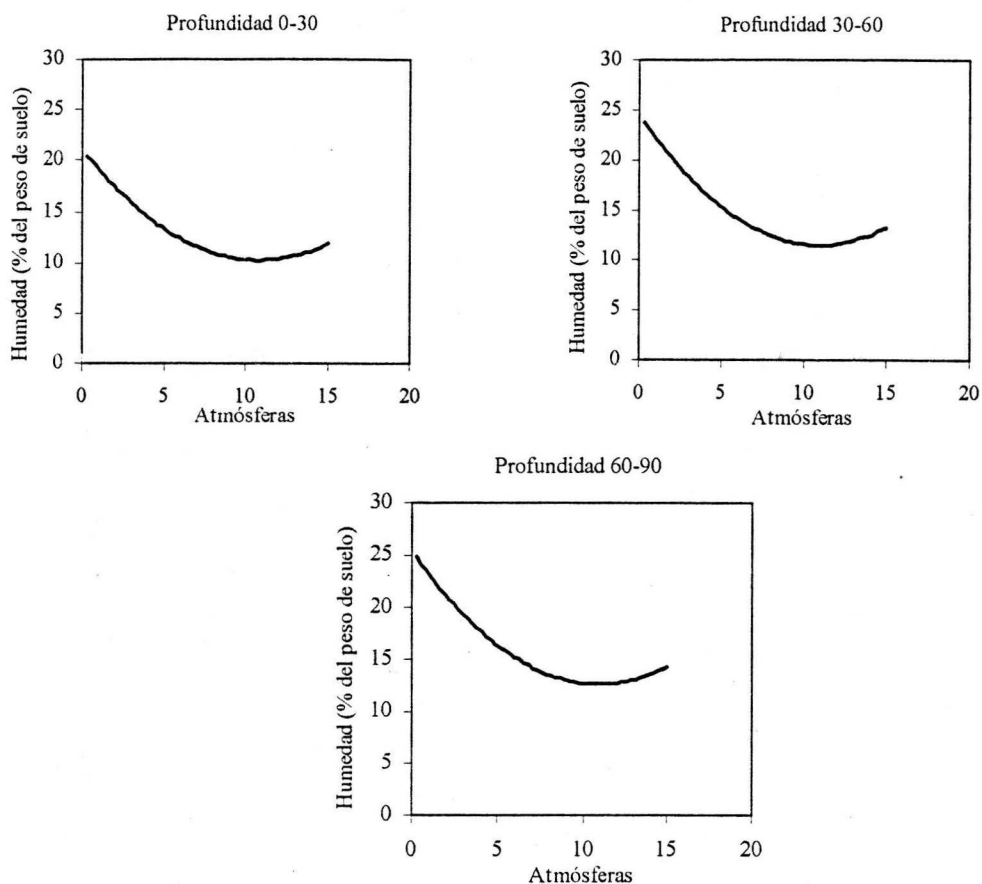


Figura 5. Curvas de retención de humedad del suelo

5.4. Tratamientos

5.4.1. Niveles de Nitrógeno

Se usaron 4 niveles de Nitrógeno, 0, 150, 300 y 350 kg N ha⁻¹ divididos en tercios aplicando cada uno de ellos después de la siembra y de cada corte. La fuente de nitrógeno utilizada fue nitrato de amonio en las dos primeras aplicaciones y urea en la última.

5.4.2. Nivel de riego

Se aplicaron riegos catorcenales por aspersión (67 mm de lámina de riego) y semanales (100 mm de lámina de riego), a partir de la siembra hasta el último corte. Se asignó cada nivel de riego a un experimento. En la Figura 6, se muestra el balance de humedad durante el periodo experimental para dos niveles de riego (67 y 100 mm).

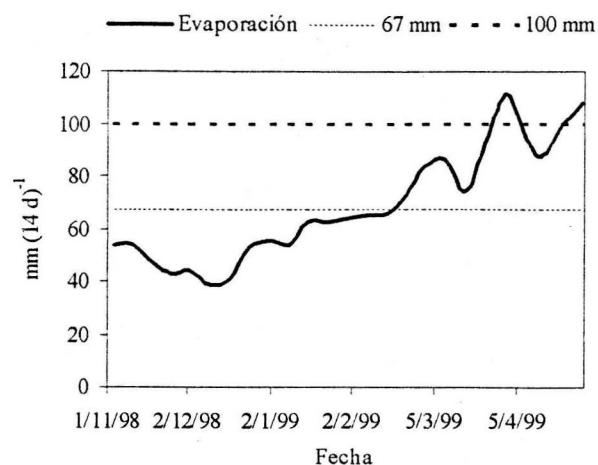


Figura 6. Balance de humedad para los dos niveles de riego

5.5. Diseño experimental

El diseño experimental empleado fue un cuadrado latino 4 X 4 con parcelas de 44 m² (7 X 6 m) donde se tuvieron 4 niveles de nitrógeno y 4 repeticiones. Se establecieron dos experimentos con el mismo diseño y ubicación de tratamientos, mismos que se distribuyeron al azar (Figura 7).

	↑ N				
	a	b	c	d	
A	IV	III	II	I	Tratamiento: I: 0 Kg N ha⁻¹ II: 50 Kg N ha⁻¹ III: 100 Kg N ha⁻¹ IV: 150 Kg N ha⁻¹ Hileras: A, B, C, D Columnas: a, b, c, d
B	III	IV	I	II	
C	I	II	III	IV	
D	II	I	IV	III	

Figura 7. Diseño de los experimentos y aleatorización de tratamientos

Los experimentos se establecieron en un predio, donde había como cultivos previos, maíz-cebada (1995-1998) y maíz+avena+raigrás (1997-1998). En un experimento se aplicó una lámina de riego de 100 mm y en otro una lamina de riego de 67 mm que es la cantidad estándar utilizada en el manejo convencional del lugar.

5.6. Siembra

Los experimentos fueron sembrados entre el 14-15 de noviembre de 1998, con 71 kg ha⁻¹ de semilla pura viable de Avena (*Avena sativa* Lam.) cv. Coker, 234 y 22 kg ha⁻¹ de semilla pura viable de Raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) cv. Barspectra.

5.7. Muestreos de rendimiento

Para evaluar la producción total por parcela se realizaron cortes a los 90, 135 y 165 días de la siembra. Se cortaron, utilizando una cortadora mecánica Gravely®, fajas de 10 m² parcela⁻¹ y se uniformizó a 5 cm de altura con una podadora rotativa tipo snapper Truper® de 52 cm de ancho de corte, cortándose 5 m² parcela⁻¹. También se cortaron cuadros de 0.3 X 0.9 m, uno en cada para estimar el forraje residual (debajo de 5 cm).

5.8. Muestreos de nitrógeno en material vegetal

Para la determinación de nitrógeno en el material vegetal durante cada corte y en cada parcela, se tomaron submuestras de cosecha, podadora y residual. Muestras que se secaron hasta peso constante en una estufa de ventilación forzada a 55°C por 72 h.

También se tomaron muestras de forraje en cada muestreo semanal para cada especie y en dos estratos, por arriba de 5 cm (cosecha) y por debajo de 5 cm (residual). Se muestrearon 15 puntos en cada parcela, de los cuales se tomó una submuestra de aproximadamente 100 g de forraje fresco, misma que también se seco en una estufa de ventilación forzada a 55°C por 72 h.

5.9. Muestreos de nitrógeno en suelo

Se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 30 cm después de cada corte y en cada parcela. Se tomó una submuestra única compuesta de 10 puntos de muestreo en cada parcela. Cada una de estas muestras se secó a temperatura ambiente y se tamizó posteriormente por malla de 2 mm.

5.10. Estimación de la curva de crecimiento

Para estimar la curva de crecimiento se hicieron muestreos semanales entre la primera y segunda cosecha. Se utilizaron simultáneamente cinco técnicas diferentes de muestreo indirecto que se relacionan con la masa de forraje. Estas fueron: altura, intercepción de luz, cobertura, capacitancia y estimación visual; para lo cual se utilizó regla de pradera, ceptómetro Sunfleck (Decagon Devices Inc ®), disco descendente de 50 cm de diámetro y 485 g de peso (Rivera, 2001), disco ascendente (Jenquip®), y un medidor de capacitancia, Design Electronics ®, (Moreno y Méndez, 1992) y para la estimación visual de forraje se utilizó la técnica de doble muestreo (Haydock y Shaw, 1975).

Para cada técnica de muestreo se realizaron 25 observaciones y para la estimación visual se realizaron 15 observaciones para cada parcela. Para la calibración de las técnicas de muestreo, se tomaron 8 muestras de referencia las cuales eran representativas de los rangos de la masa de forraje de las parcelas, estas fueron cortadas utilizando un cuadro de 0.9X 0.3 cm, primero por arriba de 5 cm y posteriormente por debajo de esa altura.

5.11. Determinaciones en laboratorio

5.11.1. Nitrógeno en suelo y planta.

Para el material vegetal se determinó nitrógeno total (Nt) en planta consistió en una digestión ácida y destilación por arrastre de vapor aplicando el método Kjendahl (Bremner, 1965). Para suelo se determinó el Nt también el método Kjendahl y para N inorgánico se determinó NO_3^- y NH_4^+ por el método de destilación por vapor con óxido de magnesio (MgO) para amonio, nitrato y nitrito intercambiables (Bremner, 1965).

5.11.2. Determinación de materia seca

Para la estimación del rendimiento de materia seca por corte, se tomó una muestra por el total de la faja cortada con la Gravely ®, una por el total de la faja cortada por la cortadora rotativa y una muestra más por el cuadro residual para cada parcela. Estas

fueron secadas hasta peso constante en una estufa de ventilación forzada a 55°C por 72 h. Todo esto se realizó en cada corte.

5.11.3. Determinación de Cenizas

Para la corrección de materia seca y para la determinación de la materia orgánica se determinó el contenido de cenizas de cada muestra. Se peso 0.5 g de muestra previamente molida y secada a peso constante, se colocó la muestra en un crisol, se pesó y se incineró en una mufla a 500 °C durante tres horas. Posteriormente se pesaron las cenizas y se hizo el cálculo de porcentaje de cenizas.

5.11.4. Composición botánica del forraje

Se realizaron muestreos semanales de forraje (15 muestras por parcela) entre la primera y segunda cosecha, donde se estimó la proporción de cada especie por el método de rango de peso seco descrito por Mannatje y Haydock (1963), modificado por Jones y Hargreaves (1979), estimando en función del peso a la materia seca de cada especie.

5.12. Análisis Estadístico

5.12.1. Estimación de la masa de forraje semanal por técnicas indirectas

Para la estimación de la masa de forraje se realizó un análisis de regresión lineal múltiple donde se relacionaron las técnicas indirectas y la masa de forraje por encima de 5 cm y masa de forraje a ras de suelo, con la intención de encontrar el modelo de mejor ajuste. Este resultó ser el que incluyó a ceptómetro, regla de pradera, disco descendente, plato ascendente y estimación visual.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 C + \beta_2 R + \beta_3 D + \beta_4 P + \beta_5 EV + \varepsilon$$

Donde:

Y= Masa de forraje cosechado encima de 5 cm.

C= Ceptómetro (radiación interceptada %)

R= regla de pradera (cm)

D= disco descendente (cm)

P= plato ascendente (cm)

EV= estimación visual (1-10, escala)

ε = error

5.12.2. Análisis de rendimiento

Las variables respuesta de rendimiento de cosecha, masa de forraje residual y contenido de nitrógeno en material vegetal y suelo fueron analizadas utilizando un modelo mixto donde se consideró a experimento, dosis de nitrógeno y corte como factores fijos y efecto de hilera y columna como factores aleatorios y anidados en experimento.

$$Y = \mu + Hi(k) + Rk + NI + R \times N(kl) + \zeta_j(k) + Cm + \varepsilon_{ijklm}$$

Donde:

Y = Variable respuesta

μ = Media general

Hi(k) = Efecto de la i-ésima hilera (i= 1, 2, 3, 4) anidado en el k-ésimo riego (k= 1, 2)

Rk = Efecto del k-ésimo riego (k= 67mm, 100 mm)

NI= Efecto de la l-ésima dosis de N (l= 0, 50, 100, 150 Kg N ha⁻¹)

R × N(kl) = Interacción Riego × N (k= 67mm, 100 mm, l= 0, 50, 100, 150 Kg N ha⁻¹)

ζ_j(k)= Efecto de la j-ésima columna (j= 1, 2, 3, 4) anidado en el k-ésimo experimento (k= 1, 2, 3)

Cm= Efecto del m-ésimo corte (m= 1, 2, 3)

ε_{ijklm}= Error experimental

5.12.3. Análisis de variables para el rebrote en la segunda cosecha

Para el caso de las variables de rebrote en la segunda cosecha como rendimiento, masa del residual y nitrógeno en el material vegetal; se analizaron utilizando un modelo mixto, para este caso se consideró a experimento, dosis de nitrógeno y semana como factores fijos y efecto de hilera y columna como factores aleatorios, además los efectos de hilera y columna se anidaron en experimento.

$$Y = \mu + Hi(k) + Rk + NI + R \times N(kl) + \zeta_j(k) + Sm + \epsilon_{ijklm}$$

Donde:

Y = Variable respuesta

μ = Media general

$Hi(k)$ = Efecto de la i -ésima hilera ($i= 1, 2, 3, 4$) anidado en el k -ésimo riego ($k= 1, 2$)

Rk = Efecto del k -ésimo riego ($k= 67\text{mm}, 100 \text{ mm}$)

NI = Efecto de la l -ésima dosis de N ($l= 0, 50, 100, 150 \text{ Kg N ha}^{-1}$)

$R \times N(kl)$ = Interacción Riego $\times$ N ($k= 67\text{mm}, 100 \text{ mm}, l= 0, 50, 100, 150 \text{ Kg N ha}^{-1}$)

$\zeta_j(k)$ = Efecto de la j -ésima columna ($j= 1, 2, 3, 4$) anidado en el k -ésimo experimento ($k= 1, 2, 3$)

Sm = Efecto del m -ésimo corte ($m= 1, 2, 3$)

ϵ_{ijklm} = Error experimental

VI. RESULTADOS

6.1. Establecimiento de los experimentos

Los experimentos se establecieron sin problemas, siendo mayor la densidad de raigrás que la de avena; la densidad de plantas de malezas fue muy baja. No se observó efecto de los tratamientos sobre la densidad de plantas (Anexo 1).

6.2. Rendimiento de forraje y Nitrógeno Cosechado

El rendimiento de forraje fue afectado por la triple interacción Nitrógeno (N) $\times$ Riego $\times$ Cosecha (Anexo 2). Considerando el promedio de niveles de riego y cosechas, el rendimiento de forraje respondió a la fertilización con incrementos decrecientes (Anexo 2). Sin embargo esta respuesta promedio se compone de las respuestas a la fertilización en los dos niveles de riego durante las tres cosechas. En la Figura 8 se observa que en la primera cosecha hubo mayor respuesta a la fertilización con el menor nivel de riego. En esa cosecha hubo respuesta negativa al riego particularmente con el mayor nivel de fertilización. En la segunda cosecha los rendimientos de forraje fueron muy elevados. La respuesta a la fertilización fue mayor con el mayor nivel de riego. Esa mayor respuesta se debió a que el rendimiento con altos niveles de fertilización (100 y 150 kg N ha⁻¹cosecha⁻¹) fue mayor cuando se aplicó mayor nivel de riego, y también se debió a que el rendimiento en ausencia de fertilización fue menor con ese nivel de riego. El rendimiento en la tercera cosecha fue bajo, probablemente debido al muy corto periodo de crecimiento. En esa cosecha hubo respuesta positiva al mayor nivel de riego únicamente con altos niveles de fertilización (100 y 150 kg N ha⁻¹cosecha⁻¹). La interacción N $\times$ Riego $\times$ Cosecha se puede sintetizar de la siguiente forma. Hubo mayor respuesta a N con mayor riego. Esta mayor respuesta se compuso de mayor rendimiento con alta fertilización (100 y 150 kg N ha⁻¹cosecha⁻¹) con el mayor nivel de riego

(Cosechas 2 y 3) y de menor rendimiento en ausencia de fertilización con ese nivel de riego (Cosechas 1 y 2). Vista desde otro punto de vista, la interacción implicó que no se obtuvo respuesta al riego en la primera cosecha y la respuesta en las dos cosechas siguientes dependió de que se aplicaran altos niveles de N (100 y 150 kg N ha⁻¹ cosecha⁻¹).

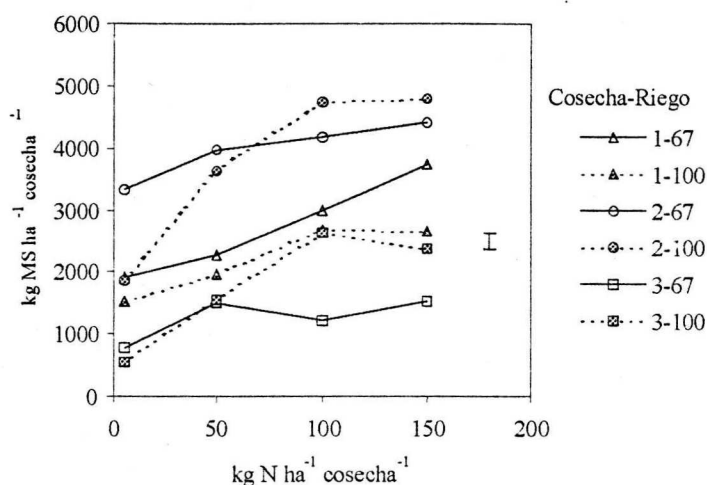


Figura 8. Rendimiento de forraje de la asociación de Avena - Raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d⁻¹). La barra vertical indica el error estándar.

La interacción N × Riego × Cosecha, afectó el contenido de N en el forraje cosechado (Anexo 3). En la Cosecha 1 no hubo respuesta a N. Al aumentar el nivel de riego se afectó negativamente el contenido de N. En la Cosecha 2 se obtuvieron contenidos de N mucho menores que en el resto de las cosechas en particular con riego alto. Con ambos niveles de riego hubo respuesta a la fertilización pero ésta fue mayor con riego bajo (67 mm). En la Cosecha 3 se obtuvieron contenidos altos en particular con alto N (100 y 150 kg N ha⁻¹ cosecha), (Anexo 3 y Figura 9). Si bien el contenido de N se incrementó con la fertilización nitrogenada, en la primera cosecha no hubo respuesta, en la segunda cosecha la respuesta fue mayor con riego bajo en tanto que en la tercera cosecha fue mayor con riego alto.

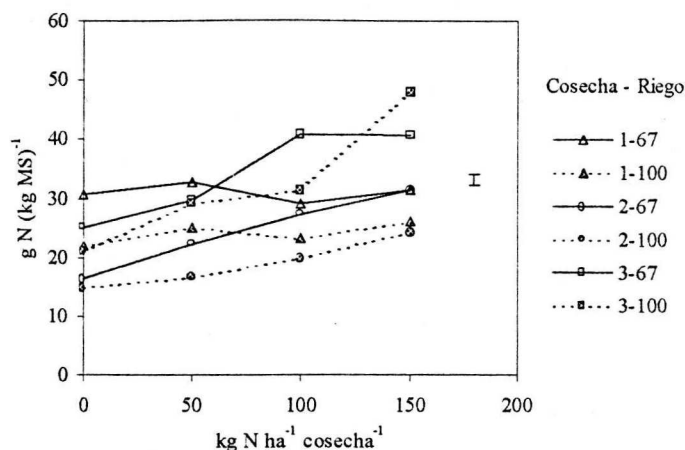


Figura 9. Contenido de Nitrógeno en el forraje cosechado de la asociación de Avena - Raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d⁻¹). La barra vertical indica el error estándar.

En cuanto al N cosechado se observó que en promedio hubo respuesta a la fertilización nitrogenada y al riego (Anexo 4). La respuesta a la fertilización fue lineal pero con un coeficiente de recuperación de únicamente el 42% del nitrógeno aplicado. Al aumentar el riego, en promedio, se redujo la cantidad de N cosechado por lo que la respuesta al riego fue negativa. La cantidad de N cosechado fue mayor en la segunda cosecha y menor en la tercera. Sin embargo es necesario analizar estas respuestas considerando la triple interacción $N \times \text{Riego} \times \text{Cosecha}$ (Anexo 4 y Figura 10). En la primera cosecha la cantidad de N cosechado fue mayor con el menor nivel de riego y también fue mayor la respuesta, 0.37 kg cosechado/kg aplicado frente a 0.22 kg cosechado por kg de N aplicado obtenida con el mayor nivel de riego. En la segunda cosecha, la cantidad de N cosechado fue mayor con el menor nivel de riego sin embargo la respuesta es similar 0.52 y 0.58 kg cosechado por kg de N aplicado para los niveles de riego bajo y alto respectivamente. En la tercera cosecha, la cantidad promedio de N cosechado fue similar en ambos niveles de riego, sin embargo en esta cosecha fue importante la interacción $N \times \text{Riego}$, con bajos niveles de fertilización la cantidad de N cosechada fue

mayor con el menor nivel de riego, en tanto que con el mayor nivel de fertilización la cantidad de N cosechada fue mayor con el mayor nivel de riego.

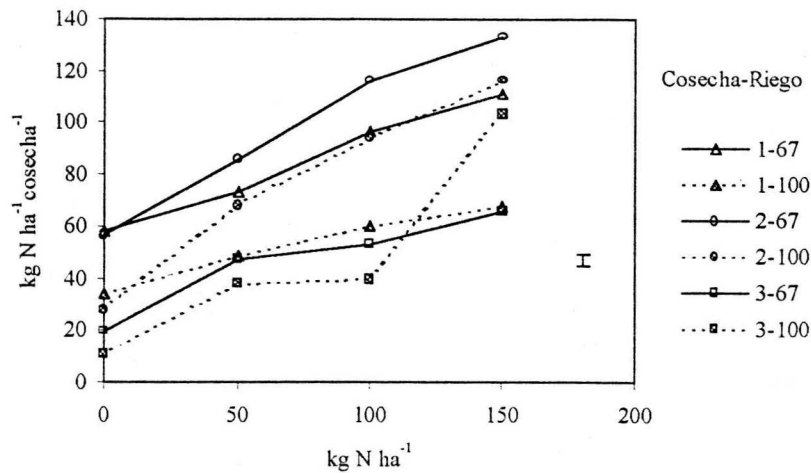


Figura 10. Cantidad de N cosechado en la asociación de avena con raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d⁻¹). La barra vertical indica el error estándar.

6.3. Masa de forraje residual, contenido de Nitrógeno y kilogramo de Nitrógeno en el forraje residual.

La masa de forraje residual fue afectada por las interacciones N × Riego y N × Cosecha (Anexo 5). La masa de forraje residual fue mayor en la primera cosecha y menor en la segunda cosecha. En la primera cosecha se obtuvo la menor masa en nivel alto de N, en la segunda cosecha no hubo efecto del N y en la tercera cosecha la mayor masa se obtuvo en niveles intermedios de fertilización (Figura 11a). La tendencia a que la masa de forraje fuera menor con mayor nivel de N fue más marcada con el nivel alto de riego (Figura 11b).

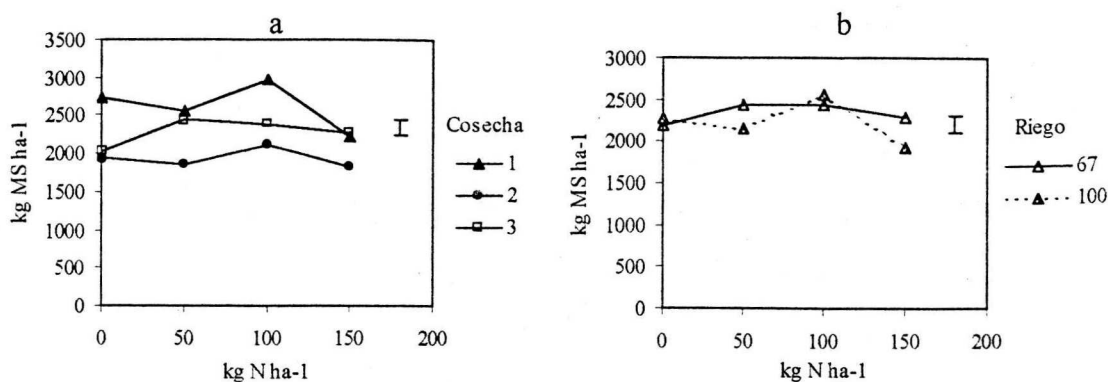


Figura 11. Masa de forraje residual de la asociación de avena - raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm catorcenales). La barra vertical indica el error estándar.

La concentración de N en el forraje residual estuvo afectada por la triple interacción $N \times \text{Riego} \times \text{Cosecha}$ (Anexo 6). En promedio se evidenció una tendencia a aumentar el contenido de N en el forraje residual al incrementarse la dosis de N, particularmente con dosis altas de N (100 y 150 kg N ha⁻¹). Sin embargo ésta respuesta fue diferente en cada cosecha (Figura 12) ya que en la primera cosecha con el menor nivel de riego no hubo respuesta de la concentración de N a incrementos en la dosis de N. La respuesta fue muy baja con el mayor nivel de riego. En la segunda cosecha hubo mayor respuesta a N con riego bajo y menor respuesta con riego alto; en esta cosecha se obtuvieron las menores concentraciones de N particularmente con riego alto. En la tercera cosecha se presentó la mayor respuesta a N, con las concentraciones más altas de N sobretudo con el menor nivel de riego. El contenido de N en el residual estuvo altamente correlacionado con el contenido de N en el forraje cosechado ($R^2=0.83$) de forma tal que respondió a los efectos de N, riego y cosecha, aproximadamente en la misma forma que el contenido de N en el forraje cosechado (Figura 13). El contenido de N en el forraje residual fue siempre menor que el del forraje cosechado pero la diferencia fue mayor cuando los contenidos de N fueron más altos.

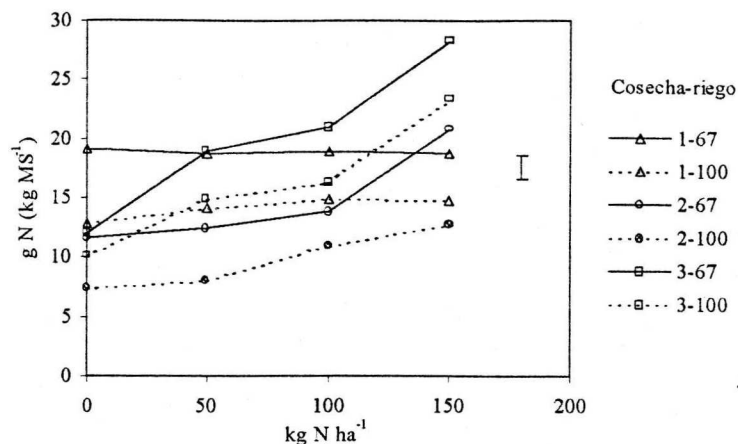


Figura 12. . Contenido de N en el forraje residual $\text{N (kg MS}^{-1}\text{)}$ de la asociación de avena con raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d^{-1}).

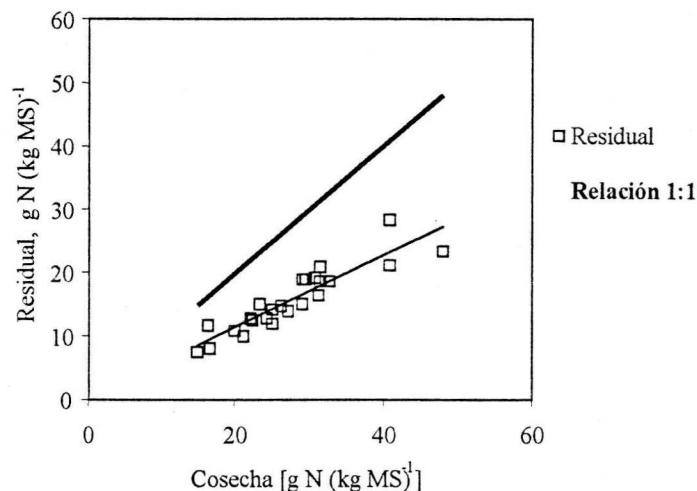


Figura 13. Correlación entre contenido de Nitrógeno en el forraje cosechado y en el forraje residual.

La cantidad de N presente en el forraje residual fue afectada por las interacciones entre $\text{N} \times \text{Cosecha}$ y $\text{Riego} \times \text{Cosecha}$ (Anexo 7). En la primera cosecha la cantidad de N fue alta, pero tendió a bajar con 150 kg N ha^{-1} . En general la cantidad de N en el residual fue baja en la segunda cosecha y la respuesta a la fertilización fue débil. La respuesta a N en la tercera cosecha fue muy fuerte, (Anexo 7 y Figura 14a). La primera y segunda cosechas presentaron la mayor cantidad de N con el régimen de 67 mm y la menor con

el régimen de 100 mm. La tercera cosecha tuvo aproximadamente la misma cantidad de N con ambos niveles de riego (Anexo 7 y Figura 14b).

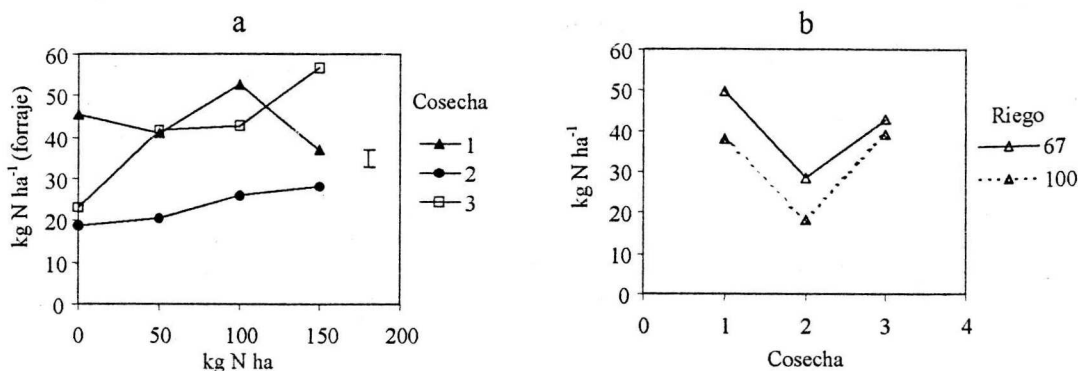


Figura 14. N en el forraje residual (kg N ha^{-1}) de la asociación de avena - raigrás en tres cosechas, con dos niveles de riego (67 y 100 mm 14d^{-1}).

6.4. Contenido de N en el suelo.

El contenido de N amoniacal (N-NH_4) únicamente fue afectado por el nivel de fertilización (Anexo 8), fue mayor con el nivel alto de N (150 kg N ha^{-1}). El contenido de N nítrico (N-NO_3), sólo fue afectado por la interacción Riego $\times$ Cosecha (Anexo 9 y Figura 15). En la cosecha 1 el contenido de N-NO_3 fue aproximadamente igual para ambos riegos. En la segunda cosecha el contenido de N-NO_3 fue más bajo con el régimen de 67 mm, mientras que en la tercera cosecha fue más bajo con el régimen de 100 mm. El contenido de N mineral respondió a los contenidos de N amoniacal y N nítrico. El contenido de N mineral fue mayor con el nivel de $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$, debido a la respuesta de N-NH_4 (Anexo 10 y 12). Por otra parte, el contenido de N mineral en la segunda cosecha fue menor con 67 mm y en la tercera fue menor con 100 mm, por la influencia de la respuesta de N-NO_3 (Figuras 15 y 16).

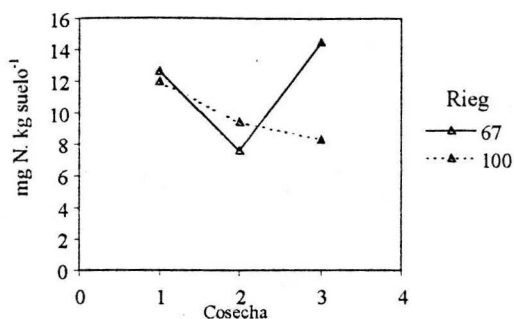


Figura 15. Contenido de N nítrico en el suelo luego de cada cosecha ($\text{mg N kg de suelo}^{-1}$) de la asociación de avena con raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14d^{-1}).

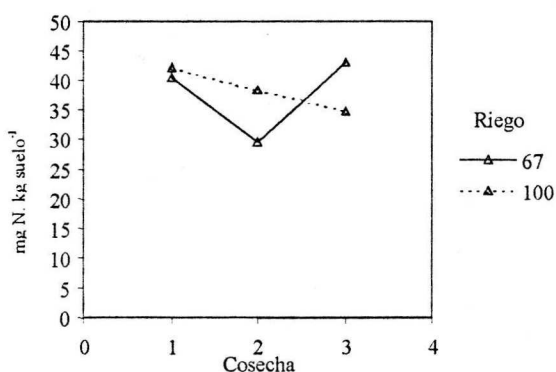


Figura 16. Contenido de Nitrógeno mineral en el suelo después cada cosecha ($\text{mg N kg suelo}^{-1}$) de la asociación de avena con raigrás en tres cosechas, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d^{-1}).

6.5. Eficiencia de utilización del agua de riego

La eficiencia de utilización del agua de riego fue mayor con el menor nivel de riego, fue mayor en la segunda cosecha y menor en la primera y se incrementó con el nivel de fertilización. La triple interacción Nitrógeno $\times$ Riego $\times$ Cosecha no fue significativa y tampoco fue significativa la interacción Nitrógeno $\times$ Riego. Sin embargo las interacción Riego $\times$ Cosecha y Nitrógeno $\times$ Cosecha fueron significativas (Anexo 11). La interacción Nitrógeno $\times$ Cosecha implicó que la respuesta a N fue mucho mayor en la segunda cosecha que en las otras dos cosechas, por otra parte el incremento de eficiencia en esa cosecha fue particularmente marcado entre 0 y 50 kg N ha^{-1} cosecha $^{-1}$. Por su

parte la interacción Riego $\times$ Cosecha implicó que si bien la eficiencia fue siempre mayor con el menor nivel de riego, la diferencia fue mayor en la segunda cosecha donde se obtuvo el mayor rendimiento de forraje.

6.6. Acumulación de forraje entre la primera y segunda cosecha

La masa de forraje entre la primera y segunda cosecha se estimó por medio de técnicas indirectas de muestreo. Para la calibración se desarrollaron ecuaciones de regresión múltiple basadas en el banco de datos (Cuadro 3). Se estimó con mayor precisión (mayor R^2 y menores desvíos medios de regresión) la masa de forraje cosechable (por encima de 5 cm de altura) que la masa de forraje total (cortada a ras de suelo). Por esta razón se analizó la acumulación de forraje cosechable.

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión de masa de forraje (kg MO ha^{-1}) contra lecturas de técnicas indirectas.

	Masa de forraje por encima de 5 m	R^2 parcial	Masa de forraje a ras de suelo	R^2 parcial
Intercepto	-1485		338	
Ceptometro (radiación interceptada %)	15.49	0.0063	22.37	0.0084
Regla (cm)	-75.04	0.0076	-124.13	0.0044
Disco (cm)	122.8	0.8795	144.28	0.0214
Plato (cm)	34.47	0.0146	99.186	0.7601
Estimación visual (escala de 1 a 10)	96.20	0.0078	31.63	0.0352
R^2	0.92		0.83	
Desvío medio de regresión	337		640	
Probabilidad	0.0001		0.0001	

6.6.1. Masa de forraje, contenido de Nitrógeno en el forraje y Nitrógeno cosechable en el rebrote

La masa de forraje cosechable durante el período de rebrote no fue afectada por el nivel de riego y respondió en forma clásica a la fertilización nitrogenada y al avance del período de rebrote (Anexo 12). La respuesta a N fue de incrementos decrecientes (Figura

17), las respuestas marginales fueron de 16, 8 y 2 Kg Ms kg N⁻¹ para los niveles de fertilización 50, 100 y 150 Kg N ha⁻¹ cosecha⁻¹, respectivamente. La curva promedio de acumulación de forraje durante el rebrote fue una clásica curva logística (Figura 18). Sin embargo es necesario analizar estas respuestas considerando la interacción N × Riego × día de rebrote (Figura 19). La respuesta a la fertilización se incrementó con el nivel de riego. Visto de otra forma, la fertilización afectó la respuesta al riego ya que sin fertilización nitrogenada la masa de forraje fue mayor con el menor nivel de riego, en cambio con el mayor nivel de fertilización la masa de forraje fue mayor con el mayor nivel de riego. Esta interacción N × Riego tendió a hacerse más marcada a medida que avanzó el período de rebrote.

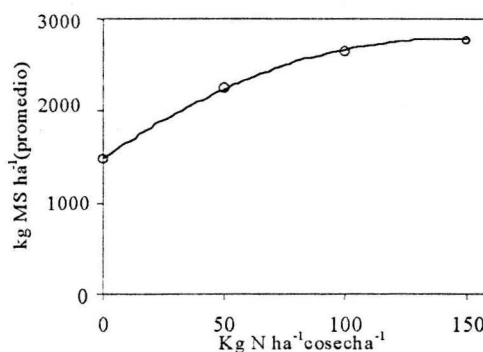


Figura 17. Masa promedio de forraje durante un período de rebrote con diferentes niveles de fertilización nitrogenada.

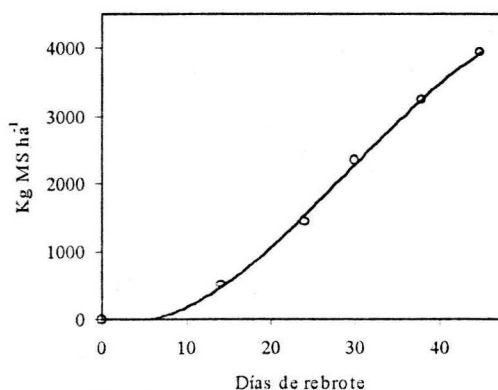


Figura 18. Curva de acumulación de forraje durante un período de rebrote, promedio de cuatro niveles de fertilización × dos niveles de riego.

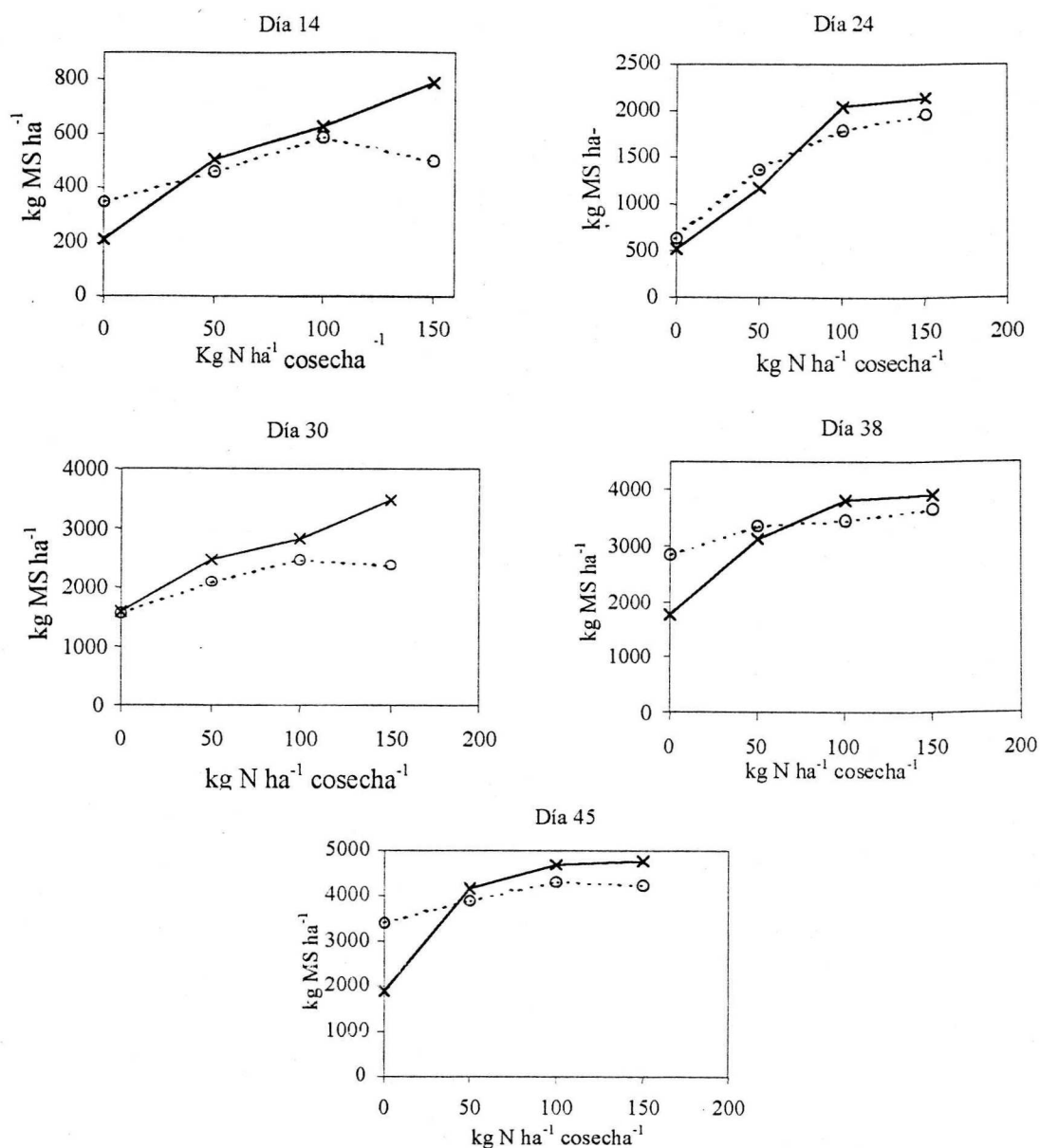


Figura 19. Masa de forraje cosechable en diferentes días del período de rebrote con cuatro niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego, 67 mm 14d⁻¹ (- o -) y 100 mm 14d⁻¹ (—x—).

El contenido de N en el forraje por encima de 5 cm estuvo influenciado por los efectos de N y la interacción Riego × Día (Anexo 13). El contenido de N aumentó linealmente con la fertilización nitrogenada, en promedio del período de rebrote con .09 g N kg MS⁻¹ por cada kg de N aplicado (Figura 20a). El contenido de N fue menor con el mayor nivel

de riego y decreció en forma cuadrática con el avance del período de rebrote. El descenso del contenido de N con el avance del período de rebrote fue afectado por el nivel de riego, con el menor nivel de riego el descenso respondió a una curva convexa, en tanto que con el mayor nivel de riego decreció en forma cóncava, la diferencia entre ambos niveles de riego fue menor al comienzo del rebrote (Figura 20b).

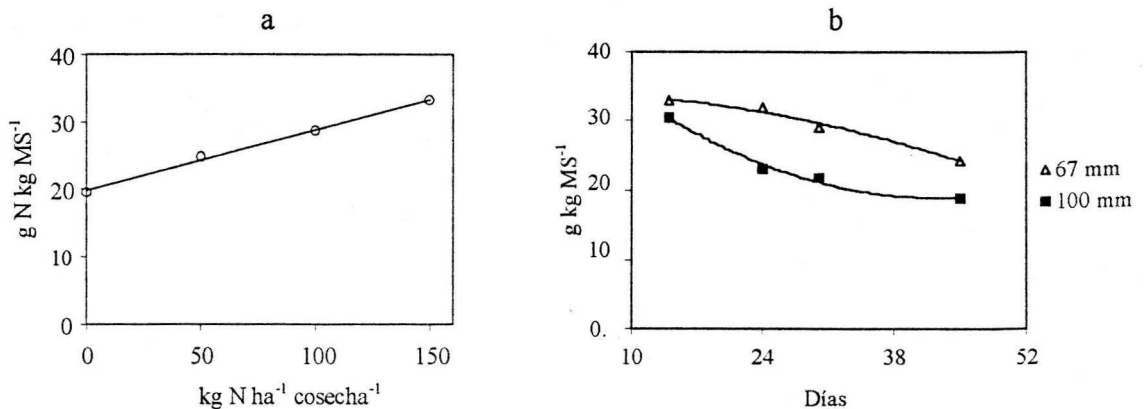


Figura 20. Contenido de N en el forraje por encima de 5 cm durante el rebrote (g N. MS ha⁻¹) de la asociación de avena con raigrás en 45 días de rebrote con dos niveles de riego (67 y 100 mm .15 d⁻¹).

La cantidad de N en el forraje cosechable fue afectada por la interacción Riego × Día (Anexo 14), ya que al final del rebrote esta cantidad fue mayor con el menor nivel de riego. Por otra parte en promedio la cantidad de N en el forraje cosechable respondió en forma lineal a la fertilización. (Figura 21). Sin embargo esta respuesta aumentó a lo largo del periodo de rebrote. Fue muy baja (0.13 kg⁻¹) al comienzo del rebrote (día 14), intermedio a mitad del periodo de rebrote (0.37 kg⁻¹; promedio de los días 24 y 30) y muy alta al final (0.55 kg⁻¹ en el día 45).

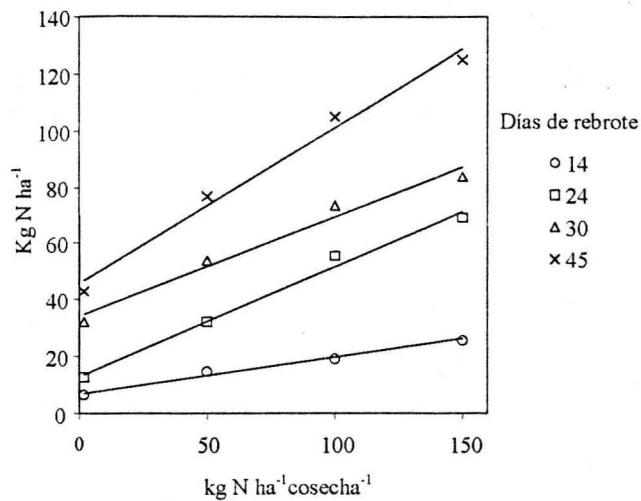


Figura 21. Cantidad de N en el forraje cosechable durante el rebrote kg N ha⁻¹ de la asociación de avena con raigrás en 45 días de rebrote con 4 dosis de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm .15 d⁻¹).

El contenido de N en el forraje residual fue afectado por las interacciones N $\times$ Riego, Riego $\times$ Día y N $\times$ Día (Anexo 15). Este se correlacionó con el contenido de N en el forraje cosechable (Figura 22), pero con menor respuesta en el incremento de la concentración de N en el forraje residual (0.66 kg N ha⁻¹), por lo que la diferencia fue mayor a mayores niveles de contenido de N.

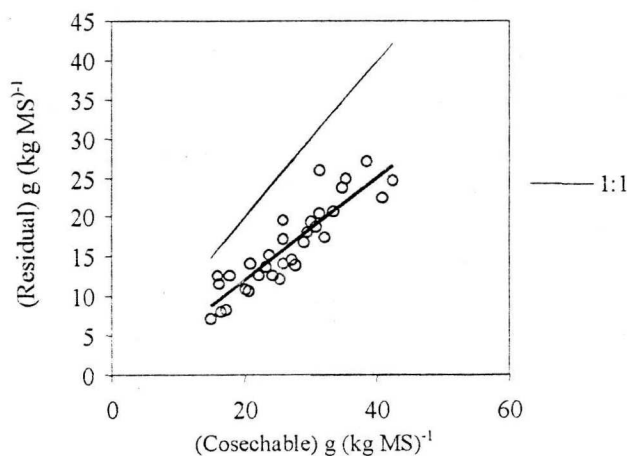


Figura 22. Correlación entre el contenido de N en el forraje residual y el contenido de N en el forraje cosechable de la asociación de avena - raigrás.

6.7. Intercepción de luz en el rebrote

La radiación interceptada durante el rebrote estuvo afectada por la interacción entre el nivel de N $\times$ Riego, así como la interacción entre el Riego $\times$ Día (Anexo 16). Se observó respuesta a N con incrementos decrecientes la cual fue más marcada con 100 mm 14 d^{-1} donde la respuesta inicial fue mayor debido a que con ese nivel de riego y sin fertilización nitrogenada la intercepción de luz fue muy baja (Figura 23a). Con el nivel de riego de 67 mm 14 d^{-1} , el rebrote en el día 14, comienza interceptando menos luz pero a partir del día 24 intercepta más luz que con la lámina de riego de 100 mm 14 d^{-1} (Figura 23b).

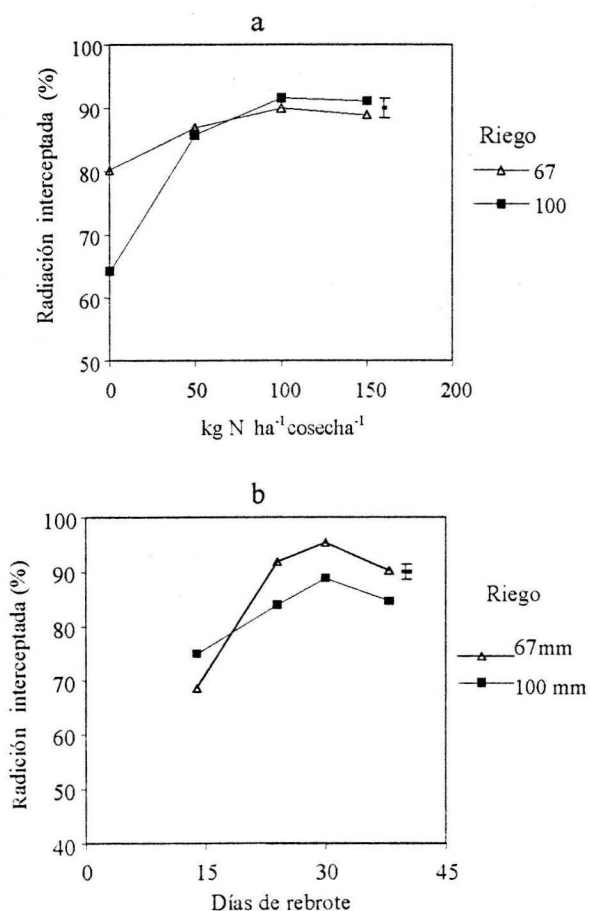


Figura 23. Radiación interceptada durante el rebrote (%) de la asociación de avena con raigrás en cuatro semanas de rebrote, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d^{-1}).

6.8. Composición Botánica

6.8.1. Masa de forraje, contenido de Nitrógeno en el forraje y Nitrógeno cosechable en el rebrote de raigrás

La masa forraje de raigrás, fue afectada por la triple interacción $N \times \text{Riego} \times \text{Día}$ (Anexo 17). Hubo mayor respuesta a N con el mayor nivel de riego (Figura 24). En la primera mitad del período de rebrote (días 14 y 24) esta mayor respuesta se debió a que la masa de forraje de raigrás con altos niveles de fertilización fue mayor con el mayor nivel de riego, en la segunda mitad del período de rebrote (días 30 y 38) adicionalmente la masa de forraje de raigrás con bajos niveles de fertilización fue menor con el mayor nivel de riego.

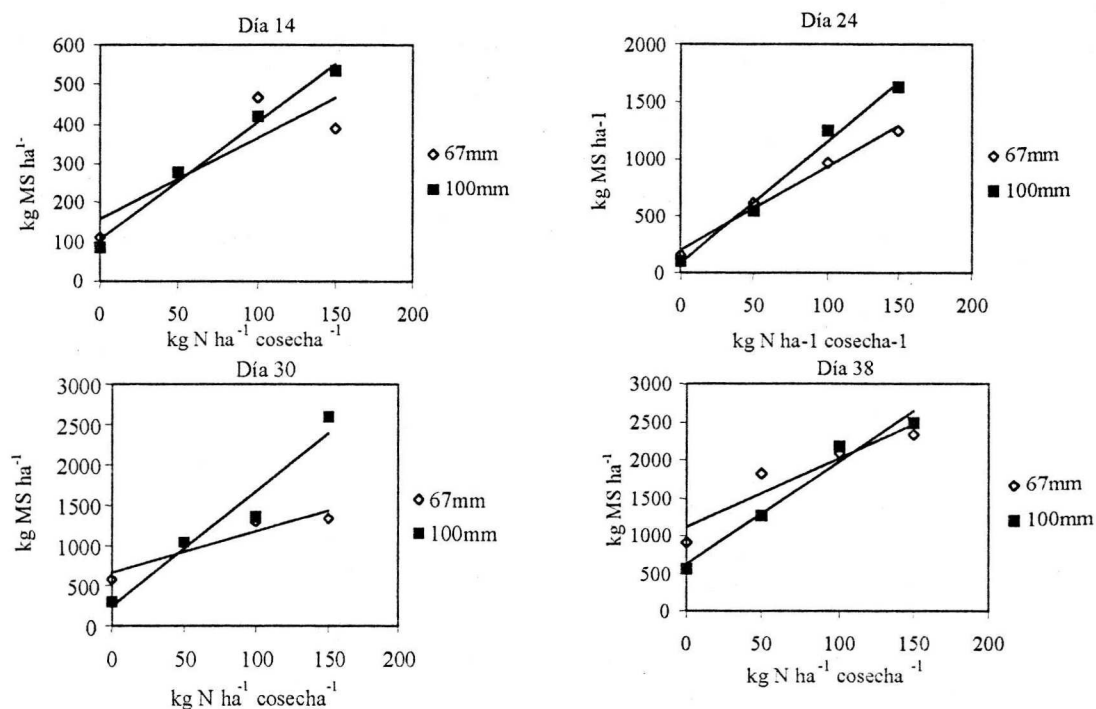


Figura 24. Masa de forraje de Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote (kg MS ha⁻¹) de la asociación de avena con raigrás en cuatro días de rebrote, 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d⁻¹).

El contenido de N en Raigrás durante el rebrote, se reduce con el avance del periodo de rebrote. Si bien la interacción $N \times \text{Riego}$ fue significativa (Anexo 18), en la figura 25 se

observa que en realidad el contenido de N fue menor con el mayor nivel de riego aunque la respuesta a la fertilización fue similar en ambos niveles de riego.

La cantidad de N presente en raigrás, fue afectada por la interacción N $\times$ Día (Anexo 19), al comienzo del rebrote la respuesta baja al incrementar la fertilización nitrogenada, más adelante la respuesta es mucho más fuerte pero que no cambia entre los días 24 y 30, lo único que cambia entre esos días es la cantidad de N presente en el forraje, que aumenta su nivel en forma similar para todos los tratamientos (Figura 26).

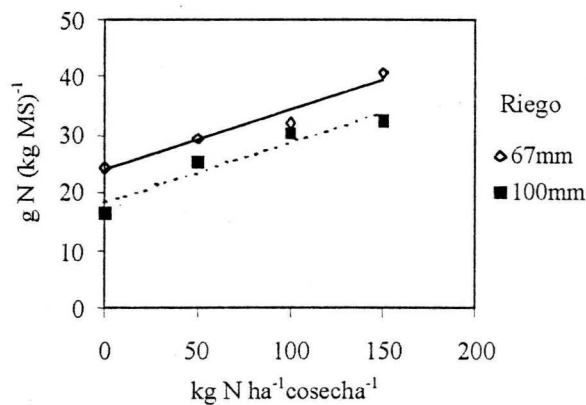


Figura 25. Contenido de N en Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote [g N (kg MS)^{-1}] de la asociación de avena - raigrás en cuatro días de rebrote, 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d^{-1}).

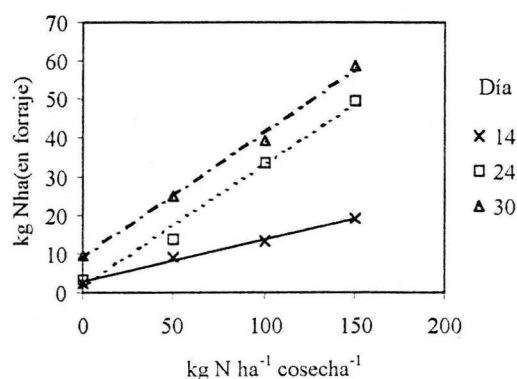


Figura 26. Cantidad de N en Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote (kg N ha^{-1}) de la asociación de avena - raigrás, en 30 días de rebrote y con dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d^{-1}).

6.8.2. Masa de forraje, contenido de Nitrógeno en el forraje y Nitrógeno cosechable en el rebrote de avena

Masa de forraje de avena estuvo afectada por la interacción $N \times \text{Riego} \times \text{Día}$ (Anexo 20), el efecto de esta interacción es complejo. Con el mayor nivel de riego la respuesta fue cuadrática positiva pero el máximo se fue desplazando hacia menores niveles de N a medida que avanza el período de rebrote. Con el menor nivel de riego la respuesta fue inconsistente a través del período de rebrote cambiando de negativa a positiva, a ausencia de respuesta y nuevamente a negativa a los 14, 24, 30 y 38 días de rebrote respectivamente. Sin embargo, estas respuestas pueden haberse debido al efecto de competencia con raigrás. Se puede considerar que al día 38 ya se manifestaba claramente el efecto de esta competencia, con la excepción del tratamiento sin fertilizar con el mayor nivel de riego, en el que el rendimiento de ambas especies fue el más bajo (Figura 27). La masa de forraje de avena se correlacionó negativamente con la masa de forraje de raigrás (Figura 28).

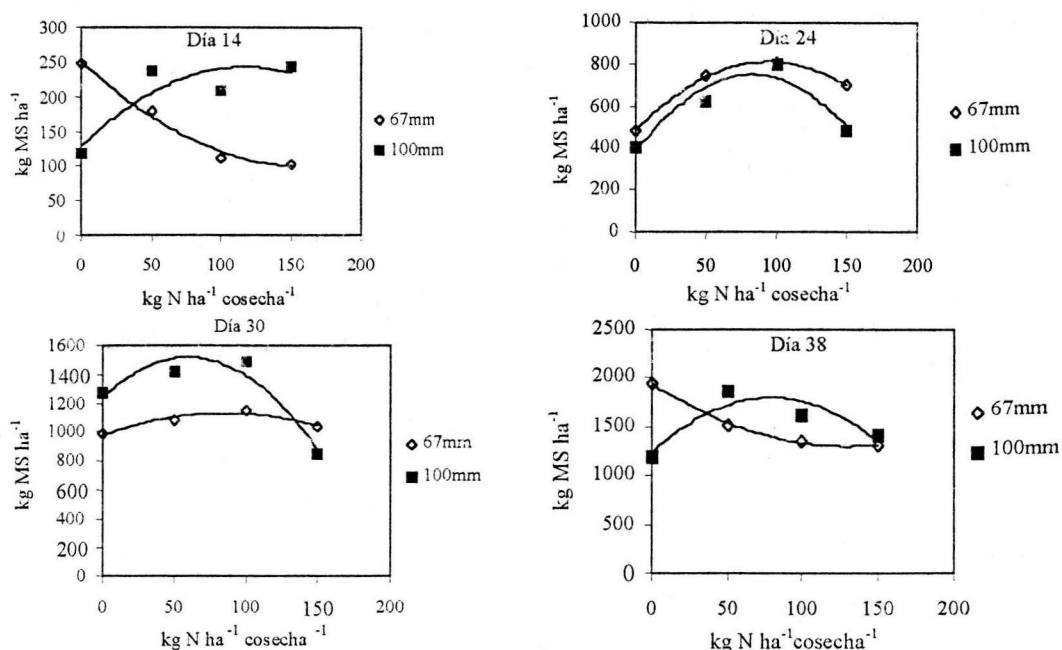


Figura 27. Masa de forraje de Avena por encima de 5 cm de la asociación de avena - raigrás (kg MS ha⁻¹) en 38 días de rebrote, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y con dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d⁻¹), entre la segunda y tercera cosecha.

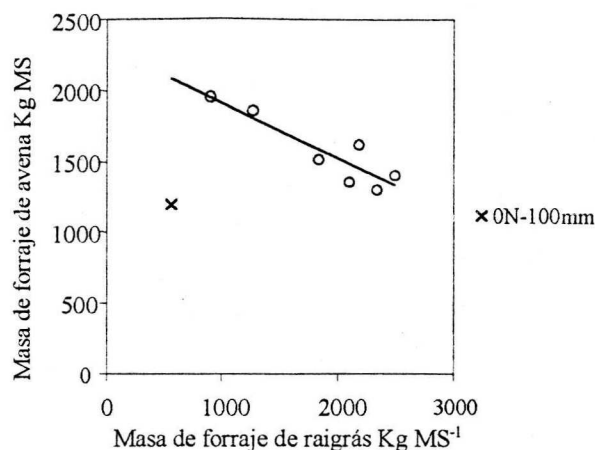


Figura 28. Correlación entre la masa de forraje de avena y la masa de forraje de raigrás

La dosis de N, el día de rebrote y la interacción Riego $\times$ Día afectaron el contenido de N (g N. kg MS^{-1}) del forraje de Avena durante el rebrote (Anexo 21). La dosis de N condujo a una respuesta de incrementos decrecientes del contenido de N en la avena. Con el menor nivel de riego el contenido de N se mantuvo constante, en cambio con el mayor nivel de riego, a pesar de un mayor contenido de N éste se reduce en la segunda mitad del periodo de rebrote (Figura 29).

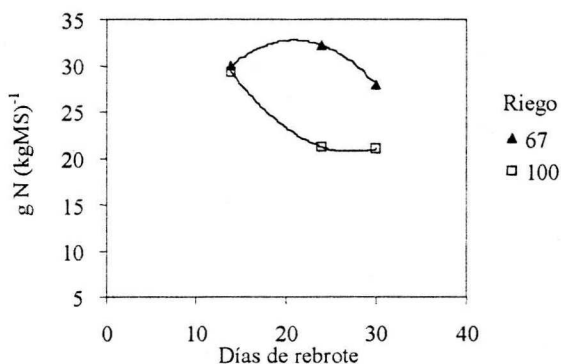


Figura 29. Contenido de N de Avena por encima de 5 cm [g N (kg MS)^{-1}] en la asociación de avena - raigrás en 38 días de rebrote y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14d^{-1}), entre la segunda y tercera cosecha.

La cantidad de N en Avena (kg N ha^{-1}) fue afectada por las interacciones Riego $\times$ Día y N $\times$ Día (Anexo 22). La respuesta de la avena fue hasta 100 N ha^{-1} , por encima de ese nivel la respuesta fue negativa, particularmente al final del rebrote (Figura 30). En este

caso probablemente también se debió a la competencia con raigrás, ya que si se comparan las cantidades de N presentes en ambas especies a través de los diferentes días de muestreo y niveles de riego se observa que en el tratamiento sin fertilización la cantidad de N presente en avena fue mayor que la cantidad presente en raigrás, en el tratamiento con 50 Kg N ha⁻¹ cosecha⁻¹ ambas cantidades fueron similares y con los niveles 100 y 150 Kg N ha⁻¹ cosecha⁻¹ la cantidad de N presente en avena fue menor que la cantidad presente en raigrás (Figura 31).

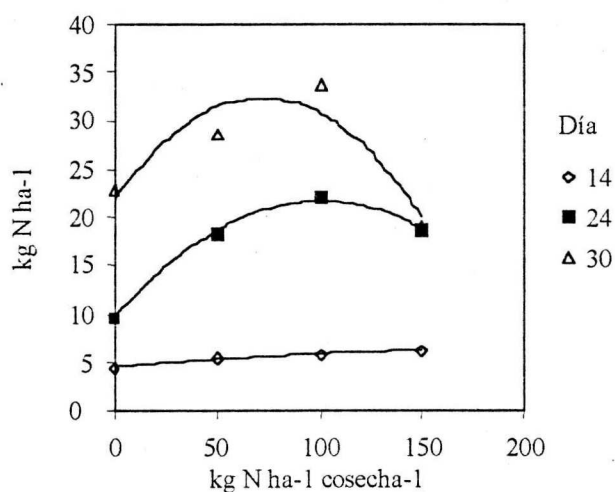


Figura 30. Cantidad de N cosechable en Avena por encima de 5 cm (kg N ha⁻¹) de la asociación de avena - raigrás en 30 días de rebrote, 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm d⁻¹), entre la segunda y tercera cosecha.

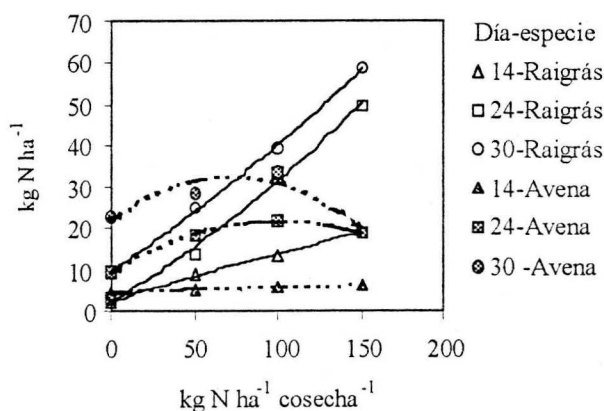


Figura 31. Cantidad de nitrógeno cosechable en avena y raigrás en 30 días de rebrote con cuatro niveles de fertilización nitrogenada.

6.9. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la composición botánica en el rebrote de avena-raigrás.

La contribución de cada especie a la masa de forraje total se puede observar en la figura 32. El raigrás respondió positivamente a la fertilización con N. El porcentaje de raigrás aumentó con el N, no estuvo afectado con el nivel de riego, pero presentó la tendencia a bajar conforme avanzó el rebrote.

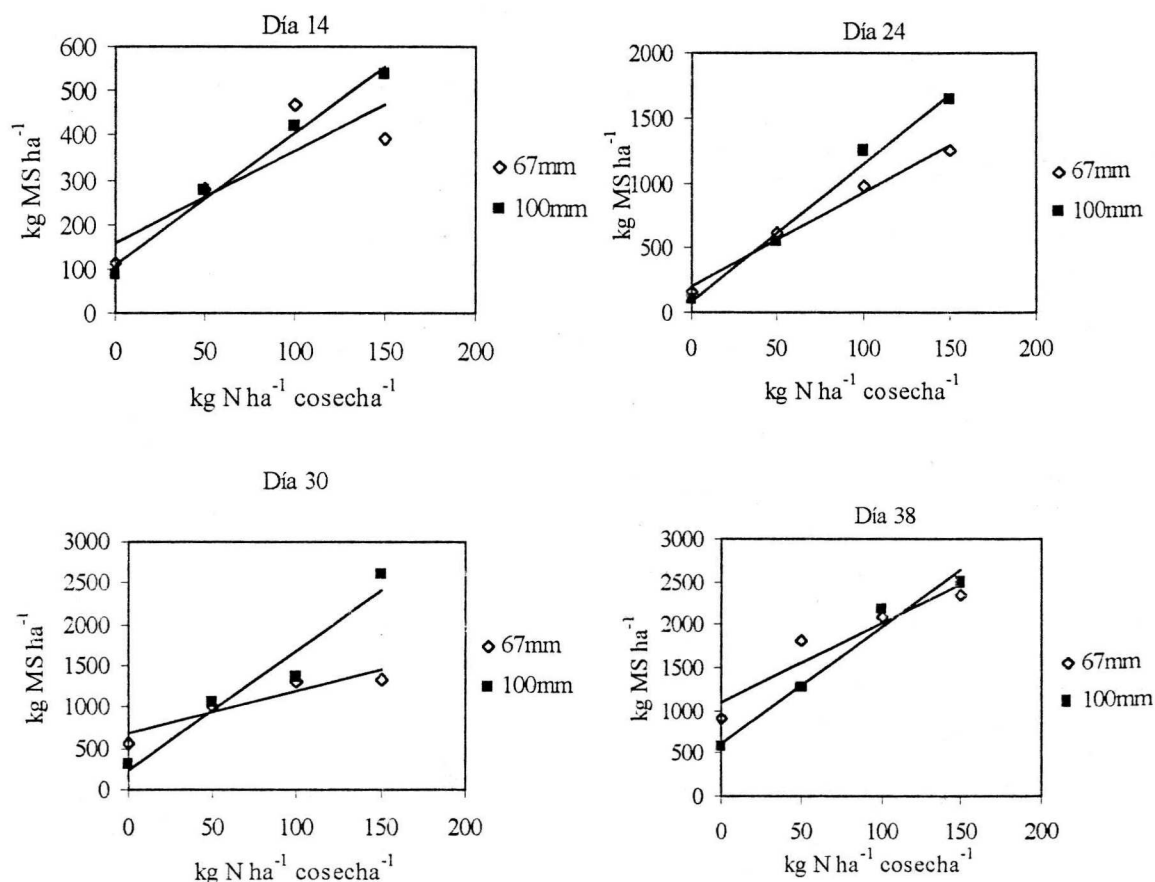


Figura 32. Porcentaje de Raigrás en la asociación Avena-Raigrás, durante 38 días de rebrote, con 4 niveles de fertilización nitrogenada y dos niveles de riego (67 y 100 mm 14 d⁻¹), entre la segunda y tercera cosecha.

VII. DISCUSIÓN

7.1. Producción de Materia Seca y Nitrógeno Cosechado

La producción de forraje fue afectada por la triple interacción N × Riego × Cosecha. Esto se debió a que el balance entre evaporación y riego varió entre cosechas (Figura 6) y también varió la tasa media de crecimiento (29, 85 y 46 kg MS ha⁻¹ d⁻¹ en la 1^a, 2^a, y 3^a cosecha, respectivamente). La tasa baja de crecimiento durante la primera cosecha, puede explicarse por ser la etapa de establecimiento de la pradera, la época de bajas temperaturas y pocas horas de insolación (Figuras 2 y 4). Para la segunda y tercera cosecha mejoraron las condiciones del ambiente, pero la tercera cosecha tuvo un periodo de rebrote muy corto.

La acumulación de forraje promedio durante el rebrote de la segunda cosecha (Anexo 12b) se puede describir de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$y = 29.52 x + 5.374 x^2 - .0618 x^3, R^2=0.999$$

donde:

y = kg MS ha⁻¹ cosechable (por encima de 5 cm de altura)

x = días de crecimiento

De acuerdo a esa ecuación a los 27 días de rebrote (período de crecimiento de la tercera cosecha) se obtiene un rendimiento esperado de 1904 kg MS ha⁻¹ mismo que resulta ligeramente superior al obtenido en la tercera cosecha (Anexo 12b).

En este sentido podemos decir que en promedio la mayor producción de forraje tuvo lugar en la segunda cosecha debido a adecuadas condiciones de ambiente, suficiente aporte de humedad y a un adecuado periodo de rebrote.

Esta situación afectó la respuesta a nitrógeno (Figura 8). Esta respuesta es mayor cuando las condiciones generales de crecimiento son adecuadas (Pearson, 1979), en particular la

disponibilidad de humedad (Améndola, 1996; Mengel y Kirkby, 1982; Cummins *et al.* 1965). La respuesta a N fue mayor en la segunda cosecha con el mayor nivel de riego (Figura 8). A partir de esa mayor respuesta se pueden discutir los factores limitantes de las respuestas en las demás situaciones. En la figura 6 se observa que el nivel de humedad con el menor nivel de riego pudo ser limitante durante la segunda cosecha. En el caso de ambos niveles de riego la respuesta a N fue baja durante la primera cosecha debido a las bajas tasas de crecimiento ya discutidas. Algo similar ocurrió durante la tercera cosecha. Al respecto debe señalarse que las tasas de absorción de N y crecimiento muestran diferentes respuestas durante un período de rebrote. La absorción de N tiene mayores tasa relativas durante la fase inicial del rebrote, de forma tal que a medida que avanza un período de rebrote se presenta un fenómeno de dilución del N absorbido que se debe a un incremento relativo de la tasa de crecimiento (Salette y Huché, 1989). Este efecto se reflejó en un mayor contenido de N en el forraje cosechado en la 3a cosecha que en la 2a cosecha.

La menor concentración de N en el forraje se relacionó con una mayor cantidad de N cosechado, esto se debe a una máxima utilización de N para producción de forraje.

El N en la parte aérea es por lo regular dos tercios del N total (Whitehead, 1995). Si se toma en cuenta esa proporción, el N en parte aérea como la suma del N cosechado (Anexo 4) y el N en el forraje residual (Anexo 7) y la longitud del período de rebrote, es posible estimar de forma aproximada las tasas medias de absorción de N. Los resultados de este cálculo son 2.5, 5.8 y 5.2 kg N ha⁻¹ d⁻¹ para la primera, segunda y tercera cosecha respectivamente. Este resultado indica que durante la primera cosecha las condiciones ambientales (temperatura y luminosidad, Figuras 2 y 4) y de la pradera (fase de implantación con un período inicial de bajas masas de raíces y hojas) limitaron la

absorción de N. Sin embargo al comparar la segunda y la tercera cosecha se observa que no hubieron en esta última limitaciones importantes para la adquisición de N, y que las limitaciones en respuesta se debieron a la baja eficiencia de utilización del N absorbido, producto del extremadamente corto período de crecimiento.

El comportamiento del contenido de N en el forraje cosechado y en el residual fue el mismo, alto en la tercera cosecha y muy bajo en la segunda particularmente con el riego alto. Esto habla de una fuerte correlación entre el contenido de N en el forraje cosechado y el contenido de N en el forraje residual. El N en el forraje residual puede ser determinante en el rebrote posterior (Matsunaka, 1997), esto lo podemos corroborar al observar el contenido de N en el forraje residual, este fue ligeramente alto después de la primera cosecha, lo cual permitió, junto con el efecto de la fertilización, obtener una mayor masa en la siguiente cosecha (cosecha 2). Los incrementos de N en el forraje residual pueden estar relacionados por una mayor absorción de N que posteriormente será utilizado para la formación de tejidos nuevos (Wild, 1992).

En cuanto al N cosechable en la segunda cosecha, la mayor cantidad de este se obtuvo en el forraje cosechado, debido a que un incremento en el rendimiento va acompañado de un mayor contenido de N en los tejidos vegetales (Wild, 1992), y la menor cantidad de N cosechable se obtuvo en el forraje residual, lo que pudo deberse a una mayor translocación de N de las zonas de menor demanda a las zonas de mayor demanda (Guillard *et. al.* 1995a, Halvorson *et. al* 1999, y Pérez, 1999). Esto no ocurrió igual con la primera y tercera cosecha. En la primera cosecha la cantidad de N en el forraje cosechado fue sólo ligeramente mayor que el N cosechable en el forraje residual, lo cual se puede explicar debido a que fue el periodo de crecimiento más largo y conforme la planta se envejece la absorción de N es menor, pues el crecimiento disminuye. Entonces

la translocación de N a los estratos superiores es menor, aunque el efecto de la fertilización con N este presente. En el caso de la tercera cosecha se observó un comportamiento similar lo cual se debió al periodo de crecimiento tan corto, que no permitió la máxima expresión del crecimiento de la pradera.

En promedio se obtuvieron respuestas decrecientes a la fertilización nitrogenada, éstas fueron 16.6, 11.9 y 10.3 kg MS kg⁻¹N para los niveles 50, 100 y 150 kg N ha⁻¹ cosecha⁻¹ respectivamente. Estos resultados coinciden aproximadamente con los reportados por Fernández *et al.* (1997), Guillard *et al.* (1995b) y Eckard y Franks (1998), sin embargo son menores al los frecuentemente reportados para ballico anual (Whitehead, 1995). Sin embargo al evaluar la interacción entre los niveles de riego y fertilización se observa que para el menor nivel de riego estas respuestas fueron 11.6, 7.9, 8.1 kg MS kg⁻¹N respectivamente, en tanto que para el mayor nivel de riego fueron 21.6, 16.0 y 12.4 kg MS kg⁻¹N respectivamente. La mayor respuesta con el mayor nivel de riego tiene dos causas: el mayor rendimiento obtenido con los mayores niveles de fertilización y el menor rendimiento obtenido con el testigo sin fertilización. Con los mayores niveles de fertilización, al dejar de ser limitante el N, en la segunda y tercera cosecha el nivel de humedad pudo transformarse en el factor limitante (Figura 6), lo que explica los mayores rendimientos con el mayor nivel de riego, como lo mencionan Escuder y Canguiano (1997) que trabajaron con raigrás puro. La cantidad de N cosechado en el tratamiento sin fertilización fue mucho menor con el mayor nivel de riego (Anexo 4), esto no solo se debió al menor rendimiento (Anexo 2), también fue originado por una menor concentración de N en los tejidos (Anexo 3). Por otra parte la cantidad de N cosechado en el tratamiento sin fertilización y alto riego fue decreciendo marcadamente con las cosechas sucesivas. El alto nivel de riego fue marcadamente excesivo durante el

período de crecimiento de la primera cosecha (Figura 6), de modo que probablemente eso ocasionó la lixiviación de nitratos (Guillard *et al.* 1995b; Sapek, 1997) ocasionando un marcado déficit de N en ese tratamiento cuya concentración de N en el forraje y cuyos rendimientos en MS y N fueron mucho menores a los del tratamiento sin fertilización pero con el nivel bajo de riego.

Cuando la contribución de N del suelo a la absorción del N por un cultivo no varía en diferentes tratamientos (es aproximadamente la misma), se puede utilizar el porcentaje de recuperación aparente (RAN) para explicar la eficiencia de uso del N procedente de fertilizantes (Wild, 1992). Considerando que los experimentos con diferente nivel de riego se realizaron en sitios contiguos se calculó el RAN. En promedio el RAN obtenido en ambos regímenes de humedad fue de 51, 42 y 43 % para 50, 100 y 150 kgNha⁻¹, resultados cercanos a los reportados por Vera *et al.* (1997).

De manera general se observó una mayor cantidad de N-NH₄ que de N-NO₃ cuando se realizan fertilizaciones con N y sobretodo al aumentar la dosis de N, lo cual coincide con lo reportado por Mannetje y Shaw (1972) y Cowan *et al.* (1995). Esto puede deberse a que hay mayor afinidad de la asociación avena-raigrás a absorber el N-NO₃ que de N-NH₄, aunque se tiene el riesgo que parte del N-NO₃ que no aparece en el suelo pueda haber sido lavado o desnitrificado, sobretodo al incrementar el régimen de humedad (100 mm) (Guillard *et al.* 1995b).

La mayor cantidad de N-NH₄ y menor cantidad de N-NO₃, se debe a que los cultivos, sobretodo de gramíneas normalmente absorben mayor cantidad de N-NO₃ que de N-NH₄ (Wild, 1992).

En promedio el mayor nivel de riego tuvo un efecto negativo sobre el nitrógeno cosechado (Anexo 4). Ello lleva a concluir que el mayor nivel de riego pudo contribuir a

la lixiviación de nitratos (Sapek, 1997). Sin embargo, con excepción del testigo sin fertilizar y en especial en la segunda y tercera cosecha, esa menor absorción de N no se manifestó en menor rendimiento (Anexo 2) sino en menor contenido de N (Anexo 3). Con este resultado se puede concluir que con el mayor nivel de riego se dispuso de niveles de humedad más adecuados para el crecimiento de avena y raigrás. Esto implica una contradicción entre niveles excesivos de humedad que contribuyen a la pérdida de nitrógeno y niveles de humedad más adecuados para el crecimiento (Sapek, 1997). Esta aparente contradicción reside en el hecho que los tratamientos no difirieron únicamente en el volumen total de agua aplicada, también difirieron en la frecuencia del riego (cada 7 o 14 días). Estos resultados llevan a concluir que para mejorar la eficiencia de uso del fertilizante y del riego, la frecuencia de riego debería ser alta (semanal) y el volumen aplicado debería ajustarse a los requerimientos. El volumen aplicado debería ser bajo al comienzo de la estación (menor a 67 mm catorcenales) y aproximarse a 100 mm catorcenales al final de la estación de crecimiento.

De acuerdo a (Cohen, 1993) las plantas que sufren estrés hídrico no hacen un uso más eficiente del agua que las plantas no estresadas. De acuerdo a lo anterior, los resultados respecto a la eficiencia en el uso del agua (Anexo 11, línea 1) indican que el menor nivel de riego no implicó stress hídrico ya que la eficiencia en el uso del agua de riego fue mayor. Sin embargo, ya fue discutido que el mayor rendimiento alcanzado con los tratamientos con alta fertilización y mayor riego indicarían que el aumento en la frecuencia de riego sería recomendable.

La decisión sobre dosis óptimas de fertilización se basa fundamentalmente en consideraciones de orden económico. En este sentido es posible realizar un cálculo muy sencillo que consiste en la estimación de los costos del forraje producido (Cuadro 4). Un

cálculo más exacto implicaría estimar el beneficio neto obtenido con cada tratamiento. Para ese tipo de cálculo se debe asignar un valor al forraje producido y en el caso de las praderas de este experimento (que regularmente se utilizan bajo pastoreo con vacas lecheras) ello implica utilizar un parámetro para la conversión de forraje a leche. Ese parámetro no tiene un valor único sino que depende de factores del animal y del manejo, por lo que puede presentar variaciones importantes. En el Cuadro 4 se observa que la fertilización tendió a reducir levemente el costo del forraje producido, ello implica que a pesar de incrementarse los costos variables, debido al incremento en producto se redujo el peso relativo de los costos fijos.

Cuadro 4. Costo del forraje producido (\$ kg⁻¹ MS) con diferentes tratamientos de fertilización y riego

Riego (mm 14d ⁻¹)	Fertilización kg N ha ⁻¹ cosecha ⁻¹			
	0	50	100	150
67	1.06	1.00	0.98	0.94
100	1.55	1.01	0.92	0.95

7.2. Rebrote entre la primera y segunda cosecha

7.2.1. Producción de materia seca y Nitrógeno cosechado en el rebrote

La respuesta obtenida en la masa de forraje durante el rebrote tuvo una respuesta similar a la que esperaba en un experimento de fertilización nitrogenada, con incrementos decrecientes al aumentar la dosis de N.

La masa de forraje en el rebrote se relacionó con la concentración de N en el forraje cosechado de forma similar a lo reportado por Madakadze *et al.*, (1999), ambos se incrementaron con el mayor nivel de N en la fertilización. El riego no afectó significativamente la respuesta pero tendió a incrementar ligeramente la masa conforme aumentaba el crecimiento de la pradera; como respuesta también a la aplicación de N, y

disminuyó la concentración de N en el forraje en ambos riegos, al aumentar el día de rebrote.

La mayor cantidad de masa de forraje se relacionó con la mayor cantidad de N absorbido por el forraje, esto debido a que el N se destinó a la formación de compuestos nitrogenados necesarios para la formación y crecimiento de hojas (Bray, 1983; Marschner, 1997), además la mayor cantidad de N asimilado se relaciona con la mayor cantidad de forraje producido, cuando se fertiliza un cultivo (Richter, 1993; Wild, 1992).

El N cosechable también tuvo un comportamiento similar al de la masa, el cual fue mayor al aumentar el día de rebrote, esto se debe a que en ese periodo de rebrote (45 días) hubo mayor crecimiento y poca acumulación de material muerto, por lo que aún hubo translocación de N a las zonas de crecimiento; por esto se presentó una marcada relación entre la masa de forraje cosechado y la concentración de N en el forraje.

La intercepción de luz fue mayor al incrementar la dosis de N y el tiempo de rebrote (Anexo 16). La mayor disponibilidad de humedad no afectó la intercepción de luz pero la mayor dosis de N favoreció la radiación interceptada por la asociación alcanzando un 91% de intercepción de luz en dosis mayores a 100 kg N ha^{-1} , esto coincide con lo reportado por Simon y Lemaire (1987) y Marino *et. al* (1997) quienes obtuvieron incrementos en el índice de área foliar (IAF) el cual se relaciona con la mayor intercepción de luz. Cuando no hay limitaciones de N la tasa fotosintética se incrementa como resultado de un mayor aporte de N y de acumulación de material vegetal (Gestal y Bélanger, 1993; Wild, 1992), esto significa que el desarrollo de área foliar y el aumento proporcional de la cantidad de energía luminosa interceptada es la principal causa del incremento de producción de forraje como resultado de la fertilización nitrogenada (Grindlay, 1997).

Se puede esperar que el N incremente la tasa de crecimiento por efectos sobre el incremento en la radiación interceptada y por aumento en la eficiencia fotosintética (Gestal y Bélanger, 1993; Simon y Lemaire, 1987; Woledge and Pearse, 1985). Los resultados obtenidos por Román (2000) coinciden al indicar que el principal efecto del N es por incremento del área foliar y por tanto en la radiación interceptada. Román no encontró efecto del nitrógeno sobre tasas fotosintéticas en hojas de avena y raigrás en las parcelas del menor nivel de riego del presente experimento en el día 15 del rebrote entre la primera y segunda cosecha.

7.2.2. Efecto de los tratamientos en la composición botánica

Los efectos de la fertilización sobre la composición botánica deben analizarse considerando los cambios en condiciones de competencia generados por la fertilización. Esos cambios van a alterar la competitividad relativa de las especies y por lo tanto el resultado de la competencia. Sin fertilización nitrogenada el factor más limitante es la disponibilidad de N y por lo tanto la habilidad para competir por N será la que determine el resultado de la competencia. En cambio a medida que aumenta la fertilización N la disponibilidad de N deja de ser el factor más limitante y es la habilidad competitiva por otros factores de crecimiento (en particular luz), la que determinará el resultado de la competencia. En los Anexos 17 y 20 se observa que a medida que aumentó la fertilización aumentó la proporción de raigrás, lo que incluso fue ocasionado por una reducción en términos absolutos de avena en la asociación, resultados similares a los reportados por Perez (1999), Smith *et. al* (1982) y Collins *et. al* (1990). El mismo resultado se observa en el nitrógeno absorbido (Anexos 19 y 22). Ello lleva a concluir que avena fue un competidor eficiente por N pero poco eficiente por los demás factores

de crecimiento. Dado que desde etapas muy tempranas del rebrote un alto porcentaje de la radiación incidente era interceptada en los tratamientos que recibieron fertilización (75% en el día 14 y 92% en el día 24), debería concluirse que la habilidad competitiva por luz fue determinante en el resultado de la competencia una vez que la disponibilidad de N no fue limitante.

Dado que el porte de las especies es una característica asociada a la competitividad por luz, las especies de mayor porte son más competitivas (Bullock, 1996), este resultado es sorprendente ya que en condiciones regulares avena ubica sus hojas en estratos de mayor altura que raigrás (Rivera, 2001). Dado que el porte no fue factor determinante de la mayor habilidad competitiva, ésta debió basarse en el momento en que se desarrolló el área foliar y en la respuesta del desarrollo del área foliar a la fertilización. En este sentido Román (2000) reporta que el incremento de área foliar de raigrás fue más rápido que el de avena, y Marino *et al.* (1997) encontraron que en respuesta a la fertilización nitrogenada el área foliar de raigrás aumentó en mayor medida que la de avena. De esta forma puede concluirse que la fertilización nitrogenada aumentó la competitividad de raigrás por luz, y que esta mayor competitividad probablemente se debió a una mayor y más rápida expansión del área foliar.

VIII. CONCLUSIONES.

La respuesta promedio a la fertilización nitrogenada observada en el presente experimento fue menor a las frecuentemente reportadas para ballico anual. Sin embargo, el incremento en producción obtenido con la fertilización contribuyó a reducir, aunque en forma modesta, el costo de producción del forraje.

Tanto la fertilización nitrogenada como el riego afectaron mutuamente sus eficiencias de uso. La eficiencia de uso del nitrógeno aumentó con el nivel de riego, así como la eficiencia de uso del agua de riego aumentó con el nivel de fertilización.

Los resultados del presente experimento sugieren que es posible diseñar estrategias de manejo de la fertilización y el riego que incrementen su eficiencia de uso. Tanto la fertilización como el riego debiesen ser bajas en el primer ciclo de crecimiento e incrementarse posteriormente. Adicionalmente deben distribuirse los niveles de agua aplicada en forma más uniforme, incrementando la frecuencia de los riegos. Ello contribuye a limitar las pérdidas de nitrógeno por lixiviación, e incrementaría la eficiencia en el uso del agua.

La fertilización nitrogenada afectó la competencia relativa de avena y raigrás. Avena fue un eficiente competidor en situaciones de baja disponibilidad de nitrógeno. Sin embargo al incrementarse la disponibilidad de nitrógeno, la competitividad por luz pasó a ser un factor determinante. En estas situaciones, raigrás fue un competidor más eficiente que avena llegando a dominar marcadamente en la asociación.

IX. RECOMENDACIONES

Debido a que la evaluación de la respuesta de la asociación avena-raigrás a la fertilización y el riego se realizó bajo corte y la utilización de la asociación es bajo pastoreo, no es posible hacer una recomendación de fertilización, pero en principio podemos decir que 50 kg N ha^{-1} son adecuados en el inicio del crecimiento y a partir de la primera cosecha, 100 kg N ha^{-1} son convenientes para tener mayores rendimientos de forraje.

El riego estándar (67 mm) puede ser adecuado o incluso demasiado alto, sobre todo al comienzo de la estación de crecimiento, por lo que puede disminuir hasta 33.5 mm de agua, semanalmente entre el establecimiento y la primera cosecha.

Es recomendable continuar evaluando la respuesta de la fertilización nitrogenada y el riego en gramíneas forrajeras, particularmente bajo pastoreo; esto debido a que los cultivos invernales no sólo pueden utilizarse como cultivos para corte sino también para pastoreo. Lo importante es tratar de obtener combinaciones óptimas de nitrógeno y agua para ser aplicadas y obtener el máximo beneficio de estos recursos.

X. LITERATURA CITADA

- Améndola, M. R. D. 1996. Principios de Producción de forrajes y manejo de praderas (Mimeo.)
- Améndola, M. R. D. y B. Morales. 1997. Competition between oats and annual ryegrass under grazing. Proceedings XVIII International Grassland Congress. Winnipeg, Manitoba – Saskatchewan, Canada. Sesión. 22, Forage and Grassland Management. pp. 119-120.
- Bray, C. M. 1983. Nitrogen metabolism in plants. Edit. Longman Group. New York, USA. pp. 197-199.
- Benton, J, B. Wolf y H. A. Mills. 1991. Plant análisis handbook. Edit. Micro-Macro Publishing. pp. 6.
- Beevers, L. y R. H. Hageman, 1983. Uptake and reduction of Nitrate: Bacteria and Higher Plants. En: Inorganic Plant Nutrition. Editores A. Läuchi y R. L. Bicleski. Edit. Springer-Verlog. Enciclopedia of Plant Physiology. Volumen 15ª. Alemania. pp. 351.
- Bolton, F. D. 1981. Optimizing the use of water and nitrogen through soil and crop management. Plant and Soil. 58: 231-247.
- Bremner, J. M. 1965. Total nitrogen; Inorganic forms of nitrogen. In: C.A. Black (ed). Methods of soils analysi. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 1149-1179.
- Bullock, J. M. 1996. Plant competition and population dynamics. In: Hodgson J. and Illius A. W. (Eds.). The ecology and management of grazing systems. CAB International. Wallingford UK. pp. 69-100.
- Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Edit. Hemisferio Sur, Uruguay. pp. 219.
- Collins, M., M. A. Brinkman y A. A. Salman. 1990. Forage yield and quality of oatcultivars with incresing rates of nitrogen fertilization. Agronomy Journal. 82:724-728.
- Cohen, Y. 1993. Water relations and irrigation. In: Dovrat A. Irrigated forage production. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam. pp. 25-59.
- Conn, E. E.; P. F. Stumpf; G. Bruening y R. H. Doi. 2000. Bioquímica Fundamental. Edit. Limusa. pp. 554, 577 y 585.
- Cortez, A., J. 1998. Pastoreo de la asociación avena (*Avena sativa* var. Cocker)-raigrás anual (*Lolium multiflorum* Lam.) para la producción de leche invernal. Tesis de maestro en ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 155 pp.
- Cowan, R. T., K. F. Lowe, W. Ehrlich, P. C. Upton y T. M. Bowdler. 1995. Nitrogen-fertilised grass in a subtropical dairy system. 1. Effect of level of nitrogen fertiliser on pasture

- yield and soil chemical characteristic. Australian Journal of Experimental Agriculture . 35:125-135.
- Cummins, D. G., J. P. Craigmiles y J. P. Newton. 1965. Seasonal response of temporary winter grazing mixtures to split applications of nitrogen. Agronomy Journal. 57(5): 451-453.
- Domínguez, V. A. 1984. Tratado de fertilización. Edit. Mundi- Prensa. Madrid, España. pp.. 42-44.
- Dorantes, J. J. 1997. Evaluación de la inclusión de diferentes leguminosas en la asociación avena-ballico bajo pastoreo en invierno, en Chapingo México. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, México. 73 pp.
- Eckard, R. J. y D. R. Franks. 1998. Strategy nitrogen use on perennial ryegrass and white clover pasture in north-western Tasmania. Australian Journal of Experimental Agriculture. 38:155-160.
- Escuder, C. J. y C. A. Canguiano. 1997. Effect of irrigation and nitrogen fertilization on ryegrass and ryegrass/white clover swards. Proceedings XVIII International Grassland Congress. Winnipeg, Manitoba – Saskatchewan, Canada. Sesión. 22, Forage and Grassland Management. pp. 129-130.
- FAO, 1990. Mapa mundial de suelos. Leyenda revisada. Edit. FAO-UNESCO. Roma, Italia. pp. 54, 90-91.
- Fernández, G. R. C., A. E. Mazzanti y H. A. Echeverría. 1997. Effect of nitrogen upon winter of the south east of Buenos Aires Province, Argentina. Proceedings of the XVIII International Grassland Congress. Winnipeg, Manitoba, Saskatoon, Saskatchewan, Canada. Session 10. Soil Fertility. pp 5-6.
- García, E. M., M. J. J. Hernández y L. V. López. 1994. Evaluación de dos especies de avena y dos variedades de ballico anual bajo pastoreo en Chapingo, México. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, México. 119p.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de clasificación Climática de Köppen. OFFSET LARIOS. México, D. F. 217 pp.
- Gestal, F. Y G. Bélanger. 1993. The effects of Nitrogen Fertilization and the Growing Season on Photosynthesis of Field-grown Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) Canopies. Annals of Botany . 72:401-408.
- Grindlay, D. J. C. 1997. Towards an explanation of crop nitrogen demand based on the optimization of leaf nitrogen per unit leaf area. Journal of Agricultural Science, Cambridge. 128: 377- 396.

- Guillard, K., G. F. Griffin, D. W. Allison, M. M. Rafy, W. R. Yamartino y S. W. Pietrzyk. 1995a. Nitrogen Utilization of Selected Cropping System in the U. S. Northeast: I. Dry Matter Yield, N uptake, Apparent N Recovery and N Use Efficiency, *Agronomy Journal*. 87:193-199.
- Guillard, K., G. F. Griffin, D. W. Allison, M. M. Rafy, W. R. Yamartino y S. W. Pietrzyk. 1995b. Nitrogen Utilization of Selected Cropping System in the U. S. Northeast: II. Soil Profile Nitrate Distribution and Accumulation. 87: 199-207.
- Halvorson, A. D., C. A. Reule, y R. F. Follett. 1999. Nitrogen fertilization effects on soil carbon and Nitrogen in a Dryland Cropping System. *Soil Science Society of American Journal*. 63:912-917.
- Haydock, K. P. y N. H. Shaw. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15:663-670.
- Herron, G. M., D. W. Grimes y J. T. Musick. 1963. Effect on soil moisture and fertilization on irrigated grain sorghum on dry matter production and nitrogen uptake at selected stages on plant development. *Agronomy Journal*. 55(4):393-396.
- Jones, R. M. and J. N. G. Hargreaves. 1979. Improvements to the dry-weight-Rank method for measuring botanical composition. *Grass and Forage Science*. 34:181-189.
- Juscáfresca, B. 1974. Forrajes. Fertilizantes y valor nutritivo. Ed. Aedos. España. 205 pp.
- Keulen, H. V. 1981. Modelling the interaction of water and nitrogen. *Plant and Soil* . 58: 205-229.
- Lattanzi, F., M. A. Marino y Mazzantti A. 1997. Fertilizer nitrogen and morphogenetic responses in *Avena sativa* and *Lolium multiflorum*. Proceedings of the XVIII International Grassland Congress. Winnipeg, Manitoba – Saskatchewan, Canada. Sesión. 7. Plant Physiology and Growth. Pp. 3-4.
- López, B. L. 1991. Cultivos herbáceos, Cereales. Vol. 1. Edt. Mundi-Prensa. Madrid. España. pag. 84-91, 141-146, 281-288, 539.
- Madakadze, I.C., K.A. Stewart, P. R. Peterson, B. E. Coulman y D. L. Smith. 1999. Cutting frequency and nitrogen fertilization effects on yield and nitrogen concentration on Switchgrass in a short season area. *Crop Science*
- Mannatje, L. T. A y N. H. Shaw. 1972. Nitrogen fertilizer responses of *Heteropogon contortus* and a *Paspalum plicatulum* pasture in relation to rainfall in Central Coastal. Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 12:28-35.

- Mannatje L. T. and K. P. Haydock. 1963. The dry-weight-Rank method for botanical analysis of pasture. *Journal of the British Grassland Society*. 18(4): 268-275.
- Marino, M. A., A. Mazzanti y H. E. . 1995. Fertilización nitrogenada de cultivos forrajeros anuales de invierno en el sudeste bonairense. *Memoria XIV. Reunión ALPA. Revista Argentina de Producción animal*. 15:179-182.
- Marino, M. A., A. Mazzanti, Echeverría H. E. y F. Andrade. 1997. Nitrogen Fertilization in winter forage crop in the Southeast of Buenos Aires Province Argentina. In: *Soil Fertility. Proceeding of the XVIII International Grassland Congress*. Winnipeg, Manitoba – Saskatchewan, Canada. Sesión. 10. *Soil Fertility* pp. 88-89.
- Marschner, H. 1989. Mineral nutrition of higher plants. Edit. Academic Press. San Diego, U.S.A. pp. 201, 203, 207.
- Marschner, H. 1997. Mineral nutrition of higher plants. Edit. Academic Press. San Diego, U.S.A. 889 pp.
- Martínez, C., M. A. 1999. Suplementación con ensilado de maíz a vacas lecheras en pastoreo. Tesis de maestro en ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 106 pp.
- Martino, D.; M. Caldeyro; A. Bozzono; W. Baethgen y R. Díaz. 1986. Residualidad del nitrógeno dejado por pasturas. II. Efecto de la duración de las pasturas. En: *Investigaciones Agronómicas No. 7. CIAAB – MAP. Año 7, Núm. 1. (Diciembre)*. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. República Oriental del Uruguay. Edit, Hemisferio Sur. pp. 59-65.
- Matsunaka, L., T. Ishii y M. Jin. 1997. Nitrogen as a limiting factor of regrowth and yield of orchardgrass after cutting. *Proceedings of the XVIII International Grassland Congress*. Winnipeg, Manitoba, Saskatoon, Saskatchewan, Canada. Session 10. *Soil Fertility*. pp 9-10.
- Melgoza, C. O., A. Rubio y R. Nuñez. 1991. Proporciones de rye grass – avena para producción de forraje bajo riego en Ojinaga, Chihuahua. En: *Memorias de la Reunión Nacional de Investigación Pecuaria*. Tamaulipas, Méx.. pp 332..
- Mengel, K. y E. A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. 3ª. Ed. Edit. International Potash Institut. Bern, Suiza. Pág. 240-241, 271, 282 y 361.
- Morales, M. B. 1998. Evaluación de tres cultivos de avena forrajera bajo pastoreo en Chapingo. Chapingo, México. Tesis profesional. Departamento de Zootecnia. UACH. Chapingo, México.

- Moreno, G. T. y F. L. R. Méndez. 1992. Evaluación de un medidor de capacitancia y el método de rango de peso seco en determinaciones de masa de forraje y composición botánica en praderas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. P. 56.
- Morrison, J. 1987. Effects on Nitrogen Fertilizer. En: Snaydon R.W. Managed Grassland. Analitical Studies. Elsevier Science Published. Holanda. pp. 61-70.
- Muslera, P. E. y C. G. Ratera. 1991. Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento. 2ª. Ed. Edt. Mundi-Prensa. Madrid, España. 673 p.
- Noller, C. H y C. L. Rhykerd. 1974. Relationship of Nitrogen fertilization and chemical composition of forage to animal and performance. En: Mays D.A. Forage Fertilization. American Society of Agronomy Crop Science Society of America Soil Science Society of America. 1974. USA. 62pp.
- Pearson, Mr. G. 1979. Explotación de pastos. Manuales de técnica agropecuaria. Ed, Acribia. España. 155 pp.
- Perez, B., J. M. 1999. Respuesta de la asociación avena (*Avena sativa* L.)-ballico anual (*Lolium multiflorum* Lam.) a la fertilización nitrogenada. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 41 pp.
- Raven, P. H.; R. F. Evert y S. E. Eichhorn. 1992. Biología de las plantas. Tomo II. Edit. Reverté. Barcelona, España. Pag. 518-528.
- Richter, G. 1993. Metabolisme des végétaux. Physiology et Biochimie. 5ª. Ed. Edit. Presses Polytechnique et Universitaires Romandes. pp. . 341.
- Rivera R., J. E. 2001. Utilización de una asociación avena-raigrás-cebada pastoreada a diferente nivel de asignación por vacas lecheras suplementadas. Tesis de maestro en ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 136 pp.
- Rodríguez, C., B. y M. C. Porras M. 1996. Botánica Sistemática. . Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 317-318.
- Rodríguez, C., B. 2000. Gramíneas Características y claves. Vol. 1. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 119-125.
- Rodríguez, S. F. 1996. Fertilizantes. Nutrición Vegetal. Edit. AGT. Editor. México. pp. 53-67, 134.
- Roman de la C. J. F. 2000. Adaptación de un modelo para simular la producción de forraje de avena (*Avena sativa* L.) y raigrás (*Lolium multiflorum* Lam.) anual. Tesis de maestro en ciencias. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo de México. 116 pp.
- Rowarth, J. S. 1997. Nutrientes and moisture inputs for grass seed yield. Proceeding of the Lattanzi, F., M. A. Marino y Mazzantti A. 1997. Fertilizer nitrogen and morphogenetic

- responses in *Avena sativa* and *Lolium multiflorum*. Proceedings of the XVIII International Grassland Congress. Winnipeg, Manitoba – Saskatchewan, Canada. Sesión. 7. Plant Physiology and Growth. pp. 3-4.
- Salette, J. and Huché L. 1989. The diagnosis of grassland mineral nutrient status through herbage analysis. Proceedings of the XVI International Grassland Congress. Nice, France. pp. 65-66..
- Sapek,, A. 1997. Nitrogen Balances in Permanent Grassland. In: Jarvis, S. C. y B. F. Pain. Gaseous Nitrogen Emissions from Grassland. CAB. International. London. pp.. 391-395. 391-395.
- Schoth,, H. A. 1970 Los Vallicos En: Huges, H. D., M. E. Heath, D. S. Metcalfe. Forrajes. La ciencia de la agricultura basada en la producción de pastos. 1ª. Ed. Edit. Continental, México. pp. 343-347.
- Simon, J. C. y G. Lemaire. 1987. Tillering and leaf index in grasses in vegetative phase. Grass and Forage Science. 42, 375-380.
- Smith, G. S., G. J. Goold, C. M. Johnston and M. Upsdell. 1982. Water use and chemical composition of ryegrass (*Lolium*) cultivars. Plant and Soil. 69:21-29.
- Smith,, C. A. y E. J. Wood. 1998. Biosíntesis. Edit. Addison-Weslwy Iberoamericana. U.S.A. pp 10-11, 93-113.
- Tisdale, S. L. y W. L. Nelson. 1985. Soil fertility and fertilizers. Edit. Macmilan Publishing Company, New York., U. S. A. Pág. 109-173, 699-732.
- Vera, N. J. , J. J. Peña C. y M. A. Vuelvas C. 1997. La absorción de Nitrógeno por el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare* L.) a diferentes calendarios de riego. Investigación Edafológica en México. 1996-1997. pp. 111.
- Viglizzo, E.1981. Dinámica de los sistemas pastoriles de producción lechera.1a. Edición. Edit. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 125pp.
- Weihng, R., M. 1963. Growth of Ryegrass as influenced by temperature and solar radiation. Agronomy Journal. 55(6): 519-521.
- Whitehead, D. C. 1995. Grassland Nitrogen. CAB International. Wallinford, UK. 397p.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Wild. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pág. 688-731.
- Woledge, J. y J. P.Pearse. 1985. The effect of nitrogenus fertilizer on the photosynthesis at leaves of a ryegrass sward. Grass and Forage Science. 40: 305-309.

XI. ANEXOS

Resultado del análisis de varianza para las variables de estudio. Se organizaron como:

Anexo a) el nivel de significancia de las medias de los efectos en análisis, errores estándar de las medias

Anexo b) las medias de mínimos cuadrados para cada efecto.

Anexo 1a. Densidades de plantas 14 días después de la siembra (plantas m⁻²).

Fuente	Avena	Raigrás	Malezas
Riego	0.0618	0.5788	0.1333
Nitrógeno	0.4704	0.8402	0.2130
Riego × Nitrógeno	0.8594	0.6917	0.6189

Anexo 1b. Densidades de plantas 14 días después de la siembra (plantas m⁻²).

Riego (mm 14 d ⁻¹)	Avena	Raigrás	Malezas
67	192	277	5
100	187	250	10
Error estándar	8.9	18.0	1.6

Anexo 2a. Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹ cosecha⁻¹)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.1376	85.0
Nitrógeno	0.0001	101.5
Nitrógeno × Riego	0.0237	143.5
Cosecha	0.0001	89.8
Riego × Cosecha	0.0279	127.0
Nitrógeno × Cosecha	0.0025	167.7
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.0056	237.1

Anexo 2b. Rendimiento de forraje (kg MS ha⁻¹ cosecha⁻¹)

Efecto	Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹						Efecto	
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Riego
Nitrógeno ×	1	67	1904	2273	2991	3728	2724	
Riego	1	100	1516	1966	2676	2653	2203	
× Cosecha	2	67	3329	3975	4163	4394	3965	
	2	100	1855	3633	4726	4792	3752	
	3	67	761	1493	1218	1521	1248	
	3	100	544	1553	1297	2063	1364	
Nitrógeno ×	1		1710	2119	2834	3190		2463
Cosecha	2		2592	3804	4444	4593		3858
	3		652	1523	1257	1792		1306
Nitrógeno ×		67	1998	2580	2790	3214		2646
Riego		100	1305	2384	2900	3169		2439
Nitrógeno			1651	2482	2845	3192		

Anexo 3a. Contenido de N en el forraje cosechado [g N (kg MS⁻¹)].

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0142	0.79
Nitrógeno	0.0001	0.80
Nitrógeno × Riego	0.0301	1.13
Cosecha	0.0001	0.75
Riego × Cosecha	0.0137	1.06
Nitrógeno × Cosecha	0.0001	1.28
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.0066	1.81

Anexo 3a. Contenido de N en el forraje cosechado [g N (kg MS⁻¹)].

Efecto		Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹						Efecto	
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Cosecha	Riego
Nitrógeno ×	1	67	30.6	32.6	29.0	31.5	30.9		
Riego ×	1	100	22.0	25.0	23.2	26.1	24.1		
Cosecha	2	67	16.3	22.3	27.2	31.5	24.3		
	2	100	14.8	16.6	19.9	24.3	18.9		
	3	67	24.9	29.5	40.9	40.7	34.0		
	3	100	21.0	29.0	31.3	48.1	32.3		
Nitrógeno ×	1		26.3	28.8	26.1	28.8		27.5	
Cosecha	2		15.6	19.5	23.6	27.9		21.6	
	3		23.0	29.2	36.1	44.4		33.2	
		67	23.9	28.2	32.4	34.5			29.8
		100	19.3	23.5	24.8	32.8			25.1
Nitrógeno			21.6	25.8	28.6	33.7			

Anexo 4a. N Cosechado (kg N ha⁻¹ Cosecha⁻¹).

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0210	3.3
Nitrógeno	0.0001	3.3
Nitrógeno × Riego	0.2053	4.7
Cosecha	0.0001	3.1
Riego × Cosecha	0.0001	4.3
Nitrógeno × Cosecha	0.0017	5.2
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.0179	7.3

Anexo 4b. N Cosechado (kg N ha⁻¹ Cosecha⁻¹).

Efecto	Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹							Efecto	
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Cosecha	Riego
	1	67	57.8	73.2	96.3	110.9	84.5		
Nitrógeno ×	1	100	34.1	48.7	59.7	67.4	52.5		
Riego ×	2	67	56.8	86.0	115.9	133.3	98.0		
Cosecha	2	100	27.9	68.1	94.1	116.0	76.5		
	3	67	19.3	47.2	53.1	65.9	46.4		
	3	100	10.9	37.7	39.7	103.6	48.0		
Nitrógeno ×	1		46.0	60.9	78.0	89.2		68.5	
Cosecha	2		42.3	77.0	105.0	124.6		87.3	
	3		15.1	42.4	46.4	84.8		47.2	
		67	44.6	68.8	88.4	103.4			76.3
		100	24.3	51.5	64.5	95.7			59.0
Nitrógeno			34.5	60.1	76.5	99.5			

Anexo 5a. Masa de forraje residual (kg MS ha⁻¹)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.4052	91
Nitrógeno	0.0023	87
Nitrógeno × Riego	0.0244	124
Cosecha	0.0001	82
Riego × Cosecha	0.3087	116
Nitrógeno × Cosecha	0.0424	134
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.4714	190

Anexo 5b. Masa de forraje residual (kg MS ha⁻¹)

Efecto	Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹							Efecto	
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Cosecha	Riego
	1	67	2689	2273	3171	2043	2544		
Nitrógeno ×	1	100	2753	2851	2769	2396	2692		
Riego ×	2	67	2086	1918	2175	1628	1951		
Cosecha	2	100	1782	1786	2060	2040	1917		
	3	67	2012	2249	2317	2094	2168		
	3	100	2061	2655	2439	2447	2400		
Nitrógeno ×	1		2721	2562	2970	2219		2618	
Cosecha	2		1934	1852	2118	1834		1934	
	3		2036	2452	2378	2270		2284	
Nitrógeno ×		67	2198	2430	2423	2294			2336
Riego		100	2262	2146	2554	1921			2221
Nitrógeno			2230	2288	2488	2108			

Anexo 6a. Contenido de N en el forraje residual [g N (kgMS⁻¹)].

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0070	0.63
Nitrógeno	0.0001	0.74
Nitrógeno × Riego	0.7975	1.04
Cosecha	0.0001	0.49
Riego × Cosecha	0.3260	0.69
Nitrógeno × Cosecha	0.0001	0.84
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.0128	1.19

Anexo 6b. Contenido de N en el forraje residual [g N (kgMS⁻¹)].

Efecto			Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹				Efecto		
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Cosecha	Riego
Nitrógeno ×	1	67	19.1	18.7	18.9	18.7	18.9		
Riego ×	1	100	12.8	14.1	14.9	14.8	14.1		
Cosecha	2	67	11.6	12.5	13.9	20.7	14.7		
	2	100	7.4	8.0	10.9	12.7	9.7		
	3	67	11.9	19.0	21.0	28.2	20.0		
	3	100	10.0	14.9	16.3	23.2	16.1		
Nitrógeno ×	1		15.9	16.4	16.9	16.7		16.5	
Cosecha	2		9.5	10.3	12.4	16.7		12.2	
	3		10.9	17.0	18.6	25.7		18.1	
Nitrógeno		67	14.2	16.8	17.9	22.5			17.9
× Riego		100	10.1	12.3	14.0	16.9			13.3
Nitrógeno			12.1	14.6	16.0	19.7			

Anexo 7a. N en el forraje residual (kg N ha⁻¹).

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0803	2.6
Nitrógeno	0.0001	2.3
Nitrógeno × Riego	0.1166	3.2
Cosecha	0.0001	2.1
Riego × Cosecha	0.0464	2.9
Nitrógeno × Cosecha	0.0001	3.0
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.1432	4.2

Anexo 7a. N en el forraje residual (kg N ha⁻¹).

Efecto		Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹						Efecto	
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Cosecha	Riego
Nitrógeno × Riego × Cosecha	1	67	53.3	43.8	64.3	38.3	49.9		
	1	100	37.2	38.4	41.1	35.2	38.0		
	2	67	24.8	26.6	29.8	31.8	28.3		
	2	100	12.8	14.2	22.1	24.1	18.3		
	3	67	23.2	41.3	49.3	58.2	43.0		
	3	100	22.9	42.2	36.1	55.5	39.2		
Nitrógeno × Cosecha	1		45.3	41.1	52.7	36.8		44.0	
	2		18.8	20.4	26.0	28.0		23.3	
	3		23.0	41.8	42.7	56.8		41.1	
		67	33.8	37.2	47.8	42.8			40.4
		100	24.3	31.6	33.1	38.3			31.8
Nitrógeno			29.0	34.4	40.5	40.5			

Anexo 8a. Contenido de N amoniacal en el suelo luego de cada cosecha (mg Nkg de Suelo⁻¹).

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.5149	2.21
Nitrógeno	0.0260	2.67
Nitrógeno × Riego	0.8413	3.77
Cosecha	0.2424	2.23
Riego × Cosecha	0.1759	3.16
Nitrógeno × Cosecha	0.8107	4.16
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.8845	5.88

Anexo 8a. Contenido de N amoniacal en el suelo luego de cada cosecha (mg Nkg de Suelo⁻¹).

Efecto		Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹						Efecto	
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Cosecha	Riego
Nitrógeno × Riego × Cosecha	1	67	29.7	33.4	29.0	36.4	32.1		
	1	100	24.7	34.0	31.0	42.0	33.0		
	2	67	26.2	28.6	24.1	38.0	29.2		
	2	100	38.5	41.9	26.7	42.0	37.3		
	3	67	28.9	26.2	30.7	34.0	29.9		
	3	100	22.9	27.9	25.1	35.0	27.7		
Nitrógeno × Cosecha	1		27.2	33.7	30.0	39.2		32.5	
	2		32.4	35.3	25.4	40.0		33.3	
	3		25.9	27.0	27.9	34.5		28.8	
Nitrógeno × Riego		67	28.3	29.4	27.9	36.1			30.4
		100	28.7	34.6	27.6	39.7			32.7
Nitrógeno			28.5	32.0	27.8	37.9			

Anexo 9a. Contenido de N nítrico en el suelo luego de cada cosecha (mg N kg de Suelo⁻¹).

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.3195	1.03
Nitrógeno	0.8448	1.01
Nitrógeno × Riego	0.2964	1.42
Cosecha	0.0014	0.93
Riego × Cosecha	0.0010	1.32
Nitrógeno × Cosecha	0.7859	1.54
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.5564	2.17

Anexo 9a. Contenido de N nítrico en el suelo luego de cada cosecha (mg N kg de Suelo⁻¹).

Efecto		Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹					Efecto	
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Cosecha Riego
Nitrógeno ×	1	67	12.0	13.0	12.2	13.1	12.6	
Riego ×	1	100	10.4	11.8	11.4	14.4	12.0	
Cosecha	2	67	7.0	8.4	6.0	8.9	7.6	
	2	100	11.2	6.1	12.1	8.0	9.4	
	3	67	14.4	15.8	13.0	14.6	14.5	
	3	100	6.0	8.7	10.1	8.2	8.3	
Nitrógeno ×	1		11.2	12.4	11.8	13.7		12.3
Cosecha	2		9.1	7.2	9.1	8.5		8.5
	3		10.2	12.3	11.6	11.4		11.4
Nitrógeno ×		67	11.2	12.4	10.4	12.2		11.5
Riego		100	9.2	8.9	11.2	10.2		9.9
Nitrógeno			10.2	10.6	10.8	11.2		

Anexo 10a. Contenido de nitrógeno mineral en el suelo luego de cada cosecha (mg N kg de Suelo⁻¹).

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.8942	2.90
Nitrógeno	0.0206	3.06
Nitrógeno × Riego	0.9762	4.32
Cosecha	0.3048	2.68
Riego × Cosecha	0.0160	3.79
Nitrógeno × Cosecha	0.8513	4.62
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.7991	6.54

Anexo 10b. Contenido de nitrógeno mineral en el suelo luego de cada cosecha (mg N kg de Suelo⁻¹).

Efecto			Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹				Efecto		
	Cosecha	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Cosecha	Cosecha	Riego
Nitrógeno	×	1	67	42.1	46.6	40.5	49.5	44.7	
Riego	×	1	100	35.5	45.6	42.1	56.5	45.0	
Cosecha		2	67	33.6	37.1	29.6	46.9	36.8	
		2	100	50.2	47.8	38.4	50.2	46.7	
		3	67	43.6	42.2	43.2	48.6	44.4	
		3	100	29.4	36.4	34.9	43.4	36.0	
Nitrógeno	×	1		38.8	46.1	41.3	53.0		44.8
Cosecha		2		41.9	42.5	34.0	48.5		41.7
		3		36.5	39.3	39.0	46.0		40.2
Nitrógeno	×	67		39.8	42.0	37.8	48.4		42.0
Riego		100		38.4	43.3	38.5	50.0		42.5
Nitrógeno				39.1	42.6	38.1	49.2		

Anexo 11a. Eficiencia de utilización del agua de riego (kg MS m⁻³ H₂O).

Fuente de variación	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0002	0.034
Nitrógeno	0.0001	0.034
Nitrógeno × Riego	0.1175	0.047
Cosecha	0.0001	0.038
Riego × Cosecha	0.0001	0.053
Nitrógeno × Cosecha	0.0014	0.067
Nitrógeno × Riego × Cosecha	0.1957	0.094

Anexo 11b. Eficiencia de utilización del agua de riego (kg MS m⁻³ H₂O).

Cosecha	Riego mm (14 d) ⁻¹	Fertilización (kg N ha ⁻¹ cosecha ⁻¹)				Media
		0	50	100	150	
		0.62	0.98	1.04	1.19	
	67	0.88	1.19	1.21	1.37	1.16
	100	0.37	0.76	0.87	1.01	0.75
1		0.32	0.39	0.52	0.60	0.46
2		1.14	1.59	1.82	1.89	1.61
3		0.42	0.95	0.78	1.08	0.81
		Cosecha				
		1		2		3
	67	0.58		1.97		0.93
	100	0.33		1.25		0.68

Anexo 12a. Masa de forraje por encima de 5 cm durante el rebrote (kg MS ha⁻¹)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.4643	50.7
Nitrógeno	0.0001	60.6
Nitrógeno × Riego	0.0001	85.8
Día	0.0001	67.6
Riego × Día	0.0089	95.6
Nitrógeno × Día	0.0001	129.7
Nitrógeno × Riego × Día	0.0129	183.4

Anexo 12b. Masa de forraje por encima de 5 cm durante el rebrote (kg MS ha⁻¹)

Efecto		Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹				Efecto		
	Día	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Día	Día Riego
Nitrógeno ×	14	67	349	460	583	500	473	
Riego ×	14	100	212	509	621	787	532	
Día	24	67	637	1360	1784	1960	1435	
	24	100	517	1167	2048	2128	1465	
	30	67	1549	2093	2461	2376	2120	
	30	100	1582	2458	2836	3460	2584	
	38	67	2849	3346	3456	3650	3325	
	38	100	1767	3115	3803	3912	3149	
	45	67	3423	3886	4305	4256	3968	
	45	100	1908	4178	4679	4756	3880	
Nitrógeno ×	14		281	484	602	643		503
Día	24		577	1263	1916	2044		1450
	30		1566	2276	2649	2918		2352
	38		2308	3230	3629	3781		3237
	3	100	2061	2655	2439	2447	2400	
Nitrógeno ×		67	1761	2229	2518	2548		2264
Riego		100	1197	2285	2798	3008		2322
Nitrógeno			1479	2257	2658	2778		

Anexo 13a. Contenido de N del forraje por encima de 5 cm durante el rebrote [g(kg MS)⁻¹]

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0199	50.7
Nitrógeno	0.0001	60.6
Nitrógeno × Riego	0.5266	85.8
Día	0.0001	67.6
Riego × Día	0.016	95.6
Nitrógeno × Día	0.1281	129.7
Nitrógeno × Riego × Día	0.2607	183.4

Anexo 13b. Contenido de N del forraje por encima de 5 cm durante el rebrote [g(kg MS)⁻¹]

Efecto	Kg N ha ⁻¹ Día ⁻¹						Efecto		
	Día	Riego (mm 14d-1)	0	50	100	150	Riego × Día	Día	Riego
Nitrógeno ×	14	67	25.9	32.1	31.4	42.2	32.9		
Riego ×	14	100	17.8	28.9	34.6	40.7	30.5		
Día	24	67	25.8	30.0	33.4	38.4	31.9		
	24	100	16.0	20.8	25.7	29.5	23.0		
	30	67	23.2	27.2	30.7	35.1	29.1		
	30	100	17.1	20.7	25.2	23.8	21.7		
	45	67	16.2	22.1	27.6	31.4	24.3		
	45	100	14.9	16.4	20.1	24.3	18.9		
Nitrógeno ×	14		21.8	30.5	33.0	41.4		31.7	
Día	24		20.9	25.4	29.5	34.0		27.5	
	30		20.2	24.0	28.0	29.5		25.4	
	45		15.5	19.3	23.8	27.8		21.6	
Nitrógeno ×		67	22.8	27.9	30.8	36.8			29.6
Riego		100	16.5	21.7	26.4	29.6			23.5
Nitrógeno			19.6	24.8	28.6	33.2			

Anexo 14a. Cantidad de N del forraje por encima de 5 cm durante el rebrote (kg N ha⁻¹)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.022	1.6797
Nitrógeno	0.0001	1.98
Nitrógeno x Riego	0.5635	2.8001
Día	0.0001	2.2626
Riego x Día	0.0027	3.1998
Nitrógeno x Día	0.0001	4.3307
Nitrógeno x Riego x Día	0.9836	6.1245

Anexo 14b. Cantidad de N del forraje por encima de 5 cm durante el rebrote (kg N ha⁻¹)

Efecto		Kg N ha ⁻¹ Día ⁻¹					Efecto		
		Día	Riego	0	50	100	150	Riego ×	Día
			(mm 14d ⁻¹)						
Nitrógeno × Riego × Día	14	67.0	8.5	14.6	16.2	20.8	15.0		
	14	100.0	4.0	14.7	21.9	30.7	17.8		
	24	67.0	16.7	40.1	58.4	76.1	47.8		
	24	100.0	8.0	24.3	52.5	62.0	36.7		
	30	67.0	36.4	56.4	74.5	83.9	62.8		
	30	100.0	27.1	51.0	71.4	82.7	58.1		
	45	67.0	57.0	84.9	115.9	134.2	98.0		
	45	100.0	29.0	68.4	93.7	115.0	76.5		
Nitrógeno × Día	14		6.3	14.6	19.1	25.7		16.4	
	24		12.4	32.2	55.4	69.0		42.3	
	30		31.8	53.7	73.0	83.3		60.5	
	45		43.0	76.7	104.8	124.6		87.3	
Nitrógeno × Riego		67.0	29.7	49.0	66.3	78.8			55.9
		100.0	17.0	39.6	59.9	72.6			47.3
Nitrógeno			23.4	44.3	63.1	75.7			

Anexo 15a. Contenido de N del forraje por abajo de 5 cm durante el rebrote [g(kg MS)-1]

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0017	0.4807
Nitrógeno	0.0001	0.4761
Nitrógeno x Riego	0.011	0.6733
Día	0.0001	0.488
Riego x Día	0.0113	0.6902
Nitrógeno x Día	0.0014	0.8469
Nitrógeno x Riego x Día	0.1455	1.1977

Anexo 15b. Contenido de N del forraje por abajo de 5 cm durante el rebrote [g(kg MS)-1]

Efecto	Kg N ha-1 Día-1						Efecto		
	Día	Riego (mm 4d-1)	0	50	100	150	Riego × Día	Día	Riego
Nitrógeno × Riego × Día	14	67	19.6	17.4	25.9	24.6	21.9		
	14	100	12.7	16.8	23.9	22.5	19.0		
	24	67	17.3	19.5	20.7	27.1	21.2		
	24	100	12.7	14.3	14.3	18.1	14.8		
	30	67	13.8	14.6	18.8	24.9	18.0		
	30	100	8.4	10.7	12.3	15.3	11.7		
	45	67	11.6	12.6	13.9	20.6	14.7		
	45	100	7.3	8.0	10.9	12.7	9.7		
Nitrógeno × Día	14		16.2	17.1	24.9	23.6		20.4	
	24		15.0	16.9	17.5	22.6		18.0	
	30		11.1	12.6	15.5	20.1		14.8	
	45		9.5	10.3	12.4	16.6		12.2	
Nitrógeno × Riego		67	15.6	16.0	19.8	24.3			18.9
		100	10.3	12.5	15.3	17.1			13.8
Nitrógeno			12.9	14.2	17.6	20.7			

Anexo 16a. Radiación interceptada durante el rebrote (%)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.1485	1.32
Nitrógeno	0.0001	1.37
Nitrógeno × Riego	0.0001	1.93
Día	0.0001	1.46
Riego × Día	0.0007	2.06
Nitrógeno × Día	0.1998	2.61
Nitrógeno × Riego × Día	0.1112	3.69

Anexo 16b. Radiación interceptada durante el rebrote (%)

Efecto		Kg N ha-1 Cosecha-1				Efecto			
	Día	Riego (mm 4d-1)	0	50	100	150	Riego × Día	Día	Riego
Nitrógeno×	14	67	58.7	67.8	73.9	73.4	68.6		
Riego×	14	100	63.9	78.4	83.9	73.6	75.0		
Día	24	67	85.4	92.5	95.9	93.4	91.8		
	24	100	63.6	83.4	93.3	95.6	84.0		
	30	67	95.4	95.9	95.9	94.4	95.4		
	30	100	71.3	92.0	95.3	96.9	88.9		
	38	67	81.7	91.5	93.6	94.1	90.2		
	38	100	58.0	88.8	93.9	98.3	84.7		
Nitrógeno×	14		61.3	73.1	78.9	73.7		71.8	
Día	24		74.5	87.9	94.6	94.5		87.8	
	30		86.3	93.9	95.6	95.7		92.2	
	38		69.8	90.1	93.8	96.2		87.5	
Nitrógeno×		67	80.3	86.9	89.9	88.9			86.5
Riego		100	64.2	85.7	91.6	91.1			83.2
Nitrógeno			72.3	86.3	90.8	90.0			

Anexo 17a. Masa de forraje de Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote (kg MS ha⁻¹)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.3705	45.3
Nitrógeno	0.0001	43.1
Nitrógeno × Riego	0.0001	60.9
Día	0.0001	46.2
Riego × Día	0.0018	65.3
Nitrógeno × Día	0.0001	79.2
Nitrógeno × Riego × Día	0.0009	112.0

Anexo 17b. Masa de forraje de Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote (kg MS ha⁻¹)

Efecto	Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹						Efecto		
	Día	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego x Día	Día	Riego
Nitrógeno×	14	67	111	279	469	391	312		
Riego×	14	100	87	277	421	535	330		
Día	24	67	163	616	976	1254	752		
	24	100	106	546	1257	1637	887		
	30	67	571	1014	1309	1333	1057		
	30	100	301	1047	1356	2603	1327		
	38	67	907	1825	2095	2337	1791		
	38	100	565	1261	2186	2497	1627		
Nitrógeno×	14		99	278	445	463		321	
Día	24		134	581	1116	1446		819	
	30		436	1030	1332	1968		1192	
	38		736	1543	2140	2417		1709	
Nitrógeno×		67	438	933	1212	1329			978
Riego		100	265	783	1305	1818			1043
Nitrógeno			351	858	1259	1573			

Anexo 18a. Contenido de N en Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote g N (kg MS)⁻¹

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0393	1.31
Nitrógeno	0.0001	1.10
Nitrógeno x Riego	0.0091	1.56
Día	0.001	1.31
Riego x Día	0.4429	1.85
Nitrógeno x Día	0.1572	2.16
Nitrógeno x Riego x Día	0.3988	3.06

Anexo 18b. Contenido de N en Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote g N (kg MS)⁻¹

Efecto		Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹					Efecto		
	Día	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Día	Día	Riego
Nitrógeno × Riego × Día	14 14 24	67 100 67	25.0 16.2 25.0	36.2 30.3 24.6	32.5 33.7 33.4	43.1 43.8 40.4	34.2 31.0 30.9		
	24	100	17.7	23.0	27.7	30.0	24.6		
	30	67	23.1	27.2	30.4	38.8	29.9		
	30	100	16.0	21.9	29.1	23.4	22.6		
Nitrógeno × Día	14 24 30		20.6 21.3 19.5	33.2 23.8 24.5	33.1 30.6 29.7	43.5 35.2 31.1		32.6 27.7 26.2	
Nitrógeno × Riego		67 100	24.4 16.6	29.3 25.1	32.1 30.2	40.8 32.4			31.6 26.1
Nitrógeno			20.5	27.2	31.1	36.6			

Anexo 19a. Cantidad de N en Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote (kg N ha⁻¹)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.6162	0.9259
Nitrógeno	0.0001	1.2699
Nitrógeno x Riego	0.1276	1.7959
Día	0.0001	1.4305
Riego x Día	0.7208	2.0231
Nitrógeno x Día	0.0001	2.8611
Nitrógeno x Riego x Día	0.9742	4.0462

Anexo 19b. Cantidad de N en Raigrás por encima de 5 cm durante el rebrote (kg N ha⁻¹)

Efecto		Kg N ha ⁻¹ Cosecha ⁻¹					Efecto		
	Día	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Día	Día	Riego
Nitrógeno × Riego × Día	14 14 24	67 100 67	3.4 1.2 4.9	10.0 8.3 15.0	11.8 15.0 32.0	16.2 22.2 51.3	10.4 11.7 25.8		
	24	100	1.6	12.7	34.8	48.6	24.4		
	30	67	14.2	27.0	38.8	57.1	34.2		
	30	100	4.9	23.1	39.9	60.8	32.1		
Nitrógeno × Día	14 24 30		2.3 3.2 9.5	9.2 13.8 25.0	13.4 33.4 39.3	19.2 49.9 58.9		11.0 25.1 33.2	
Nitrógeno × Riego		67 100	7.5 2.6	17.3 14.7	27.5 29.9	41.5 43.9			23.5 22.8
Nitrógeno			5.0	16.0	28.7	42.7			

Anexo 20a. Masa de forraje de Avena por encima de 5 cm durante el rebrote (kg MS ha⁻¹)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.6180	38.9
Nitrógeno	0.0001	37.9
Nitrógeno × Riego	0.0003	53.5
Día	0.0001	47.2
Riego × Día	0.1249	66.8
Nitrógeno × Día	0.1552	85.6
Nitrógeno × Riego × Día	0.0183	121.0

Anexo 20b. Masa de forraje de Avena por encima de 5 cm durante el rebrote (kg MS ha⁻¹)

Efecto	Kg N ha ⁻¹ cosecha ⁻¹						Efecto		
	Día	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Día	Día	Riego
Nitrógeno ×	14	67	247	180	112	103	161		
Riego ×	14	100	118	237	209	244	202		
Día	24	67	483	743	807	699	683		
	24	100	404	627	800	483	579		
	30	67	986	1079	1152	1036	1063		
	30	100	1274	1418	1489	850	1258		
	38	67	1951	1520	1360	1307	1534		
	38	100	1194	1860	1626	1407	1522		
Nitrógeno ×	14		183	209	161	174		181	
Día	24		444	685	803	591		631	
	30		1130	1248	1320	943		1160	
	38		1573	1690	1493	1357		1528	
Nitrógeno ×		67	917	881	858	786			860
Riego		100	748	1035	1031	746			890
Nitrógeno			832	958	944	766			

Anexo 21a. Contenido de N de Avena por encima de 5 cm durante el rebrote [g N (kg MS)⁻¹]

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0372	1.43
Nitrógeno	0.0001	1.47
Nitrógeno × Riego	0.7702	2.08
Día	0.0008	1.23
Riego × Día	0.0006	1.74
Nitrógeno × Día	0.2561	2.03
Nitrógeno × Riego × Día	0.3705	2.87

Anexo 21b. Contenido de N de Avena por encima de 5 cm durante el rebrote [g N (kg MS)⁻¹]

Efecto		Kg N ha ⁻¹ cosecha ⁻¹						Efecto	
	Día	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Día	Día	Riego
Nitrógeno ×	14	67	25.1	25.8	33.2	35.7	30.0		
Riego ×	14	100	18.7	26.8	36.8	34.8	29.3		
Día	24	67	26.3	34.4	32.9	34.9	32.2		
	24	100	16.1	18.5	23.2	26.9	21.2		
	30	67	23.3	27.2	31.0	30.2	27.9		
	30	100	17.7	19.4	21.8	25.1	21.0		
Nitrógeno ×	14		21.9	26.3	35.0	35.3		29.6	
Día	24		21.2	26.4	28.1	30.9		26.7	
	30		20.5	23.3	26.4	27.6		24.5	
Nitrógeno ×		67	24.9	29.2	32.4	33.6			30.0
Riego		100	17.5	21.5	27.3	28.9			23.8
Nitrógeno			21.2	25.3	29.8	31.3			

Anexo 22a. Cantidad de N en Avena por encima de 5 cm durante el rebrote (kg N ha⁻¹)

Fuente	Pr > F	Error estándar
Riego	0.0117	0.66
Nitrógeno	0.0001	0.91
Nitrógeno x Riego	0.5805	1.28
Día	0.0001	0.91
Riego x Día	0.0011	1.29
Nitrógeno x Día	0.0043	1.83
Nitrógeno x Riego x Día	0.4305	2.58

Anexo 22b. Cantidad de N en Avena por encima de 5 cm durante el rebrote (kg N ha⁻¹)

Efecto		Kg N ha ⁻¹ cosecha ⁻¹						Efecto	
	Día	Riego (mm 14d ⁻¹)	0	50	100	150	Riego × Día	Día	Riego
Nitrógeno ×	14	67	5.9	4.6	4.0	4.3	4.7		
Riego × Día	14	100	3.1	6.2	7.3	7.9	6.1		
	24	67	12.6	25.2	26.0	24.5	22.0		
	24	100	6.7	11.5	18.1	12.9	12.3		
	30	67	23.0	29.5	35.4	24.1	28.0		
	30	100	22.5	27.8	32.0	13.9	24.0		
Nitrógeno ×	14		4.5	5.4	5.6	6.1		5.4	
Día	24		9.6	18.3	22.1	18.7		17.2	
	30		22.8	28.6	33.7	19.0		26.0	
Nitrógeno ×		67	13.8	19.7	21.8	17.6			18.2
Riego		100	10.8	15.2	19.1	11.6			14.2
Nitrógeno			12.3	17.5	20.5	14.6			

