

**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**EFECTO DEL MANEJO DEL BARBECHO INVERNAL
SOBRE LOS REQUERIMIENTOS DE NITROGENO DE
MAIZ (*Zea mays*) SEMBRADO EN SISTEMAS DE
AGRICULTURA CONTINUA EN SIEMBRA DIRECTA**

por

**Juan J. HERNANDEZ DELGADO
José I. OSORES CERRUTTI**

**TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Ingeniero Agrónomo.**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2007**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Jorge Sawchik

Fecha: _____

Autores:

Juan J. Hernández Delgado

José I. Osores Cerruti

AGRADECIMIENTOS

A las entidades/empresas que financian el experimento.

A los Ing. Agr. Oswaldo Ernst y Guillermo Siri, por el apoyo académico brindado para la realización de este trabajo.

Personal de biblioteca de Montevideo y Paysandú.

Al personal de laboratorio.

A Juan Ingold Leguizamo quien nos ayudo siempre con entera disposición en todo momento, en el trabajo de campo y también en el procesado de datos.

A nuestros familiares por el permanente apoyo que nos brindaron.

Y a todos quienes de alguna manera aportaron a la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pagina
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VII
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1 <u>CONSIDERACIONES SOBRE EL CULTIVO DE MAÍZ</u>	3
2.1.1 <u>Radiación interceptada y producción de Materia Seca</u>	3
2.1.2 <u>Acumulación y partición de la materia seca</u>	3
2.1.3 <u>Eficiencia de conversión</u>	3
2.1.4 <u>crecimiento radicular</u>	4
2.1.5 <u>Influencia de la temperatura</u>	5
2.1.6 <u>Influencia del fotoperiodo</u>	5
2.1.7 <u>Índice de área foliar</u>	6
2.1.8 <u>Efecto de la radiación y la temperatura sobre el rendimiento</u>	7
2.1.9 <u>Relaciones fuente – fosa</u>	8
2.1.10 <u>Determinación del rendimiento</u>	8
2.1.10.1 <u>Número de granos por unidad de superficie</u>	8
2.1.10.2 <u>Llenado de granos</u>	10
2.1.10.3 <u>Peso del grano</u>	10
2.2 <u>REQUERIMIENTOS HÍDRICOS</u>	11
2.2.1 <u>Definiciones y conceptos básicos</u>	11
2.2.2 <u>Factores meteorológicos que afectan la evapotranspiracion</u>	11
2.2.3 <u>Agua disponible</u>	11
2.2.4 <u>Consumo de agua</u>	12
2.2.4.1 <u>Demanda de agua de los cultivos</u>	13
2.2.4.2 <u>Profundidad radical y absorción de agua</u>	13
2.2.5 <u>Distancia entre hileras y densidad</u>	14
2.2.6 <u>Manejo del agua del suelo</u>	14

	2.2.6.1 Efectos del rastrojo.....	15
2.3	EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ.....	16
	2.3.1 <u>Manejo de suelos y agua en cultivos de maíz</u>	16
	2.3.2 <u>Biomasa</u>	
16		
	2.3.3 <u>Área foliar e intercepción de radiación</u>	17
	2.3.4 <u>Eficiencia de conversión</u>	17
	2.3.5 <u>Déficit hídrico y rendimiento en grano</u>	17
	2.3.5.1 Periodo crítico y componentes del rendimiento.....	18
	2.3.5.2 Respuesta del maíz al estrés hídrico en periodo crítico y componentes del rendimiento.....	19
	2.3.5.3 Determinación del número de granos.....	20
	2.3.5.4 Cuajado de frutos.....	21
2.4	EL NITROGENO EN EL SISTEMA	22
	2.4.1 <u>Dinámica del nitrógeno en siembra directa rotando pasturas y cultivos</u>	23
	2.4.1.1 Residualidad del nitrógeno dejado por las pasturas.....	24
	2.4.1.2 El periodo de barbecho como variable de manejo.....	24
	2.4.2 <u>La fijación simbiótica</u>	
25		
	2.4.2.1 Entradas de nitrógeno vía fijación simbiótica.....	25
	2.4.3 <u>El rol que juegan los cultivos de cobertura</u>	25
	2.4.3.1 Leguminosas anuales en sistemas de cultivo continuo.....	27
	2.4.3.2 Destino del nitrógeno del residuo de leguminosas.....	28
2.5	EL CULTIVO DE MAÍZ Y EL NITROGENO.....	29
	2.5.1 <u>Concentración de Nitratos en presiembra</u>	29
	2.5.2 <u>Fertilización del maíz</u>	29
	2.5.3 <u>Oferta de N al cultivo de maíz</u>	
30		
	2.5.4 <u>Dinámica de la acumulación de Nitrógeno</u>	31
	2.5.4.1 Curvas de dilución del N.....	
32		
	2.5.5 <u>Concentración de nitratos a V5-V6</u>	
33		
	2.5.6 <u>Concentración de Nitrógeno en diferentes órganos de la planta</u>	33
	2.5.6.1 N en grano.....	
34		
	2.5.7 <u>IC del N</u>	34
	2.5.8 <u>Efectos del N en la emisión de estigmas en maíz</u>	35
	2.5.9 <u>Respuesta a N y distancia entre hileras en secano</u>	35
3.	<u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	36

	3.1 TRATAMIENTOS.....	
37		
	3.1.1 <u>Sin cobertura. Barbecho</u>	37
	3.1.2 <u>Con cobertura. <i>Trifolium alexandrinum</i></u>	
37		
	3.1.3 <u>Con cobertura. <i>Lolium multiflorum</i></u>	
37		
	3.1.4 <u>Con cobertura. <i>Trifolium pratense</i></u>	
37		
	3.2 <u>DISEÑO EXPERIMENTAL</u>	37
	3.3 <u>MANEJO DEL CULTIVO DE MAÍZ</u>	38
	3.4 <u>DETERMINACIONES</u>	39
	3.5 <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	41
4.	<u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	42
	4.1 <u>CONDICIONES CLIMÁTICAS EN EL PERIODO DEL CULTIVO</u>	42
	4.1.1 <u>Precipitaciones</u>	
42		
	4.1.2 <u>Temperatura</u>	
43		
	4.2 <u>EFFECTOS DE LAS COBERTURAS HASTA LA SIEMBRA DEL MAÍZ</u>	44
	4.2.1 <u>Biomasa y nitrógeno acumulados por las distintas coberturas invernales y nitrógeno como nitratos en el suelo a la siembra del maíz</u>	44
	4.2.2 <u>El N de las coberturas</u>	
45		
	4.2.3.1 <u>Agua en el suelo</u>	
45		
	4.3 <u>HASTA EL ESTADIO DE 6 HOJAS INCLUSIVE DEL CULTIVO DE MAIZ</u>	
	4.3.1 <u>Población-implantación</u>	48
	4.3.2 <u>Nitratos en suelo</u>	48
	4.3.3 <u>Biomasa acumulada</u>	
49		
	4.3.4 <u>Nitrógeno absorbido hasta V6</u>	
49		
	4.3.5 <u>Nitrógeno aplicado a V6 en forma de urea</u>	50
	4.3.6 <u>Agua en el suelo</u>	50
	4.4 <u>DEL ESTADIO DE V6 DEL CULTIVO DE MAIZ EN ADELANTE</u>	51
	4.4.1 <u>Experimento con 60 UN a V6 y 50 mm de agua a floración</u>	51
	4.4.1.1 <u>Agua en el suelo</u>	
52		
	4.4.1.2 <u>Biomasa aérea acumulada a floración</u>	54

	4.4.1.3 Nitrógeno absorbido a floración por el cultivo de maíz.....	55
56	4.4.1.4 Altura de plantas a fin de floración.....	
56	4.4.1.5 Temperatura foliar.....	
	4.4.1.6 Índice de área foliar.....	56
	4.4.1.7 Resultados a cosecha.....	58
	4.4.1.8 Rendimiento en grano y sus componentes.....	58
	4.4.1.9 Nitrógeno a cosecha.....	60
60	4.4.1.10 nitrato residual.....	
	4.4.2 <u>Experimento de las dosis 0, 30 y 90 UN aplicadas a V6</u>	61
	4.4.2.1 Biomasa aérea acumulada a floración.....	61
	4.4.2.2 Nitrógeno absorbido a floración por el cultivo de maíz.....	63
	4.4.2.3 altura de las plantas a fin de floración.....	64
	4.4.2.4 Temperatura foliar.....	64
65	4.4.2.5 Iaf.....	
	4.4.2.6 Resultados a cosecha.....	65
	4.4.2.7 Biomasa aérea total acumulada a cosecha.....	68
	4.4.2.8 Índice de cosecha.....	
68		
5	<u>CONCLUSIONES</u>	
72		
6	<u>RESUMEN</u>	
74		
7	<u>SUMMARY</u>	
75		
8	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	76
9	<u>ANEXOS</u>	
82		

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.

Cuadro No.

Pagina

1. Densidad aparente en los distintos estratos del perfil del suelo en el que se condujo el ensayo.....	36
2. Detalle de la secuencia de cultivos que antecedieron al cultivo de maíz, incluidas las coberturas.....	36
3. Esquema del diseño experimental usado.....	38
4. Temperaturas medias mensuales para los meses del cultivo comparado con una serie histórica (1971-95) para los mismos meses.....	43
5. Efecto de las coberturas (CC) sobre el agua disponible en el suelo (0-0.7-m prof., según día del año DDA) a diferentes momentos antes de la siembra del maíz, biomasa acumulada de las coberturas y el contenido de nitratos en el suelo a la siembra. (La siembra del maíz fue el DDA 301)...	44
6. Biomasa acumulada para cada manejo de la cobertura invernal al momento del comienzo del barbecho presiembra del maíz y concentración de nitratos en suelo a la siembra del maíz.....	44
7. Agua disponible en el suelo en milímetros (0-70 –m prof.) según manejo de las coberturas invernales para los diferentes momentos evaluados desde que se mataron las coberturas hasta la implantación del maíz.....	45
8. Efectos del manejo del barbecho invernal según profundidad para los diferentes momentos evaluados.....	46
9. Efectos estadísticos de las coberturas en las variables que se midieron hasta el estadio de 6 hojas del cultivo de maíz. (V6 = DDA 337).....	48
10. Nivel de nitratos en suelo según tratamiento al estadio de 6 hojas del cultivo de maíz.....	48
11. Biomasa aérea acumulada al estadio de 6 hojas por el cultivo de maíz según tratamiento cobertura.....	49
12. Nitrógeno absorbido por el cultivo de maíz al estadio de 6 hojas.....	49
13. Agua disponible en el suelo en milímetros (0-70 –m prof.) según manejo de las coberturas invernales para los diferentes momentos evaluados.....	50
14. Efectos del manejo del barbecho invernal sobre el AD en el suelo según profundidad para la lectura DDA 324.....	50

15. Efecto de las coberturas sobre el agua disponible en el suelo (0-0.7 m prof.) a diferentes momentos desde el estadio de V6 del cultivo de maíz en adelante, biomasa acumulada a floración y nitrógeno absorbido por el maíz, y otras variables del cultivo (altura de las plantas, iaf y temperatura foliar a comienzo y fin de floración).....	51
16. Agua disponible en el suelo en milímetros (0-70 –m prof.) según manejo de las coberturas invernales para los diferentes momentos evaluados desde floración del cultivo de maíz.....	52
17. Efectos del manejo del barbecho invernal según profundidad para los diferentes momentos evaluados.....	52
18. Biomasa aérea acumulada a floración por los distintos tratamientos.....	54
19. Altura de las plantas de maíz a fin de floración según cobertura.....	56
20. Efectos estadísticos de las variables que se midieron a la cosecha del cultivo de maíz en el experimento de 60UN aplicadas a V6.....	58
21. Granos m ² , rendimiento e Índice de Cosecha según tratamiento.....	59
22. Concentración de nitratos en suelo luego de cosechado el cultivo de maíz..	60
23. Efectos estadísticos de las variables que se midieron hasta el estadio R1 del cultivo de maíz en el experimento de 0, 30 y 90 UN aplicadas a V6....	61
24. Biomasa aérea acumulada a floración por el cultivo de maíz según interacción entre la dosis de Nitrógeno aplicada a V6 y tratamiento cobertura.....	61
25. Biomasa aérea acumulada a floración por el cultivo de maíz según dosis de N aplicada a V6.....	61
26. Nitrógeno absorbido a floración por el cultivo de maíz según tratamiento y según dosis de Nitrógeno aplicado a V6.....	63
27. Nitrógeno absorbido a floración por el cultivo de maíz según interacción entre dosis de Nitrógeno aplicado a V6 y tratamiento cobertura.....	63
28. Altura (m.) de las plantas de maíz a fin de floración.....	64
29. Efectos estadísticos de las variables que se midieron a la cosecha del	

cultivo de maíz en el experimento de 0, 30 y 90 UN aplicadas a V6.....	65
30. Interacción entre tratamiento cobertura y la dosis de N para la variable espigas m ²	66
31. Componentes del rendimiento, MS total a cosecha e índice de cosecha según dosis de Nitrógeno aplicada a V6 o tratamiento cobertura.....	66
32. Comportamiento del nitrógeno en el cultivo de maíz y en el suelo luego de la madurez fisiológica del cultivo.....	70
Figura No.	
1. comparación de precipitaciones medias históricas para el ciclo del cultivo y las registradas durante ese periodo.....	42
2. Diferencia de temperatura con respecto a la media histórica para el ciclo del cultivo.....	43
3. Evolución del agua disponible en el suelo durante el ciclo del cultivo de maíz y desde 60 días antes de su siembra.....	54
4. Índice de área foliar con respecto al crítico para los distintos tratamientos en la fecha 27 de diciembre.....	57
5. Relación entre el rendimiento en grano por ha ⁻¹ y el número de granos por unidad de superficie.....	59
6. Peso de grano en función de la cantidad de granos m ²	60
7. Relación entre la biomasa aérea acumulada (Kg. ha ⁻¹) hasta R1 por el cultivo de maíz y el nitrógeno absorbido (Kg. ha ⁻¹) hasta ese mismo estadio del cultivo.....	64
8. Rendimiento en grano (Kg. Ha ⁻¹) según dosis de N aplicado a V6	67
9. Relación entre el rendimiento en grano por ha ⁻¹ y el número de granos por unidad de superficie.....	68
10. Relación entre la Materia seca acumulada a cosecha y el rendimiento en grano para todas los tratamientos coberturas y dosis de N aplicadas a V6...	69

11. relación entre la Materia seca acumulada a cosecha y el rendimiento en grano para todas las dosis de N aplicadas a V6 y discriminado por tratamientos coberturas.....

1. INTRODUCCION.

El uso eficiente y racional del Nitrógeno ha sido desde hace muchos años, motivo para estudio e investigación principalmente por la dinámica que este nutriente presenta en nuestras condiciones.

En estos últimos años en que la agricultura en el país tiende a estivalizarse cada vez más, dejando los periodos invernales sin cultivo, lleva al aumento de la proporción de suelo desnudo y sin nada que capitalice y retenga en cierta medida las formas de Nitrógeno mineral que existan en el sistema, surgiendo así la idea de cultivo de cobertura como forma de retener ese Nitrógeno que se pierde durante el barbecho o aumentar la cantidad del nutriente mediante la FBN con cultivos de cobertura leguminosas.

La implementación de sistemas de producción sin laboreo y sobre abundante cantidad de rastrojo, determina entre otras cosas, la aplicación de mayor cantidad de fertilizante nitrogenado.

En caso de agricultura continua o secuencias largas de cultivos no ingresa nitrógeno al sistema, o ingresa pero en muy bajas cantidades, surgiendo la hipótesis de que las leguminosas como cultivo de coberturas logren además de mantener el suelo cubierto entre cultivos, favorecer el ingreso de Nitrógeno al sistema.

El maíz como cultivo gramíneo estival ha sido el elegido para este trabajo, principalmente por su elevado potencial de producción, y para el cual es muy importante el manejo del barbecho invernal, quien determina la disponibilidad en tiempo y cantidad de nutrientes, así como también la cantidad de agua reservada en suelo para el cultivo.

Objetivos del trabajo;

-cuantificar en el cultivo de maíz, el efecto que provoca el manejo invernal del barbecho en sistemas de agricultura continua y en siembra directa.

-Estudiar y evaluar la posibilidad de que una gramínea como cultivo de cobertura invernal logre mantener al nitrógeno en el sistema.

-Estudiar y evaluar la posibilidad de que las leguminosas ubicadas como cultivos de cobertura antes de la siembra del maíz, produzcan el efecto de ingreso de nitrógeno al sistema en agricultura continua y en siembra directa, cuantificando tal efecto a través del cultivo de maíz.

-evaluar el efecto que las distintas coberturas provocan sobre la dinámica del Nitrógeno.

Entre los aspectos importantes al momento de sembrar maíz, uno es el manejo del barbecho invernal, el cual condiciona para el momento de la siembra y para todo el ciclo y también para el sistema, la disponibilidad de recursos para el cultivo, tales como agua y Nitrógeno (entre otros nutrientes) con particular importancia del Nitrógeno por ser un macro nutriente, de características que lo hacen un tanto distinto a los demás, por las cantidades requeridas por el cultivo y por su dinámica en el suelo y en el sistema.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1 CONSIDERACIONES SOBRE EL CULTIVO DE MAÍZ.

2.1.1 Radiación interceptada y producción de materia seca.

El maíz produce principalmente celulosa durante su fase de crecimiento vegetativo y almidón durante la fase de crecimiento reproductivo; ambos polisacáridos, de valor energético similar (Andrade et al., 1996).

2.1.2 Acumulación y partición de la materia seca

Durante la etapa de crecimiento de las estructuras reproductivas, la fracción vegetativa experimenta un proceso de removilización y traslocación de reservas (carbohidratos y nutrientes) con destino a los granos. Esta reasignación de sustancias da lugar a una pérdida neta del peso de los órganos vegetativos durante la fase final del crecimiento del cultivo (Andrade et al., 1996).

Al llegar a la madurez fisiológica, el peso de los granos representa el 43 % del total de las partes aéreas en híbridos de ciclo intermedio y el 46 % en híbridos de ciclo corto. Datos reportados por Andrade et al. (1996), en experimentos conducidos bajo riego y sin limitantes nutricionales en Balcarce.

2.1.3 Eficiencia de conversión.

El maíz es la especie que presenta valores más altos de eficiencia de conversión entre las plantas que se emplean como cultivos estivales en el sudeste bonaerense (Andrade, citado por Andrade et al., 1996).

Andrade et al., citados por Andrade et al. (1996), encuentran una relación lineal entre la producción de materia seca acumulada y la radiación interceptada acumulada.

Una de las explicaciones a la alta eficiencia de conversión es su metabolismo C₄, no presentando foto respiración detectable.

Además también por su hábito más erectófilo y la mayor separación vertical entre hojas, lo que confiere un menor coeficiente de extinción lumínico, posibilitando una mayor penetración y una distribución más uniforme de la luz en el perfil del canopeo Andrade et al. (1996).

Los cambios en la ec debidas a cambios en la temperatura, sugieren posibles alteraciones en las eficiencias de conversión vinculadas con cambios en las fechas de siembra. En este sentido, un retraso en la fecha de siembra produce un aumento en la temperatura media durante el periodo vegetativo provocando un acortamiento del

periodo emergencia floración, un aumento de la ec y mayores tasas de crecimiento del cultivo.

Durante la floración, la temperatura no parece limitar la ec, pero por el contrario, la ec disminuye desde floración hasta madurez fisiológica con el atraso en la fecha de siembra desde setiembre hasta diciembre con eficiencias de 2.7 g Mj⁻¹ para cultivos sembrados en setiembre, 2.7 g Mj⁻¹ para los sembrados en octubre, 2.0 g Mj⁻¹ para los de noviembre y 1.7 g Mj⁻¹ para los de diciembre (Andrade et al., 1996).

Andrade et al. (2001), evaluando la respuesta del maíz, el girasol y la soja al acortamiento de la distancia entre hileras, concluye que; el manejo de los cultivos sin limitantes hídricas importantes en la etapa reproductiva debe estar orientado de manera tal de asegurar una máxima intercepción de radiación solar en los momentos críticos para la determinación del número de granos por unidad de superficie, y la distancia entre hileras es la principal herramienta de manejo para lograrlo.

2.1.4 Crecimiento radicular

Hanway y Olson, citados por Achaval et al. (1998), realizaron una interesante descripción del patrón de desarrollo de raíces de maíz y como lo afectan diferentes condiciones ambientales y de suelo. En etapas de desarrollo tempranas las plantas de maíz poseen unas pocas raíces seminales radicales que evolucionan desde la semilla. Estas raíces son más efectivas durante las primeras tres a cuatro semanas de crecimiento. Durante este tiempo se comienzan a desarrollar raíces adventicias desde nudos transitorios del coleoptile cerca de la superficie del suelo. Estas raíces adoptan una distribución en forma de cono que se extiende a los lados de las plantas penetrando dentro del suelo a profundidades de 1.50 a 1.80 m. o más y desarrollándose extensamente, especialmente en la capa arable del suelo.

Ernst et al. (1992), trabajando con cebada en laboreo convencional y siembra directa encontraron que en siembra directa las raíces fueron más compactas y gruesas debido a que el efecto de la compactación determina, según Schumachen y Schumen (1981) una mayor fuerza para crecer a través del suelo. Este menor crecimiento radicular en condiciones de suelos con cierto grado de compactación tiene efectos adversos sobre la absorción de nutrientes como el P, el cual es altamente dependiente de la exploración radicular para ser tomado por las plantas.

Ciganda (1996), expresa que la restricción al crecimiento radicular por impedimentos mecánicos va en detrimento del crecimiento de la planta solamente cuando el suministro de agua y nutrientes en la zona radicular son inadecuados.

2.1.5 Influencia de la temperatura.

En trabajos inéditos de Ruiz y Andrade en que se hizo un seguimiento de la acumulación de Materia seca cada cinco días, se encontró una fuerte asociación directa entre la temperatura y la eficiencia de conversión de dichos periodos (Andrade et al., 1996).

La relación entre temperatura y desarrollo sustentó la elaboración de los métodos de cálculo del tiempo térmico (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales, o mediante ecuaciones más complejas) ampliamente usadas para predecir, con éxito variable, el momento de ocurrencia de distintos sucesos fenológicos en maíz, basados en la acumulación de grados-día (Cross y Zuber, Derieux y Bonhomme, Ritchie y NeSmith, citados por Andrade et al., 1996).

La temperatura óptima por encima de la cual la velocidad de desarrollo deja de aumentar en forma lineal, se ubica entre 30 y 34 °C (Gilmore y Rogers, Blacklow, Tollenaar et al., Kiniry y Bonhomme, citados por Andrade et al., 1996). Por otra parte, la temperatura máxima a la cual cesa el desarrollo en maíz se encuentra entre 40 y 44 °C (Blacklow, Kiniry y Bonhomme, citados por Andrade et al., 1996).

La temperatura es el principal factor modulador del desarrollo en la velocidad de aparición de hojas (Warrington y Kanemasu, Manrique y Hodges, citados por Andrade et al., 1996) y también luego de la diferenciación de la panoja (Allyson y Daynard, Warrington y Kanemasu, Kiniry et al., Jones et al., Ritchie y NeSmith, citados por Andrade et al., 1996).

La duración del periodo entre la floración y la madurez fisiológica, para un genotipo dado, depende esencialmente de la temperatura, Derieux y Bonhomme (1991). No obstante, situaciones ambientales desfavorables que determinen una insuficiente provisión de asimilatos a los granos anticipan la madurez fisiológica y, por lo tanto, limitan su peso final (Daynard y Duncan, Cirilo y Andrade, citados por Andrade et al., 1996).

Con temperaturas mayores a 32 °C aumenta la respiración pero no la fotosíntesis bruta, por lo que la fotosíntesis neta disminuye (Larcher, citado por Andrade et al., 1996).

2.1.6 Influencia del fotoperiodo.

El maíz responde al fotoperiodo como una especie cuantitativa de días cortos (Kieselbach, Rood y Major, citados por Andrade et al., 1996).

El meristemo apical es inestable al fotoperiodo durante la etapa juvenil temprana de su fase vegetativa diferenciando primordios foliares a una tasa regulada solo por la

temperatura y la duración de esta etapa juvenil varia con el genotipo (Rood y Major citados por Andrade et al., 1996).

Durante la etapa inductiva el meristema continua diferenciando hojas pero se torna sensible al estimulo fotoperiódico y es capaz de iniciar la fase de diferenciación de estructuras reproductivas. En condiciones de fotoperiodo corto (altamente inductivos) esta fase presenta su menor duración, comenzando cuatro a ocho días antes de la iniciación de la panoja (Kiniry et al. citados por Andrade et al., 1996).

En zonas productoras de maíz de latitudes altas, el retraso de la siembra expone al cultivo a mayores temperaturas y fotoperiodos más largos durante su periodo sensible. En tales ambientes, los fotoperiodos largos pueden estar asociados con una iniciación anticipada de la panoja, debido al efecto predominante de la temperatura sobre la velocidad de desarrollo, lo que enmascara el efecto fotoperiodico sobre la duración del periodo (Bonhomme et al., Cirilo, citados por Andrade et al., 1996). Cultivos de maíz de ciclo intermedio conducidos sin limitaciones hídricas ni nutricionales, sembrados en Balcarce a mediados de octubre, y que llegaron a cosecha con una densidad de 85000 plantas ha⁻¹, alcanzaron a producir entre 25 y 30 tt ha⁻¹ de biomasa aérea; y estos valores de biomasa son casi el doble de los que se obtienen en la zona con otros cultivos estivales, tales como girasol y soja (Andrade et al., citados por Andrade et al., 1996).

2.1.7 Índice de área foliar.

El índice de área foliar (IAF) que posibilita alcanzar las tasas de crecimiento máximas se denomina IAF crítico y dicho valor varia para distintas condiciones ambientales y para diferentes cultivos siendo de cuatro a cinco para los materiales utilizados habitualmente en el sudeste bonaerense. Una vez alcanzado este IAF, la cobertura se mantiene en valores altos durante un periodo de 60 a 80 días (según el ciclo del cultivo) posibilitando el mantenimiento de altas tasas de crecimiento durante tal periodo (Andrade et al., 1996).

Según Wilson et al., citados por Andrade et al. (1996) el IAF máximo que logra un cultivo es mayor a temperaturas intermedias (en su caso a 21 °C) debido a que con temperaturas mayores (25°C) se acorta el periodo de crecimiento vegetativo. En forma coincidente, Hardacre y Turnbull, también citados por Andrade et al. (1996) indican que a 21 °C las plantas de maíz llegan a producir su máxima área foliar.

Para alcanzar altos niveles de biomasa, el maíz requiere alcanzar cuanto antes, dentro de la estación de crecimiento, altos niveles de cobertura, los que debieran de mantenerse fotosintéticamente activos durante el mayor tiempo posible (Andrade et al., 1996).

El índice de área foliar máximo (las laminas de las hojas diferenciadas se hallan totalmente desplegadas) y la altura máxima de las plantas (entrenudos completamente elongados) quedan determinados alrededor del momento de floración (Andrade et al., 1996).

2.1.8 Efecto de la radiación y la temperatura sobre el rendimiento.

El tiempo que demora un cultivo de maíz en alcanzar un nivel de intercepción de radiación incidente máximo depende de la densidad de plantas y del arreglo de su distribución espacial. Cuando prima el interés por lograr altas tasas de crecimiento temprano, se debe sembrar con altas densidades y con un arreglo espacial uniforme (acortando la distancia entre hileras). Con temperaturas altas se acelera el desarrollo y, por lo tanto, disminuye la duración del ciclo del cultivo, lo que termina reduciendo la cantidad total de radiación incidente que llega al mismo (Andrade et al., 1996).

Debido a que la fotosíntesis es función de la temperatura diurna, mientras que el desarrollo lo es de la temperatura diurna y nocturna, lo ideal para el maíz es contar con un ambiente de alta amplitud térmica. De esta manera, temperaturas diurnas relativamente elevadas permiten altas tasas fotosintéticas, mientras que bajas temperaturas nocturnas prolongan el periodo de crecimiento, posibilitando al cultivo disponer de más días de fotosíntesis entre dos eventos fonológicos dados.

Por otro lado, cuanto mayor es la radiación solar incidente diaria durante el ciclo del cultivo, mayor es el crecimiento y, por lo tanto, el rendimiento (Muchow et al., citados por Andrade et al., 1996).

Andrade, citado por Andrade et al. (1996) utilizando datos de maíces regados y fertilizados provenientes de varias localidades del mundo, de ciclo no inferior a FAO 550, entre otros resultados encontró que el rendimiento en grano correlaciona positivamente con la radiación incidente media diaria y con la amplitud térmica y negativamente con la temperatura media.

El aumento de la temperatura nocturna de 5 °C, durante un periodo de 30 días alrededor de la floración produce un acortamiento de 5 a 7 días en el lapso que media entre la fase de panoja embuchada y el comienzo del periodo efectivo de llenado de granos. Este efecto se traduce en un aumento en el aborto de granos (cinco granos menos por hilera) y, por ende, en una disminución del rendimiento (Cantero, citado por Andrade et al., 1996).

Uhart y Andrade, citados por Andrade et al. (1996) en ensayos en que sombrearon al cultivo de maíz durante 30 días alrededor de floración (momento en que se fija el número de granos) encuentran que se produce una disminución en el número de granos fijados.

2.1.9 Relaciones fuente - fosa

Los factores ambientales que disminuyen la tasa de fotosíntesis o la tasa de crecimiento del cultivo durante este lapso reducen la cantidad de granos fijados, aumentando, por lo tanto, la relación fuente / destino. Esto significa que durante el periodo de llenado habrá más asimilatos disponibles por grano. Contrariamente, los factores ambientales desfavorables durante el llenado reducen la capacidad de la fuente fotosintética por grano y, por lo tanto, la relación fuente / destino.

2.1.10 Determinación del rendimiento.

Ensayos conducidos en Balcarce muestran que reducciones en la radiación incidente (de aproximadamente el 50%), durante un periodo de 30 días alrededor de floración, produjeron disminuciones del 50% o mas en el rendimiento del cultivo, sin embargo, sombreados de igual intensidad aplicados durante el llenado de granos produjeron disminuciones inferiores al 25% del rendimiento (Andrade et al., 1996).

2.1.10.1 Número de granos por unidad de superficie.

La disminución de la radiación incidente en floración reduce la tasa de crecimiento del cultivo produciendo caídas en el número de granos por unidad de superficie y, el numero final de granos logrados por unidad de superficie, es función de la tasa de crecimiento del cultivo en el periodo alrededor de la floración (Andrade et al., 1996).

Andrade et al. (1996), relacionando numero de granos m² y rendimiento en grano, utilizando una base de datos correspondientes a distintas situaciones de ensayos de fertilización, riego, fecha de siembra, densidad de plantas y sombreado artificial, utilizando siempre el mismo híbrido, encuentran una relación positiva entre ambas variables, con un ajuste de 0.92 y un incremento del rendimiento de 0.37 g por grano logrado.

El aborto de estructuras reproductivas esta indudablemente relacionado con el estado fisiológico de la planta en floración, por lo que el análisis a nivel de planta individual permite una mejor interpretación del mismo (Andrade et al., 1996).

Tollenaar (1978) encuentra que la mayoría de las plantas estériles tienen un desarrollo normal de la primera espiga hasta la emergencia de los estigmas y, a partir de allí, el crecimiento de la espiga se ve reducido en comparación al de una planta normal. Entonces, la detención del crecimiento de la espiga en plantas estériles ocurre justo antes y durante la emergencia de los estigmas.

Existe un umbral de crecimiento por planta en floración por debajo del cual el cultivo llega a la cosecha sin espigas, y otro umbral de crecimiento por planta por encima del cual se logran dos espigas viables (Andrade et al., 1996), siendo esta la razón de que aumentos en la densidad de plantas reducen el número de espigas logradas por planta, y que condiciones desfavorables durante la prefloración y floración aumenten el porcentaje de aborto de espigas.

Si bien las espigas se diferencian en etapas tempranas del ciclo, el número de granos final por planta se determina en floración y está asociado con la tasa de crecimiento de la planta en prefloración y floración.

El número de granos por espiga se determina en postfloración, y la disminución en el número de granos viables puede continuar hasta dos o tres semanas después de la floración (Tollenaar, Fisher y Palmer, Cirilo y Andrade, citados por Andrade et al., 1996).

El desarrollo inicial del grano es altamente dependiente del suministro de asimilatos a la espiga durante la etapa de dos o tres semanas después de la floración (Kiniry y Ritchie, citados por Andrade et al., 1996).

Cirilo y Andrade, citados por Andrade et al. (1996), trabajando en parcelas experimentales, con una densidad de 8.5 plantas m² se alcanzó en prefloración un número máximo de aproximadamente 600 espiguillas por espiga. Posteriormente, hubo aborto de espiguillas y/o granos y se llegó a un valor final de algo más de 400 granos viables por espiga. Un aumento en la tasa de crecimiento por planta en postfloración entre 2 y 4 g por día produce un aumento de alrededor de 200 granos en la espiga; sin embargo, incrementos en dicha tasa por encima de 4 g día, no producen aumentos importantes en el número de granos por espiga.

El número de ovarios fecundados en un cultivo queda determinado al finalizar la liberación de polen. No obstante, el número de granos por planta puede disminuir durante el periodo de “cuaje”, el que, según la temperatura, se extiende entre 10 y 20 días después de la floración (Kiniry y Ritchie, Cirilo y Andrade, citados por Andrade et al., 1996). Consecuentemente, el número de granos por planta, principal determinante del rendimiento, queda determinado en ese momento (Tollenaar, May et al., Cirilo y Andrade, Othegui et al., citados por Andrade et al., 1996).

La liberación de polen ocurre exclusivamente durante las horas de luz, con un máximo entre las 9 y las 11, para descender rápidamente hasta finalizar por completo a la puesta del sol (Bartolini, Othegui, citados por Andrade et al., 1996).

Los estigmas de las flores que son fecundadas cesan su crecimiento inmediatamente, mientras que los de las no fecundadas continúan creciendo hasta 15 días después de su aparición (Bassetti et al., citados por Andrade et al., 1996).

La receptividad de los estigmas decae marcadamente a partir de los siete días de su aparición, tornándose nula a los 14 días de su emergencia (Sadras et al., Bassetti y Westgate, Cirilo y Andrade, datos inéditos citados por Andrade et al., 1996).

Dado que tanto la liberación de polen como la receptividad de los estigmas son limitadas, cuanto mayor sea la sincronía floral en el desarrollo de la panoja y la espiga, mayor será la posibilidad de fecundación en condiciones de campo. Si no existen restricciones ambientales, la aparición de estigmas ocurre en general poco después (uno o dos días) del comienzo de la antesis (Andrade et al., 1996).

2.1.10.2 Llenado de granos.

El periodo de llenado de granos transcurre desde el momento de la fecundación y se reconocen en él tres fases diferentes de acumulación de MS. La primera fase coincide con el cuaje de los granos y presenta una muy baja tasa de acumulación de MS, teniendo lugar una activa división celular, que da lugar a la formación de células endospermatas. La segunda fase, llamada de llenado efectivo del grano o fase de crecimiento lineal, muestra la máxima tasa de llenado y suele representar más de la mitad del periodo total de llenado. La etapa final, de crecimiento no lineal, tiene una duración de una a dos semanas, Fisher y Palmer, citados por Andrade et al. (1996) y en ella la tasa de llenado declina progresivamente hasta hacerse nula, completándose el crecimiento del grano, el cual alcanza su madurez fisiológica evidenciada por la formación de la capa negra resultante de la necrosis de los haces vasculares. Al alcanzar la madurez fisiológica queda determinado el otro componente del rendimiento que es el peso de grano, y en consecuencia queda determinado el rendimiento del cultivo.

2.1.10.3 Peso del grano.

El maíz presenta una reducida capacidad para compensar un bajo número de granos con mayor peso de los mismos. Ante una disminución del 80 % en el número de granos por espiga, lograda a través del impedimento de la fecundación, el peso de los granos aumentó solo un 30 %, siendo esta poca plasticidad en el peso de los granos la que torna más crítica aun la etapa en la cual se determina el número de granos (Andrade et al., 1996).

Una buena disponibilidad nutricional, especialmente desde los momentos en que los nutrientes son requeridos en altas cantidades (aproximadamente 6 hojas) aseguran un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en

biomasa. Esto permite alcanzar un óptimo estado fisiológico del cultivo en los momentos decisivos para la determinación del rendimiento (Andrade et al., 1996).

2.2 REQUERIMIENTOS HÍDRICOS.

El agua disponible es, en general, el principal factor que limita el crecimiento y el rendimiento del cultivo en condiciones extensivas. Además, el maíz manifiesta una sensibilidad diferencial a la sequía según la etapa del ciclo considerada (Andrade et al., 1996).

2.2.1 Definiciones y conceptos básicos

La tasa de evapotranspiración de un cultivo está influenciada por la radiación, la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del viento, variables meteorológicas que determinan la demanda evaporativa atmosférica y afectan la cantidad de agua que el cultivo puede absorber para diferentes condiciones de humedad edáfica, estado de crecimiento y cobertura vegetal (Gardner et al., citados por Della Maggiora, 2002).

2.2.2 Factores meteorológicos que afectan la evapotranspiración.

La radiación solar es la principal fuente de energía para que se produzca la evaporación. Es necesario también que exista una diferencia de presión de vapor entre la hoja y el aire, la cual es función de la temperatura de la hoja y del aire y de la humedad relativa del aire. La circulación de aire provocada por el viento y la turbulencia del aire dentro y encima de un cultivo son los principales mecanismos de remoción de vapor de agua.

Si hay viento, la evaporación puede continuar aun después de la puesta del sol, mientras que en condiciones de calma, en general cesa en ausencia de radiación solar (Hillel, citado por Della Maggiora, 2002).

Una cobertura adecuada del suelo con rastrojos, particularmente en las primeras etapas del cultivo, reduce esta vía de pérdidas y aumenta la eficiencia en el uso del agua evapotranspirada (Unger y Stewart, citados por Andrade et al., 1996).

2.2.3 Agua disponible.

El agua disponible para el cultivo va a depender de su profundidad de arraigamiento. Para ello tendremos que tener en cuenta donde se acumula el mayor % de raíces y hasta que profundidad la exploración es significativa. En el caso de maíz, la exploración radicular puede llegar a más de 1 metro de profundidad, pero a los efectos prácticos tomamos una profundidad efectiva de 0.4-0.5 m. en el periodo de floración. El agua no está en las mismas condiciones de disponibilidad para la planta en el intervalo que definimos entre 0 y 100 % de AD. La curva de retención de agua de un suelo es la

relación entre el contenido de agua y el potencial de matriz (que es generado por diferentes mecanismos de retención). Cuanto más seco está el suelo, el potencial de matriz es mayor, el agua está retenida con más fuerza.

De acuerdo a esto cabe definir aquí el término umbral de riego, como el potencial de agua en el suelo al cual se aplica la lámina de riego. Este dependerá de factores de cultivo (grado de sensibilidad al estrés hídrico), de suelo (textura, conductividad hidráulica), y demanda atmosférica. Como a nivel práctico es difícil obtener la curva de retención de agua de un suelo expresamos los umbrales en términos de % de AD. Para cultivos extensivos como por Ej. Maíz se puede considerar un umbral de riego de 50 % como apropiado (Sawchick, 2000).

2.2.4 Consumo de agua.

En un trabajo realizado en Balcarce, Andrade y Gardiol, citados por Andrade et al. (1996), bajo condiciones hídricas y nutricionales no limitantes, el maíz evapotranspiró 530 mm de agua para producir 22,5 t ha⁻¹ de biomasa aérea. Por lo tanto, la eficiencia de uso del agua fue de 4,2 g m² de materia seca por milímetro de agua consumida.

Una deficiencia de agua que produzca una reducción en la transpiración trae aparejada una reducción en la producción de biomasa (Hanks y Sinclair et al., citados por Andrade et al., 1996).

El consumo de agua y en consecuencia, el crecimiento del maíz, se ven reducidos cuando el contenido hídrico del suelo en la zona explorada por las raíces se encuentra por debajo del 40-60% de la fracción de agua disponible para el cultivo (Muchow y Sinclair, 1991).

Gran parte del efecto de las sequías sobre el crecimiento de los cultivos opera a través de la disminución de la expansión foliar y/o del aumento de la senescencia foliar y, por lo tanto, a través de la intercepción de radiación (Gifford et al., citados por Andrade et al., 1996).

Como consecuencia de la reducción en la tasa de expansión y división celular provocada por déficit hídrico, se observa una disminución en la altura de las plantas y en el área foliar, que varía con la intensidad, duración y momento de ocurrencia del déficit (Watts, citado por Andrade et al., 1996).

NeSmith y Ritchie (1992), trabajando con cultivos sembrados sobre suelos arenosos (90 mm de agua disponible hasta 1.50 m) ante deficiencias hídricas pre-antesis de unos 40 días de duración, observaron una reducción del crecimiento del 63 %. La disminución en el área foliar del cultivo en condiciones de deficiencia hídrica, se produce por disminución de la expansión foliar.

2.2.4.1 Demanda de agua de los cultivos

La evapotranspiración de un cultivo es el proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera, e incluye los términos evaporación desde el suelo o la planta y transpiración desde la planta. Está influenciada por diversos factores climáticos como radiación, humedad relativa, temperatura y viento; factores de suelo como la disponibilidad de agua y factores de cultivo como tipo y estado fenológico del cultivo.

2.2.4.2 Profundidad radical y absorción de agua.

Las raíces seminales dejan de crecer antes de V3. a partir de VE, se desarrollan raíces nodales y a partir de V18, aparecen raíces en los nudos ubicados por encima de la superficie del suelo (Andrade et al., 1996).

La exploración del perfil del suelo por las raíces permite posponer los efectos de la sequía sobre el crecimiento de los cultivos (Kramer, 1983). Experimentos en Balcarce mostraron una mayor velocidad de avance del frente de extracción de agua en cultivos de maíz y soja sometidos a déficit hídricos, en comparación con los testigos regados (Dardanelli et al., Otegui, citados por Andrade et al., 1996).

Para que una estrategia basada en sistemas radicales profundos de resultados es necesario que a) el cultivo dependa de las reservas de agua del suelo, b) la exploración radical no este limitada por factores físicos o químicos del suelo, c) la disponibilidad de agua en profundidad sea alta, y d) la probabilidad de recarga del perfil entre cultivos sucesivos sea alta. Así, las ventajas de explotar esta estrategia dependerán de las características edáficas y el patrón de lluvias de cada sitio. En Balcarce por ejemplo, es común que no se den todas las condiciones requeridas para el éxito de una estrategia basada en sistemas radicales profundos.

El crecimiento del sistema radical de una planta es afectado por la disponibilidad de agua y de nutrientes, la compactación del suelo, la temperatura, la disponibilidad de asimilatos y el genotipo entre otros factores (Garner et al., citados por Andrade et al., 1996).

La capacidad de exploración del suelo puede ser afectada negativamente por un mal desarrollo del sistema radical durante la etapa de implantación del cultivo. La arquitectura del sistema radical se define durante etapas tempranas, por lo que una mala preparación del suelo puede afectar la capacidad posterior del cultivo para la absorción del agua y de los nutrientes minerales (Aguirrezabal et al., citados por Andrade et al., 1996).

Mengel y Barber, citados por Andrade et al. (1996), encuentran que las raíces de maíz aumentan su peso total y crecen en longitud hasta 80 días después de la siembra,

luego de lo cual permanecen estables durante un par de semanas, disminuyendo rápidamente durante el periodo reproductivo, mientras que Andrade et al. (1996) en Balcarce encuentran que las raíces de maíz alcanzan la máxima profundidad de exploración del suelo en el momento de floración y que el 90 % de la biomasa radical se ubica en los primeros 0.3 m de profundidad.

En Balcarce, con un híbrido de ciclo intermedio sin limitaciones hídricas ni nutricionales Cirilo, citado por Andrade et al. (1996) encuentra que el maíz a floración alcanza una biomasa radicular de aproximadamente 25 % de la biomasa de la parte aérea.

2.2.5 Distancia entre hileras y densidad.

La mayor cobertura por el follaje lograda con un menor espaciamiento entre hileras disminuye la evaporación de agua del suelo, el escurrimiento superficial y la erosión. Sin embargo esta práctica aumenta la proporción de radiación interceptada por las hojas y puede incrementar la evapotranspiración en la etapa vegetativa. Esto puede tornar más severos los efectos de una sequía progresiva en la etapa crítica de floración. En aquellas situaciones en las que no llueve durante el ciclo del cultivo y este depende del agua almacenada en el perfil al momento de la siembra, incrementar la distancia entre hileras permite conservar agua para las etapas reproductivas más críticas (Robinson, citado por Vega y Andrade, 2002).

El espaciamiento entre hileras también afecta el momento en que se utiliza la humedad del suelo acumulada entre hileras. Con hileras angostas es más factible que se agote esta humedad antes de floración debido a la más temprana penetración de las raíces en el volumen de suelo entre hileras (Vega y Andrade, 2002).

La densidad óptima para máximos rendimientos es la mínima que permite coberturas adecuadas para interceptar el máximo de radiación incidente durante los periodos críticos en que se determina el rendimiento y que posibilita maximizar la partición de MS hacia las estructuras reproductivas durante dichos momentos y además, esa densidad óptima varía en función del ambiente, del manejo del cultivo y del cultivar. Con emergencia y distribución pareja de plantas se obtiene buena uniformidad por lo que se reduce la variabilidad en el tamaño de plantas, reduciendo la proporción de individuos muy chicos o muy grandes; ambos ineficientes en transformar crecimiento en número de granos (Andrade et al., 1996).

2.2.6 Manejo del agua del suelo.

El agua entra al suelo en forma de lluvia o riego y puede por otro lado, perderse por varias vías: escurrimiento superficial, evaporación directa desde el suelo, transpiración a través de las hojas del cultivo, transpiración de malezas y drenaje. La

reserva de agua útil depende del balance entre éstas entradas y pérdidas y es influenciada por el tipo de suelo, su manejo, el patrón de lluvias y demanda atmosférica. Suelos poco profundos, limitaciones a la profundización de las raíces y texturas gruesas reducen la disponibilidad de agua de suelo para los cultivos, disminuyendo el número de días sin riesgo de estrés entre precipitaciones (Sawchick, 2000).

De todas las pérdidas, la transpiración del cultivo es la única productiva. En efecto, la producción de materia seca es proporcional a la transpiración y todas las otras vías constituyen pérdidas que disminuyen la eficiencia agronómica en el uso del agua, es decir los kilos de grano producidos por cada milímetro de agua que entra al sistema. Consecuentemente, los efectos de las deficiencias hídricas pueden atenuarse utilizando prácticas de manejo que permitan:

i) acumular más agua en el suelo.

ii) reducir las pérdidas de agua improductiva, tales como la evaporación desde el suelo, o transpiración por las malezas.

Utilizando estos conceptos de ingresos, pérdidas y balance de agua podemos evaluar el impacto de distintas prácticas, como se ilustra en el caso de siembra directa y barbecho (Sawchick, 2000).

La siembra directa asegura una adecuada cobertura del suelo con rastrojos, particularmente en las primeras etapas del cultivo, estos rastrojos contribuyen a reducir pérdidas de agua por evaporación con el consiguiente aumento en la eficiencia en el uso del agua evapotranspirada (Unger y Stewart, citados por Sawchick, 2000). Este sistema de labranza también puede producir una mayor infiltración del agua de lluvia. Por lo tanto, la disponibilidad de agua en el suelo, y el consumo de agua en los momentos críticos son generalmente mayores en siembra directa que en labranza convencional (Rizzalli, citado por Sawchick, 2000), y las respuestas a la práctica del barbecho son mayores cuanto más profundo es el suelo y cuanto menos proporción de la demanda de agua del cultivo es cubierta por las precipitaciones durante el periodo de siembra a madurez.

2.2.6.1 Efectos del rastrojo

Monzón et al. (2005) evaluando en Balcarce el efecto que tiene el rastrojo en la evaporación de agua desde el suelo, concluye que la evaporación del suelo está claramente limitada por la disponibilidad de agua, especialmente para el suelo desnudo, y las ventajas del rastrojo fueron claras para volúmenes pluviométricos medios y especialmente cuando predominaron precipitaciones de menor tamaño.

2.3 EFECTO DEL DÉFICIT HÍDRICO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE MAÍZ.

2.3.1 Manejo de suelos y agua en cultivos de maíz.

El agua es de los factores productivos, uno de los más importantes, no solo por su efecto directo en los procesos fisiológicos que hacen al crecimiento y producción del cultivo sino también a través de la incidencia que tiene sobre la efectividad de otros factores como la fertilización. Y la ocurrencia de deficiencias hídricas durante el ciclo de crecimiento del maíz es altamente probable en nuestras condiciones. Ensayos sobre momento de riego han confirmado la sensibilidad del maíz a la deficiencia de agua durante la floración. Encontrando que adecuados niveles de agua durante el periodo vegetativo, seguidos de deficiencias marcadas en periodo de floración, resultaron en reducciones del rendimiento del orden del 25 %. Deficiencias intensas durante el periodo vegetativo, con adecuada disponibilidad durante el resto del ciclo, redujeron el rendimiento en 20% (Hofstadler, citado por Cardellino et al., 1995).

Siendo los materiales de mayor potencial los que mas afectados se vieron por déficit en floración. También cita Cardellino que es posible que los valores estén subestimados, debido a la cercanía de las parcelas en los ensayos, combinadas con diferencia de desarrollo fonológico de los híbridos que hacen que el déficit de polen a causa del déficit hídrico sea atenuado.

2.3.2 Biomasa.

El consumo de agua y el crecimiento de los cultivos se reducen cuando el contenido hídrico del suelo en la zona explorada por las raíces se encuentra por debajo del 40-60 % del agua útil (Muchow y Sinclair, 1991). Los valores mas bajos de este rango corresponden a i) situaciones previas a floración, en las que las raíces crecen en profundidad explorando estratos húmedos, y ii) bajas demandas atmosféricas.

La disminución en la producción de biomasa en cultivos sometidos a estrés hídrico puede deberse a i) una reducción en la interceptación de radiación y/o ii) una disminución en la eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa (ec). La reducción en radiación interceptada ante deficiencias hídricas es consecuencia de expansión de hojas y/o una mayor senescencia foliar. Por otro lado, la reducción en ec se debe a una caída en la taza fotosintética por unidad de área foliar. La expansión de tejidos es mucho más sensible a déficit hídrico que la fotosíntesis (Sadras y Milroy, citados por Andrade et al., 1996).

2.3.3 Área foliar e intercepción de radiación.

Reducciones de área y/o peso foliar en situaciones de sequía fueron documentadas en maíz (Eck, 1986). La reducción en la tasa de expansión foliar se explicó originalmente, por la caída en la turgencia de los tejidos. La falta de correlación entre turgencia y expansión en hojas en algunos casos indica que otros mecanismos bioquímicos y físicos no hidráulicos también podrían contribuir a este efecto.

La cobertura del suelo por parte del cultivo y, por lo tanto, su eficiencia de intercepción, también se ven afectadas por la disponibilidad de agua y nutrientes. De hecho, gran parte del efecto depresivo que experimenten los cultivos frente a deficiencias hídricas o nutricionales, se explica a través de la reducción en el crecimiento foliar o de la aceleración de su senescencia, y por lo tanto, a través de su efecto sobre la intercepción de radiación, como lo señalan Gifford et al., citados por Andrade et al. (1996).

Wolfe et al. (1988), en una extensa revisión sobre el tema, deja demostrado que existe una declinación en el índice de área foliar bajo condiciones de estrés por falta de agua, y hay correlación entre la duración del área foliar y la duración del llenado de grano y el rendimiento.

La reducción del gradiente de concentración o presión de vapor se consigue, fundamentalmente, mediante modificaciones que disminuyen el gradiente térmico entre las hojas y el aire. Las hojas dispuestas paralelamente a los rayos solares al igual que aquellas de color verde claro o brillante absorben menos radiación (Sánchez- Díaz et al., 2000).

2.3.4 Eficiencia de conversión

Aunque menos sensible que la expansión foliar, la ec también puede reducirse en condiciones de estrés hídrico. Sequías inducidas experimentalmente redujeron la ec en maíz en Balcarce (Andriani et al., Otegui, citados por Andrade et al., 1996).

2.3.5 Déficit hídrico y rendimiento en grano.

Un estrés hídrico en la floración del maíz reduce la eficiencia de conversión en biomasa de la radiación interceptada, y posiblemente la intercepción de radiación (por aceleración de la senescencia de hojas) y la partición de materia seca a espigas. Como consecuencia, aumenta el aborto de estructuras reproductivas y disminuye la producción final de grano (Andrade et al., 1996).

Las situaciones de estrés, como sequía, baja irradiancia, deficiencias minerales y alta densidad, pueden postergar ligeramente la liberación de polen, pero provocan un

importante retraso en la floración femenina (Tollenaar, citado por Andrade et al., 1996) afectando el número final de granos por espiga.

En ensayos realizados en Balcarce por Otegui et al., citados por Andrade et al. (1996) con maíz regado vs. tratamiento de sequía que tubo un consumo de agua 44% inferior al testigo regado, encontraron una respuesta de 18 Kg. de grano ha^{-1} y de 4,7 granos m^2 por milímetro adicional de agua consumida en el periodo de 40 días centrados en la floración.

Con situaciones de déficit hídricos mas moderados, Sinclair et al. (1990), encuentran que el índice de cosecha es mas estable.

Boyle et al., citados por Andrade et al. (1996), demostraron que la inyección de sacarosa en floración a tallos de plantas en estrés, permite fijar un mayor número de granos, lo cual es elocuente de la asociación entre el número de granos por planta y la provisión de carbohidratos durante el periodo critico de fijación de granos.

Si el estrés se produce durante la etapa vegetativa, se reducen la expansión foliar y la tasa fotosintética, lo que provoca una disminución del crecimiento. Si el cultivo tiene la posibilidad de recuperar área foliar una vez finalizado dicho estrés y llega a los periodos críticos de determinación del número de granos por unidad e superficie con una buena cobertura, las disminuciones en el rendimiento son leves (Eck, 1986).

El peso de grano puede disminuir frente a sequías que tengan lugar durante el periodo de llenado de los mismos (Ouattar et al., citados por Andrade et al., 1996).

2.3.5.1 Periodo crítico y componentes del rendimiento.

Existe una buena correlación entre la tasa de crecimiento del cultivo en el periodo critico y el número de granos fijados. Por esta razón, deficiencias hídricas durante etapas previas a este momento critico, que puedan reducir la expansión foliar y la tasa fotosintética, afectaran el rendimiento solamente si estas reducciones en crecimiento temprano persisten y afectan el crecimiento en los momentos mas críticos de determinación del rendimiento. En caso contrario, deficiencias hídricas tempranas tienen efectos mínimos sobre el rendimiento en cultivos establecidos. En casos de sequía severa durante la etapa de establecimiento del cultivo, podría verse comprometido el stand de plantas con las consecuencias que implica. La sequía durante periodos críticos afecta la formación, funcionalidad y cuaje de los granos. El mayor aborto de granos fecundados en maíz por efecto de la sequía se debe a dos tipos de mecanismos. Por un lado, la disminución en el suministro de sacarosa a los granos por reducción de la fotosíntesis. Por otro lado, una disminución en la actividad de los granos como destinos metabólicos asociada con un bajo potencial agua (Schussler y Westgate, Zinselmeier et al., citados por Andrade et al., 1996).

Además del efecto directo del bajo potencial de agua, alteraciones en las relaciones hormonales también podrían incidir sobre el cuaje de granos en plantas estresadas (Sadras et al., citados por Andrade et al., 1996).

Sánchez- Díaz et al. (2000) mencionan que en condiciones de sequía se adelanta la floración en anuales, y que por ejemplo en trigo, déficits hídricos moderados adelantan la floración hasta en una semana, aunque con disminución en el número de espiguillas, la fertilidad del polen y la formación de granos.

2.3.5.2 Respuesta del maíz al estrés hídrico en periodo crítico y componentes del rendimiento.

Son muchos los ejemplos que indican la importancia de la disponibilidad de agua en floración para este cultivo. Las sequías ocurridas durante el mes de diciembre y enero en el sudeste bonaerense durante las campañas 1992/93 y 1995/96 redujeron sensiblemente el rendimiento del cultivo llegando a casos de pérdidas totales (Elverdin y Cordova, citados por Andrade et al., 1996). En ensayos experimentales, el rendimiento de cultivos sometidos a deficiencias hídricas severas durante 30 días centrados en floración fue solo un 13 % del testigo regado. El índice de cosecha cayó de 0.46 a 0.11 y la materia seca aérea de 28 a 15 t ha⁻¹ (Andrade y Cirilo, datos no publicados, citados por Andrade et al., 1996). Estos efectos fueron menos drásticos con menores densidades de plantas. Similares observaciones fueron realizadas por Andrade et al., citados por Andrade (1996).

Esta fuerte caída en el índice de cosecha ante deficiencias severas refleja la alta sensibilidad de la fijación de granos al estrés y a la reducción en el crecimiento del cultivo alrededor de la floración. La partición de materia seca a estructuras reproductivas en este cultivo fue menos afectada cuando las deficiencias hídricas fueron moderadas (Sinclair et al., 1990).

Por otro lado, ante una sequía severa ocurrida en suelos de 0.6 a 0.9 m. de profundidad efectiva, aquellas combinaciones de largo de ciclo y fecha de siembra en las que la floración coincidía con el periodo de sequía, eran las que presentaban los menores índices de cosecha y rendimientos (Andrade y Uhart, citados por Andrade et al., 1996).

Dada la importancia del periodo de floración en la determinación del rendimiento, en esta etapa se obtienen las máximas respuestas al riego. Con buena disponibilidad hídrica alrededor de la floración (+/- 15 días) se logran una alta eficiencia de conversión de radiación en biomasa y una buena partición a estructuras reproductivas (Andrade et al., 1996).

Según Harold (1982) sometiendo al cultivo de maíz a estrés hídrico en diferentes etapas de su ciclo y diferentes niveles de fertilización nitrogenada, con reducción en la

cantidad de N se reduce el rendimiento hasta el punto que el estrés por agua tiene solo menor efecto, pero con adecuado N o excesivo N el agua pasa a ser el factor limitante del rendimiento. Aunque el estrés hídrico reduce más el rendimiento con adecuada que con deficiente fertilización, también el excesivo N podría aumentar el estrés hídrico. Cuando el estrés ocurrió en la fase de crecimiento vegetativo, entonces sí se incrementó el peso de los granos. Cuando el estrés se induce durante la fase vegetativa y durante el llenado de granos, la reducción se da en el número y en el peso de los granos proporcionalmente. Dando una significativa interacción entre la fertilización y el estrés al agua.

Schusler y Westgate (1991) encuentran que la acumulación de carbohidratos fue proporcional al número de granos a llenar y la concentración de carbohidratos en grano decrecieron en deficiencia de agua comparado con el control regado y no se recupera a pesar de la alta actividad fotosintética entre los 3 y los 9 días después de la polinización.

Cuando el estrés hídrico ocurre hasta pre-antesis, NeSmith et al. (1992), encuentran reducciones del rendimiento de entre 15 y 25%, atribuibles a una reducción en la producción de área foliar, siendo las consecuencias en el largo plazo, una reducción en las tasas de llenado de grano lo que explicaría el menor rendimiento.

2.3.5.3 Determinación del número de granos

Tollenaar y Daynard (1978), en experimentos en que sombreaban el cultivo desde la emergencia de flor femenina temporalmente, encuentran correlaciones de 0.76 entre el número de granos y el rendimiento del maíz y las diferencias que se encontraron entre los tratamientos en los tres años que duró el experimento se debieron a la materia seca acumulada y al índice de cosecha, existiendo también relación con la duración del periodo de sombreado.

Yamaguchi, citado por Tollenaar y Daynard (1978) encuentra una correlación altamente significativa ($r= 0.86$) entre el número de granos y el rendimiento del maíz.

El estado fisiológico del cultivo alrededor de floración, determina el número de granos fijados en maíz (Uhart y Andrade, citados por Andrade et al., 1996). Por ser la planta de maíz de crecimiento determinado, tienen también escasa plasticidad, lo que confiere a sus cultivos baja estabilidad en producción de granos por unidad de superficie ante situaciones de estrés en floración (Andrade, citado por Andrade et al., 1996).

La mitosis endospermatocítica llega a un pico dos semanas después de la emergencia de la panoja femenina y después declina rápidamente (Duvick, citado por Tollenaar y Daynard, 1978).

El número final de granos por individuo se determina alrededor de floración y está asociado con la tasa de crecimiento de la planta (TCP) en esta etapa (Andrade et al., Vega et al., citados por Andrade et al., 2001).

La planta de maíz presenta un umbral de tasa de crecimiento en floración por debajo del cual no cuajan granos, y otro umbral por encima del cual se logran dos espigas viables. Con tasas de crecimiento por planta promedio inferiores a 1 g día⁻¹ el híbrido DK 636 produce solo plantas estériles, mientras que con tasa de crecimiento por planta promedio superiores a 4 g día⁻¹ presenta prolificidad (Andrade et al., 2002). Reducciones en TCP por debajo de 4 g día⁻¹ producen marcadas disminuciones en el número de granos por planta.

La espiga del maíz es una estructura axilar relegada en floración, sometida a la dominancia de la panoja y el tallo. Por esto con bajas tasas de crecimiento por planta se reduce la partición de biomasa a espiga (Andrade et al., citados por Andrade et al., 2002), lo que explica el alto umbral de tasa de crecimiento para fijar grano.

El atraso en la emisión de estigmas relativo a la de polen en situaciones de estrés y el mayor número de granos fijados en respuesta a la reducción de la competencia intraplanta alrededor de la floración por despanojado, panojas o tallos chicos, o uso de isolineas androesteriles (Poey et al., Paterniani, Frugone et al., Fischer y Palmer, citados por Andrade et al., 1996), son evidencias del relegamiento que sufre la espiga de maíz con relación al tallo y a la panoja.

El maíz presenta una escasa plasticidad para compensar un bajo número de granos con mayor peso de los mismos. Esta poca plasticidad en el peso de los granos torna más crítica la etapa en la cual se determina el número de granos. Ante una reducción del 80 % en el número de granos por espiga lograda a través del impedimento de la fecundación, Andrade, citado por Andrade et al. (1996), encontró que el peso de grano aumento solo 30 %.

2.3.5.4 Cuajado de frutos.

Definido como proceso que marca la transición del ovario al fruto en desarrollo, y este paso supone la iniciación de un crecimiento rápido de los tejidos del ovario. Si dicho crecimiento no se inicia, o una vez iniciado cesa, el ovario se desprende y por tanto no cuaja. Para que el cuajado se produzca son necesarios tres prerequisites; en primer lugar la existencia de yemas florales maduras, en segundo lugar un régimen de temperaturas durante la anthesis e inmediatamente después que asegure una buena polinización, el desarrollo del tubo polínico y la fecundación y en tercer lugar un aporte adecuado de fotoasimilados cuando el ovario inicie el desarrollo. Aquellos frutos en los que alguno de estos factores no sea satisfecho, presentan un cuajado deficiente. La mitosis es un proceso que exige mucha energía y durante la fase de crecimiento I o

exponencial de los frutos, son todos sus tejidos los que aumentan su número de células, y la acción conjunta de todos ellos es la que torna exigente al fruto en energía. El aporte de carbohidratos a éste durante su desarrollo resulta, por tanto, crucial para que se dé el cuajado (Agustí, 2000).

Schussler y Westgate (1991, 1994) en experimentos en que plantean la hipótesis de que incrementos en las reservas de asimilados podrían prevenir el aborto de frutos en maíz por efecto de estrés hídrico, encuentran que, los niveles de reservas de carbohidratos y Nitrógeno variaron ampliamente dependiendo de las condiciones de crecimiento. El nivel de carbohidratos (que se presenta por órgano de la planta hasta el 5^o día posterior a la polinización) cae sensiblemente en la condición de déficit hídrico, pero la caída es proporcionalmente mayor en la espiga, tanto para el tratamiento con una población de 4.3 plantas m² como para otro de 0.7 plantas m². Los tratamientos sometidos a estrés hídrico, no presentan aumentos de peso seco por planta, y tampoco la espiga aumenta su peso en los 5 días posteriores a la polinización, en tanto que en el tratamiento donde no faltó el agua, las espigas presentaron incrementos de peso de 10 gramos en tal periodo y en términos de concentración, los carbohidratos extractables bajan, pero bajan más cuando el agua no es limitante mientras que la concentración de Nitrógeno cae de 2.7 a 2 % con agua no limitante y se mantiene relativamente constante cuando el agua es deficiente, en valores cercanos a 2.5 %.

2.4 EL NITROGENO EN EL SISTEMA

La implementación de sistemas de producción sin laboreo y con rastrojo abundante determina entre otras cosas mayor necesidad de fertilizantes nitrogenados. El N es el nutriente más importante para la concreción de altos rendimientos en los cultivos. En los sistemas mixtos en particular, la entrada de N vía fijación simbiótica por las leguminosas es relevante, representando una fuente de suministro de N de magnitud para los cultivos posteriores (Sawchik, 2001).

En casos de agricultura continua o secuencias largas de cultivos no ingresa N al sistema por fijación simbiótica o si lo hace es con balance negativo surgiendo la hipótesis de que leguminosas como cultivos de cobertura logren además de mantener el suelo cubierto entre cultivos, favorecer el ingreso de N al sistema.

Sawchik (2001) encuentra que en los sistemas que rotan con pasturas el comportamiento del N total es cíclico, pues en la fase de pasturas se produce un incremento del contenido de N total. Las entradas y la magnitud de ese incremento dependen de la cantidad de N fijado en esta etapa, o sea, está estrechamente relacionado con la productividad y persistencia de las leguminosas componentes de la mezcla.

Díaz- Rosello, citado por Sawchik (2001), determinó para los sistemas que rotan cultivos y pasturas una entrada promedio de 500 Kg. N/ha (en los 0.2 m de la capa arable) durante la fase de pasturas. En la etapa de cultivos por su parte, salen del sistema unos 650 Kg. N/ha.

Hossain et al., citados por Sawchik (2001), para condiciones de Australia reportan un incremento de 780 Kg. N/ha luego de una fase de cuatro años de una pastura mezcla de gramíneas y leguminosas.

El valor del N total, básicamente N orgánico, en el suelo es el resultado de un balance de entradas, fundamentalmente fertilización y fijación biológica de nitrógeno (FBN) y salidas como la erosión de la materia orgánica, el lavado de nitratos, la volatilización de amonio, la desnitrificación y el retiro de productos vegetales y/o animales. Morón (2003) en ensayos de larga duración en la Estanzuela se estimó que después de 40 años las diferencias acumuladas en una hectárea a 0.2 m. de profundidad son entre 1800 y 2250 Kg. N total entre hacer agricultura continua y rotar agricultura con pasturas de leguminosas y gramíneas 50 % del tiempo.

A partir de la evolución y los cambios cíclicos en el contenido de N total, Díaz, citado por Morón (2003), estimó en este mismo ensayo de larga duración, para el tratamiento que rota 50 % del tiempo pasturas y agricultura: a) las entradas de N vía FBN de las leguminosas en el orden de los 500 Kg. N / ha por ciclo de pasturas; y b) una entrada de 1 Kg. N vía FBN por cada 25 Kg. de materia seca de leguminosa producido en la parte aérea.

Morón (2003), encuentra que la capacidad de mineralización de nitrógeno de los suelos de las rotaciones, medidos por incubación aeróbica y anaeróbica, es notoriamente superior en las rotaciones que incluyen pasturas, teniendo un fuerte impacto la temperatura. Los mayores valores de mineralización de los suelos de las rotaciones con pasturas son explicados en parte por los mayores valores de N total presente; así como por la mayor cantidad de N presente en fracciones del N orgánico fácilmente mineralizable.

2.4.1 Dinámica del nitrógeno en siembra directa rotando pasturas y cultivos

La incorporación de la siembra directa en los sistemas de rotación pastura-cultivo presentaría una serie de ventajas: la menor tasa de mineralización del N orgánico por no mover el suelo evitaría la caída tan pronunciada del contenido de N del suelo que se observa cuando se roturan buenas pasturas bajo laboreo convencional. El aporte de la pastura sería entonces más estable y duradero en el tiempo permitiendo recuperaciones de N más altas por los cultivos y permitiría plantear la hipótesis de alargar la fase de cultivos con respecto a lo que sucede bajo laboreo convencional (Sawchik, 2001).

La temperatura y la época del año afectan los procesos de descomposición y mineralización. El aumento de la temperatura provoca incrementos en la tasa de descomposición de los residuos y además acelera la tasa de mineralización del N orgánico del suelo (Sawchick, 2001).

2.4.1.1 Residualidad del nitrógeno dejado por las pasturas.

Garcia Lamothe (1994) trabajando en ensayos de respuesta al agregado de N en el cultivo de trigo bajo laboreo convencional, determinó dosis óptimas sustancialmente menores en trigos sembrados en seguida de la roturación de la pastura. Cuando la pastura fue exclusivamente a base de gramíneas, si bien las condiciones físicas del suelo fueron muy buenas para el desarrollo de los cultivos, pudo ocurrir un efecto de inmovilización de N importante, producto de la calidad de los residuos incorporados, lo que explica los bajos rendimientos de los tratamientos testigo sin agregado de N.

Abundante literatura internacional refuerza el efecto que tienen pasturas de buena calidad, en términos de presencia de leguminosas, sobre el ahorro de fertilizante nitrogenado para el cultivo siguiente. Se presume que en cultivos de verano las economías pueden ser más importantes debido a las mejores condiciones de mineralización del N orgánico. En la zona del cinturón maicero americano, Morris et al. (1993) encontraron que para maíces de alto potencial de rendimiento, la dosis óptima luego de alfalfa era de solamente 10 Kg. /ha de N.

2.4.1.2 El periodo de barbecho como variable de manejo.

Cuando un cultivo de verano es cabeza de rotación luego de una pradera o verdeo, el largo de barbecho es una variable que puede afectar además de la disponibilidad de nitrógeno, la reserva de agua disponible para el cultivo de verano. Esto será especialmente importante en suelos con baja capacidad de almacenaje de agua o con limitaciones para el desarrollo radicular como sucede en suelos con diferenciación textural (Sawchik, 2001).

Cuando el antecesor fue una pastura de buena calidad, un mayor periodo de barbecho determinó una mayor acumulación de N mineral al momento de siembra. Sin embargo, los valores de nitrato obtenidos fueron suficientes para los cultivos de verano en todos los tratamientos. El periodo de barbecho largo permitió un mayor almacenaje de agua para el cultivo. Ernst, citado por Sawchik (2001) reporta un mayor contenido de humedad en el suelo para un cultivo de maíz sobre maíz que cuando el antecesor fue una avena creciendo hasta la siembra del cultivo de verano.

2.4.2 La fijación simbiótica

2.4.2.1 Entradas de nitrógeno vía fijación simbiótica.

En los sistemas mixtos que rotan cultivos con pasturas que incluyen leguminosas, existen tres vías importantes de entradas de nitrógeno (N): los residuos de los cultivos, los fertilizantes nitrogenados y la fijación de N atmosférico por la asociación rhizobium-leguminosa. La cantidad de N fijado por una leguminosa en un determinado periodo va a depender de su productividad, del contenido de N del forraje y de la proporción de N que se derive de la atmósfera por acción de la simbiosis, ya que la leguminosa también puede tomar N del suelo. Existe una importante variación estacional en la fijación biológica del N (FBN), presentando valores máximos en invierno y mínimos durante el verano (Sawchik, 2001).

Mallarino y Wedin, citados por Sawchik (2001), y otros autores determinaron que la mayor concentración de N mineral (amonio y nitrato) durante los meses de verano resultaba en porcentajes menores de N derivado de la simbiosis Rhizobium - leguminosa.

García et al., citados por Sawchik (2001), midieron por técnicas isotópicas para las condiciones de Uruguay, las cantidades de N fijado por las cuatro especies de leguminosas más utilizadas: trébol blanco, Lotus, Trébol rojo y alfalfa. Los autores concluyen que a excepción del verano las leguminosas obtienen un 90 % del N de la atmósfera, valor similar al promedio para dos años reportado por Danso et al., citados por Sawchick (2001) de 88 y 91 % de N proveniente de la fijación para Trébol blanco y Lotus corniculatus respectivamente.

En estimaciones indirectas realizadas a partir de un experimento de largo plazo que incluye rotaciones de cultivos y pasturas, Diaz-Rosello, citado por Sawchik (2001), estimó una entrada al suelo de 40 Kg. de N por tonelada de MS de leguminosa producida.

2.4.3 El rol que juegan los cultivos de cobertura.

Tales cultivo de cobertura representan varios beneficios para el suelo tales como el enriquecimiento de la MO, incremento de nitrógeno (en el caso de las leguminosas), menos pérdida por lixiviación de nitratos (en el caso de cereales), estabilidad de las estructuras y previene la erosión (Doran y Smith, Lal et al., citados por Bellocchi et al., 2002). Esos efectos varían dependiendo de la especie usada como cultivo de cobertura. Algunos cereales como el centeno de invierno de alto rendimiento, acumulan mucha biomasa y previenen el riesgo de contaminación del agua del suelo por nitratos lixiviados, por la alta respuesta a N que presenta este cultivo (Wagger y Mengel,

Meisinger et al., Reicosky y Warnes, Ditsch et al., Kessavalou y Walters, citados por Bellocchi et al., 2002).

Por otra parte las leguminosas como cultivo de cobertura tienen un rol significativo en realzar el N para la nutrición de los sucesivos cultivos (Doran y Smith, Russell y Hargrove, Burdine et al., citados por Bellocchi et al., 2002).

Cuando no se laborea, se asegura cobertura en suelo, además de estar beneficiando positivamente en términos de balance de agua al suelo y controlando malezas (Hill y Blevins, Cochran et al., Smith et al., Enache y Inicki, Utomo et al., Lal et al., Dou y Fox, Dou et al., Boydston y Hang, Al-Khatib et al., Curran y Werner, citados por Bellocchi et al., 2002).

En 1993 en Pisa, Italia, Mazzoncini et al., citados por Bellocchi et al. (2002) en un experimento a campo fueron estudiadas tres cultivos de cobertura diferentes en cultivo continuo de maíz, usando diferentes tecnologías (tipo de laboreo y suministro de N). Los resultados preliminares son prometedores por los efectos positivos registrados en la biomasa del maíz y en el status de N del suelo cuando fueron usadas leguminosas como cultivos de cobertura.

Bruulsema et al. (1987), en experimentos realizados en Elora, Ontario, donde evalúan la contribución en N para el cultivo de maíz de dos antecesores como alfalfa y trébol rojo, encuentran que la concentración de N en plantas de maíz fue 7 % más alto cuando el maíz le seguía a alfalfa que cuando le seguía a trébol rojo, siendo la concentración de lignina y la relación C/N lo que estaría explicando parte de las diferencias encontradas.

Levin et al. (1987) investigando el efecto del laboreo en el nitrógeno residual disponible para un cultivo de maíz luego de alfalfa, en Pennsylvania, encuentran que; Los resultados de este experimento indican la no interacción entre el método de laboreo y la respuesta a la aplicación de N para el maíz luego de alfalfa. Incluso aunque la expectativa es que el laboreo incremente la mineralización, la recomendación con fertilizante nitrogenado para el primer año para el cultivo de maíz luego de alfalfa son parecidas y son equivalentes entre laboreo convencional y no laboreo.

Wagger, citado por Sawchik (2001) comparó la liberación de N de residuos de *Trifolium incarnatum* en dos estados de desarrollo: 50 por ciento de floración y comienzo de llenado de grano. Si bien en el segundo tratamiento el contenido de N era mayor, la tasa de descomposición fue más lenta debido a una mayor proporción de carbohidratos estructurales. Estudios posteriores Ranells y Wagger, citados por Sawchik (2001), estimaron que la liberación de N por esta leguminosa fue de 50 a 70 Kg. de N ha⁻¹. para el fin de la floración y representaba la alternativa mejor para el cultivo de verano posterior.

Parece claro entonces que en aquellos sistemas que incluyen solamente cultivos para grano, la alternancia con leguminosas anuales es una opción razonable para reducir la dependencia del fertilizante nitrogenado (Sawchik, 2001).

2.4.3.1 Leguminosas anuales en sistemas de cultivo continuo.

La inclusión de leguminosas anuales en sistemas de siembra directa bajo cultivo continuo puede ser una alternativa interesante para reducir las necesidades de fertilizante nitrogenado. La contribución será positiva en la medida que otros factores, como por ejemplo el uso del agua del suelo por la leguminosa, no sea limitante para el cultivo posterior (Sawchik, 2001).

En el sudeste de Estados Unidos éste es un tópico que ha sido muy estudiado. Smith et al., citados por Sawchik (2001) en una amplia revisión sobre el tema estimaron que diferentes especies de leguminosas anuales pueden acumular un promedio de más de 100 Kg. de N/ha en la parte aérea.

Estos autores estiman, basándose en varios experimentos, un valor de equivalente fertilizante de entre 75 y 100 Kg. de N/ha. Con éste cálculo en general se sobreestima la capacidad de aporte de N debido a que otros factores englobados en el concepto “efecto rotación” que no pueden ser separados del efecto del N.

En Uruguay, Torres et al. (1995) evaluaron el efecto de un trébol rojo de corta duración sobre la disponibilidad de N para cultivos de invierno y verano. El N acumulado en la parte aérea tuvo un rango de 60 a 150 Kg. de N/ha. En general los cultivos de invierno mostraron baja recuperación aparente del N proveniente del residuo de las leguminosas, pasando buena parte de éste al pool de N orgánico del suelo. En cambio en los cultivos de verano, la descomposición del residuo se vio acelerada por la temperatura y existió una buena sincronización entre la demanda de N por el cultivo y la oferta de N por parte del suelo.

En general el objetivo principal del uso de una leguminosa anual en una rotación de cultivos de grano es lograr la mayor sincronización posible de estos dos aspectos. Para ello es necesario conocer además como son los patrones de liberación de N de los residuos de leguminosas en superficie. Wilson y Hargrove, citados por Sawchik (2001) determinaron tasas de descomposición más lentas para residuos de leguminosas en superficie. El porcentaje de N remanente en los residuos a las 4 y 16 semanas fue de 40 y 31 % con laboreo convencional y 63 y 36 % con siembra directa, teniendo este sistema una mayor variación entre años.

Otro factor muy importante es determinar el momento óptimo de secado de la leguminosa para maximizar la residualidad de N para el cultivo siguiente.

2.4.3.2 Destino del nitrógeno del residuo de leguminosas

En evaluaciones con residuos marcados con N 15, Harris y Hesterman (1990) reportan valores promedio de recuperación de N marcado de residuos de alfalfa por un cultivo de maíz de 21 %. Los autores señalan que la recuperación fue más alta en un suelo con bajos tenores de N total y menores contenidos de carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana. Esto parece ser por una menor dilución del N15 en el pool de N del suelo en la situación más degradada.

La inmovilización del N marcado del residuo fresco por la biomasa microbiana y su sustitución por N del pool nativo probablemente expliquen la baja recuperación de N15 por la planta como sucede en otros estudios similares. Ladd y Amato, Crozier et al., citados por Sawchick (2001) sugieren que el mayor impacto en la incorporación de residuos de leguminosas es sobre la acumulación de N potencialmente mineralizable.

En general la recuperación de N proveniente del fertilizante es mayor que la proveniente de residuos de leguminosa. Harris et al. (1994) basados en un sumario de experimentos utilizando residuos de leguminosas marcados concluye que: a) menos del 30 % del N de los residuos de leguminosas fue recuperado por el cultivo siguiente, b) grandes cantidades de N provenientes de las leguminosas fueron retenidas en el suelo como N orgánico, c) la recuperación total del N de las leguminosas osciló entre un 70-90 % en el cultivo y el suelo luego de 1 año, d) menos de 5% del N de la leguminosa fue recuperado por un segundo cultivo.

Crozier et al. (1998) determinaron el destino de fertilizantes nitrogenados y residuos de leguminosas marcados en sistemas de producción de maíz. En este estudio un 8 y 3 % del N de la leguminosa fueron recuperados por el primer y segundo cultivo de maíz respectivamente. Estos mismos autores determinaron la recuperación de N por un cultivo de cebada con trébol rojo o fertilizante nitrogenado marcado. En el primer cultivo se recupero un 40 % del N proveniente del fertilizante y solo un 17 % del N de la leguminosa. En el suelo en cambio, se recupero un 47 % del N de la leguminosa y solo un 17 % del N del fertilizante. En definitiva grandes cantidades de N de las leguminosas son retenidos en el suelo en forma orgánica. Este autor detecto además que un porcentaje mayor de N estaba en el pool de biomasa microbiana cuando se agregaban residuos de leguminosas. La menor tasa de recuperación por el cultivo del N de residuos de leguminosas parece lógica en la medida que estos son un sustrato de carbono fresco para los microorganismos del suelo.

Otra forma de evaluar el destino del N residuo de las leguminosas es hacerlo indirectamente. Es la línea mas clásica de trabajo que estima el potencial de aporte de N en base al equivalente fertilizante (cantidad de N requerido para llegar a un rendimiento equivalente al obtenido después de la leguminosa) (Sawchik, 2001).

Bruulsema y Christie (1987) utilizando alfalfa y trébol rojo como cultivo previo al maíz encontraron que estas leguminosas aportaron en promedio de 90 a 125 Kg. de N/ha para el cultivo de maíz. En este caso la recuperación aparente de N fue 70% del N presente en los residuos de los cultivos anteriores, una cifra bastante mayor que la obtenida con la metodología anteriormente descrita. Aquí sin embargo están confundidos los efectos atribuibles directamente al N y otros indirectos (rotación de cultivos, enfermedades, etc.) que se engloban bajo el concepto “factor rotación”

Mc Cown et al. (1987) establecieron en base a datos de mineralización de residuos de leguminosas que la mayor contribución de N mineral para los cultivos después de pasturas de larga duración provenía del último año de la pastura. La contribución de N mineral proveniente de los residuos anteriores caía en forma exponencial.

En la región donde se utilizan leguminosas de zona templada, la persistencia del componente leguminosa es un factor crítico. La degradación de las pasturas por la aparición del pasto bermuda, gramon o gramilla *Cynodon dactylon* L. determina una pobre presencia del componente leguminosa en los últimos años de la misma. Esto lleva a que el residuo de la pastura aumente su relación C/N por lo que es muy probable que exista inmovilización neta de N al comienzo de la fase de cultivos, y disminución de la capacidad de aporte de N por las pasturas especialmente para el primer cultivo.

2.5 EL CULTIVO DE MAÍZ Y EL NITROGENO.

2.5.1 Concentración de nitratos en presiembra.

El nitrato en presiembra es una medida del N mineral residual y del generado por mineralización durante el barbecho, por lo que resulta de utilidad cuando la lixiviación de nitrato en el periodo previo a la siembra no es de magnitud y la mineralización en el periodo posterior a la siembra no es importante (Bock et al., citados por Andrade et al., 2002).

2.5.2 Fertilización del maíz.

La peor eficiencia del N en siembra directa se obtiene cuando se usa urea al voleo sin incorporar en V4-V6, y no llueve posteriormente. Si se incorpora con cuchillas su capacidad de incrementar el rendimiento aumenta considerablemente (Galarza et al., 2001).

Stecker et al., citados por Achaval et al. (1998), trabajando con maíz en cero laboreo reportaron incrementos significativos en la producción de granos en respuesta al incremento en la fertilización nitrogenada de 0 a 202 Kg. de N/ha (aplicados en cobertura luego de la siembra). Ellos obtuvieron respuestas de 21, 17.2 y 12 Kg. de

grano/Kg. de N agregado para dosis de 67, 135 y 202 Kg. de N/ha. Los suelos con los que trabajaron tenían entre 1.7 y 2.5 % de materia orgánica.

Howard y Tyler, citados por Achaval et al. (1998), trabajando sobre suelos con un contenido de materia orgánica de 1.4 % y con dosis de 56, 112, 168 y 224 Kg. de N/ha (aplicados a la siembra y con cero laboreo) obtuvieron respuestas de 34, 23.2 y 11.3 Kg. de grano de maíz/Kg. de N agregado. Se aprecia que el incremento en las dosis de N trajo aparejado una disminución en el rendimiento de grano por Kg. de N agregado, de tal forma que la respuesta a la dosis mayor de N usada no fue significativa.

Eik y Hanway (1966), encuentran que un incremento en la disponibilidad de N, aumenta el número de hojas formadas por planta, el tamaño de las mismas, su tasa de emergencia y la expansión del área foliar.

Linscott et al. (1962), determinaron que la fertilización nitrogenada causó sistemas radiculares mas extendidos y mas profundos en plantas de maíz.

Nelson, citado por Achaval et al. (1998), mencionó que varios investigadores concuerdan en que la adición de urea a suelos cubiertos de residuos de plantas o con mulch orgánico en superficie, resulta en mayores pérdidas por volatilización de amoníaco en comparación a aplicaciones sobre suelo desnudo. Esto se debería a la limitada capacidad de intercambio catiónico que poseen los residuos orgánicos. De esta forma menos amonio es retenido en los sitios de intercambio de dichos residuos, cuando se compara a la retención en los sitios de intercambio del suelo.

2.5.3 Oferta de N al cultivo de maíz.

Si bien es posible estimar con cierta precisión la cantidad de N mineral presente en el suelo a la siembra, considerando el contenido de nitrato hasta la profundidad de exploración radical, la estimación del aporte de N por mineralización por parte del suelo durante el ciclo del cultivo es ciertamente más compleja.

La falta de agua afecta tanto la demanda de nutrientes por el cultivo como la oferta de dichos nutrientes por parte del suelo. Estos componentes pueden ser afectados diferencialmente por una sequía según el momento de ocurrencia de la misma. Por ejemplo, la escasez de agua durante el barbecho y las primeras etapas del ciclo vegetativo, seguida por buena disponibilidad hídrica durante la floración, reducen en mayor medida la oferta que la demanda de N, por lo que la respuesta a la fertilización aumenta. Contrariamente, buena disponibilidad de agua en el barbecho y en el periodo vegetativo, seguida por sequía en floración, reducen más la demanda que la oferta, por lo que la respuesta a la fertilización disminuye (Andrade et al., 2002).

Andrade et al. (2002) en el artículo requerimientos de nutrientes minerales concluye: una buena disponibilidad nutricional, especialmente durante los momentos en que los nutrientes son requeridos en altas cantidades posibilita un buen crecimiento foliar y una alta eficiencia de conversión de radiación interceptada en biomasa. Esto asegura un óptimo estado fisiológico del cultivo en los momentos decisivos para la determinación del rendimiento.

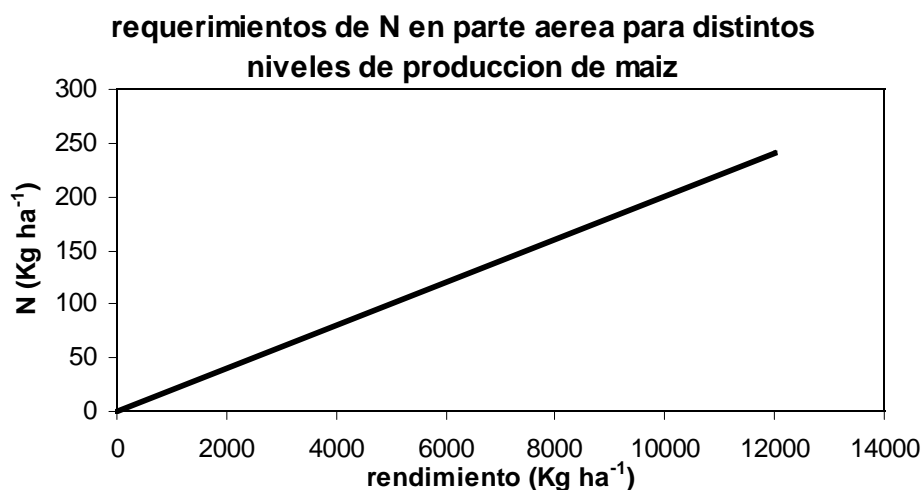
McInnes et al. (1986) reportaron que las pérdidas de amoníaco por volatilización son mínimas cuando se aplica urea a suelos secos en superficie o bien cuando se producen precipitaciones importantes (mayores a 10 mm) luego de la aplicación. Sin embargo ellos detectaron pérdidas importantes de N como amoníaco cuando las precipitaciones fueron escasas (menores a 10 mm). Esto se debe a que si la superficie del suelo está seca, no hay hidrólisis de urea por lo que las pérdidas de amoníaco se minimizan. Cuando el suelo está húmedo y permanece en tal condición las pérdidas también se minimizan debido a que el amonio resultante de la hidrólisis de la urea puede penetrar en el suelo. Esto último también puede suceder cuando ocurren precipitaciones de cierta magnitud luego de la aplicación del fertilizante. En el caso de ocurrir precipitaciones escasas (3-4 mm por ejemplo) sobre un suelo seco en compañía de alta demanda atmosférica, la rápida evaporación del agua provoca un incremento en la concentración de amonio lo que trae aparejadas grandes pérdidas de amoníaco (Baethgen, 1996).

2.5.4 Dinámica de la acumulación de nitrógeno.

En Balcarce, en ensayos conducidos bajo riego y sin limitaciones nutricionales, el maíz sembrado a mediados de octubre alcanzó a acumular a cosecha 300 Kg. ha⁻¹ de N en la parte aérea, lo que significa 23 Kg. N en la parte aérea por cada tonelada de grano producido y el índice de cosecha del N fue de 0.69. Obteniéndose un rendimiento en grano de 13000 Kg. ha⁻¹.

Los requerimientos de N por unidad de rendimiento se asocian directamente con el porcentaje de proteína en grano, que ronda el 10 % para maíz (Andrade et al., 2002).

Para maíz se hallaron valores de 20 Kg. de N por tonelada de grano como requerimiento para producir una unidad adicional de rendimiento, valores que se ven en la pendiente del siguiente gráfico.

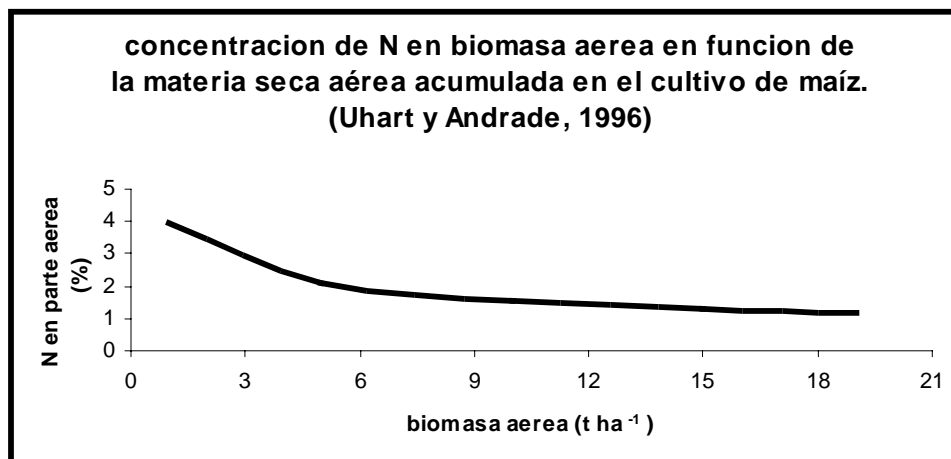


Fuente: adaptado de Andrade et al. (2002).

2.5.4.1 Curvas de dilución del N

La concentración de N en la planta que permite al cultivo alcanzar la máxima tasa de crecimiento es denominada concentración crítica. A medida que la planta crece la concentración de N tiende a disminuir debido a un fenómeno de “dilución” (Andrade et al., 2002).

Al analizar la relación entre concentración de N en biomasa aérea y su peso seco, incluyendo datos de diferentes híbridos de maíz cultivados en diferentes regiones del mundo, Greengood et al. (1990), Andrade et al. (1996) se obtuvo una única ecuación de ajuste. $Y = 4.11 x^{-0.42}$ $r^2 = 0.91$



Fuente: adaptado de Uhart y Andrade (1996).

2.5.5 Concentración de nitratos a V5-V6.

El contenido de nitrato en este momento representa no solo el N mineral presente a la siembra del cultivo, sino también al aporte por mineralización y las pérdidas de N, para las condiciones ambientales y de manejo de cada lote en particular. Además, hasta el estadio de 4 a 5 hojas, la cantidad de N absorbido por el cultivo es muy bajo (Uhart et al., 2002).

García et al., citados por Uhart et al. (2002) en Balcarce, determinaron un umbral entre 15 y 24 ppm de N-NO³ en los primeros 0.3 m. de profundidad, correspondiendo los menores valores a cultivos de secano y los mayores para cultivos bajo riego y siembra directa.

Sims et al., citados por Achaval (1998), encontraron en sus experimentos, que no hubo respuesta al agregado de N con valores de N-NO₃ en suelo de 17 ppm, en planicies de la costa atlántica de USA, aunque el rango de respuesta a la fertilización nitrogenada que se encuentra en la literatura y según los autores y condiciones experimentales, oscila entre 17 y 25 ppm.

2.5.6 Concentración de nitrógeno en diferentes órganos de la planta.

Para interpretar los resultados se usan diferentes métodos, entre ellos, i) el de la concentración crítica, que se define como la concentración que se relaciona con una caída en el rendimiento del 10 %, o cuando aparecen síntomas visibles de deficiencia y ii) el de rango de suficiencia, que se define como el rango de concentración desde la crítica hasta el punto en que se produce toxicidad por exceso del elemento en la planta. (Jones, citado por Uhart et al., 2002).

En maíz, la hoja que envuelve la espiga es el órgano más comúnmente utilizado para el análisis de nutrientes. No obstante, la determinación en tallo y en grano también han sido utilizados para monitorear la nutrición nitrogenada del cultivo.

En tal sentido, en ensayos realizados por Uhart, citado por Uhart (2002), determinó la concentración crítica de N en hoja en V6 de 2.8 % y a los 15 días prefloración fue 2.4 %, respectivamente, en tallo a los 15 días prefloración fue de 1.3 % y en tallo a la cosecha fue de 0.35 % y en grano de 1.2 %.

Olson y Sander, Jones, citados por Uhart et al. (2002) encuentran un rango de suficiencia de N en hojas en momentos cercanos a la floración de 2.75 a 3.5 %

Voss et al. (1970) mencionaron que la concentración de N para lograr un 95% de la producción máxima depende de variables como ser el cultivo anterior, densidad de plantas, potencial de producción del suelo y contenido de humedad del mismo. Sus experimentos sugieren que la interpretación de los análisis de tejidos deben incluir

consideraciones a cerca de factores de suelo, de manejo y climáticos y mencionan para la zona donde se realizo el ensayo (oeste de Iowa, USA) que con 2.9% de N en hoja a floración es posible obtener un 95% de la producción máxima (6440 Kg. de grano de maíz/ha).

Dumenil (1961), propone como nivel critico en la sexta hoja de maíz al momento de la floración, 2.9% de N y que para obtener el 95% de la producción máxima en maíz se requiere una concentración de N en hoja comprendida entre 2.6 y 3.1 %.

Triplett y Van Doren, citados por Achaval (1998) trabajando con tres dosis de N, determinaron que el contenido de N en hojas de maíz luego de floración aumento en forma significativa al aumentar la dosis de N de 67 a 134 Kg. de N/ha (2.42 vs. 2.53 % respectivamente). Sin embargo no hubo respuesta a la dosis mayor (268 Kg. /ha).

Fox et al. (1986) reportaron niveles de N en hoja de 2.3 a 2.72 % para dosis de N de 59 a 67 y de 97 a 134 Kg./ha respectivamente. Los rendimientos obtenidos para ambos grupos de dosis de N fueron 6600 y 8200 Kg. de grano de maíz/ha.

2.5.6.1 N en grano

Schussler y Westgate (1991) encuentran que la concentración de N en grano esta en el entorno del 3 % desde el cuarto día pos polinización en los tratamientos sin estrés, mientras que en los tratamientos sometidos a estrés por déficit hídrico, la concentración cae de 4 a 3 % desde el 4 al 9 día de llenado de grano, siendo esto similar a lo que ocurre con la concentración de carbohidratos en el grano, y esto ocurre porque en situación de estrés no existe o es negativa la traslocacion tanto de N como de carbohidratos hacia la espiga.

En Balcarce, Andrade et al. (1996) en cultivos de maíz sin limitaciones hídricas ni nutricionales, (excepto N) encuentran para maíz valores de nitrógeno en grano a cosecha de 12 g Kg⁻¹. Cerrato y Blackmer, citados por Andrade et al. (1996), encuentran valores similares (13-14 g Kg⁻¹).

2.5.7 Índice de cosecha del nitrógeno.

Uhart y Andrade, citados por Andrade et al. (1996) encuentran IC para el nitrógeno de 0.59 a 0.69, en cultivos conducidos en Balcarce, sin limitantes nutricionales.

Steinbach et al. (2005) en una red de ensayos en la pampa ondulada argentina donde se trataba de realizar un ajuste en la estimación de los requerimientos de N del cultivo de maíz, se encontró que el ICN mostró una débil relación negativa con el N absorbido ($r^2 = 0.12$) pero la concentración de N en grano y en paja aumento con el N

absorbido. También se muestra que el cultivo fue menos eficiente en convertir materia seca en grano cuanto mayor fue el N absorbido.

2.5.8 Efectos del N en la emisión de estigmas en maíz.

Rossini et al. (2005) experimentando sobre la emisión de estigmas y efectos del N, entre otras variables, conduciendo el ensayo libre de plagas y bajo riego, en parcelas con y sin limitación de N, concluye que; la baja disponibilidad de N en el suelo modifico en los híbridos, la dinámica de emisión de estigmas, siendo significativo el retraso a primera anthesis que provoco la condición de N limitante.

2.5.9 Respuesta a N y distancia entre hileras en secano.

En experimentos llevados a cabo en las zafras 2001/02 y 2002/03 en Balcarce por Barbieri et al. (2005), en SD y monocultivo de maíz desde 1995 con una cobertura de rastrojo de entre 8 y 9 mil Kg ha⁻¹.encuentran que la reducción de la distancia entre hileras y el agregado de N incrementa los rendimientos del cultivo de maíz bajo SD en condiciones de moderado estrés hídrico. Sin embargo, los incrementos de rendimiento asociado a las variables a prueba, fueron mayores en el primer año (26%) que en el segundo (16%) registrándose en este ultimo año mayores déficit hídricos en prefloración y llenado de granos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el potrero 31 de la estación experimental Dr. Mario A Casinoni de la facultad de agronomía en el departamento de Paysandú (10 Km al sur de la ciudad de Paysandú) en el verano 2005-2006, en el marco de una secuencia de cultivos ya instalada en agricultura continua y en siembra directa.

Sobre suelos de la unidad San Manuel según la carta 1:1.000.000 del MGAP (1976).

El tipo de suelo es Brunosol Eutrítico Típico (según sistema de clasificación USDA) con 12 ppm de fósforo (Bray I) a la siembra y las densidades aparentes para el cálculo de agua disponible en este suelo fueron extraídas de un trabajo realizado en el año 1994 en el área experimental (Fleumer, 1994) y se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 1. Densidad aparente en los distintos estratos del perfil del suelo en el que se condujo el ensayo.

Prof. (m)	D. Ap (Kg. dm ³)
0 - 0.10	1.32
0.10 - 0.20	1.30
0.20 - 0.35	1.36
0.35 - 0.50	1.36
0.50 - 0.70	1.31

Fuente: Fleumer (1994).

El área experimental es mantenida en agricultura sin laboreo desde hace 8 años y allí se instalaron las 4 parcelas de 5 metros de ancho por 30 de largo (diseño de parcelas al azar con tres repeticiones) en las cuales se practican desde el año 2003 las secuencias de cultivos que detalla el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Detalle de la secuencia de cultivos que antecedieron al cultivo de maíz, incluidas las coberturas.

Verano03/04	Inv.04	Ver.04/05	Inv.05	Ver. 05/06
Soja	Trigo	Soja	Barbecho	MAÍZ
Soja	Trigo	Soja	Alejandrino	MAÍZ
Soja	Trigo	Soja	Raigrás	MAÍZ
Soja	Trigo/t. rojo	T. rojo	T. rojo	MAÍZ

Las secuencias de cultivo analizadas en este estudio forman parte de una experiencia más amplia que estudia el efecto de agricultura continua en siembra directa y se esquematiza en el siguiente cuadro.

El tratamiento último incluye t. rojo sustituyendo al cultivo de soja intermedio, funcionando como un sistema que rota praderas cortas con agricultura.

3.1 TRATAMIENTOS

Los tratamientos evaluados fueron 4 en dos manejos del barbecho invernal; sin cultivo de cobertura (barbecho) y con cultivo de cobertura donde se evaluaron 3 cultivos distintos (una gramínea anual: *Lolium multiflorum*, y dos leguminosas: *Trifolium alexandrinum* y *Trifolium pratense*) por cuatro dosis de nitrógeno (0, 30, 60 y 90 Kg. ha⁻¹) agregados como urea al estado de 6 hojas del cultivo de maíz, cuantificando así el efecto del manejo del barbecho invernal.

3.1.1 Sin cobertura. Barbecho.

El tratamiento sin cobertura se mantuvo sin cultivos desde la cosecha del cultivo de soja en el verano anterior hasta la siembra del maíz. Se le aplicó 3,5 litros ha⁻¹ de glifosato el 2 de setiembre con 200 litros de agua ha⁻¹.

3.1.2 Con cobertura. *Trifolium alexandrinum*.

El trébol alejandrino se sembró al voleo el día 6 de abril de 2005 con 14 Kg. Ha⁻¹ de semilla y se le aplicó herbicida estarané el 23 de agosto a razón de 1 litro ha⁻¹ para comenzar el barbecho presiembra del maíz.

3.1.3 Con cobertura. *Lolium multiflorum*.

El raigrás se sembró al voleo el día 6 de abril de 2005 con 20 Kg Ha⁻¹. de semilla, pero el 19 de mayo se resembró por la baja implantación obtenida inicialmente. Se le aplicó 3,5 litros ha⁻¹ de glifosato el 2 de setiembre con 200 litros de agua ha⁻¹.

3.1.4 Con cobertura. *Trifolium pratense*.

El trébol rojo fue sembrado el 9 de junio de 2004, asociado a un cultivo de trigo, por lo tanto es una cobertura que está en su segundo año. Al igual que el tratamiento con alejandrino, se le aplicó estarané el día 23 de agosto a razón de 1 litro por ha⁻¹ para comenzar el barbecho presiembra del maíz.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue un factorial completo al azar, siendo las coberturas la parcela mayor y las dosis de nitrógeno la parcela menor. En el caso de la dosis 60 de N a V6, como fue regada solo se analizó el efecto de las coberturas. Para las restantes dosis de nitrógeno si se probaron los efectos principales y las interacciones (cobertura * nitrógeno).

Cuadro 3. Esquema del diseño experimental usado.	
Cobertura	Dosis de N a V6
Barbecho limpio	0
Barbecho limpio	30
Barbecho limpio	60
Barbecho limpio	90
Trébol alejandrino	0
Trébol alejandrino	30
Trébol alejandrino	60
Trébol alejandrino	90
Raigrás	0
Raigrás	30
Raigrás	60
Raigrás	90
Trébol rojo	0
Trébol rojo	30
Trébol rojo	60
Trébol rojo	90

La parcela mayor (que corresponde a la cobertura) tiene un tamaño es de 120 m² (10 surcos de maíz por 24 m de largo), cruzada luego con cuatro dosis de Nitrógeno asignadas al azar en las parcelas menores que tienen en consecuencia una superficie de 30 m² (10 surcos de maíz por 6 m de largo).

Al estadio de V6 es cuando se dividieron las parcelas mayores en cuatro menores asignando al azar a cada una de ellas una dosis de N.

Sobre el cultivo de maíz se cuantifican los efectos de la cobertura anterior, en función de la respuesta del cultivo a 4 niveles de fertilización nitrogenada en forma de urea (0, 30, 60 y 90 unidades de nitrógeno Ha⁻¹) aplicadas a V6.

3.3 MANEJO DEL CULTIVO DE MAÍZ.

La siembra del maíz fue realizada el día 28 de octubre con el híbrido NK 900 td máx. con una sembradora de siembra directa Semeato SH 11 de doble disco desfasado de 5 líneas distanciadas 0.5 m. ente sí y a una densidad de siembra de 4.5 semillas/metro lineal, buscando una población objetivo de 70 mil plantas ha⁻¹. De inmediato luego de la siembra se aplicó una mezcla de atrazina y acetoclor (1.2 + 1 L ha⁻¹ respectivamente) y 2.5 litros Ha⁻¹ de glifosato.

Previo a la siembra, la semilla fue curada con Gaucho (imidacloprid) a razón de 600 gr cada 100 Kg. de semilla.

La fertilización a siembra consistió en la aplicación de 60 Kg de urea.

Al estado de V6 se aplico N en forma de urea siguiendo el diseño experimental.

El déficit hídrico durante todo el ciclo de crecimiento del maíz agravado durante el periodo crítico del cultivo, obligó a tomar algunas determinaciones en el transcurso del experimento. Se decidió entonces el día 5 de enero regar con 50 mm a todas las coberturas pero solo a las dosis 60 UN por una razón operativa ya que no estaba previsto, por lo tanto tampoco existe la infraestructura de riego en el área experimental.

Esto implica que se excluya del diseño original a la dosis de N 60, la cual se considera en mas, como un experimento aparte con tres repeticiones, que evalúa el efecto de el manejo del barbecho invernal sobre un cultivo de maíz en siembra directa y con el agregado de 60 Kg. ha⁻¹ de N en V6 y 50 mm de agua de riego en su etapa crítica de construcción del rendimiento.

3.4 DETERMINACIONES

- Previo a la siembra (durante el barbecho)

Se midió la cantidad de MS correspondientes a las coberturas al momento de matarlas y también la cantidad de rastrojo presente en el tratamiento sin cobertura tomando muestras que consistieron en tres tiradas del cuadro de 0.3 m de lado secando la misma en estufa a 60°C hasta peso cte.

A la misma muestra se le determino el porcentaje de N (Kjeldahl) en los casos de barbecho y T. rojo.

Se muestreo suelo extrayendo 5 tomas (0-0.2 m de profundidad) en cada parcela para analizar nitratos y fósforo a la siembra del maíz.

- A la siembra

Contenido de nitratos y fósforo en suelo

- En el cultivo

Se designaron por sorteo las dosis de N (0, 30, 60 y 90 unidades) a cada una de las parcelas menores.

Numero de plantas/Ha, MS acumulada y % de N (Kjeldahl) en planta a V6

Para estimar el n° de plantas/Ha en cada parcela menor se contaron las plantas en 5 metros lineales de una hilera y en sus dos contiguas.

Para estimar MS acumulada, se cortaron 5 plantas representativas de cada parcela menor y se las seco en estufa a 60°C hasta peso cte, determinando en ellas mismas el % de N.

-MS acumulada a floración discriminada por hojas y tallos y hoja opuesta a la mazorca determinando % N en cada una de estas partes de la planta.

Se cortaron de una hilera 10 plantas consecutivas y se les separó el tallo por un lado y las hojas por otro, apartando de estas ultimas a la hoja opuesta a la mazorca. A cada muestra por separado se las secó en estufa para estimar MS y luego se determino % de N a cada muestra.

-altura de plantas a floración

Se midió con regla graduada cada cm., la altura de 8 plantas consecutivas dentro de una hilera en cada parcela menor.

-temperatura foliar a floración

En cada parcela menor se tomó con termómetro digital la temperatura de 5 plantas midiendo en sus hojas totalmente expandidas del medio de la planta. Al mismo tiempo se registraba la temperatura del aire con un termómetro ubicado en el área experimental.

Ésta determinación fue realizada al comienzo y al final de la floración.

-IAF y DIFN a floración, utilizando el equipo LAI 2000.

-Población a cosecha.

Se contaron en el campo todas las plantas correspondientes al área de cosecha, infiriendo luego la población en plantas ha-1.

-Mazorcas a cosecha.

Se contaron en el campo las mazorcas correspondientes al área de cosecha

-MS acumulada a cosecha y rendimiento con sus componentes.

Para determinar rendimiento se cosechó manualmente el grano de 4 hileras en 4 metros en cada una de ellas, contando en el campo la cantidad de mazorcas y la cantidad de plantas en esos 16 metros resultantes.

Se pesó el grano obtenido de la cosecha de cada parcela menor y se midió la humedad corrigiendo luego a 13%.

Del grano cosechado en cada parcela menor, se saco una muestra que fue molida para determinar % N así como también fue analizado el % de N del resto de la planta.

El peso de mil granos (PMG) fue inferido a partir de pesar tres lotes de 100 granos corregida la humedad al 13%.

-determinación del IC

Se obtuvo como la relación entre la cantidad de grano obtenida en base seca y la cantidad de MS aérea generada a cosecha.

-lecturas de humedad gravimétrica con una frecuencia aproximada de 20 días mediante la extracción de una muestra de suelo con un cilindro propulsado con el sistema hidráulico de un tractor y a intervalos de 0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.35, 0.35-0.5 y 0.5-0.7 m de profundidad. Las muestras eran secadas en estufa a 105°C hasta peso cte. donde por diferencia se calcula el porcentaje en peso de agua que contenía el suelo, infiriendo luego, la cantidad de agua útil y utilizando para esto el dato de densidad aparente del suelo. Tales determinaciones fueron realizadas desde el invierno anterior al cultivo de maíz, y a partir del estadio de 6 hojas del cultivo de maíz, se calibro una sonda electrónica con la que se siguió obteniendo el dato de agua disponible en el perfil hasta 0.7 m. de profundidad y hasta la madurez fisiológica del cultivo, pero solo se realizo esta lectura con la sonda para las subparcelas que luego de V6 correspondieron a la dosis 60 UN.

- Luego de la cosecha del maíz

-determinación de N-NO₃ residual en el suelo.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el caso de la dosis 60 de N a V6, como fue regada solo se analizo el efecto de las coberturas. Para las restantes dosis de nitrógeno si se probaron los efectos principales y las interacciones (cobertura * nitrógeno). La separación de medias se realizo a través de la MDS al 10 % de probabilidad de error. Los resultados fueron analizados utilizando el PROC mixed del sistema Statical Análisis Sustem (Ver. 6.11 1996; SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, NC, USA).

4. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS EN EL PERIODO DEL CULTIVO.

4.1.1 Precipitaciones

La situación climática del verano 2005/06 fue signada por la escasez e irregularidad de las lluvias, sumado a una alta demanda atmosférica que condicionó de manera drástica el éxito del cultivo de maíz.

No solo las escasas precipitaciones sino también la irregularidad de las mismas con un periodo de más de 45 días entre V6 y floración en que solo llueven 12 milímetros son la causante del estrés por falta de agua que afecto al cultivo en su fase vegetativa y también en la floración.

Luego de la floración, el 80 % de la lluvia de enero se concentra entorno al día 15 siguiendo luego la escasez de precipitaciones durante todo el llenado de granos.

El grafico siguiente compara el régimen hídrico de ésta zafra tomando desde los meses de agosto a febrero inclusive con una serie histórica de 25 años (1971 a 1995) para los mismos meses.

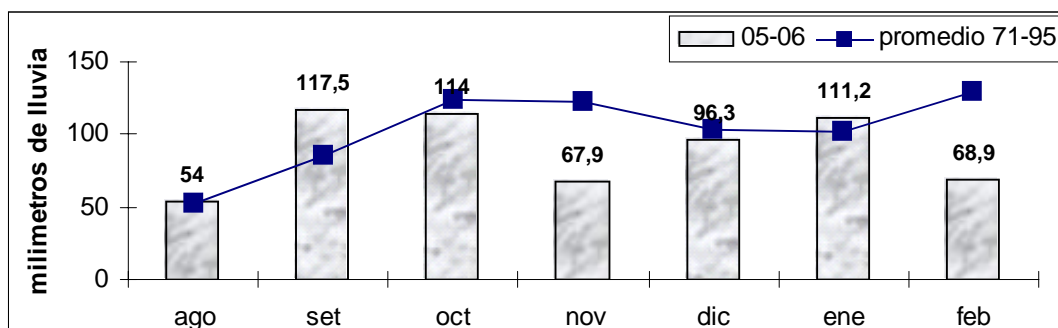


Figura 1. comparacion de precipitaciones medias historicas para el ciclo del cultivo y las registradas durante ese periodo.

	ago	sep	oct	nov	dic	Ene	feb	total ago- feb
05-06	54	117,5	114	67,9	96,3	111,2	68,9	629,8
promedio 71-95	52,3	85,8	123,8	122,9	103,8	101,6	129,1	719,2

Diciembre			Enero		
1ª década	2ª década	3ª década	1ª década	2ª década	3ª década
95 mm.	0.7 mm.	0.9 mm.	10.3 mm.	82 mm.	19 mm.

Si bien en el mes de nov. Las precipitaciones son escasas, y las temperaturas son mas altas que la media histórica (por lo cual inferimos que la demanda atmosférica es mayor) consideremos que el cultivo demanda poca agua ya que su acumulación de biomasa es todavía muy baja (estadio V4-5) y el suelo seria quien la provea, ya que estaba muy próximo a su capacidad de campo al momento de la siembra para todos los tratamientos.

El 3 de diciembre el cultivo llega a V6, y de aquí en adelante durante todo el mes, es de esperar altas tasas de acumulación de biomasa, pero el 98% de las precipitaciones del mes se concentran en el mismo día 3 de diciembre, no registrándose precipitaciones relevantes hasta el día 13 de enero, cuando ya casi se termina el periodo de floración. A esto le sigue un mes de febrero con solo 70 mm de precipitaciones (Casi la mitad con respecto a la media histórica) y con altas temperaturas.

4.1.2 Temperatura

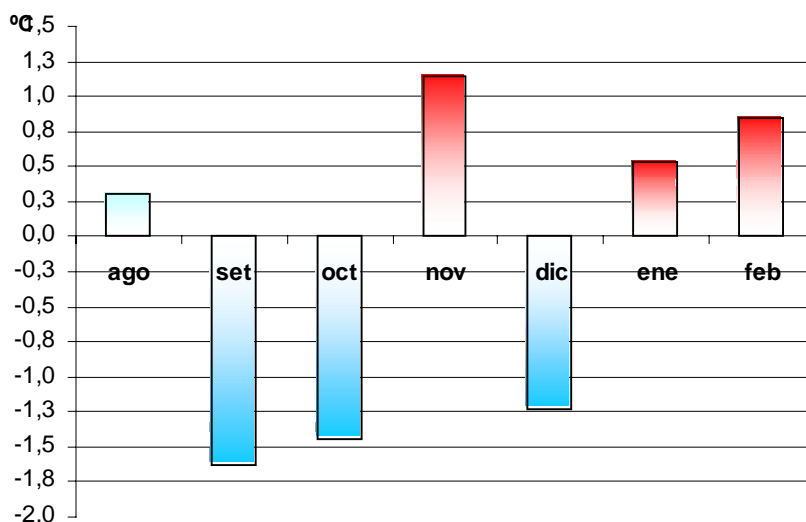


Figura 2. diferencia de temp.con respecto a la media histórica para el ciclo del cultivo.

Temperaturas medias

Cuadro 4. Temperaturas medias mensuales para los meses del cultivo comparado con una serie histórica (1971-95) para los mismos meses.

Año	ago	set	oct	nov	dic	ene	Feb
05-06	13,6	13,3	16,3	21,5	22,2	25,6	24,6
Prom.71-95	13,3	14,9	17,8	20,3	23,4	25,1	23,8
Diferencia	0,3	-1,6	-1,4	1,2	-1,2	0,5	0,8

Con un mes de noviembre con menos precipitaciones que la media histórica pero con temperaturas de más de un grado centígrado por encima de la media, y con agua suficiente en el perfil del suelo como para satisfacer la demanda del cultivo en esa fase de su desarrollo, el cultivo de maíz alcanza 35 días después de la siembra, el estadio de 6 hojas.

4.2 EFECTOS DE LAS COBERTURAS HASTA LA SIEMBRA DEL MAÍZ.

Cuadro 5. Efecto de las coberturas (CC) sobre el agua disponible en el suelo (0-0.7-m prof., según día del año DDA) a diferentes momentos antes de la siembra del maíz, biomasa acumulada de las coberturas y el contenido de nitratos en el suelo a la siembra. (La siembra del maíz fue el DDA 301).

	Efecto CC
Agua en suelo (0-0.7 m. de prof.) al matar las coberturas (DDA 238).	ns
Agua en el suelo DDA 259.	**
Agua en el suelo DDA 280.	ns
Agua en el suelo (implantación del maíz). DDA 304.	ns
Biomasa acumulada por las coberturas	***
Nitratos en suelo a la siembra del maíz.	*

ns = no significativo, * = 0.10, ** = 0.05, *** = 0.01

4.2.1 Biomasa y nitrógeno acumulados por las distintas coberturas invernales y nitrógeno como nitratos en el suelo a la siembra del maíz.

Cuadro 6. Biomasa acumulada para cada manejo de la cobertura invernal al momento del comienzo del barbecho presiembra del maíz y concentración de nitratos en suelo a la siembra del maíz.

Tratamiento	MS acumulada (Kg. ha-1)	N-NO ₃ (ppm) a la siembra del maíz.
Barbecho	286 c	14.4 a
Alejandrino	1025 b	7.2 b
Raigrás	1493 a	5.2 b
T. rojo	1639 a	10.0 ab

Valores seguidos de igual letra dentro de columnas no difieren entre sí (p<0.10).

Raigrás y trébol rojo son las dos coberturas que al momento de matarlas para comenzar el barbecho presiembra del maíz, alcanzan mayor acumulación de MS, mientras que alejandrino logra una acumulación significativamente menor. En el caso de barbecho es baja la cantidad de rastrojo que queda aun sin degradarse de la soja que creció en el verano anterior.

En cuanto al contenido de nitratos, los tratamientos cuyas coberturas fueron alejandrino y raigrás son los que acumulan menos nitratos a la siembra, mientras que cuando la cobertura fue trébol rojo, el nivel de nitratos es tan alto como en barbecho y tan bajo como alejandrino y raigrás.

4.2.2 El N de las coberturas.

El dato de concentración de N en el rastrojo colectado en barbecho dio valores de 1%.

Para los demás tratamientos, no contamos con el dato de concentración de N en las coberturas por lo cual y a fin de la discusión citamos los datos que publica INIA (valor adaptado de serie técnica 142 de INIA (2004), calculado a partir del % de proteína cruda considerando que un 16 % de las proteínas es N.) analizando un número importante de muestras, que son de 3.5, 4.2 y 3.6 % para alejandrino, raigrás y trébol rojo respectivamente.

A priori e independientemente de los resultados que se obtengan en el cultivo de maíz, que se usa como medio indirecto para evaluar las coberturas, y considerando que en barbecho o raigrás no ingresa N al sistema (ya que los aportes del rastrojo de estos tratamientos es N del propio sistema que está en reciclaje) entonces con el correr de los años o vale decir de los cultivos que en mayor o menor medida van extrayendo N, vamos sin duda perdiendo este nutriente del suelo, y es aquí la ventaja de la leguminosa como cultivo de cobertura en un esquema de agricultura continua. Para nuestro experimento, la cobertura con trébol alejandrino y trébol rojo estarían aportando 32.3 Kg. y 53 Kg. Ha⁻¹ de N respectivamente, asumiendo que el 90 % del N contenido en las leguminosas cuando se mataron era proveniente de la FBN (valor extrapolado de la literatura existente al respecto, teniendo presente que la estación de crecimiento de los cultivos cobertura fue invierno, donde los valores de FBN son más altos).

4.2.3.1 Agua en el suelo.

Cuadro 7. Agua disponible en el suelo en milímetros (0-70 –m prof.) según manejo de las coberturas invernales para los diferentes momentos evaluados desde que se mataron las coberturas hasta la implantación del maíz.

Día del año. (DDA)	Precipitaciones en el periodo (mm)	Barbecho	T. alejandrino	Raigrás	T. rojo.
238 26 ago		124 a	119 a	109 a	110 a
259 16/9	53	167 a	160 a	147 b	140 b
280 7/10	111	162 a	169 a	166 a	163 a
304 31/10	68	140 a	129 a	127 a	124 a

Letras iguales dentro de cada medición (filas) no difieren entre sí (p<0.10).

Cuadro 8. Efectos del manejo del barbecho invernal en el AD según profundidad para los diferentes momentos evaluados.

Profundidad en metros	DDA 238 (26 ago)				
	Barbecho	T. alejandrino	Raigrás.	T. rojo.	MDS
0-0.1	14.5 a	7.8 a	11.8 a	12.5 a	
0.1-0.2	12.1 a	10.9 a	8.7 a	12.6 a	
0.2-0.35	32.6 a	33.0 a	34.1 a	33.6 a	
0.35-0.5	28.3 a	31.6 a	27.0 a	25.3 a	
0.5-0.7	36.4 a	35.3 a	27.8 a	26.1 a	
	DDA 259 (16 set)				
0-0.1 *	25 a	21.4 ab	19.7 b	20.2 b	4.4
0.1-0.2	22.3 a	20.9 a	23.1 a	18.5 a	
0.2-0.35	40.2 a	39.1 a	37.9 a	35.0 a	
0.35-0.5	36.1 a	37.4 a	32.0 a	43.7 a	
0.5-0.7	43.1 a	41.6 a	34.0 a	32.0 a	
	DDA 280 (7 oct)				
0-0.1	25.3 a	25.2 a	26.0 a	25.2 a	
0.1-0.2	22.3 a	24.2 a	25.3 a	24.7 a	
0.2-0.35	39.0 a	45.1 a	42.3 a	47.1 a	
0.35-0.5	34.0 a	35.2 a	35.0 a	34.6 a	
0.5-0.7	41.0 a	39.9 a	37.4 a	31.8 a	
	DDA 304 (31 oct)				
0-0.1	14.1 a	15.7 a	19.4 a	18.0 a	
0.1-0.2	15.2 a	18.5 a	21.6 a	17.5 a	
0.2-0.35	41.6 a	38.0 a	31.7 a	36.2 a	
0.35-0.5 **	35.4 a	25.2 c	29.1 b	28.2 bc	3.4
0.5-0.7	33.7 a	31.5 a	25.3 a	24.1 a	

Letras iguales dentro de cada medición (filas) no difieren entre si ($p < 0.10$).

• = 0.10, ** = 0.05, *** = 0.01

•

La presencia en superficie de una capa de residuos en condiciones de siembra directa maximiza la ganancia y minimiza las pérdidas de agua (Ernst y Siri, 1995), lo que es sustancialmente importante para mantener la humedad en el suelo cuando aun el cultivo no realiza un uso importante de la misma (en sus etapas tempranas del ciclo). En este sentido es esperable de alguna manera que se den tazas de acumulación de agua en suelo diferentes según haya o no coberturas o incluso entre ellas en el caso que se registran diferencias en la cantidad de residuos que dejan en superficie. En el resumen de AD (Figura 8) puede verse la evolución del agua en el suelo para los distintos tratamientos en el perfil hasta 0.7 m. de profundidad y desde 63 días antes de la implantación del maíz y durante todo su ciclo.

Basados en una serie de lecturas de humedad en el sitio experimental y utilizando datos de densidad aparente calculados para la misma área por Fleumer (1996), determinamos una capacidad de almacenaje de agua disponible (AD) del suelo del entorno a los 160 mm en el perfil de 0 a 0.7 m. de profundidad, valor que es mas alto al de 120 a 130 mm, mencionado por Molfino y Califra (2001).

Las fechas en que se leyó la humedad en el suelo están indicadas desde el día 26 de agosto de 2005 (DDA 238), que fue cuando se mataron las coberturas y luego periódicamente cada aproximadamente 20 días y leyendo en estratos correspondientes a 0-0.1, 0.1-0.2, 0.2-0.35, 0.35-0.5 y 0.5-0.7 m. de profundidad, lo que permite hacer comparaciones de agua disponible entre tratamientos coberturas tanto en todo el perfil como por estrato en que se realizo la lectura.

La primera fecha desde que se tiene dato de AD (26 de agosto de 2005) no se registraron diferencias significativas en todo el perfil y tampoco por estratos.

En la fecha siguiente sin embargo (DDA 259) (42 días antes de la implantación del maíz), sí se diferencian estadísticamente con mayor contenido de AD en el perfil los tratamientos barbecho y alejandrino, y si desglosamos por estrato de profundidad encontramos que en el rango de 0-0.1 m las diferencias son significativas siendo el tratamiento barbecho quien acumula mas agua y en el mismo sentido que el perfil de 0 a 0.1 m en los tramos de 0.35-0.5 y 0.5 a 0.7 m. se da la tendencia a que acumulen mayor cantidad de AD, desapareciendo tales diferencias en la lectura que se hizo 20 días antes de la implantación del maíz, (DDA 280), explicado esto por la ocurrencia de precipitaciones durante este periodo del barbecho presiembra.

20 días después, en la medición que se realizo el 7 de octubre (DDA 280), no hay diferencias significativas entre tratamientos tanto en el perfil hasta 0.7 m. como por estratos, aunque existe una tendencia ($p < 0.15$) que en el estrato de 0.5 a 0.7 m., el tratamiento trébol rojo tenga menos agua que los demás.

A la implantación del maíz, en la fecha 31 de octubre, vuelven a darse diferencias en profundidad en el AD por estratos. Esta vez es también barbecho el que tiene mas agua pero en la profundidad entre 0.35-0.5 m., mientras que hacia la superficie todas las coberturas son iguales en cuanto a AD. En el tramo siguiente, de 0.5 a 0.7 m. existe la tendencia ($p < 0.20$) a que barbecho y también alejandrino se diferencien de las otras coberturas, pero sin que las diferencias sean significativas.

4.3 HASTA EL ESTADIO DE 6 HOJAS INCLUSIVE DEL CULTIVO DE MAÍZ.

Cuadro 9. Efectos estadísticos de las coberturas en las variables que se midieron hasta el estadio de 6 hojas del cultivo de maíz. (V6 = DDA 337).

	Efecto coberturas.
Población.	ns
Nitratos en suelo.	***
Biomasa aérea acumulada a V6 por el maíz.	ns
Nitrógeno absorbido a V6 por el maíz.	ns
Agua en suelo (0-0.7 m. de prof.) DDA 324.	ns

ns= no significativo, * = 0.10, ** = 0.05, *** = 0.01

4.3.1 Población-implantación.

La población lograda medida al estadio de 6 hojas no presento diferencias significativas entre las diferentes coberturas, siendo de 75830 plantas ha⁻¹ en términos medios, lo que significa una implantación de 84.3 % considerando la densidad de siembra utilizada de 90000 semillas ha⁻¹.

4.3.2 Nitratos en suelo.

Cuadro 10. Nivel de nitratos en suelo según tratamiento al estadio de 6 hojas del cultivo de maíz.

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si (p<0.10).	V6	
	Tratamiento	N-NO3 (ppm)
El muestreo de suelo para determinar nitratos a V6 fue	Barbecho	12.7 c
	Alejandrino	16.7 b
	Raigrás	11.0 c
	T. rojo	22.0 a

realizado aproximadamente 100 días después de que se mataron las coberturas, por lo que el aumento que se observa en los nitratos en suelo considerando la baja relación C/N de este tipo de materiales y en concordancia con la literatura revisada, es esperable el rápido pasaje del N de los tejidos de vegetales hacia formas minerales, principalmente cuando nos acercamos a la época estival en que se dan condiciones para tales procesos.

Según cual haya sido la cobertura invernal, al estadio de V6, los resultados de análisis de suelo indican diferencias significativas en el contenido de nitratos, siendo la cobertura de trébol rojo la que presentó valores mas altos, luego alejandrino y los que presentaron menores valores (sin diferencia entre ellos) fueron barbecho y raigrás. Estos dos últimos, con valores por debajo del crítico de 17 ppm (que menciona Achaval et al. 1998) para este estadio y según menciona también una amplia cantidad de autores que investigaron sobre el tema, mientras que, cuando el antecesor al maíz fue una

leguminosa, los valores de nitratos son por encima del crítico en el caso de T. rojo y muy próximo al nivel crítico en el caso de T. alejandrino.

Es posible que la diferencia que existe entre las leguminosas en la concentración de nitratos en suelo sea por la mayor acumulación de biomasa de la cobertura de T. rojo pero además porque es una cobertura que durante una mayor cantidad de tiempo (recordemos que es de segundo año) ha tenido la posibilidad de estar fijando N desde la atmósfera.

Es importante la alineación que existe en cuanto que al avanzar el tiempo y los requerimientos nutricionales del cultivo, también lo hace la oferta de N por parte del suelo en los casos en que si hubo cobertura, mientras que, cuando el campo permaneció sin cultivo durante todo el invierno, la evolución del N desde la siembra a V6 es contraria al aumento de los requerimientos que presenta el cultivo de maíz.

4.3.3 Biomasa acumulada.

Cuadro 11. Biomasa aérea acumulada al estadio de 6 hojas por el cultivo de maíz según tratamiento cobertura.

Tratamiento	6 hojas
Barbecho	1104 a
T. alejandrino	1010 a
Raigrás	1105 a
T. rojo	1016 a

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si ($p < 0.10$).

Si bien no son significativas las diferencias entre los tratamientos, las medias en los casos que la cobertura fue leguminosa fue aproximadamente 100 Kg. menos que cuando la cobertura fue raigrás o no hubo cobertura.

4.3.4 Nitrógeno absorbido hasta V6.

Cuadro 12. Nitrógeno absorbido por el cultivo de maíz al estadio de 6 hojas.

	6 hojas
Tratamiento	N (Kg. ha ⁻¹)
Barbecho	23.0 a
Alejandrino	23.6 a
Raigrás	19.3 a
T. rojo	24.7 a

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si ($p < 0.10$).

Pero la diferente concentración de nitratos en suelo hasta el estadio de 6 hojas no ha significado que el cultivo de maíz absorba cantidades diferentes de N, aunque existe la tendencia a que el cultivo de maíz sobre la cobertura de raigrás presente un menor

valor de absorción y tampoco esta diferencia significo una diferente acumulación de biomasa aérea al estadio referido como se vio anteriormente.

4.3.5 Nitrógeno aplicado a V6 en forma de urea.

Teniendo en cuenta aspectos relativos a la dinámica del N, es posible suponer que la eficiencia en el uso de N aplicado a V6 fue alta, ya que 6 horas después de la aplicación de la urea en las subparcelas que correspondía, se registraron precipitaciones superiores a 10 mm, requisito que menciona Mcinnes et al. (1986) para que se den las menores perdidas posibles de N como amoniaco desde el suelo cuando se aplica al voleo N en forma amoniacal.

4.3.6 Agua en el suelo.

La lectura de AD en suelo del 20 de noviembre (13 días antes de V6) indica que no existen diferencias entre las coberturas en el perfil de suelo, y como lo muestra el siguiente cuadro tampoco existen diferencias por estrato del perfil, aunque, en la profundidad de 0.35 a 0.5 m. hay una tendencia a que barbecho tenga mas agua que los demás tratamientos pero en el perfil inmediato superior, ese mismo tratamiento muestra la tendencia (con similar p entre 20 y 25) a acumular menos agua que los demás.

Cuadro 13. Agua disponible en el suelo en milímetros (0-70 –m prof.) según manejo de las coberturas invernales para los diferentes momentos evaluados.

Día del año. (DDA)	Precipitaciones en el periodo (mm)	Barbecho	T. alejandrino	Raigrás	T. rojo.
324 20/11	57	111 a	128 a	113 a	125 a

Letras iguales dentro de cada medición (filas) no difieren entre si ($p < 0.10$).

Cuadro 14. Efectos del manejo del barbecho invernal sobre el AD en el suelo según profundidad para la lectura DDA 324.

Profundidad en metros	DDA 324 (20 nov)				
	Barbecho	T. alejandrino	Raigrás.	T. rojo.	MDS
0- 0.1	15.8 a	16.4 a	18.0 a	16.3 a	
0.1-0.2	18.4 a	21.0 a	23.4 a	18.0 a	
0.2-0.35	35.2 a	40.3 a	42.3 a	43.4 a	
0.35-0.5	41.0 a	35.1 a	30.4 a	29.7 a	
0.5-0.7	39.3 a	35.1 a	35.8 a	33.0 a	

Letras iguales dentro de cada medición (filas) no difieren entre si ($p < 0.10$).

Si bien las diferencias no son significativas, existe la tendencia ($p < 0.20$) a que el tratamiento barbecho tenga menos agua disponible en estratos medios del perfil mientras

que en profundidad ($p < 0.25$) cuenta con una “reserva” de agua con la que los otros tratamientos no cuentan. (Al menos hasta los 0.7 m. en que se realizó la medición)

4.4 DEL ESTADIO DE V6 DEL CULTIVO DE MAIZ EN ADELANTE.

A partir de este estadio, todas las parcelas (que corresponden a los tratamientos) se dividen en 4 subparcelas a las que se les aplico las dosis de N ya descritas en la sección materiales y métodos.

En las subparcelas correspondientes a la dosis 60 UN estaban colocados los caños en que se efecto ó la medida de humedad con el método de la sonda, por lo que toda referencia que se haga al agua disponible en suelo será a esa dosis de N, la que trataremos de aquí en mas como otro experimento aparte.

4.4.1 Experimento con 60 UN a V6 y 50 mm de agua a floración.

Cuadro 15. Efecto de las coberturas sobre el agua disponible en el suelo (0-0.7 m prof.) a diferentes momentos desde el estadio de V6 del cultivo de maíz en adelante, biomasa acumulada a floración y nitrógeno absorbido por el maíz, y otras variables del cultivo (altura de las plantas, iaf y temperatura foliar a comienzo y fin de floración)

	Efecto coberturas.
Agua en suelo (0-0.7 m. de prof.) DDA 353.	ns
Agua en suelo (0-0.7 m. de prof.) DDA 6.	ns
Agua en suelo (0-0.7 m. de prof.) DDA 23.	ns
Agua en suelo (0-0.7 m. de prof.) DDA 45.	ns
Biomasa aérea acumulada a floración por el maíz.	ns
Nitrógeno absorbido a floración por el maíz.	ns
Altura de plantas a fin de floración.	***
% N absorbido por la hoja opuesta a la mazorca	ns
Temp. Foliar día 29 diciembre.	ns
Temp. Foliar día 20 enero.	ns
Iaf día 27 diciembre.	ns
Iaf día 19 enero.	ns

ns= no significativo, * = 0.10, ** = 0.05, *** = 0.01

4.4.1.1 Agua en el suelo.

Cuadro 16. Agua disponible en el suelo en milímetros (0-70 –m prof.) según manejo de las coberturas invernales para los diferentes momentos evaluados desde floración del cultivo de maíz.

Día del año. (DDA)	Precipitaciones en el periodo (mm)	Barbecho	T. alejandrino	Raigrás	T. rojo.
353	107	111 a	128 a	113 a	125 a
6	1	23 a	32 a	27 a	30 a
23	92	44 a	45 a	46 a	49 a
45	51	29 a	28 a	24 a	32 a

Letras iguales dentro de cada medición (filas) no difieren entre si ($p < 0.10$).

Cuadro 17. Efectos del manejo del barbecho invernal en el AD según profundidad para los diferentes momentos evaluados.

Profundidad en metros	DDA 353 (19 dic)				
	Barbecho	T. alejandrino	Raigrás.	T. rojo.	MDS
0-0.1	6.7 a	8.6 a	8.0 a	8.6 a	
0.1-0.2	11.1 a	12.6 a	15.0 a	15.8 a	
0.2-0.35	25.0 a	34.9 a	24.1 a	37.1 a	
0.35-0.5	32.6 a	35.4 a	28.8 a	32.8 a	
0.5-0.7	35.4 a	36.0 a	36.8 a	30.8 a	
	DDA 6 (6 ene)				
0-0.1	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	
0.1-0.2	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	
0.2-0.35 **	7.8 b	15.4 a	10.4 b	10.7 b	4.85
0.35-0.5	5.3 a	9.1 a	5.9 a	8.5 a	
0.5-0.7	9.4 a	7.7 a	10.8 a	10.7 a	
	DDA 23 (23 ene)				
0-0.1	0.0 a	0.0 a	0.0 a	0.0 a	
0.1-0.2	0.0 a	0.5 a	0.3 a	0.2 a	
0.2-0.35	16.3 a	20.4 a	18.8 a	19.0 a	
0.35-0.5	10.4 a	13.6 a	12.5 a	13.7 a	
0.5-0.7	17.1 a	10.6 a	14.0 a	15.8 a	
	DDA 45 (14 feb)				
0-0.1	8.5 a	13.1 a	11.5 a	12.9 a	
0.1-0.2	sd	sd	sd	sd	
0.2-0.35	8.4 a	7.7 a	4.8 a	9.6 a	
0.35-0.5	8.4 a	7.7 a	4.8 a	9.6 a	
0.5-0.7	12.1 a	7.1 a	7.7 a	9.8 a	

Letras iguales dentro de cada medición (filas) no difieren entre si ($p < 0.10$).

• = 0.10, ** = 0.05, *** = 0.01

- El 19 de diciembre si bien no hay diferencias entre estratos, existe la tendencia a que los tratamientos sobre las leguminosas tengan mas agua que los demás en el estrato entre 0.2 y 0.35 m. de profundidad. Esto puede guardar relación con la biomasa acumulada por el maíz en las distintas coberturas hasta ese momento, ya que 13 días antes, cuando se midió biomasa aérea a V6, si bien no existieron diferencias significativas en esta variable, existía la tendencia que se acentuó posiblemente mas tarde, a que los tratamientos sobre barbecho y raigrás acumulen mas biomasa, lo que los hace mas demandantes de agua desde el suelo.

En la lectura que se tomo el 6 de enero, en el estrato de 0.2 a 0.35 m. de profundidad, el tratamiento sobre alejandrino tuvo significativamente mas agua disponible que los demás tratamientos, pero es importante destacar que a esta fecha, el contenido total de agua en el perfil del suelo estaba aproximadamente 80 % por debajo de la capacidad de campo para ese suelo, lo que demuestra un severo estrés hídrico que esta afectando al cultivo de maíz en su etapa critica de concreción de rendimiento. A modo de ejemplo, en la lectura del 6 de enero y posteriores, hasta la profundidad de 0.2 m., el contenido de agua en el suelo para todos los tratamientos fue de 0 mm.

Si bien en el periodo entre el 20 de noviembre y el 19 de diciembre hubo 107 mm de precipitaciones, el 80 % de ellas ocurrieron el día 3 de diciembre y de forma intensa, lo que limita la capacidad de que esa agua pueda infiltrar en el suelo. Luego del día 3 de diciembre, y hasta el 12 de enero, llueven solo 26 mm.

En forma de resumen de la evolución AD en el suelo, se presenta el siguiente grafico, donde se observa en forma clara la caída que experimenta el AD, sin recuperaciones durante todo el ciclo, pero además con un muy bajo contenido con respecto a la capacidad del suelo. Esto es lo que sumado a una alta demanda atmosférica condicionó el éxito del cultivo de maíz, que entró en situación de estrés hídrico poco después del estadio de V6 sin revertirse la situación e incluso agudizándose hasta la madurez fisiológica.

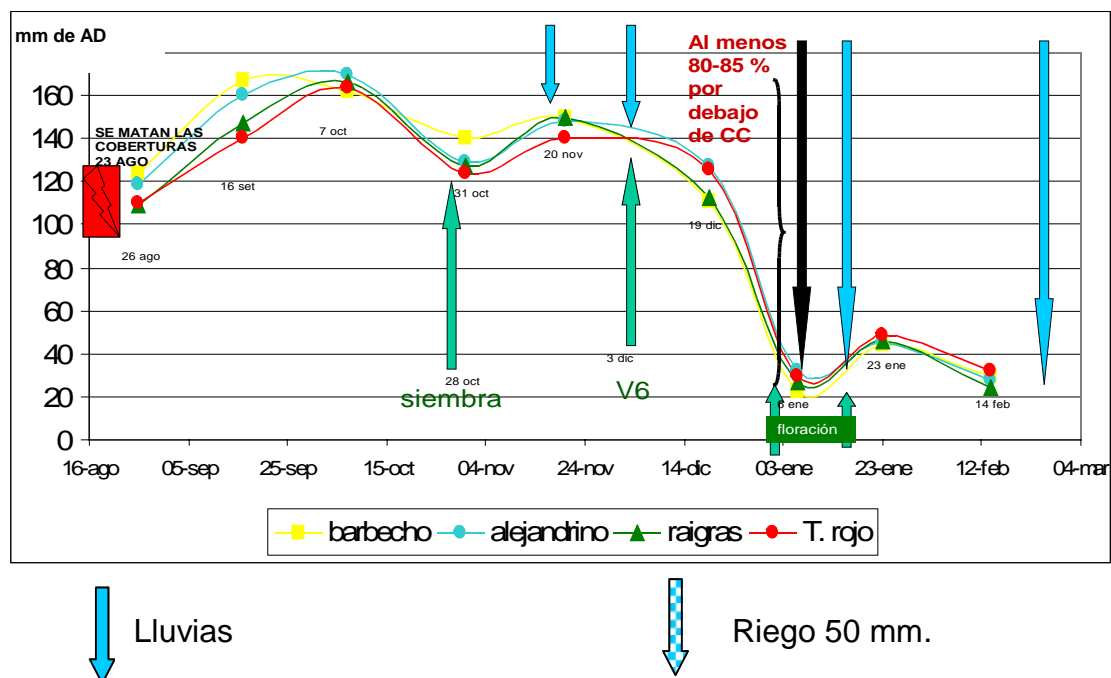


Figura 3. Evolución del agua disponible en el suelo durante el ciclo del cultivo de maíz y desde 60 días antes de su siembra.

La caída del AD en el suelo, determina que el maíz llegue a su etapa de floración con un contenido 80 a 85 % por debajo de lo que es capaz de almacenar el suelo, perdurando esa situación hasta alcanzada la madurez fisiológica del maíz.

4.4.1.2 Biomasa aérea acumulada a floración.

Cuadro 18. Biomasa aérea acumulada a floración por los distintos tratamientos.

Tratamiento	Kg. MS ha ⁻¹
Barbecho	7164 a
Alejandrino	5163 a
Raigrás	6093 a
t. rojo	5061 a

Valores seguidos de igual letra no difieren entre sí ($p < 0.10$).

Al estadio de floración no existen diferencias estadísticas al 10 % entre los tratamientos, aunque al 10.5 % de probabilidad de error, sí se distinguen barbecho y raigrás como los tratamientos con mayor acumulación de biomasa. Esta tendencia, como se comentó anteriormente, ya se daba en la medición de MS aérea que se realizó al estadio de 6 hojas.

4.4.1.3 Nitrógeno absorbido a floración por el cultivo de maíz.

En esta variable no existe ningún tratamiento que se diferencie de los demás en ninguno de los órganos de la planta en que se midió la variable, pero todos los valores hallados en términos de promedio (ya que no hay diferencia entre tratamientos) fueron muy por debajo de los que cita una amplia literatura al respecto. Dumenil (1961) citado por Achaval et al. (1998) por ejemplo (entre otros autores) determina como crítico para la concentración de N en la hoja opuesta a la mazorca de 2.9 % de N, sin embargo en nuestro experimento hallamos 1.29 % de N para este mismo órgano de la planta, y que para obtener el 95% de la producción máxima en maíz se requiere una concentración de N en hoja comprendida entre 2.6 y 3.1 % mientras que para nuestro experimento los valores de N en hoja fueron promedialmente de 1.3 %.

En los primeros 0.2 m. de suelo, desde V6 en adelante, cada vez fue menor la cantidad de agua disponible para el cultivo, llegando a floración con cero mm en la profundidad referida, lo cual hace suponer que el nitrógeno puede haber estado no disponible para el cultivo, porque éste último estaría extrayendo agua de un perfil más profundo donde la concentración de nitratos sea posiblemente menor y donde el efecto del nitrógeno aportado por las coberturas sea despreciable o tal vez no exista tal efecto magnificado éste fenómeno por tratarse de una situación de siembra directa (relativizando siempre este concepto por tratarse de un nutriente muy móvil como lo es el nitrógeno, pero considerando también el bajo flujo de agua que existió en el suelo).

Entonces el planteo es que las coberturas mediante la mineralización aportan N al suelo y al cultivo y a V6 se aplica más N, pero luego de V6 no hubo más precipitaciones y la evolución de agua en el suelo solo experimenta caídas hasta pasada la floración del maíz. Es posible entonces que el cultivo haya absorbido el nitrato que medimos a V6 y por la escasez de agua en el suelo se dificulte la absorción de N por parte del cultivo y por eso el bajo % de N a floración, el que es cercano a 0.9 %. (en parte aérea), y Olson y Sander, Jones, citados por Uhart et al. (2002) encuentran un rango de suficiencia de N en hojas en momentos cercanos a la floración de 2.75 a 3.5 % mientras que Voss et al. (1970), mencionaron que la concentración de N para lograr un 95% de la producción máxima depende de variables como ser el cultivo anterior, densidad de plantas, potencial de producción del suelo y contenido de humedad del mismo. Sus experimentos sugieren que la interpretación de los análisis de tejidos deben incluir consideraciones a cerca de factores de suelo, de manejo y climáticos y mencionan para la zona donde se realizó el ensayo (oeste de Iowa, USA) que con 2.9 % de N en hoja a floración es posible obtener un 95% de la producción máxima (6440 Kg. de grano de maíz ha⁻¹).

4.4.1.4 Altura de plantas a fin de floración.

Cuadro 19. Altura de las plantas de maíz a fin de floración según cobertura.

Tratamiento	Altura m.
-------------	-----------

Barbecho	1.26	a
Alejandrino	1.04	b
Raigrás	1.06	b
t. rojo	1.09	b

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si ($p < 0.10$).

Muchos autores entre ellos Muchow y Sinclair (1991) demuestran que el consumo de agua y el crecimiento se reducen cuando el contenido de agua en suelo es inferior al 40- 60 % del agua útil.

Sadras y Milroy, citados por Andrade et al. (1996) indican que la expansión de tejidos es mucho más sensible a déficit hídrico que la propia actividad fotosintética. En este sentido, es posible que el barbecho sea quien menos haya sufrido estrés hídrico, habida cuenta de que logró una mayor altura que los demás tratamientos, lo que va en concordancia con la evolución de agua en suelo ya descrita.

4.4.1.5 Temperatura foliar

No hubieron diferencias significativas en las mediciones de temperatura que se realizaron a comienzo y pasada la floración (29 de diciembre y 20 de enero), siendo la media de temperatura en hoja de 28.4 y 26.1°C respectivamente y la temperatura del aire en cada medición fue de 36.5 y 37.9°C.

En los días anteriores a la última medición se registraron algunas lluvias (2^{da} década de enero), lo que hace que aún en condiciones de mayor demanda del aire (mayor potencial hídrico por mayor temperatura) que en la lectura anterior, igualmente la planta logre bajar su temperatura mediante la evaporación de agua.

4.4.1.6 Índice de área foliar.

El índice de área foliar fue medido a comienzos y a fin de floración (27 de diciembre y 19 de enero), encontrando valores promedio de 1.46 y 2.26 respectivamente, y no existieron diferencias entre los tratamientos en ninguna de las dos mediciones.

Si bien ambos valores son muy bajos, el encontrado el 27 de diciembre es 0.8 menor, y se debe a que en esa medición, el acartuchamiento de las hojas del maíz hacía que baje aun más el área expuesta de las hojas a la intercepción de radiación.

Según encuentra Andrade et al. (1996) el índice de área foliar máximo (las laminas de las hojas diferenciadas se hallan totalmente desplegadas) y la altura máxima de las plantas (entrenados completamente alongados) quedan determinados alrededor del momento de floración, y por este motivo es que atribuimos netamente al

acartuchamiento de las hojas la variación de mas de un 50 % de incremento de iaf y no a un real aumento de tal variable del cultivo.

Estadísticamente en el índice de área foliar según dosis de nitrógeno, cobertura o la interacción entre ellos, no existe diferencia estadísticamente significativa.

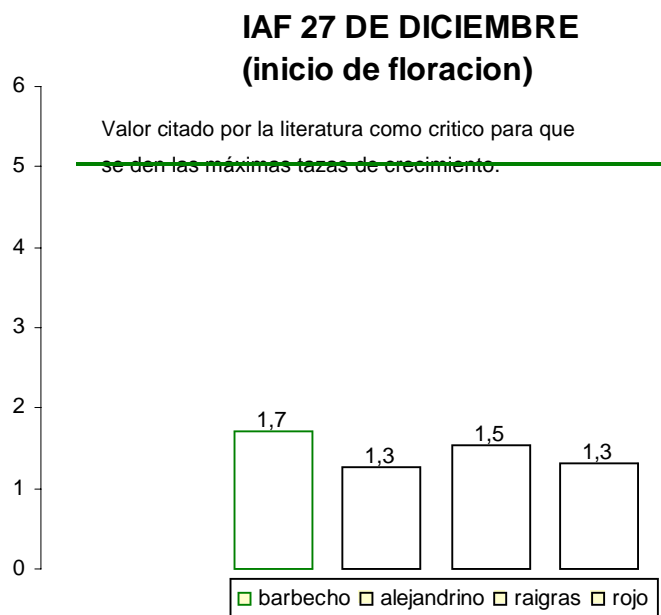


Figura 4. Índice de área foliar con respecto al critico para los distintos tratamientos en la fecha 27 de diciembre.

Para este estadio del cultivo, la bibliografía cita como críticos, valores de cuatro a cinco para alcanzar las tasas de crecimiento máximas, valores estos muy alejados de los obtenidos en el experimento.

Andrade et al. (1996) encuentran que el índice de área foliar que posibilita alcanzar las tasas de crecimiento máximas se denomina IAF crítico siendo de cuatro a cinco para los materiales utilizados habitualmente en el sudeste bonaerense. Una vez alcanzado este IAF, la cobertura se mantiene en valores altos durante un periodo de 60 a 80 días (según el ciclo del cultivo) posibilitando el mantenimiento de altas tasas de crecimiento durante tal periodo, pero sin embargo los valores promedio obtenidos en nuestro experimento son menos de la mitad de los que Andrade cita como críticos para alcanzar tasas de crecimiento máximas.

4.4.1.7 Resultados a cosecha.

Cuadro 20. Efectos estadísticos de las variables que se midieron a la cosecha del cultivo de maíz en el experimento de 60UN aplicadas a V6.

	Efecto coberturas.
Plantas ha ⁻¹ a cosecha	ns
Índice de prolificidad	ns
Espigas m ²	ns
Granos espiga ⁻¹	ns
Granos m ²	ns
PMG	ns
Rendimiento en grano (Kg ha ⁻¹)	ns
IC.	ns
Biomasa aérea total acumulada por el maíz a cosecha.	ns
% N total a cosecha.	ns
N absorbido a cosecha.	ns
% N en rastrojo.	ns
% N en grano.	ns
ICN.	ns
Nitrato residual en suelo.	*

ns= no significativo, * = 0.10, ** = 0.05, *** = 0.01

4.4.1.8 Rendimiento en grano y sus componentes.

Como puede verse en el cuadro, tanto rendimiento como sus componentes no muestran diferencias por el efecto de las coberturas, aunque son validas algunas consideraciones como: El riego estratégico que se aplico a todos los tratamientos en las dosis 60 UN, no cambia obviamente la acumulación de MS hasta floración pero si mejora la cantidad de granos por unidad de superficie, producto de lograr una mayor cantidad de granos por espiga, pero sin embargo no llegan a registrarse diferencias significativas en rendimiento en grano para los distintos tratamientos.

Cuadro 21. Granos m², rendimiento e Índice de Cosecha según tratamiento.

Tratamiento	Granos m ²	Rendimiento (Kg. ha ⁻¹)	MS total a cosecha (Kg. ha ⁻¹)	IC
Barbecho	1306 a	3677 a	13170 a	23.0 a
Alejandrino	1676 a	4790 a	13052 a	32.0 a
Raigrás	1881 a	5131 a	11658 a	38.7 a

t. rojo	1285 a	3708 a	12832 a	25.4 a
---------	--------	--------	---------	--------

Valores seguidos de igual letra dentro de variables no difieren entre si ($p < 0.10$).

Si bien las diferencias no son significativas, existe la tendencia (al 15 % de error estadístico) a que principalmente los tratamientos raigrás y también alejandrino tengan un IC más alto, explicado por un mayor número de granos logrados.

Aun cuando las dosis de N aplicado a V6 son distintas pero habiendo demostrado que el agua fue la condicionante de los resultados obtenidos, cabe señalar que se logran 1286 granos m^2 en este experimento como valor medio del tratamiento que menos granos concreta, y cuando no regamos, (como veremos mas adelante), el valor máximo de granos por m^2 del tratamiento que mas concreta es inferior a 1286.

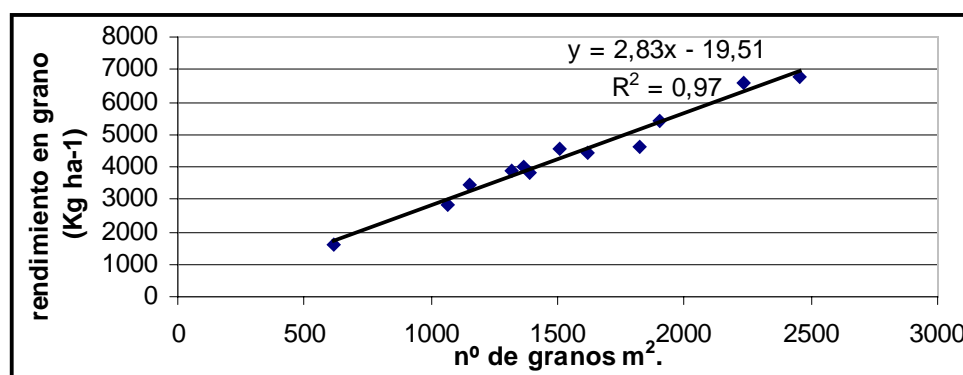


Figura 5. Relación entre el rendimiento en grano por ha^{-1} y el número de granos por unidad de superficie.

Como se ve en el gráfico anterior, el número de granos por m^2 varió entre 600 y 2500, sin embargo el peso de los mismos no se relaciono con el número de ellos. Esto confirma la baja capacidad de compensar la pérdida de rendimiento por baja cantidad de granos con mayor peso de los mismos, tal como encuentra Andrade et al. (1996).

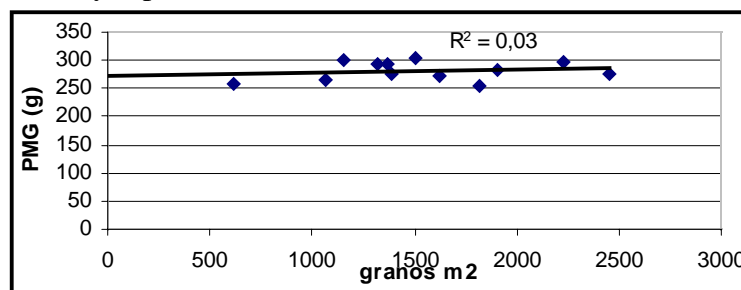


Figura 6. Peso de grano en función de la cantidad de granos m^2 .

4.4.1.9 Nitrógeno a cosecha.

Con los 110 Kg. de N promedio absorbidos a cosecha daría para concretar rendimientos del orden de 5.5 toneladas ha⁻¹ según los requerimientos de N en parte aérea que plantea Andrade et al. (2002). Sin embargo, los rendimientos obtenidos como se vio son muy por debajo de este valor descartando así una subnutrición en cuanto a N, aun cuando en términos de concentración en planta fueron bajos los resultados obtenidos. Descartando un estado de subnutrición en cuanto a N, parece razonable que la limitante por excelencia que determinó la baja concreción de rendimiento y a la luz de los datos de la evolución de AD en el suelo durante el ciclo del cultivo, fue la escasez de agua.

4.4.1.10 Nitrato residual.

Cuadro 22. Concentración de nitratos en suelo luego de cosechado el cultivo de maíz.

Tratamiento	N-NO3 (ppm)
Barbecho	9.8 b
Alejandrino	8.95 b
Raigrás	8.07 b
t. rojo	21.34 a

Valores seguidos de igual letra no difieren entre sí ($p < 0.10$).

La cantidad de N absorbido a cosecha por el cultivo de maíz indica que no existen diferencias significativas atribuibles a las coberturas, sin embargo el tratamiento cuya cobertura fue trébol rojo, deja como residuo una concentración mayor de nitratos en el suelo que los demás tratamientos.

4.4.2 Experimento de las dosis 0, 30 y 90 UN aplicadas a V6.

Cuadro 23. Efectos estadísticos de las variables que se midieron hasta el estadio R1 del cultivo de maíz en el experimento de 0, 30 y 90 UN aplicadas a V6.

	Efecto.		
	Cob.	Nit.	Cob* nit.
Biomasa aérea acumulada a floración por el maíz.	ns	**	**
Nitrógeno absorbido a floración por el maíz.	ns	**	*
Altura de plantas a fin de floración.	***	ns	ns
Temp. foliar día 29 diciembre	ns	ns	ns
Temp. foliar día 20 enero	ns	ns	ns
Iaf día 27 diciembre	ns	ns	ns

Iaf día 19 enero	ns	ns	ns
------------------	----	----	----

ns= no significativo, * = 0.10, ** = 0.05, *** = 0.01

4.4.2.1 Biomasa aérea acumulada a floración.

Cuadro 24. Biomasa aérea acumulada a floración por el cultivo de maíz según interacción entre la dosis de Nitrógeno aplicada a V6 y tratamiento cobertura.

Tratamiento	Dosis de nitrógeno		
	0	30	90
Barbecho	5478 bcd	5673 bcd	6126 abc
Alejandrino	5234 bcd	4349 d	5771 bc
Raigras	7153 a	5101 bcd	4321 d
T. rojo	6226 ab	4924 cd	5253 bcd

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si ($p < 0.10$).

Cuadro 25. Biomasa aérea acumulada a floración por el cultivo de maíz según dosis de N aplicada a V6.

Dosis de N	Materia seca (kg ha^{-1})
0	6023 a
30	5012 b
90	5368 ab

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si ($p < 0.10$).

Para raigrás en el caso en que no agregamos N a V6, como el N pasa a ser limitante ya que según menciona Achaval et al. (1998) en una extensa revisión sobre el tema, el nivel crítico de nitratos en suelo en este estadio es de 17 ppm, es de esperar entonces que crezcan mas en su fase exponencial de crecimiento las subparcelas a las que se les aplica dosis mas altas de N. Al no registrarse lluvias luego de V6 esperamos entonces que si el cultivo con mas nitrógeno crece mas, agote antes el agua retenida en el suelo y la situación de acumulación de biomasa se revierta (o sea que el cultivo con mas N acumula menos MS a floración)

En el caso de barbecho, se podría especular con la idea (ya que no fue medida la evolución de agua en este experimento) de que el suelo provea al cultivo de maíz de una cantidad de agua retenida en el perfil mas profundo, marcando de esta manera la diferencia con el raigrás y puede responder con aumentos de MS frente al agregado de N a V6, contrario a lo que ocurre con raigrás donde aumentos en la dosis de N aplicado a V6 significan mermas de significancia en la generación de mas biomasa.

Aguirrezabal et al., citados por Andrade et al. (2002) mencionan que La arquitectura del sistema radical se define durante etapas tempranas, por lo que una mala preparación del suelo puede afectar la capacidad posterior del cultivo para la absorción del agua y de los nutrientes minerales, y en este sentido, el tratamiento de barbecho

podría entonces presentar alguna ventaja en el sentido de que por un periodo de barbecho mayor, brinde mejores condiciones que posibiliten una mayor exploración del suelo por parte del sistema radical durante la etapa de implantación del cultivo de maíz.

Cuando la cobertura fue trébol rojo, el contenido de N en suelo a V6 es superior al crítico, pero igualmente las subparcelas que recibieron N a V6, acumulan menos biomasa a floración. Lo anterior hace probable la idea de que por la situación de bajo contenido de agua en el suelo con respecto a su capacidad, hace que menos N pueda ser absorbido por la planta y entonces esta responde al agregado de más N aunque los análisis den valores superiores al crítico. Esta acumulación diferencial de biomasa luego de V6 según dosis de N hace que se agote primero el agua del suelo en las subparcelas que crecen mas, llegando a floración con un efecto invertido donde el agregado de N a V6 determina menor acumulación de biomasa a floración.

De esta manera podemos atribuir las diferencias encontradas en acumulación de MS a floración, a la disponibilidad de N en torno a V6 por parte del cultivo de maíz (donde se da el efecto invertido) exceptuando el caso del tratamiento sin cobertura (barbecho) donde la acumulación de biomasa responde de forma positiva al agregado de N a V6, para lo cual en un planteo de posibles explicaciones estaría relacionado al acceso por parte del cultivo de maíz a una reserva de agua en el suelo que estaría en los estratos mas profundos del suelo.

4.4.2.2 Nitrógeno absorbido a floración por el cultivo de maíz.

Cuadro 26. Nitrógeno absorbido a floración por el cultivo de maíz según tratamiento y según dosis de Nitrógeno aplicado a V6.

	floración
Tratamiento	N (Kg. ha⁻¹)
Barbecho	63.1 a
Alejandrino	48.5 a
Raigrás	52.5 a
T. rojo	52.3 a
	floración
Dosis de N	N (Kg. ha⁻¹)
0	59.1 a
30	49.8 b

90	53.4 b
----	--------

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si ($p < 0.10$).

Cuadro 27. Nitrógeno absorbido a floración por el cultivo de maíz según interacción entre dosis de Nitrógeno aplicado a V6 y tratamiento cobertura.

Tratamiento	Dosis de nitrógeno		
	0	30	90
Barbecho	59.6 abcd	60.8 abc	69.1 a
Alejandrino	50.1 bcd	42.1 d	53.4 abcd
Raigras	66.5 ab	49.0 bcd	42 d
T. rojo	60.4 abc	47.5 cd	49.1 bcd

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si ($p < 0.10$).

Cuando medimos la cantidad de biomasa aérea a la mitad de floración (cuadro 24), encontramos diferencias significativas en cuanto a las dosis de N y también encontramos interacción entre el tratamiento y la dosis de N, mientras que las coberturas (tratamientos) por si solos no presentaron diferencias en esta variable.

La absorción de Nitrógeno esta muy relacionada con la acumulación de biomasa por parte del cultivo como lo muestra el siguiente grafico:

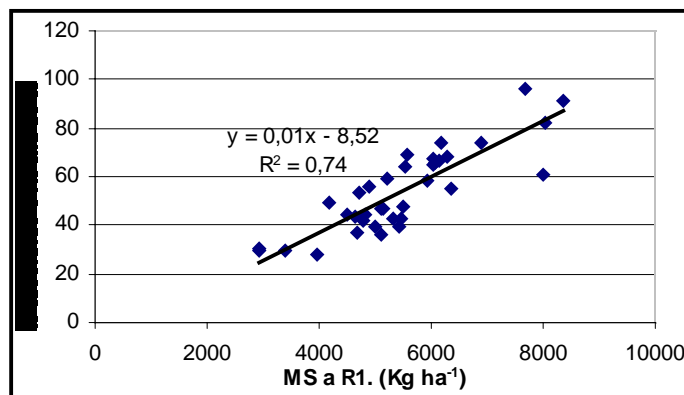


Figura 7. Relación entre la biomasa aérea acumulada (Kg. ha^{-1}) hasta R1 por el cultivo de maíz y el nitrógeno absorbido (Kg. ha^{-1}) hasta ese mismo estadio del cultivo.

4.4.2.3 Altura de plantas a fin de floración

Cuadro 28. Altura (m.) de las plantas de maíz a fin de floración.

Tratamiento	Altura en m
Barbecho	1.18 a
Alejandrino	1.10 ab
Raigrás	1.04 b
T. rojo	1.01 b

Valores seguidos de igual letra no difieren entre si ($p < 0.10$).

Como comentáramos en el experimento anterior, Sadras y Milroy, citados por Andrade (1996) indican que la expansión de tejidos es mucho más sensible al déficit hídrico que la propia actividad fotosintética.

En este sentido, es posible que el tratamiento barbecho y también alejandrino sean quienes menos hayan sufrido estrés hídrico, habida cuenta de que lograron una mayor altura que los demás tratamientos.

4.4.2.4 Temperatura foliar.

No hubieron diferencias significativas en las mediciones de temperatura que se realizaron a comienzo y pasada la floración (29 de diciembre y 20 de enero), siendo la media de temperatura en hoja de 28.3 y 26.8°C respectivamente y la temperatura del aire en cada medición fue de 36.5 y 37.9°C.

En los días anteriores a la última medición se registraron algunas lluvias (2^{da} década de enero), lo que hace que aún en condiciones de mayor demanda del aire (mayor potencial hídrico por mayor temperatura) que en la lectura anterior, igualmente la planta logre bajar su temperatura mediante la evaporación de agua.

4.4.2.5 Índice de área foliar.

El índice de área foliar fue medido al igual que en el experimento antes analizado, a comienzos y a fin de floración (27 de diciembre y 19 de enero), encontrando valores promedio de 1.46 y 2.16 respectivamente, y no existieron diferencias entre los tratamientos en ninguna de las dos mediciones.

Estadísticamente en el índice de área foliar según dosis de nitrógeno, cobertura o la interacción entre ellos, no existe diferencia estadísticamente significativa.

Si bien ambos valores son muy bajos, el encontrado el 27 de diciembre es 0.7 menor, y se debe a las mismas razones que comentáramos en el experimento anterior.

4.4.2.6 Resultados a cosecha.

Cuadro 29. Efectos estadísticos de las variables que se midieron a la cosecha del cultivo de maíz en el experimento de 0, 30 y 90 UN aplicadas a V6.

	Efecto.		
	Cob.	Nit.	Cob* nit.
Plantas ha ⁻¹ a cosecha	ns	ns	ns
Índice de prolificidad	ns	ns	ns
Espigas m ²	ns	ns	**
Granos espiga ⁻¹	ns	**	ns
Granos m ²	ns	*	ns
PMG	**	ns	ns

Rendimiento en grano (Kg. ha ⁻¹)	ns	ns	ns
Biomasa aérea total acumulada a cosecha por el maíz.	ns	ns	ns
IC.	ns	***	ns
% N total a cosecha.	ns	**	ns
N absorbido a cosecha.	ns	*	ns
% N en rastrojo.	*	**	ns
% N en grano.	*	ns	ns
ICN.	ns	**	ns
Nitrato residual en suelo.	***	***	**

ns= no significativo, * = 0.10, ** = 0.05, *** = 0.01

Cuadro 30. Interacción entre tratamiento cobertura y la dosis de N para la variable espigas m².

Tratamiento	espiga m ²		
	Dosis de nitrógeno		
	0	30	90
Barbecho	7.3 c	8.6 a	8.4 ab
Alejandrino	7.5 bc	7.7 abc	7.7 abc
Raigrás	6.8 c	7.5 b	6.9 c
T.rojo	8.5 a	7.3 c	7.3 c

Valores seguidos de igual letra dentro de variables no difieren entre si (p<0.10).

Cuadro 31. Componentes del rendimiento, MS total a cosecha e índice de cosecha según dosis de Nitrógeno aplicada a V6 o tratamiento cobertura.

Dosis de N	granos espiga ⁻¹	Granos m ²	MS total a cosecha	IC	Rendimiento (Kg ha ⁻¹)
0	166 a	1186 a	9776 a	0.29 a	3224 a
30	134 b	1010 b	10865 a	0.21 b	2706 a
90	127 b	920.0 b	10564 a	0.21 b	2648 a

Tratamiento	PMG (g)	Rendimiento (Kg ha ⁻¹)
Barbecho	264.1 b	3000 a
Alejandrino	285.7 a	2817 a
Raigrás	273.0 b	3481 a
T.rojo	265.5 b	2139 a

Valores seguidos de igual letra dentro de variables no difieren entre si ($p < 0.10$).

El rendimiento en grano no presenta diferencias significativas en cuanto a coberturas, pero si existe una fuerte tendencia a que el agregado de la mínima dosis de N (30 Unidades) y mayores, provoquen mermas en la producción de grano.

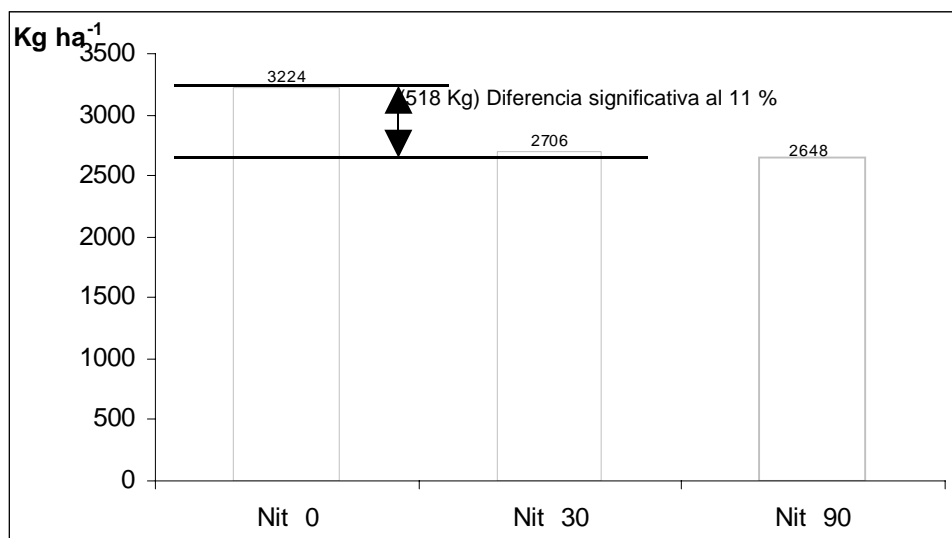


Figura 8. Rendimiento en grano (Kg. Ha⁻¹) según dosis de N aplicado a V6.

El rendimiento en grano no mostró diferencias significativas tanto a coberturas como a dosis de N aplicadas a V6 ni a la interacción de ambos, pero existió una marcada tendencia a que la dosis 0 de N aplicada a V6 haya sido quien más rinda. ($p < 0.11$) o se puede interpretar que la mínima dosis de N aplicada a V6 que se prueba, signifique la merma de rendimiento en grano. En este mismo sentido contribuyeron los componentes del rendimiento cuando no se aplicó nitrógeno mejorando significativamente el índice de cosecha, por una mayor cantidad de granos lograda por unidad de superficie mientras que las dosis de N no causaron efecto sobre el peso de los granos.

Las coberturas sobre el peso de los granos causaron un efecto significativo, siendo el tratamiento de maíz sobre alejandrino el que logró mayor peso, pero como componente residual del rendimiento que es éste componente, no logró diferenciar en cuanto a rendimientos por coberturas a este tratamiento ya que el número de granos fue quien explicó mayormente el rendimiento.

Yamaguchi, citado por Tollenaar y Daynard (1978) mencionan correlaciones altamente significativa ($r = 0.86$) de 0.76 respectivamente entre el número de granos por unidad de superficie y el rendimiento del maíz, y en el caso de nuestro ensayo, las correlaciones son aún más altas ($r = 0.98$) señalando la importancia de este componente del rendimiento.

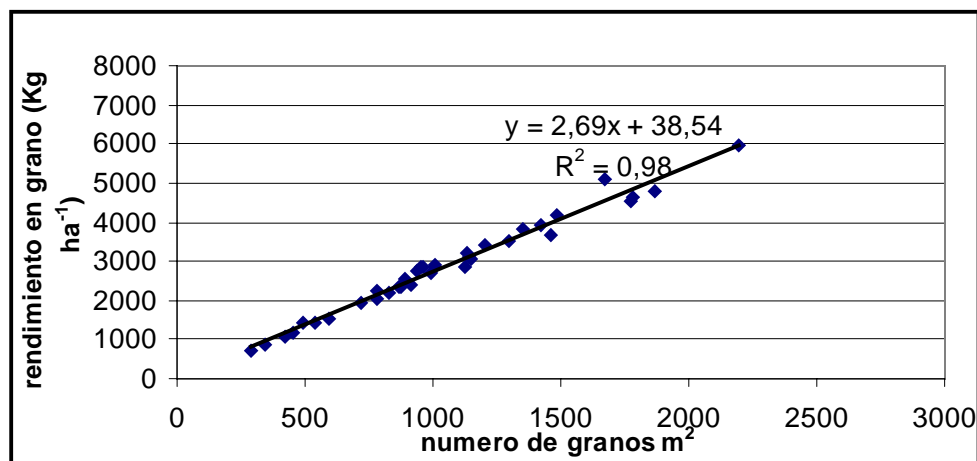


Figura 9. Relación entre el rendimiento en grano por ha^{-1} y el número de granos por unidad de superficie.

4.4.2.7 Biomasa aérea total acumulada a cosecha.

Al momento de madurez fisiológica (cosecha) se emparejan todos los tratamientos y no se observan por lo tanto diferencias significativas en acumulación de biomasa aérea, siendo el valor medio acumulado de $10.4 \text{ tt. } ha^{-1}$. La razón es que desde antes de floración y hasta madures fisiológica, perduró el estrés hídrico con escasez de precipitaciones y alta demanda atmosférica.

4.4.2.8 Índice de cosecha

Con respecto a esta variable, las coberturas son todas iguales y no hay al menos una de ellas que presente diferencias significativas, y los resultados de este experimento, van en el mismo sentido de los que encuentran Andrade y Cirilo (datos no publicados), citados por Andrade et al. (2002), de solo 0.11 cuando el cultivo de maíz fue sometidos a deficiencias hídricas severas durante 30 días centrados en floración, siendo de 0.46 cuando el mismo ensayo fue conducido sin limitantes hídricas.

Si relacionamos la MS total aérea lograda a cosecha con el rendimiento en grano, queda demostrada la alta dispersión entre los puntos y por tanto un bajo ajuste de la regresión.

La partición a los granos si esta condicionada por la dosis de N aplicada a V6.

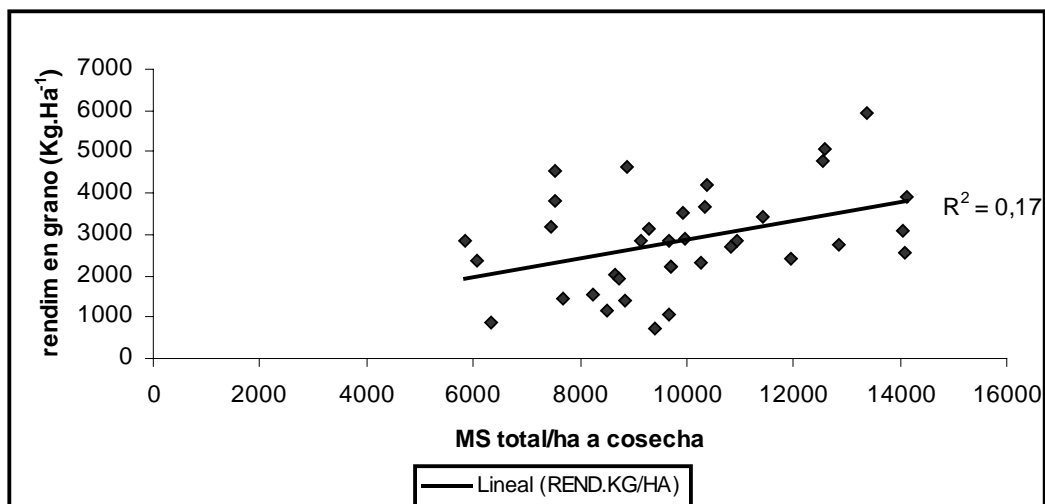


Figura 10. Relación entre la Materia seca acumulada a cosecha y el rendimiento en grano para todas los tratamientos coberturas y dosis de N aplicadas a V6.

Cuando discriminamos por cobertura, encontramos que el trébol rojo presenta una correlación alta entre acumulación de biomasa aérea y partición a granos, mientras que en los demás tratamientos el ajuste es muy bajo dada la alta dispersión de los puntos.

Esto significa que la cobertura de trébol rojo responde con incrementos en rendimiento ante una mayor acumulación de biomasa total a cosecha.

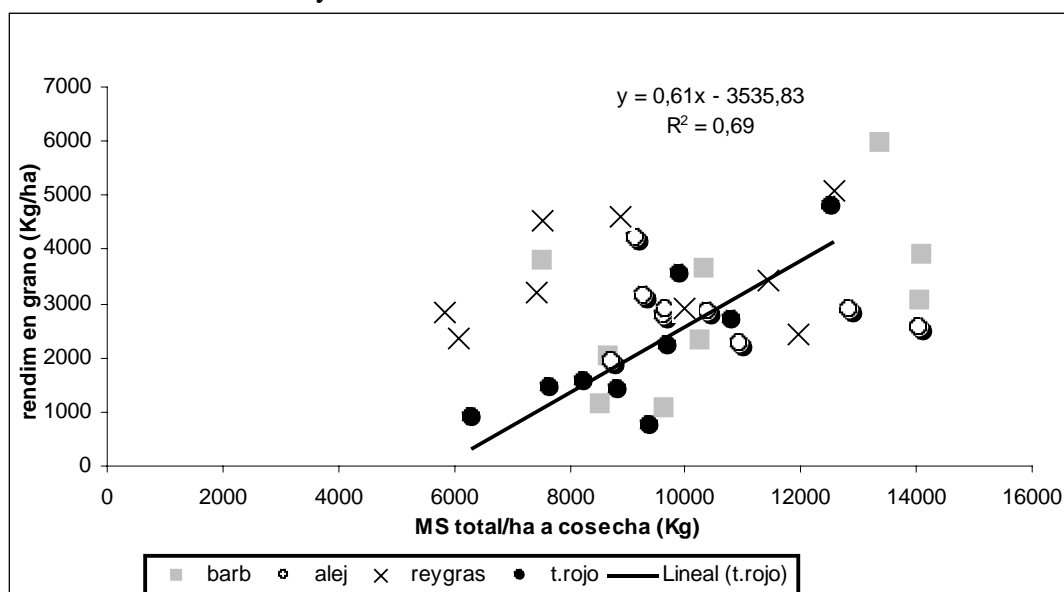


Figura 11. Relación entre la Materia seca acumulada a cosecha y el rendimiento en grano para todas las dosis de N aplicadas a V6 y discriminado por tratamientos coberturas.

Cuadro 32. Comportamiento del nitrógeno en el cultivo de maíz y en el suelo luego de la madurez fisiológica del cultivo.

Dosis de N	% N total a cosecha.	N total absorbido a cosecha. (Kg ha ⁻¹)	% N en rastrojo.	ICN	N-NO ³ residual (ppm).
0	0.85 ab	84 b	0.57 b	0.53 a	9.2 b
30	0.75 b	78 b	0.56 b	0.42 b	10.3 b
90	0.95 a	99 a	0.76 a	0.36 b	18.2 a

Tratamiento	N total absorbido a cosecha (kg ha ⁻¹)	% N en rastrojo.	% N en grano.	N-NO ³ (ppm) residual.
Barbecho	87.6 a	0.55 b	1.25 bc	6.9 c
Alejandrino	94.0 a	0.65 ab	1.40 ab	11.9 b
Raigrás	75.3 a	0.53 b	1.10 c	8.4 bc
T. rojo	91.6 a	0.79 a	1.61 a	23.2 a

Tratamiento	Nitrato residual en suelo (ppm).		
	Dosis de nitrógeno		
	0	30	90
Barbecho	5.9 d	5.7 d	9.0 d
Alejandrino	10.6 cd	8.8 d	16.2 bc
Raigras	8.7 d	7.7 d	8.8 d
T. rojo	11.8 cd	19.1 b	38.9 a

Valores seguidos de igual letra dentro de variables no difieren entre si ($p < 0.10$).

Con los 87 Kg. Ha⁻¹ de N promedio absorbidos a cosecha daría para concretar rendimientos del orden de 4.35 toneladas ha⁻¹ según los requerimientos de N en parte aérea que plantea Andrade et al. (2002). Se da entonces la misma situación que en el experimento tratado en el punto anterior, en que la limitante al rendimiento no es la absorción de N aun con concentraciones bajas de este nutriente en planta, existiendo otros elementos como la disponibilidad de agua para el cultivo la que determina claros impedimentos a la concreción de rendimiento en grano.

En este experimento el agua no fue medida como en el anterior, pero dadas las condiciones climáticas del periodo, no sería esperable encontrar grandes diferencias tanto en evolución como en el contenido de AD en suelo.

El índice de cosecha del nitrógeno es mas alto para la dosis 0 de N aplicado a V6, justificado por un mayor rendimiento en grano, pero también es la dosis que menos N absorbió a la cosecha. Aun siendo el valor mas alto, esta por debajo del 0.59 a 0.69 citados por Andrade para cultivos conducidos sin limitantes.

La concentración de nitratos en suelo luego de la cosecha del maíz es mas alta cuando la dosis de nitrógeno aplicado a V6 fue mas alta pero también cuando la cobertura fue trébol rojo, y ésta diferencia de esta cobertura con las demás estaría

indicando su capacidad diferencial de aporte de nitrógeno con respecto a las demás coberturas.

Estos resultados concuerdan con los hallados por Torres y Del Pino (1995) quienes evaluaron el efecto de un trébol rojo de corta duración sobre la disponibilidad de N para cultivos de invierno y verano. En general los cultivos de invierno mostraron baja recuperación aparente del N proveniente del residuo de las leguminosas, pasando buena parte de este al pool de N orgánico del suelo. En cambio en los cultivos de verano, la descomposición del residuo se vio acelerada por la temperatura y existió una buena sincronización entre la demanda de N por el cultivo y la oferta de N por parte del suelo.

En nuestro experimento, posiblemente la cobertura de trébol rojo haya estado reponiendo de nitrógeno al suelo dada la evolución del nutriente a lo largo del ciclo del maíz, nitrógeno que el cultivo de maíz habría absorbido en otra condición de mejor oferta hídrica.

5. CONCLUSIONES

Si consideramos que en barbecho o raigrás no ingresa N al sistema (ya que los aportes del rastrojo es N del propio sistema que esta en reciclaje) entonces con el correr de los años o vale decir de los cultivos que en mayor o menor medida van extrayendo N con el grano, vamos sin duda perdiendo N del suelo, y es aquí la ventaja de la leguminosa como cultivo de cobertura en un esquema de agricultura continua, que independientemente de los resultados obtenidos en rendimiento del cultivo de maíz que obedecen netamente a una condición hídrica totalmente adversa para nuestro experimento, la cobertura con trébol alejandrino y trébol rojo estarían aportando desde la medición realizada a V6, la cantidad de N que necesita el cultivo de renta elegido.

Las coberturas de leguminosas mostraron una mas alta cantidad de nitratos en suelo en los muestreos de V6 y especialmente la cobertura de trébol rojo es quien demuestra una mayor capacidad para reponer de nitratos al suelo, dejando incluso significativamente mas nitratos luego de la cosecha que los demás tratamientos cobertura.

Queda demostrado que la falta de N no fue la limitante al rendimiento en grano, y que para producir lo que se produjo es suficiente el nitrógeno absorbido por el cultivo, pero la limitante sí fue el agua, lo que queda demostrado por su evolución en el suelo durante el ciclo del maíz, especialmente durante su periodo critico de concreción de rendimiento.

En la situación de estrés hídrico que enfrenta el cultivo, el N tanto aplicado a V6 como el efecto que provocan las coberturas sobre la dinámica de este nutriente son determinantes del uso del agua durante el ciclo del cultivo, aunque para el experimento la deficiencia hídrica fue tan severa que desde antes de floración, se anularon tales diferencias.

La interacción del agua en el suelo con otras variables como el status nutricional de la planta en cuanto a N, fueron determinantes de las tendencias a diferentes rendimientos entre las distintas dosis de N.

Los rendimientos del maíz fueron bajos, explicados por la baja producción de biomasa y la baja partición hacia los frutos, y la relación entre estas variables, sigue patrones de comportamiento con tendencias distintas según haya sido el tratamiento antecesor al cultivo de maíz y la dosis de nitrógeno aplicada a V6.

Aunque no fue propuesto en los objetivos del trabajo, igualmente se destaca la importancia del riego suplementario que no permite que caiga en forma tan pronunciada la partición a granos, aunque esa mejora en el IC no significó que se magnificaran las tendencias con respecto al experimento totalmente en secano.

Dadas las condiciones de alta variabilidad climática entre años en el país, sumado a la vulnerabilidad frente al estrés hídrico del cultivo de maíz, es que entendemos necesario se repita el experimento en mas años sucesivos a fin de concluir de manera mas precisa, considerando que el efecto año juega en este caso un rol muy importante.

6. RESUMEN

En el verano 2005/06 se instaló un ensayo en el potrero 31 de la facultad de agronomía, estación experimental Mario A Casinoni (EEMAC) en el departamento de Paysandú (Uruguay) con el objetivo de evaluar los efectos que producen distintos manejos del barbecho invernal en la respuesta a la fertilización nitrogenada del cultivo de maíz, en un sistema de agricultura continua y en siembra directa. Los tratamientos evaluados fueron: sin cultivo cobertura durante el invierno (antecesor: soja en el verano anterior) y con cultivo cobertura durante el invierno, siendo las coberturas probadas: *Lolium multiflorum*, *Trifolium alexandrinum* y *Trifolium pratense*. El diseño utilizado fue de bloques completos al azar en parcelas divididas con tres repeticiones, correspondiendo la parcela mayor a la cobertura y la menor a la dosis de nitrógeno aplicada a V6 (0, 30, 60 y 90 UN ha⁻¹). El tamaño de la parcela mayor fue de 120 m², y en consecuencia el de la menor fue de 30 m². Se midieron parámetros de las coberturas como acumulación de biomasa al momento de matarlas para comenzar el barbecho presiembra del cultivo de maíz y la evolución de agua en el suelo que determinó cada una de ellas (para todas las coberturas pero solo para las dosis 60 UN aplicadas a V6), realizando lecturas cada aproximadamente 20 días hasta la madurez fisiológica del maíz. En el cultivo se determinaron variables como implantación y población, biomasa acumulada a V6, a floración según órgano de la planta y a cosecha, determinando % de N en estos mismos estadios. Se midieron también variables como altura de plantas a floración, iaf y temperatura foliar a ese estadio. A cosecha se determinó rendimiento en grano y sus componentes. La información obtenida fue procesada por análisis de la varianza con el método SAS, realizándose diferenciación de medias por MDS. Para un año con alta deficiencia hídrica y mala distribución de las lluvias donde el periodo crítico de concreción de rendimiento del maíz ocurrió con un contenido de agua disponible en el suelo 85% por debajo de la capacidad de campo, lo que determinó que los rendimientos fueran muy bajos (media general: 3200 Kg. ha⁻¹, corregido por humedad) y ese pronunciado déficit hídrico obligó a tomar la determinación de regar con 50 mm de agua a las dosis 60 UN a mitad de floración, dado el inminente peligro de pérdida total del ensayo. Este comportamiento del cultivo frente a las condiciones ambientales determinó que no se expresaran en él los probables efectos del manejo invernal. No obstante, la evolución de nitratos en suelo fue favorable a los tratamientos con cobertura en el sentido que sincronizaron la oferta de nitratos por parte del suelo con la demanda de tal nutriente por parte del cultivo de renta empleado. El efecto año condicionó de manera importante la respuesta del cultivo hacia los diferentes niveles de oferta de nitrógeno que provocaron los distintos tratamientos.

Palabras clave: agua; nitrógeno; maíz; cultivos de cobertura.

7. SUMMARY.

In 2005/2006's summer an experimentation at the stable installed 31 of Agronomía's Faculty, experiment station itself Mario A. Cassinoni (EEMAC) at the department of Paysandú, Uruguay: With the objective to evaluate the property that produce the berbecho's different handlings in vernal in the answer to the fertilization nitrogenated of cultivation of corn, in a system of nonstop agriculture and in direct planting. treatments evaluated were : Without cultivation coverage during the winter (predecessor: Soybean in the summer previous) and with cultivation coverage during the winter, being coverages proven: *Lolium multiflorum*, *trifolium alexandrinum* and *trifolium pratense*. The design utilized went from complete blocks at random at parcels divided with three repetitions, corresponding the bigger parcel to the coverage, and the minor to the nitrogenous dose applied for V6 (has⁻¹ 0, 30, 60 and 90 UN). The size of the bigger parcel went from 120 m², and in consequence, it was the one belonging to the minor of 30 m². They measured parameters of coverages like accumulation of biomass in a minute of killing them to start with the fallow the pre sows of cultivation of corn and evolution of water in the ground, that each of them (for all the coverages but solo for the dose 60 UN applied to V6), accomplishing readings each approximately 20 days even determined the physiological maturity of the corn. In the cultivation they determined variables like implantation and population, biomass accumulated to V6, afloration according to organ of the plant and to harvest, determining percentages of N in these same one stadiums. They measured also variables like height from the beginning to flowering, iaf and temperature foliating to that stadium. Performance in grain and his components were determined at harvest. information obtained was processed by variance analysis with the method SAS, coming true differentiation of means for MDS. For a year with high hydric deficiency and maldistribution of rains where the critical period of concretion of performance of the corn occurred with a contents of available water in the ground 85 % underneath the farm capability, what the fact that performances be very low determined (he mediates general: 3200 kg.ha⁻¹, revised for humidity) and that pronounced hydric deficit forced to take the determination to irrigate with 50mm of water to the dose 60UN halfway through flowering, die the imminent danger of total loss of experimentation. This behavior of cultivation in front of the environmental conditions determined that they not express in him the probable effects of handling in vernal. In spite of the evolution of nitrates of the ground it was favorable to the treatments with coverage in the sense that synchronized the offer of nitrates for part of the ground with the request of such nutrient for part of cultivation of income used. The effect the answer of cultivation toward the different levels of nitrogenous offer that the distinct treatments provoked conditioned year of important manner.

Keywords: water; nitrogen; corn; cober crop.

8. BIBLIOGRAFÍA.

1. ACHAVAL, M.; DUCAMP, F. 1998. Fertilización fosfatada a la siembra y nitrogenada a 6 hojas de maíz para grano en siembra directa sobre tres chacras diferentes. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 129 p.
2. AGUSTÍ, M. 2000. Crecimiento y maduración del fruto. In: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. eds. Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, McGraw-Hill. pp. 419-433.
3. ANDRADE, F.; CIRILO, A.; UHART, S.; OTHEGUI, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, Buenos Aires, La Barrosa. 292 p.
4. _____.; CALVIÑO, P.; CIRILO, A.; BARBIERI, P. 2001. Respuesta del maíz, el girasol y la soja al acortamiento de la distancia entre hileras. In: Congreso Nacional de Maíz (7º., 2001, Pergamino, Argentina). Trabajos presentados. s.n.t. s.p.
5. _____.; AGUIRREZABAL, L.; RIZZALLI, R. 2002a. Crecimiento y rendimiento comparado. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Médica Panamericana. pp. 61-96.
6. _____.; SADRAS, V. 2002b. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Médica Panamericana. pp. 173-206.
7. _____.; ECHEVERRIA, H.; GONZALEZ, N.; UHART, S. 2002c. Requerimientos de nutrientes minerales. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Médica Panamericana. pp. 207-233.
8. BAETHGEN, W. 1996. El nitrógeno en los sistemas agrícola-ganaderos. In: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. eds. Manejo y fertilidad de suelos. Montevideo, INIA. pp. 9-22 (Serie Técnica no. 76).
9. BARBIERI, P.; ECHEVERRIA, H.; SAINZ ROSAS, H. 2005. Respuesta del cultivo de maíz bajo siembra directa a la reducción de la distancia entre hileras y al agregado de nitrógeno en secano. In: Congreso Nacional de Maíz (8º., 2005, Rosario, Argentina). Generando valor para un futuro sustentable. s.n.t. pp. 111-113.

10. BELLOCCHI, G.; SILVESTRI, N.; MAZZONCINI, M.; MENINI, S. 2002. Using the CropSyst model in continuous Rainfed Maize (*Zea mais L.*) under alternative management options. *Agronomy Journal*. 6(1): 43-56.
11. BRUULSEMA, T.; CHRISTIE, B. 1987. Nitrogen contribution to succeeding corn from alfalfa and red clover. *Agronomy Journal*. 79: 96-100.
12. CARDELLINO, G.; GARCIA, F. 1995. Manejo de suelos y agua en el cultivo de maíz. In: Pignau, J.P. ed. Maíz; sistemas de producción. Montevideo, PROCISUR. pp. 167-176 (Diálogo no. 43).
13. CIGANDA, V.; 1996. Manejo de la fertilización nitrogenada en siembra directa de pasturas. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 70 p.
14. DELLA MAGGIORA, A.; GARDIOL, J.; IRIGOYEN, A. 2002 Requerimientos hídricos. In. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Médica Panamericana. pp. 155-171.
15. ECK, H. 1986. Effects of water deficits on yield, yield components, and water use efficiency of irrigated corn. *Agronomy Journal*. 78: 1035-1040.
16. EIK, K.; HANWAY, J. 1966. Leaf area in relation to yield of corn grain. *Agronomy Journal*. 58: 16-19.
17. ERNST, O.; HOFFMAN, E.; ELLIOT, E. 1992. Respuesta de cebada cervecera a manejos de suelo contrastantes. In: Reunión Nacional de Investigación de Cebada, (3ª, 1992, Minas). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp.81-89.
18. _____.; SIRI, G. 1995. Rastrojo en superficie; entre ventajas y problemas. *Cangüé*. no. 4: 15-19.
19. _____. 2000. Siete años de siembra sin laboreo. *Cangüé*. no. 20: 9 - 13.
20. _____. 2004. Leguminosas como cultivo de cobertura. *INFOFOS. Informaciones Agronómicas*. no. 21: 16-21.
21. FLEUMER, J. 1994 Soil infiltrability; restriction of a clay B – horizon. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 68 p.

22. FOX, R.; KERN, J.; PIEKIELEK, W. 1986. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effects on no-till corn yield and nitrogen uptakes. *Agronomy Journal*. 78: 741-746.
23. GALARZA, C.; GUDELG, V.; VALLONE, P.; NIERI, G. 2001. Fertilización de cultivos en siembra directa en el sudeste de Córdoba, Argentina. In: Díaz Rossello, R. ed. Siembra directa en el cono sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 353-364.
24. GIMENEZ, L. 2001. Maíz. Paysandú, Facultad de Agronomía. 76 p.
25. HAROLD, V. 1982. Irrigated corn yield response to nitrogen and water. *Agronomy Journal*. 76 : 421-428.
26. HARRIS, G.; HESTERMAN, O. 1990. Quantifying the nitrogen contribution from alfalfa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agronomy Journal*. 82: 129-134.
27. LEVIN, A.; BEEGLE, D.B.; FOX, R.H. 1987. Effect of tillage on residual nitrogen availability from alfalfa to succeeding corn crops. *Agronomy Journal*. 79: 34-38.
28. LINSOTT, D.; FOX, R.; LIPPS, R. 1962. Corn root distribution and moisture extraction in relation to nitrogen fertilization and soil properties. *Agronomy Journal*. 54: 185-190.
29. MCINNES, K.;FERGUSON, R.; KISSEL, D.; KANEMASU, E. 1986. Field measurements of ammonia loss from surface applications of urea solutions to bare soil. *Agronomy Journal*. 78: 192-196.
30. MIERES, J. M. 2004. Guía para la alimentación de rumiantes. Montevideo, INIA. 81 p. (Serie Técnica no. 142).
31. MOLFINO, J.; CALIFRA, A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay; segunda aproximación. Montevideo, MGAP. DSA. 12 p.
32. MONZON, J.; SADRAS, V.; ANDRADE, F. 2005. Evaporación durante el barbecho: efectos del rastrojo en ambientes sub.-húmedos y semiáridos. In: Congreso Nacional de Maíz (8º., 2005, Rosario, Argentina). Generando valor para un futuro sustentable. s.n.t. pp. 178-181.

33. MORON, A. 2003. Efecto de las rotaciones cultivo-pasturas sobre la fertilidad de los suelos en ensayos de larga duración de INIA La Estanzuela (1963-2003). *Informaciones Agronómicas del Cono sur*. no. 20. 7 p.
34. MUCHOW, R.; SINCLAIR, T. 1991. Water deficit effects on maize yield modeled under current and "greenhouse" climates. *Agronomy Journal*. 83: 1052-1059.
35. NESMITH, D.; RITCHIE, J. 1992. Short and long term responses of corn to a pre-anthesis soil water deficit. *Agronomy Journal*. 84: 107-113.
36. ROSELLI FRACASO, S.; TEXEIRA ORIHUELA, J. 1998. Efecto del manejo del agua de riego sobre las características productivas de maíz para grano. Tesis de Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 86 p.
37. ROSSINI, M; D`ANDREA, K; OTHEGUI, M. 2005. Emisión de estigmas en maíz: efectos del genotipo y el nitrógeno. *In*: Congreso Nacional de Maíz (8°, 2005, Rosario, Argentina). Generando valor para un futuro sustentable. s.n.t. pp. 51-54.
38. SANCHEZ-DIAZ, M.; AGUIRREOLA, J. 2000. Transporte de agua y balance hídrico en la planta. *In*: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. eds. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Madrid, McGraw-Hill. pp. 419-433.
39. SAWCHIK, J. 2000. Conceptos básicos para el manejo del riego. (en línea). Montevideo, INIA. Consultado dic. 2006. Disponible en http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/rec_nat
40. _____. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. *In*: Díaz Rossello, R. ed. *Siembra directa en el cono sur*. Montevideo, PROCISUR. pp. 323-345.
41. SCHUSSLER, J.; WESTGATE, M. 1991a. Maize kernel set at low water potential; I. Sensitivity to reduced assimilates during early kernel growth. *Crop Science*. 31 : 1189-1195.
42. _____.; _____ 1991b. Maize kernel set at low water potential; II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. *Crop Science*. 31 : 1196-1203.

43. _____.; _____. 1994. Increasing assimilate reserves does not prevent kernel abortion at low water potential in maize. *Crop. Sci.* 34 : 1569-1576.
44. SINCLAIR, C.; BENNETT, J.; MUCHOW, R. 1990. Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to drought in field-grown maize. *Crop Science.* 30 : 690-693.
45. STEINBACH, H.; ALVAREZ, R.; ROVERI, A.; MONTANÉ, J.; GRIGERA, S. 2005. Ajuste en la estimación de los requerimientos de N del cultivo de maíz en la pampa ondulada. In: Congreso Nacional de Maíz (8°, 2005, Rosario, Argentina). Generando valor para un futuro sustentable. s.n.t. pp. 158-161.
46. TOLLENAAR, M.; DAYNARD, T. 1978. Relationship between assimilate and reproductive sink in maize grown in a short-season Environment. *Agronomy Journal.* 70: 219-223.
47. TORRES, D.; DEL PINO, A.; CASANOVA, O.; ARRONDO, F. 1995. Abonos verdes para maíz. In: Puignau, J. P. ed. Maíz; sistemas de producción. Montevideo, IICA. PROCISUR. pp. 177-181 (Diálogo no. 43).
48. _____. 1996. Tecnologías en cultivos de verano; II. Maíz y sorgo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 147 p.
49. UHART, S.; ECHEVERRIA, H.; 2002. Diagnostico de la fertilización. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Médica Panamericana. pp. 235-268.
50. URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCION DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1:1000000. Montevideo. 96 p.
51. VEGA, C.; ANDRADE, F. 2002. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. In: Andrade, F.; Sadras, V. eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Buenos Aires, Argentina, Médica Panamericana. pp. 97-133.
52. VOSS, R.; HANWAY, J.; DUMENIL, L. 1970. Relationship between grain yield and leaf N, P and K concentration for corn (*Zea Maiz L.*) and the

factors that influence this relationship. *Agronomy Journal*. 62 : 726-728.

53. WOLFE, D.; HENDERSON, D.; HSIAO, T.; ALVINO, A. 1988a. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal*. 80: 859-864.
54. _____.; _____.; _____.; _____. 1988b. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal*. 80: 864-868.

9. ANEXOS.

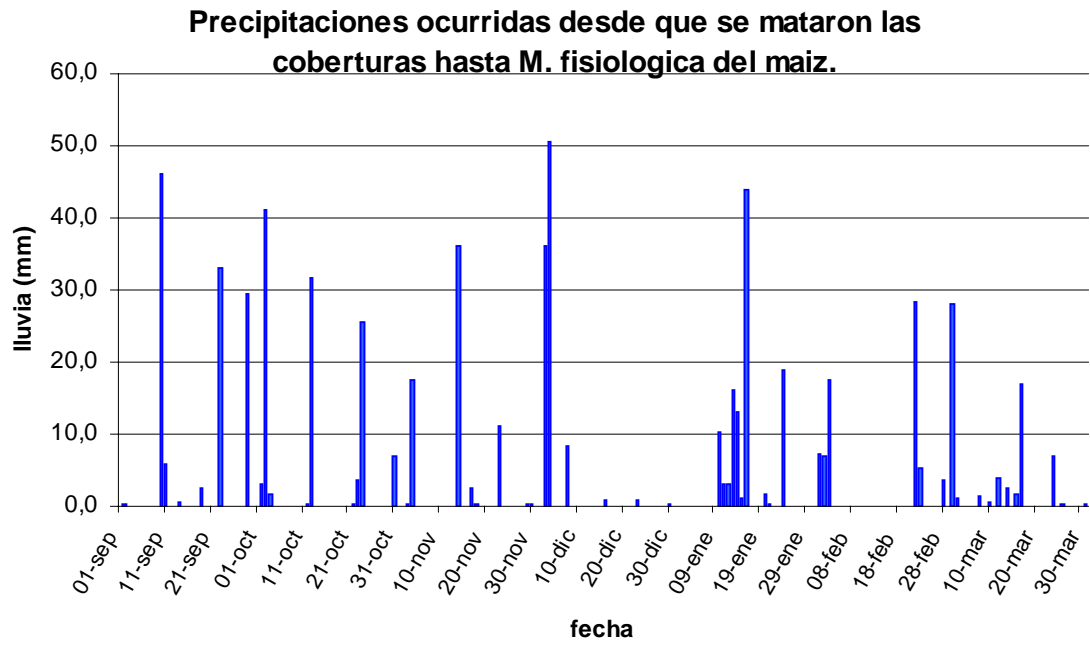
ANEXO 1

Evolución cronológica del cultivo de maíz.

Estado Fisiológico	Días corrientes	Día del año (DDA)	Fecha
Siembra	1	304	28 oct
Emergencia	4	308	1 nov
V6	35	337	3 dic
Floración	69	6	6 ene
Madurez fisiológica	132	69	10 mar

Anexo 2

PRECIPITACION DIARIA (mm) REGISTRADA ENTRE LOS MESES DE



20-ago	0,2	20-sep	0,0	20-oct	0,0	20-nov	0
21-ago	28,6	21-sep	0,0	21-oct	0,0	21-nov	0
22-ago	2,6	22-sep	0,0	22-oct	0,2	22-nov	0
23-ago	21,8	23-sep	33,0	23-oct	3,5	23-nov	11
24-ago	0,0	24-sep	0,0	24-oct	25,6	24-nov	0
25-ago	0,2	25-sep	0,0	25-oct	0,0	25-nov	0
26-ago	0,0	26-sep	0,0	26-oct	0,0	26-nov	0
27-ago	0,0	27-sep	0,0	27-oct	0,0	27-nov	0
28-ago	0,0	28-sep	0,0	28-oct	0,0	28-nov	0
29-ago	0,0	29-sep	29,4	29-oct	0,0	29-nov	0,2
30-ago	0,0	30-sep	0,0	30-oct	0,0	30-nov	0,2
31-ago	0,0			31-oct	7,0		
TOTAL	54,0		117,5		114,0		67,9

DICIEMBRE 2005		ENERO 2006		FEBRERO 2006		MARZO 2006	
01-dic	0	01-ene	0,0	01-feb	7,1	01-mar	0,0
02-dic	0	02-ene	0,0	02-feb	7,0	02-mar	28,0
03-dic	36	03-ene	0,0	03-feb	17,6	03-mar	1,0
04-dic	50,5	04-ene	0,0	04-feb	0,0	04-mar	0,0
05-dic	0	05-ene	0,0	05-feb	0,0	05-mar	0,0
06-dic	0	06-ene	0,0	06-feb	0,0	06-mar	0,0
07-dic	0	07-ene	0,0	07-feb	0,0	07-mar	0,0
08-dic	8,2	08-ene	0,0	08-feb	0,0	08-mar	1,5
09-dic	0	09-ene	0,0	09-feb	0,0	09-mar	0,0
10-dic	0	10-ene	10,3	10-feb	0,0	10-mar	0,5
11-dic	0	11-ene	3,1	11-feb	0,0	11-mar	0,0
12-dic	0	12-ene	3,1	12-feb	0,0	12-mar	3,8
13-dic	0	13-ene	16,0	13-feb	0,0	13-mar	0,0
14-dic	0	14-ene	13,1	14-feb	0,0	14-mar	2,5
15-dic	0	15-ene	1,0	15-feb	0,0	15-mar	0,0
16-dic	0,7	16-ene	44,0	16-feb	0,0	16-mar	1,6
17-dic	0	17-ene	0,0	17-feb	0,0	17-mar	16,9
18-dic	0	18-ene	0,0	18-feb	0,0	18-mar	0,0
19-dic	0	19-ene	0,0	19-feb	0,0	19-mar	0,0
20-dic	0	20-ene	1,6	20-feb	0,0	20-mar	0,0
21-dic	0	21-ene	0,2	21-feb	0,0	21-mar	0,0
22-dic	0	22-ene	0,0	22-feb	28,4	22-mar	0,0
23-dic	0,7	23-ene	0,0	23-feb	5,2	23-mar	0,0
24-dic	0	24-ene	18,8	24-feb	0,0	24-mar	6,9
25-dic	0	25-ene	0,0	25-feb	0,0	25-mar	0,0
26-dic	0	26-ene	0,0	26-feb	0,0	26-mar	0,4
27-dic	0	27-ene	0,0	27-feb	0,0	27-mar	0,0
28-dic	0	28-ene	0,0	28-feb	3,6	28-mar	0,0
29-dic	0	29-ene	0,0			29-mar	0,0
30-dic	0,2	30-ene	0,0			30-mar	0,0
31-dic	0	31-ene	0,0			31-mar	0,3
	96,3		111,2		68,9		63,4