

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EMPLEO DE CULTIVOS COBERTURA Y SU INCIDENCIA EN NITRATOS,
AGUA ACUMULADA EN EL SUELO Y RENDIMIENTO DE MAIZ**

por

**Alfredo BRATSCHI CLAVELL
Felipe LÓPEZ FERREIRA**

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2012**

Tesis aprobada por:

Director: _____

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Sebastián Mazzilli

Fecha:

Autor: _____

Alfredo Bratschi Clavell

Felipe López Ferreira

AGRADECIMIENTOS

Nicolás Fassana

Lic. Sully Toledo

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VIII
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	2
2.1 LA IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS COBERTURA.....	2
2.2. DESCRIPCIÓN DE FAMILIAS EMPLEADAS	2
COMO COBERTURA.....	
2.2.1. <u>Gramíneas</u>	2
2.2.2. <u>Leguminosas</u>	2
2.2.3. <u>Crucíferas</u>	3
2.3. CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS ESPECIE.....	3
2.3.1. <u>Triticale</u>	3
2.3.2. <u>Avena</u>	5
2.3.2.1. Avena Strigosa.....	5
2.3.2.2. Avena Bizantina.....	6
2.3.3. <u>Lolium multiflorum</u>	7
2.3.4 <u>Trifolium Alexandrinum</u>	8
2.3.5. <u>Vicia villosa</u>	8
2.3.6. <u>Panicum sativum</u>	9

2.3.7. <u>Sinapsis alba L</u>	9
2.4. EL AGUA.....	10
2.4.1. <u>Evapotranspiración</u>	10
2.4.2. <u>Requerimientos hídricos de los cultivos</u>	11
2.4.3. <u>Agua disponible</u>	11
2.4.4. <u>Balance de agua en el suelo</u>	13
2.4.5. <u>Efectos de los rastrojos</u>	13
2.5 LAS COBERTURAS Y EL NITROGENO EN EL SISTEMA.....	14
2.5.1 <u>Ingreso de nitrógeno al sistema por el cultivo cobertura</u>	14
2.5.2 <u>Residualidad y eficiencia de recuperación del nitrógeno</u>	15
2.6 LAS COBERTURAS Y EL RENDIMIENTO EN MAIZ.....	16
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	18
3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO.....	18
3.2. TRATAMIENTOS.....	18
3.2.1. <u>Siembra de las coberturas</u>	18
3.2.2. <u>Muestreos previos al comienzo del barbecho de las</u> <u>Coberturas</u>	19
3.2.3. <u>Aplicación de herbicidas y comienzo barbecho químico</u>	19
3.3. SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE MAIZ.....	20
3.4. MEDICIONES A NIVEL DE SUELO.....	20
3.4.1. <u>Nitratos en suelo</u>	20
3.4.2 <u>Humedad gravimétrica</u>	21
3.5 MEDICIONES A NIVEL DE PLANTA.....	21

3.5.1 <u>Implantación</u>	21
3.5.2 <u>Materia seca, Nitrógeno en planta y HAUN</u>	21
3.5.3. <u>IAF</u>	22
3.6. COSECHA Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS.....	22
3.7 ANALISIS ESTADISTICO.....	23
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	25
4.1 CLIMA.....	25
4.1.1. <u>Temperatura</u>	25
4.1.2. <u>Precipitaciones</u>	25
4.2. BIOMASA CULTIVOS COBERTURAS.....	28
4.3. AGUA DISPONIBLE.....	29
4.3.1. <u>Evolución del agua disponible en el suelo (0 a 60 cm de Profundidad)</u>	29
4.3.2. <u>Distribución del agua en el perfil</u>	31
4.4. NITRATOS EN SUELO.....	33
4.5. IMPLANTACION DEL CULTIVO.....	35
4.6. PRODUCCION DE MATERIA SECA A V8.....	36
4.6.1. <u>Producción de materia seca por planta</u>	36
4.6.2. <u>Producción de materia seca por m²</u>	37
4.6.3. <u>Nitrógeno absorbido por el cultivo</u>	38
4.6.4. <u>Análisis de desarrollo del cultivo según escala de Haun</u>	40
4.7. IAF.....	42
4.8.RENDIMIENTO.....	42

4.8.1. <u>Fertilidad</u>	42
4.8.2. <u>Granos por marlo</u>	44
4.8.3. <u>Granos por m²</u>	47
4.8.4. <u>Peso de mil granos (pmg)</u>	48
4.8.5. <u>Rendimiento en grano de maíz (kg/ha)</u>	50
5. <u>CONCLUSIONES</u>	53
6. <u>RESUMEN</u>	54
7. <u>SUMMARY</u>	55
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	56

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Densidad y método de siembra según cobertura.....	19
2. Aplicación de herbicidas según cobertura.....	20
3. Cronograma actividades.....	23
4. Fenología del cultivo.....	27
5. Evolución de los niveles de N-NO ₃ en suelo según cobertura.	34
6. Desarrollo según escala de Haun.....	41
7. Producción de granos por marlo según cultivo cobertura.....	45
8. Producción de granos de maíz por m ² según cultivo cobertura.	47
Figura No.	
1. Temperatura media mensual.....	25
2. Precipitaciones diarias y acumulado mensual.....	26
3. Producción de materia seca de las coberturas.....	28
4. Agua disponible (mm) en suelo 0 a 60 cm.....	29
5. Agua disponible (mm) en suelo al 10 de noviembre.....	31
6. Agua disponible (mm) en suelo al 03 de diciembre.....	32
7. Agua disponible (mm) en suelo al 29 de diciembre.....	33
8. Implantación del cultivo (pl/m ²).....	35
9. Peso individual de plantas de maíz según cobertura.....	37
10. Producción de materia seca de maíz por m ² según cobertura...	38

11. Nitrógeno absorbido por hectárea por el cultivo de maíz...	39
12. Porcentaje de nitrógeno en planta de maíz según cultivo cobertura.....	40
13. Efecto de las coberturas sobre la fertilidad de las plantas de maíz.....	43
14. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la fertilidad de las plantas.....	44
15. Producción de granos por marlo según nivel de fertilización nitrogenada.....	46
16. Producción de granos por m ² según nivel de fertilización nitrogenada.....	48
17. Efecto de cultivo cobertura sobre pmg.....	48
18. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre pmg.....	49
19. Rendimiento en grano según efecto cultivo cobertura.....	50
20. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento en grano de maíz.....	51
21. Respuesta a la fertilización nitrogenada según familia utilizada como cobertura.....	52

1. INTRODUCCION

La constante evolución del sistema productivo uruguayo en los últimos años, ha llevado a una expansión espacial y temporal de la agricultura en todo el territorio. Esta se ha vuelto la fase predominante en los sistemas agrícolas pastoriles y en muchos casos la rotación se ha vuelto exclusivamente agrícola. Esto sumado a la agricultura practicada en zonas marginales del país y el predominio de los cultivos de verano en las secuencias, generan un peligro potencial de erosión y deterioro en la etapa de mayor riesgo para los suelos, el invierno.

El empleo de cultivos de cobertura durante este período, disminuye los riesgos de erosión, ya que el suelo permanece cubierto, aumentan el reciclaje de nutrientes y la incorporación de materia orgánica mediante los rastrojos (Ernst, 2004). La suma de estos factores deja a los cultivos de cobertura como una de las soluciones para realizar una agricultura continua sustentable.

Para la implementación de estos cultivos de cobertura deben existir beneficios que sean tangibles para el productor y que lo incentiven a realizarlos ya que de otra manera no sería posible llevar a cabo estos cultivos durante el invierno. Por lo cual factores como nitrógeno y agua acumulada en el suelo antes de la siembra de verano, implantación y rendimiento tanto de materia seca como de grano del cultivo estival son fundamentales. En tanto el objetivo del trabajo se enfoca en encontrar un cultivo cobertura que proteja las propiedades físicas y químicas del suelo sin desmerecer el rendimiento del cultivo renta.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 LA IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS COBERTURA

Cuando estamos frente a un sistema de producción que realiza un cultivo por año nos encontramos con tiempos de barbecho excesivamente largos. En este periodo que el suelo se encuentra descubierto aumenta la probabilidad de tener pérdidas de suelo y nutrientes debido a la erosión. La utilización de cultivos cobertura durante este periodo, normalmente improductivo, permite mantener el suelo cubierto, reciclar nutrientes y produce un nuevo ingreso de rastrojo y raíces al sistema (Ernst, 2004). Los cultivos cobertura se definen como aquellos que crecen específicamente para mantener el suelo cubierto, protegiéndolo de la erosión, evitando la pérdida de nutrientes por lavado y escurrimiento y, en caso de ser leguminosa, incorporando nitrógeno (N) al sistema. Se diferencian de una pastura porque no son de renta directa y crecen fuera de estación dentro de un sistema de siembra de cultivos anuales (Reeves y Touchton, 1991).

2.2. DESCRIPCIÓN DE FAMILIAS EMPLEADAS COMO COBERTURA

2.2.1. Gramíneas

Esta familia es una de las más grandes y con mayor distribución universal. Está constituida por 500 géneros y 5000 especies (Gill y Vear, 1985). Dentro de las pasturas son las que más aportan forraje siempre y cuando haya una fuente de nitrógeno que cumpla con la demanda que estas ocasionan, de otra manera la producción se verá resentida. Esta familia presenta ventajas frente a las leguminosas, por ejemplo: se adapta muy bien a la mayoría de los suelos, presenta muy poco ataque de plagas y enfermedades, proveen alta persistencia de la pastura, permite controlar las malezas de hoja ancha más fácilmente y proveen materia seca a las pasturas a lo largo de todo el año (Carámbula, 2007).

2.2.2. Leguminosas

Se componen de 642 géneros y 18000 especies distribuidas por todo el mundo. Divididas en 3 subfamilias: Caesalpinioideae, Mimosoideae y Papilionoideae de las cuales únicamente una, la Papilionoideae, es importante en las regiones templadas (Gill y Vear, 1985). Las Leguminosas presentan la ventaja de no depender del nitrógeno disponible en el suelo para su desarrollo y crecimiento ya que presentan estructuras especializadas como los Rhizobios presente en los nódulos radiculares, los cuales fijan el nitrógeno atmosférico. Poseen un alto valor forrajero ya que tienen un alto nivel proteico para la dieta de los animales. También brindan nitrógeno al suelo y consecuentemente al

resto de las especies cuando estas mueren mediante la destrucción de los rhizobios y la incorporación del nitrógeno al suelo mediante la materia orgánica (Gill y Vear, 1985).

El interés agronómico de las leguminosas radica en que estas generan una buena estructura de suelo sobre todo en profundidad, lo cual permite al cultivo siguiente una mejor capacidad y profundidad de enraizamiento. Además aportan residuos muy lábiles y que activan la flora microbiana presente en el suelo (Carámbula, 2007).

2.2.3. Crucíferas

Las crucíferas contiene unos 220 géneros y 1900 especies, pero de estas solamente un pequeño número son de importancia económica (Gill y Vear, 1985). Son muy pocas las especies cultivadas. Dentro de estas se encuentran algunas que producen succulentas hojas y tallos tiernos que proporcionan alta cantidad de forraje para el consumo, otras debido a sus órganos de reserva engrosados son utilizadas para el prensado de alimentos o para generar reservas forrajeras invernales. Algunas son importantes para el consumo humano y finalmente un pequeño grupo son cultivadas debido al valor de sus semillas, la mostaza por ejemplo. La familia posee también algunas especies catalogadas como malezas en algunos cultivos y otras empleadas como cultivos hortícolas.

2.3. CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS ESPECIES

2.3.1. Triticale

Gramínea anual invernal perteneciente a la tribu de las Poaceas, es el primer cereal de valor comercial generado por el hombre, creado en Escocia en el año 1875. Es un anfiploide o un alopoliploide derivado de la hibridación entre especies pertenecientes al género *Triticum* y el género *Secale*. En este híbrido lo que se buscaba era tener un cultivo de calidad con altos potenciales de rendimiento como el trigo y la rusticidad, estabilidad de rendimiento y tamaño de panoja del centeno. Estos primeros triticales son líneas autógamas (Muntizing, citado por Bemhaja, 1996). Este cultivo se difundió en el mundo dado su buen comportamiento sanitario y la estabilidad en lo que refiere a la producción de forraje aún en suelos de baja fertilidad. (Ferreira y Szpiniak, citados por Pagliaricci et al., 2000). Morfológicamente la planta, espiga y el grano presenta características intermedias entre el Trigo y el Centeno. Están compuestas por 3 a 5 macollos vegetativos, con hojas de aurículas y vaina glabra, y lamina con un largo que oscila entre los 20 cm. y 36 cm. y un ancho de 6 mm a 11 mm. Durante la etapa reproductiva el número de tallos desarrollados es de 2 a 3, logrando la planta adulta una

altura promedio de 95 cm. (incluyendo arista). La espiga se presenta inclinada a muy inclinada en la madurez, con una longitud de 15cm. en promedio incluyendo la arista, y un ancho de 1.5 cm., con 25 espiguillas por espiga, en un rango de 19 a 30 (Bemhaja, 1996).

La principal variedad utilizada en Uruguay es INIA Carece, material seleccionado por el INIA a partir de una colección de más de 60 materiales elite de diferentes orígenes, entre los cuales se encuentran los enviados desde EMBRAPA-CNPT, paso fundo, INTA e INIA, con genotipos de CIMMYT. Este cultivar se adapta muy bien a suelos ácidos arenosos, con rápido establecimiento y buen vigor inicial. Presenta ciclo medio a corto, habito de crecimiento semierecto, escaso macollaje, excelente producción de grano y rusticidad al complejo de enfermedades foliares (Bemhaja et al., 1997).

La época de siembra del triticale comienza temprano en el otoño, mediados de abril y posee un alto crecimiento inicial lo que aporta importantes cantidades de forraje, pero su rápida diferenciación del ápice reduce las posibilidades de un cultivo doble propósito. Como forraje se emplea para pastoreo directo ya que produce cantidades importantes de materia seca sin perder calidad incluso en etapas avanzadas del cultivo. También se puede usar para reservas ya sean henos o silos de planta entera, grano seco ó húmedo. A la hora de seleccionar una alternativa para verdeos de invierno, el triticale es una buena opción ya que además de generar altas cantidades de materia seca en etapas tempranas, en algunos ensayos llevados a cabo en el año 1997 por Basolto S.A. en el departamento de Colonia, se observó buen comportamiento ante el frío y tolerancia a la sequía y resistencia al ataque de algunas plagas.

En otros ensayos llevados a cabo por el INTA Bordenave en la Pampa Argentina, se ha demostrado que los triticales no tienen desventajas en comparación con el resto de los verdeos invernales utilizados en la región. Sin embargo el INIA observó dificultades en el manejo dado su corto ciclo de producción, si bien las cantidades generadas no fueron bajas respecto al resto de los verdeos (diferentes informes de INIA, citados por Zanoniani y Ducamp, 2000). Las limitantes de esta especie para el pastoreo (corto ciclo de producción) resultan interesantes para su uso como cultivo cobertura.

En relación al centeno, presenta similares o mayores condiciones para la producción de materia seca, capacidad de macollaje, rebrote, tolerancia al pisoteo y al estrés invernal (Carnie y Vargas López, 1979). Según Wright et al. (1990), señalan que

el Triticale tiene niveles de producción de materia seca más altos que la avena, independientemente de la frecuencia de cortes. Además, son más adelantados en las fases de desarrollo, con una menor producción de tallos. Yuanshu y Chongyi (1990), coinciden que el rendimiento de forraje es superior al de la cebada en un 30 a 50 %. Las ventajas comparativas del Triticale frente a los otros cereales no son consistentes en la bibliografía.

2.3.2. Avena

Es una gramínea invernal de porte que varía de semiprostrado a erecto, con tres a cuatro macollos vegetativos, tallo hueco, hojas con vainas cerradas y lámina plana de 10 a 42 cm de longitud y de 5 a 22 mm de ancho. Su panoja es laxa o de ramas aproximadas al eje, con espiguillas colgantes por el peso de las flores o frutos. Las espiguillas son de 2 a 3 cm. de longitud y glumas persistentes en la panoja. El cariopse está recubierto con pelos de aproximadamente 9 mm de longitud, y comprimido dorsiventralmente (Rosengurtt et al., 1992).

La época óptima de siembra es de marzo a mediados de abril, dado las condiciones que generalmente se dan en este período para el crecimiento de las plántulas, si bien el período de siembra se puede extender desde febrero a mayo. Las avenas proveen altos volúmenes de forraje temprano, en cortes de mayo a junio, con rendimientos aproximados de 1100 y 1300 kg ha⁻¹ de materia seca para las variedades 1095 a y Polaris, respectivamente. Además, 1095 a ofrece una mayor producción otoño-invernal con un manejo de cortes mas aliviado (Huhn, 2000).

Varios ensayos han demostrado que la avena produce más forraje que trigo y centeno y además con condiciones favorables la avena extiende la estación de pastoreo en comparación con la cebada y el trigo (Hart 1964, Morey et al. 1969).

2.3.2.1. Avena Strigosa

La Avena Negra se supone provino de Brasil sin identificación varietal y que se liberó en el mercado en el año 1950 (Mesa y Eloa, 1996). Son materiales de ciclo muy corto, porte erecto, muy baja capacidad de macollaje y rebrote, hojas de color verde intenso y floración temprana. La principal característica es la elevada capacidad de aportar forraje en etapas tempranas pero con poca capacidad de rebrote, lo que impide el empleo de la Avena Negra como un cultivo doble propósito.

Es una gramínea rústica, con muy bajas exigencias ya sean hídricas o edáficas, se comporta muy bien ante el ataque de royas y pulgones. Además es muy eficiente en el reciclaje de nutrientes como Nitrógeno y Fósforo.

La producción de materia seca es de 2000 a 7000 kg ha⁻¹ (diferentes informes de INIA, citados por Zanoniani y Ducamp, 2000) y esta producción se concentra en los meses de otoño e invierno siendo nulo su aporte en la primavera. Por esto es una buena medida mezclar la Avena Negra con otro tipo de avenas, para de esta manera obtener una mejor distribución de forraje a lo largo del año.

2.3.2.2. Avena Bizantina

Esta especie conocida como Avena amarilla, presenta ciclo intermedio a largo, porte semipostrado a semierecto, con hojas medianamente angostas, de color verde claro y tallos finos. La época de floración es intermedia con una aceptable producción de grano de buena calidad, pero importante susceptibilidad al vuelco (Mesa y Eloa, 1996). Presenta excelente capacidad de macollaje y buen comportamiento en pastoreo, dada su gran capacidad de macollaje y muy buen rebrote, lo que además le permite su utilización como doble propósito. Las principales variedades son Avena 1095a y RLE 115. Sanitariamente presenta problemas de pulgón (*Schizaphis graminum*) y roya de la hoja (*Puccinia coronata avenae*), que llevan a importantes disminuciones en su rendimiento (Carámbula, 1977).

El cultivar 1095a liberado al mercado en el año 1930, posee buena aptitud para el pastoreo dado sus características: ciclo largo, hábito de crecimiento semipostrado y excelente macollaje. Sin embargo presenta características que dificultan la producción de granos como por ejemplo tallos finos, los cuales presentan alta tendencia al vuelco lo que dificulta su cosecha. En siembras tempranas de otoño, la Avena bizantina se comporta muy bien como cultivo doble propósito permitiendo buena producción de forraje sin detrimento de la producción de granos y dificultad de cosecha. Sanitariamente presenta buena resistencia a Roya y mediana resistencia a Pulgón y a virus (Zanoniani y Ducamp, 2000).

La producción de este tipo de avena va desde 3000 a 5500 kg ha⁻¹, con una mejor distribución del aporte de forraje dado su menor vigor inicial y su mayor longitud de ciclo en comparación con la Avena Negra (diferentes informes de INIA, citados por Zanoniani y Ducamp, 2000).

Las avenas en general al igual que triticale resultan interesantes como cobertura dado su aporte otoño-invernal, permitiéndonos cubrir el suelo en forma veloz en comparación con otras gramíneas. Por otra parte el volumen de materia seca producido podría ser limitante dada la necesidad de inmovilización de nitrógeno para su descomposición.

2.3.3. *Lolium multiflorum*

Conocido como Raigrás, es una gramínea anual invernal de ciclo largo con aporte de forraje comprendido entre mediados de invierno y primavera.

Las vainas de las hojas basales jóvenes se presentan cerradas, con lamina plana de 5 a 30 cm de largo y de 3 a 11.5 mm de ancho, cara inferior brillante, presentando en su base dos aurículas bien desarrolladas que se abrazan. La espiga es dística, de 10 a 30 cm de longitud, con un número variable de espiguillas (16 a 36cm). Cada nudo contiene una espiguilla sésil de 10 a 20 mm de largo. El grano es un cariopse elíptico de 3 mm de largo y 1,2 mm de ancho, dorso convexo y vientre acanalado suavemente, de color castaño-violáceo, adherido al antecio (Rosengurtt et al., 1992).

La época de siembra del Raigrás se extiende desde principios de marzo a mayo, pero no son recomendables siembras muy tempranas dado que la semilla y la plántula son muy pequeñas y susceptibles a condiciones de altas temperaturas y deficiencias hídricas. Dado su abundante y fibroso sistema radicular, esta especie es muy buena para la conservación de suelos ya que protege los agregados durante el invierno aportando una buena estructura del suelo en la primavera siguiente (Hermawan et al., citados por Bastos et al., 2007).

Es una buena práctica conservacionista del suelo, la siembra del Raigrás antes de la cosecha de la soja antecesora, Smith, citado por Bastos et al. (2007), reportó que el rendimiento en grano de soja no es afectado por la interseembra del Raigrás anual. Bastos et al. (2007) evaluaron que el mejor momento para sembrar el Raigrás es en R6-R7, ya que en esta etapa del cultivo no se afectan los rendimientos y se obtienen las mejores implantaciones y coberturas invernales del Raigrás.

Hannaway et al., citados por Bastos et al. (2007), definen al Raigrás anual como la especie de mayor producción en las estaciones frías de las regiones húmedas y con temperaturas entre 5 y 20°C. Esta especie presenta su pico de producción en la primavera dado las altas temperaturas, la radiación y el cambio de ápice vegetativo a reproductivo (Bastos et al., 2007).

A pesar de tener una alta producción de materia seca el lento crecimiento inicial podría ser una desventaja si se utiliza esta especie como cultivo cobertura.

2.3.4 Trifolium Alexandrinum

El trébol Alejandrino es una especie anual invernal de ciclo muy largo y porte erecto. El crecimiento se da a partir de la corona, la semilla es pequeña, luego de establecerse tiene un crecimiento vigoroso y puede alcanzar una altura de 45cm. Se adapta bien en suelos húmedos sin heladas severas. Tolera condiciones de anegamiento temporáneo. Se adapta bien a casi todas las texturas de suelos y grados de acidez, desde ácidos hasta alcalinos, tolerando bastante la salinidad (Carámbula, 2007).

Tolera bien el pastoreo ya que su rebrote y crecimiento se da a partir de la corona, por esto se debe cuidar que los animales no la dañen con el pisoteo. Es recomendable pastorear cuando alcanza al menos 35 cm de altura y no pastorearlo por debajo de los 5 cm para justamente no comprometer la corona. La producción del Alejandrino va desde 6 a 8 t ha⁻¹ de forraje por año y la distribución es otoño invierno primaveral. El forraje que ofrece es de muy buena calidad (75% de digestibilidad y 20% de PC), esta calidad la mantiene durante casi todo el período lo que lo hace comparable con la calidad de la alfalfa (Carámbula, 2007).

Usado como cobertura invernal. Ernst (2004) indica que, hasta la fecha en que se aplicó el herbicida total, el *Trifolium alexandrinum* como CC produjo 1.321 kg ha⁻¹ de MS con 46g de N kg⁻¹ de MS, lo que representa un aporte de 61 kg ha⁻¹ de N al sistema. En condiciones de frío y déficit hídrico su producción no es buena, pero si se dan las temperaturas adecuadas y no se presentan deficiencias hídricas en el suelo, el Alejandrino puede llegar a producir hasta 100 kgMS ha⁻¹ día⁻¹ (Carámbula, citado por García, 2000).

La resiembra natural es de escasa importancia y el potencial de producción de semillas es de 300 a 600 kg há⁻¹.

Esta especie es atractiva debido a la incorporación de nitrógeno al sistema (FBN). Pero su lento crecimiento inicial sería una desventaja si se utiliza como CC.

2.3.5. Vicia sativa

Es una leguminosa anual invernal con muy alto vigor. Posee un buen sistema radicular y proporciona un muy buen aporte de nitrógeno al sistema mediante los residuos. Presenta tolerancia a la sequía, pero una vez establecida y además soporta

temperaturas muy bajas, siendo una de las leguminosas que mejor se comporta ante el frío. La mayor producción de materia seca se da dos o tres semanas antes de floración, pero la relación C/N no aumenta demasiado, por lo que el rastrojo es de fácil descomposición.

La producción de MS varía según la región donde se cultive, pero en la mayoría de los casos ronda los 3000 kg ha⁻¹ (Cordone y Hansen, 1985). Esta producción de MS aporta al suelo unos 120 kg de nitrógeno al suelo. El aporte de nitrógeno al suelo que realiza la vicia podría llegar a cubrir todos los requerimientos de un maíz posterior con 20 tt ha⁻¹ de rendimiento en grano (Griffin et al., citados por Ernst, 2004). Frye et al. (1985) encontraron un aumento de 500kg ha⁻¹ en maíces sembrados luego de vicia y este aumento fue atribuido a la mejora de la fertilidad que provocó la cobertura durante el invierno. Además del maíz, el cultivo de invierno posterior, se puede llegar a ver beneficiado por la cobertura de vicia, resultados reportados por Cordone y Hansen (1996) en INTA Pergamino, encontraron un incremento de 250 kg ha⁻¹ en trigos sembrados luego de maíz, que tuvo como antecesor a la vicia.

2.3.6 Pisum sativum

La arveja es una leguminosa anual cuya fenología es similar a otras leguminosas como la soja, vicia, lenteja. La siembra se realiza con sembradoras de grano fino en surcos espaciados 15-20 cm (no es conveniente utilizar espaciados superiores), la densidad apropiada en la siembra es de 100 pl/m² (para lograr 75-80 pl/m²) que de acuerdo al peso de mil granos oscila entre 200-300 kg ha⁻¹ de semilla. En las rotaciones puede suceder a cualquier cultivo, sólo se debe evitar el antecesor soja o arveja por un periodo de no menos de tres años para evitar enfermedades especialmente que atacan la raíz (Bariffi, 2007).

Este cultivo es capaz de producir 35000-40000 kg ha⁻¹ de material verde en un periodo relativamente corto y en el que no requiere de riego artificial (Esnaola, 2007)

2.3.7. Sinapsis alba L

Es una crucífera anual, erguida, con hojas pinadamente divididas, pedunculadas, y pelosas. Las flores son amarillas; el fruto es una silicua rígidamente vellosa con valvas fuertemente trinervadas y un pico vigoroso, aplastado, semejante a una espada y tan largo como las valvas. Los frutos se sitúan a lo largo, en pedicelos esparcidos y se mantienen casi horizontalmente. Semillas de un amarillo pálido, anchas (2.5mm). No es nativa; probablemente originaria de la región mediterránea (Gill y Vear, 1965).

Además de la producción de semillas, al ser un cultivo con gran desarrollo vegetativo puede ser usado no solo como cultivo de cobertura si no también como un cultivo captador de CO₂ y también de nutrientes del suelo (Gill y Vear, 1965). Muchas mostazas y crucíferas, dado su alto crecimiento inicial son muy buenas como coberturas. También son fáciles de incorporar al suelo porque tienen una baja relación C/N. Finalmente, algunas crucíferas pueden presentar alelopatías y efectos nematocidas (Graves et al., 1990).

2.4. EL AGUA

En las condiciones predominantes de producción del país, el agua es el principal factor que limita el crecimiento de los cultivos de verano y el rendimiento en materia seca o en grano en todos los cultivos. Su efecto depende de varios factores: el cultivo, cultivar, tipo de suelo y capacidad de almacenaje de agua disponible del mismo, entre otros tantos.

El agua dentro de la planta cumple con varias funciones, una de ellas es estructural, ya que constituye el protoplasma de las células en un 80 – 90 por ciento del peso fresco de la planta. Otra función es la de transporte y solvente, dado que es mediante el agua que se transportan sustancias, gases, minerales dentro de la célula o de célula a célula. Es en ella que se dan la mayoría de las reacciones bioquímicas de la planta. Además es la encargada de mantener la turgencia de las células y consecuentemente la planta erguida, permite el crecimiento de las células, la exploración radicular y la apertura estomática. Es mediante la evaporación del agua presente en las hojas que se logra la termorregulación de las mismas (Gardner et al., 1983).

2.4.1. Evapotranspiración

Es el conjunto de la evaporación del agua del suelo y la transpiración llevada a cabo por parte de las plantas. Depende de la demanda atmosférica, determinada por la temperatura fundamentalmente pero también por la humedad relativa, radiación y velocidad del viento en menor medida. Además de la demanda atmosférica la evapotranspiración está determinada por el agua disponible en el suelo y las características de la cubierta vegetal, UdelaR (Uruguay). F.A. (2006).

2.4.2. Requerimientos hídricos de los cultivos

El consumo de agua de un cultivo resulta del valor de evapotranspiración potencial (ETP) acumulada a lo largo de todo el ciclo de producción. Este es el consumo de referencia que tendría un cultivo bajo, denso y sin deficiencias hídricas de ningún tipo, por lo que la demanda atmosférica sería la determinante de esta ETP.

El movimiento del agua se puede dar desde el suelo pasando por la planta y siendo liberada a la atmósfera es decir transpiración (movimiento deseado para mejor eficiencia del uso) y directamente del suelo a la atmósfera (evaporación). Este movimiento está determinado por un gradiente de potencial, del lugar donde el agua se encuentra menos retenida a donde se retiene con mayor fuerza. La suma de la transpiración y la evaporación componen la evapotranspiración del cultivo, la cual se ve influenciada por la radiación, humedad relativa, temperatura y viento.

Los cultivos presentan diferentes capacidades para extraer y utilizar el agua, esta depende de su metabolismo (C4 mayor eficiencia utilización agua respecto C3), arquitectura de sus hojas (erctófilas o planófilas), momento del ciclo de crecimiento y otros componentes. Todo esto da como resultado eficiencias de uso de agua muy distintas (Andarade y Gardiol, 1994).

2.4.3. Agua disponible

El agua disponible para los cultivos va a depender principalmente del agua que haya en el perfil y de la capacidad de exploración radicular del cultivo. La primera se va a ver afectada por las precipitaciones, la profundidad del perfil y la velocidad de infiltración del agua en el mismo, la cual depende de la estructura y textura del mismo (Frye et al. 1985, Mutchler y McDowell 1990, Dabney 1998, Delgado et al. 1999).

La exploración radicular del maíz se va a ver favorecida ante la presencia de los cultivos cobertura invernales, ya que estos promueven la formación y estabilidad de agregados, lo que aseguraría un suelo descompactado (Sousa Neto et al., 2008). Si bien la capacidad de crecimiento de las raíces está influenciada por la densidad aparente, distribución del tamaño de poros y estabilidad de los agregados, estos factores se podrían reducir a: resistencia mecánica, disponibilidad mecánica, oxígeno y energía (Letey, 1985). El coeficiente de variación del número de raíces por cm^2 es mayor cuanto mayor es la profundidad (30% en los primeros 6 cm del perfil y 110% en los 50 cm del perfil), esto se debe a las condiciones ambientales del suelo, a su heterogeneidad, a la especie y la morfología de sus raíces (Hendrick y Pregitzer, citados por Sainju, 1998).

Solo una fracción del agua presente en el suelo puede ser utilizada por los cultivos, esta corresponde a la humedad que se encuentra entre el Punto de Marchitez Permanente (PMP) y Capacidad de Campo (CC), dos puntos notables en la curva característica de retención de agua. Capacidad de Campo es el agua retenida por un suelo, luego que este se satura de agua y se deja drenar hasta que la descarga se detiene y generalmente corresponde al potencial de matriz entre -10 kPa (Veihmeyer y Hendrickson, 1949). El PMP es el contenido de agua en el cual una planta marchita no recupera su turgencia, aunque después se coloque en una atmósfera saturada por 12 horas, y corresponde al valor de potencial de matriz de -1500 kPa (Hill y Martínez, 2011).

El concepto de CC, como el contenido ideal de agua para el crecimiento vegetal puede quedar invalidado, si el suelo presenta una pobre estructura física en el cual la difusión de oxígeno se vea impedida. Por otra parte, la mínima cantidad de agua disponible coincide con el PMP, solamente cuando las raíces pueden crecer en contra de la alta resistencia mecánica que desarrollan los suelos secos (Gardner, 1960). Letey (1985) definió un rango no limitativo de agua disponible que va desde el punto en el cual la falta de difusión de oxígeno impide el crecimiento de las raíces y el punto a partir del cual la resistencia mecánica impide el crecimiento de las mismas.

Las coberturas invernales pueden afectar el contenido de agua del suelo de diferentes maneras: reduciendo la evaporación de agua del suelo e incrementando la transpiración, infiltración y retención de agua. Consecuentemente el agua disponible para el cultivo posterior va a ser mayor o menor, dependiendo fundamentalmente de la fecha en la cual se elimine la transpiración del cultivo cobertura, es decir la fecha de aplicación del herbicida. Este aspecto es fundamental a la hora de pensar en el cultivo posterior a la cobertura ya que el perfil se debe cargar luego de la eliminación de éste (Stute y Posner, citados por Ernst, 2004). Por esto es recomendable aplicar el herbicida antes y no retrasar la fecha de siembra ya que esta última estaría comprometiendo el rendimiento del cultivo de interés económico (Mansoer et al., citados por Ernst, 2004). En condiciones de secano, esta cantidad de agua que se puede almacenar en el perfil para el cultivo estival, si bien ayuda a la germinación y las primeras etapas de crecimiento, al no ser más de 150-180 mm en los mejores casos, no va a ser determinante del rendimiento, las precipitaciones son las que van a determinar la suerte del cultivo (Karuma et al., 2011).

2.4.4. Balance de agua en el suelo

El balance de agua en el suelo está determinado por las entradas y las salidas. Dentro de las primeras se encuentra el agua de lluvia y de riego. El escurrimiento superficial, la evaporación directa desde el suelo, la transpiración del cultivo y de las malezas y el drenaje profundo componen las salidas del sistema. El balance entre estas pérdidas y ganancias de agua dependen del tipo de suelo, el manejo que se le haga al mismo, las precipitaciones y la demanda atmosférica. Suelos poco profundos, compactados que limiten la exploración radicular y texturas gruesas reducen la disponibilidad de agua, aumentando el riesgo de días con déficit hídrico (Sawchick, 2000).

La transpiración llevada a cabo por parte del cultivo es la única salida productiva del agua del sistema, las demás salidas constituyen pérdidas que disminuyen la eficiencia del uso del agua (grano producido por mm de agua ingresado al sistema). Esta eficiencia puede aumentarse con prácticas de manejo que aumenten el ingreso de agua y disminuyan las pérdidas como la transpiración de las malezas, la evaporación directa desde el suelo y el escurrimiento. Es aquí donde los cultivos de cobertura juegan un rol importante ya sea en el control de las malezas (Mafakheri, 2010), la disminución del escurrimiento superficial y el aumento del ingreso de agua ya que las raíces y la materia orgánica aportada por las coberturas mejoran la estructura del suelo (Sousa Neto et al., 2008).

Otra práctica de manejo muy empleada a nivel nacional como la siembra directa, asegura una buena cobertura por parte de los rastrojos de los suelos, lo que disminuye la evaporación directa del agua y el escurrimiento superficial dada la rugosidad de la superficie (Unger y Stewart, citados por Sawchick, 2000). En Uruguay las medidas de labranza y barbecho son de poca importancia para el cultivo posterior en lo que refiere a la disponibilidad hídrica, ya que los suelos no llegan a brindar ni la tercera parte de lo que un cultivo estival requiere. Cuanta más agua pueden almacenar los suelos mayor es la importancia de estas prácticas.

2.4.5. Efectos de los rastrojos

La bibliografía consultada es consistente en que los suelos bajo coberturas mantienen mayores contenidos de agua que los suelos desnudos. Los suelos bajo no laboreo poseen una mayor relación infiltración/escurrimiento (Griffith et al., 1986). Dado que la cobertura brinda rugosidad y protegen al suelo de la energía radiante y la

energía de las gotas de lluvia, que desagregan el suelo y forman una costra que disminuye aún más la infiltración de agua al perfil.

El efecto de las coberturas aumenta conforme aumenta el anclaje de la misma. Este aumento de la relación infiltración/escorrimento se da debido a tres razones. La primera es que el agua posee mayor cantidad de lugares de ingreso, ya que donde antes había raíces, estas mueren y van dejando canales por donde el agua puede infiltrar. En segundo lugar la rugosidad de la superficie generada por la cobertura disminuye el escurrimiento y como contrapartida aumenta la infiltración ya que el agua permanece más tiempo en la superficie, aumentando la probabilidad de ingresar al perfil. Esta rugosidad es mayor cuanto mayor es la cantidad de cobertura. Finalmente la generación de materia seca y su posterior muerte, generan sustratos para los microorganismos del suelo, que al metabolizarlos generan agregados estables y poros en el suelo, lo que aumenta las posibilidades de infiltración del agua (Onstad y Voorhees, 1987).

Por lo tanto parece importante generar buenas coberturas y rastrojos de manera de disminuir el riesgo de erosión y aumentar las probabilidades de contar con agua disponible para el cultivo de verano en las primeras etapas del cultivo (García Perchac, 1992).

2.5 LAS COBERTURAS Y EL NITROGENO EN EL SISTEMA

El nitrógeno es el nutriente de mayor importancia a la hora de concretar altos rendimientos en los cultivos, siendo de especial interés el efecto de las coberturas sobre su dinámica. Cuando se realiza agricultura continua el balance de N del sistema es siempre negativo, ya que la tasa de extracción es siempre mayor a lo que los cultivos pueden fijar por distintos mecanismos. Es así que surge la hipótesis de que el empleo de leguminosas como cultivos cobertura, pueda cambiar esta tendencia negativa en alguna medida, además de mantener el suelo cubierto durante el invierno (Ernst, 2004).

En sistemas de producción que rotan cultivos anuales con pasturas plurianuales de gramíneas y leguminosas, el ingreso de N por FBN supera los $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Sawchik, 2001), pero cuando la fase agrícola de la rotación se alarga o el sistema es agrícola puro, el ingreso de N, es muy escaso, por lo que debe ser reemplazado por el agregado de mayores cantidades de N como fertilizante (Ernst, 2004).

2.5.1 Ingreso de nitrógeno al sistema por el cultivo cobertura

Los CC actúan reduciendo las pérdidas de N durante el periodo de barbecho, siendo este nutriente retenido en la MS de la cobertura y de esta forma el N permanece

en el sistema. Este mecanismo lo ejercen las gramíneas, en cambio las leguminosas, tienen la facultad de además obtener N atmosférico a través de la FBN.

Al realizar cultivos en invierno se está disminuyendo las posibles pérdidas de nitrato por lixiviación ya que actúan como cultivo trampa. Esta práctica es más efectiva si se realiza en siembras tempranas, debido a que permite capturar mas tempranamente los excedentes de nitrato en suelo (McDonald, 2004).

Smith et al., citados por Ernst (2004) presentan resultados experimentales en los que el aporte de N varió entre 15 y 200 kg ha⁻¹ de N, con valores más probables entre 60 y 100 kg ha⁻¹. Dentro de las leguminosas las diferencias están determinadas por el potencial de producción de MS para cada ambiente (Ernst, 2004).

2.5.2 Residualidad y eficiencia de recuperación del nitrógeno

Como citan Barreto et al. (1994) en su trabajo sobre coberturas de leguminosas vs N como urea y su respuesta en rendimiento en maíz, encuentran en el primer ciclo de rendimiento de maíz que este respondió significativamente tanto a las aplicaciones de urea-N, como a la incorporación de abono verde por leguminosas. En cambio durante el segundo ciclo el efecto residual de las leguminosas en el rendimiento de maíz fue marcadamente menor y las diferencias entre sistemas de rotación dependieron del nivel de N y la densidad de plantas.

En cuanto a la eficiencia de recuperación del nitrógeno los valores son variables, con eficiencias relativamente bajas. Ernst (2004) cita en su trabajo oscilaciones de entre 3-56%. Por lo tanto la eficiencia del nitrógeno fijado resulta menor a la eficiencia del nitrógeno agregado como fertilizante por lo que una parte del N fijado quedaría en el sistema suelo haciéndose disponible en el mediano plazo.

El tipo de cobertura, estado de madurez en el cual se aplica el herbicida y momento son determinantes para la dinámica del nitrógeno, teniendo un impacto sobre el tiempo de barbecho y calidad del material a descomponer (relación C:N). Por lo tanto la eficiencia de uso del N fijado por un CC leguminosa depende de la sincronización entre el momento de aporte del nutriente, el manejo de fertilización nitrogenada y la demanda del cultivo anual renta (Reeves et al. 1993, Vaughan y Evanylo 1998, Vyn et al. 1999, Griffin et al. 2000).

2.6 LAS COBERTURAS Y EL RENDIMIENTO EN MAÍZ

Dos factores son determinantes para la concreción de altos rendimientos en el cultivo de maíz, ellos son el agua y el nitrógeno. La fertilización del cultivo de maíz y la utilización de CC como antecesores otoño-invernales del mismo, son dos practicas tecnológicas que podrían complementarse para contribuir a la estabilidad y aumento de los rendimientos del cultivo en áreas agrícolas (Capurro y González, 2010).

En el trabajo realizado por Cazorla y Baigorria (2010) en INTA Martin Juárez se observó en condiciones de fertilización, una disminución en los rendimientos utilizando CC. En cambio, en condiciones sin fertilización hay incrementos de rendimientos cuando se utiliza vicia como CC. El cultivo de vicia, a través de la descomposición de su residuo realiza un aporte de N que permite incrementos en el rendimiento final obtenido. Por lo tanto el rendimiento final obtenido es variable según la especie utilizada como cobertura, dándose los rendimientos mayores en los tratamientos sin cobertura con aplicación de fertilizante (Cazorla y Baigorria, 2010). Capurro et al. (2010), también encontraron mayor rendimiento de maíz con vicia como antecesor, que con gramíneas (avena). También citan en su trabajo que de los dos niveles de N evaluados, el maíz rindió significativamente más sobre vicia que sobre avena, con diferencias de 2465 kg ha⁻¹ en bajos niveles de fertilización nitrogenada y 1592 kg ha⁻¹ en altos niveles.

En un trabajo realizado en la universidad autónoma de Chapingo, Mexico, Bernardino et al. (2006) encontraron que el mayor rendimiento de maíz de concretó con antecedente de mucuna (leguminosa) que sin mucuna y este además relacionado con las condiciones más favorables de humedad y contenido de P olsen del suelo y la menor biomasa de arvenses (malezas).

Ernst (2004) encontró una interacción significativa (p 0.05) para la respuesta a N agregado a siembra con la presencia o no de CC. Mientras que para el testigo sin N el rendimiento en grano fue 20.4% superior al realizado sobre CC. En tanto para el máximo rendimiento fue necesario aplicar 40 kg ha⁻¹ de N sobre CC y 60 kg ha⁻¹ de N donde había barbecho limpio.

En suelos hapludoles de la región semiárida pampeana, el efecto de los CC en maíz es notorio, logrando incrementos en el rendimiento de 1000 a 1500 kg ha⁻¹ (Fernandez et al.,2007). En la región sudoeste de la provincia de Buenos Aires, con antecesor vicia el incremento fue de 1500 kg ha⁻¹, mientras con centeno superan los 3500 kg ha⁻¹ (Barraco et al.,2009).

Además de lo dicho anteriormente falta resaltar lo siguiente del trabajo de Ernst (2004). El CC aportó una cantidad creciente de N con el tiempo, lo que, si bien coincidió con el incremento de la demanda del cultivo de maíz, determinó una deficiencia del nutriente entre siembra y V 6. La eficiencia de recuperación del N fijado por el CC pasó de 13 % en el estadio V6 a 47 % a cosecha.

Los resultados en rendimiento son variables y sin una tendencia clara entre los diferentes trabajos estudiados. A pesar de esto es llamativo el aporte de las leguminosas como cobertura, sobre todo cuando al cultivo renta no se le agrega N.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO

El ensayo fue realizado en el potrero 31 de la EEMAC, ubicada en el departamento de Paysandú. En este se evaluó el efecto de diferentes coberturas invernales sobre la humedad, nitrato en el suelo y rendimiento de maíz en la zafra 2010-2011. Por otro lado se observó la respuesta a la fertilización nitrogenada.

Este potrero pertenece a la unidad de suelo San Manuel según la carta 1:1.000.000 de Altamirano et al. (1976), donde se realiza agricultura continua en siembra directa. El tipo de suelo es Brunosol Éutrico Típico según la clasificación USDA.

El potrero fue dividido en 3 bloques según topografía y cada bloque estaba constituido por 9 tratamientos distribuidos completamente al azar, cada tratamiento es una parcela de 20 metros de largo por 5 metros de ancho.

3.2. TRATAMIENTOS

Por un lado se realizó el cultivo de maíz sobre 8 coberturas distintas y un tratamiento testigo que constó en mantener el barbecho limpio.

Para el estudio de la respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada, cada parcela se subdividió en dos, donde en un lado se aplicó 50 unidades de N y en el otro nada.

3.2.1. Siembra de las coberturas

Las coberturas fueron sembradas el 5 de mayo de 2010, a continuación se presenta un cuadro con la información de dicha siembra.

Cuadro No. 1 Densidad (kg ha⁻¹) y método de siembra según cobertura.

Cobertura	Densidad	método siembra
Barbecho limpio	---	---
Avena comun	100	Línea
Avena negra	100	Línea
Raigras	20	Voleo
Triticale	120	Línea
Alejandrino	14	Voleo
Arbeja	60	Línea
Mostaza	10	Voleo
Vicia	40	voleo

3.2.2. Muestreos previos al comienzo del barbecho de las coberturas

Previo a la aplicación del herbicida (19 al 26 de octubre) se estimó la producción de materia seca de las coberturas. La misma consiste en 3 tiradas de un cuadro de 30x30 cm y corte del contenido de este. Estas 3 submuestras de cada parcela fueron llevadas a estufa (60 C°) durante 48 horas donde se calculó la producción de materia seca y la proporción de la misma mediante la diferencia con el peso fresco.

3.2.3. Aplicación de herbicidas y comienzo barbecho químico

Para los distintos tratamientos se realizaron aplicaciones diferentes, a continuación se presenta el cuadro con las aplicaciones, fechas y dosis.

Cuadro No. 2 Aplicación de herbicidas según día de aplicación.

Cobertura	Fecha aplicación	Producto	Dosis lt/ha
Barbecho limpio	20-oct	Glifosato	4
Avena común	20-oct	Glifosato	4
Avena negra	20-oct	Glifosato	4
Raigras	20-oct	Glifosato	4
Triticale	20-oct	Glifosato	4
Alejandrino	20-oct	Starane*	1
Arbeja	20-oct	Glifosato	4
Mostaza	20-oct	Starane*	1
Vicia	20-oct	Glifosato	4

*se aplicaron 4 lt de glifosato una semana más tarde

3.3. SIEMBRA Y FERTILIZACIÓN DEL CULTIVO DE MAIZ

Esta se llevo a cabo el día 15 de diciembre con una sembradora SEMEATO SHM13 a una distancia entre hileras de 50 cm. La semilla utilizada fue el híbrido M494, la cual se curó con “Gaucho”(Imidacloprid) + Protector y se sembró a una densidad de 80000 semillas por hectárea (población objetivo 70000 plantas). Las aplicaciones de herbicidas pre emergentes fueron 1.4 kg ha⁻¹ de atrazina más 1 litro ha⁻¹ de metolaclor.

La fertilización del cultivo de maíz se realizó el 18 de enero cuando el cultivo se encontraba en el estadio V8.

3.4. MEDICIONES SUELO

Estas se realizaron desde el comienzo del barbecho hasta que el cultivo alcanzo el estado V4.

3.4.1. Nitratos en suelo

La medición de nitrato en suelo se realizó utilizando caladores, los cuales extraen los primeros 20 cm de suelo. La muestra de cada parcela se hizo tomando 8 submuestras las cuales se llevaron a estufa 60 C° para luego ser molidas y llevadas a laboratorio donde se le realizo el análisis de N-NO3.

3.4.2 Humedad gravimétrica

Tanto previo a la siembra del maíz como luego de ella se midió la evolución de humedad en el suelo. Las muestras se tomaron desde 0 a 60 cm. de profundidad por medio de un calador hidráulico (18 x 100mm) tomando una muestra compuesta de 3 submuestras. Estas se fraccionaron de 0 a 20, 20 a 40, 40 a 60. Los muestreos se realizaron el 10 de noviembre, 3 de diciembre y 29 de diciembre

Las muestras se pesaron en fresco, fueron a horno 105°C durante 48 horas y luego se les calculó la humedad gravimétrica con la siguiente fórmula:

$$H_{\text{grav}} (\%) = ((\text{PF}-\text{PS})/\text{PS}) * 100.$$

3.5 MEDICIONES A NIVEL DE PLANTA

A nivel de planta se realizaron 4 mediciones: implantación, materia seca, nitrógeno en planta y HAUN a V8 aproximadamente e IAF.

3.5.1 Implantación

El día 23 de diciembre se realizó la estimación del número de plantas logradas. Para esto se hizo el conteo de las plantas presentes en 15 metros lineales 2 veces por parcela.

3.5.2 Materia seca, Nitrógeno en planta y Haun

Estos tres estudios fueron realizados a partir del corte de 10 plantas consecutivas de una misma hilera en cada parcela el día 18 de enero.

Para hacer HAUN se contaron la cantidad de hojas que presentó cada planta y se anotaron los datos individuales de las 10 observaciones, para de esta forma tener la media y la variabilidad intraparcela.

Luego de realizado HAUN se pesó el conjunto de las 10 plantas y la más representativa de la parcela fue llevada a estufa 60°C. De esta forma calculamos el % de MS y la producción de MS en este momento para cada parcela. Una vez medidos los pesos secos de las muestras se procedió a molerlas y enviarlas a laboratorio para obtener el % de nitrógeno en planta.

3.5.3. Índice de área foliar (IAF)

El estudio de IAF se realizó al mediodía el 10 de febrero. Las mediciones que se realizaron con el instrumento LAI 2000 fueron de área foliar (LAI) y de cielo descubierto (DIF).

3.6. COSECHA Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

La cosecha del maíz se hizo en la segunda semana del mes de abril. El procedimiento constó en contar las plantas en 8 metros de una hilera central y cosechar los marlos para luego llevarlos a desgranar. Por cada parcela se realizaron dos cosechas debido a que se evaluó además la respuesta al nitrógeno (54 muestras en total). Hecha la cosecha se desgranaron los marlos y a cada una de las 54 muestras se las peso, se les midió humedad y se les realizó la estimación de peso de mil granos (tres repeticiones por muestra).

Cuadro No. 3 Cronograma actividades.

Mes	Semana	Actividad
10	3	Comienzo barbecho
10	4	
11	1	
11	2	Humedad gravimétrica
11	3	
11	4	
12	1	Humedad gravimétrica
12	2	Nitrato suelo
12	3	Siembra
12	4	Nitrato suelo, implantación, Humedad gravimétrica
1	1	Nitrato, fertilización N
1	2	
1	3	MS planta, Nitrógeno planta, Haun
1	4	
2	1	
2	2	IAF
2	3	
2	4	
3	1	
3	2	
3	3	
3	4	
4	1	
4	2	Cosecha y procesamiento
4	3	
4	4	

3.7 ANALISIS ESTADISTICO

Se estudiaron los efectos de las diferentes coberturas sobre las variables medidas. Por tanto se observó el impacto de las mismas sobre el N-NO₃ en el suelo, la humedad gravimétrica, % de N en planta y finalmente el rendimiento obtenido en el cultivo de maíz.

El modelo estadístico empleado para este ensayo es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + A_i + \delta_{ik} + B_j + (AB)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = Rendimiento de maíz

$i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ (Coberturas) (a)

$j=1, 2$ (Fertilización) (b)

$k=1, 2, 3$ (Bloque) (r)

donde δ_{ik} es el efecto de tomar como bloque a las parcelas sin tener en cuenta la fertilización y ϵ_{ijk} es el efecto de agrupar a las parcelas teniendo en cuenta a la misma.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CLIMA

4.1.1. Temperatura

En la siguiente gráfica observamos como la temperatura media durante el experimento fue sensiblemente mayor a la media histórica.

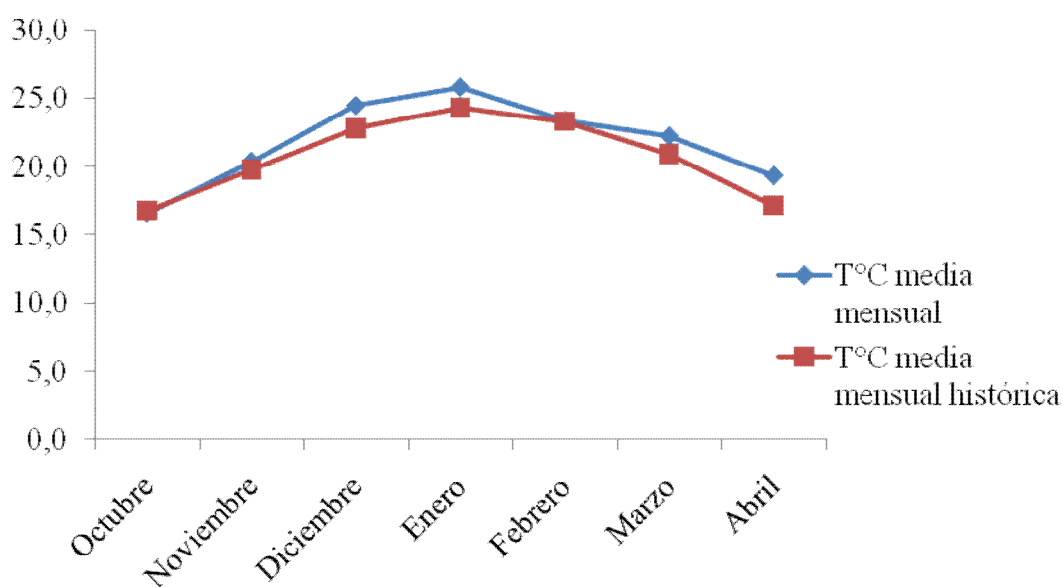


Figura No. 1. Temperatura media mensual historica (1980-2010).

Si bien la temperatura durante el cultivo de maíz fue alrededor de $1,5^{\circ}\text{C}$ mayor que el promedio histórico, no podemos decir que esto influya negativamente de forma significativa en el cultivo, ya que estamos hablando de una gramínea C4 la cual soporta temperaturas mayores. Lo único que podría estar afectando pero de igual manera a todos los tratamientos ya que se trata del mismo híbrido, es en un leve acortamiento de las etapas fenológicas debido a las mayores temperaturas.

4.1.2. Precipitaciones

En la figura siguiente se presentan las precipitaciones a lo largo del ciclo del cultivo.

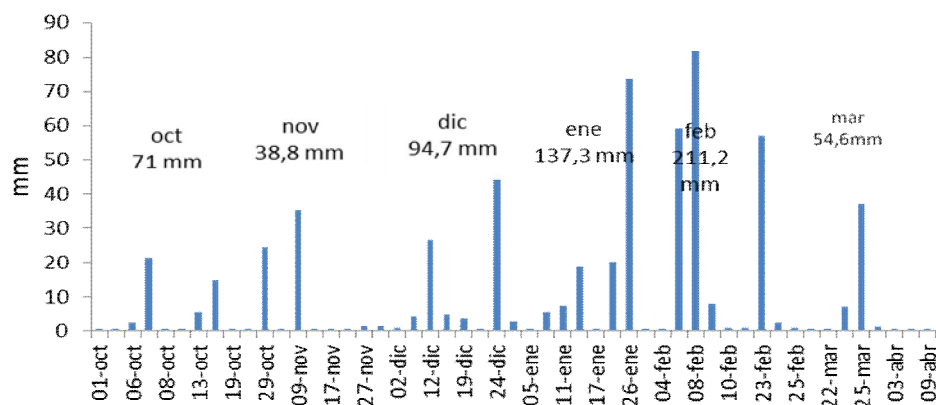


Figura No. 2. Precipitaciones diarias y acumulado mensual.

Otra cosa importante que se puede observar son las altas precipitaciones que se dieron en enero y principalmente en febrero. Además de esto, los picos que se dieron en algunos días como el 26 de enero o el 8 de febrero, pueden haber afectado la concentración de nitratos en el suelo debido al lavado del nitrógeno. Estos picos se encuentran dentro del denominado período crítico del cultivo, explicado más adelante, lo cual pudo haber afectado el posterior rendimiento y el efecto del nitrógeno agregado mediante la fertilización.

Cuadro No. 4. Fenología del cultivo.

Fecha de siembra: 15-12-2010		
Estadios	Fecha	Duración (días)
Emergencia	21-dic	6
V2 (2 hojas)	26-dic	11
V4 (4 hojas)	02-ene	18
V6 (6 hojas)	09-ene	25
V8 (8 hojas)	17-ene	33
V10 (10 hojas)	22-ene	38
V12 (12 hojas)	29-ene	45
V14 (14 hojas)	02-feb	49
V16 (16 hojas)	05-feb	52
FM (flor. masculina)	07-feb	54
R1 (flor. femenina)	09-feb	56
R2 (ampolla)	21-feb	68
R3 (lechoso)	29-feb	76
R4 (pastoso)	06-mar	82
R5 (línea de leche)	18-mar	94
R6 (madurez fisiológica)	09-abr	116

Fuente: elaborado en base a datos recolectados y a software de INIA.

Si tomamos los 15 días previos a la floración y los 15 días posteriores a la misma como el período crítico, podemos inferir que los déficit hídricos del cultivo durante esta etapa, no fueron excesivos ni prolongados en el tiempo si es que el cultivo tuvo un déficit. Cabe destacar que si bien en el global al cultivo durante esta etapa no le faltó agua, en algún día puntual pudo haber tenido deficiencias.

Por otra parte es importante destacar que entre el comienzo del barbecho (19 octubre) y la siembra (15 de diciembre) las precipitaciones fueron inferiores a la CAAD del suelo (85 mm vs 100 mm).

4.2. BIOMASA CULTIVOS COBERTURAS

En la siguiente figura se presenta la producción de materia seca de las coberturas.

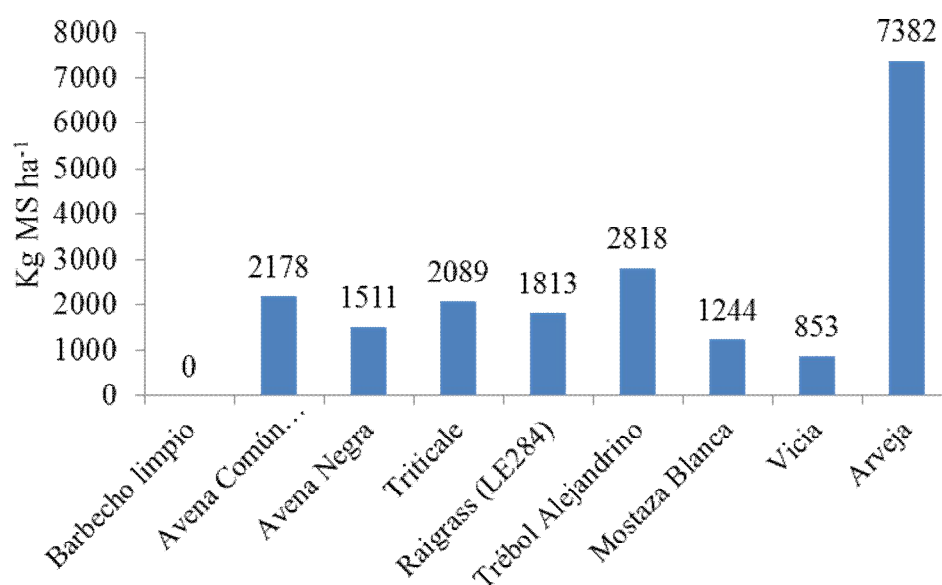


Figura No. 3. Producción de materia seca de las coberturas.

DMS ($P \leq 0,10$)= 1023kg.

La arveja resultó ser la cobertura que produjo más al momento de inicio del barbecho, lo cual coincide con la bibliografía consultada en cuanto a la alta producción de materia seca en períodos cortos. Luego le continuó otra leguminosa, el Trébol Alejandrino. La vicia si bien también es una leguminosa, fue la que produjo menos de todas las coberturas, repitiéndose la baja producción que obtuvieron en el mismo experimento Masoller et al. (2007).

Es de interés agronómico no solo la producción de materia seca si no también la composición de la misma, más precisamente el contenido de nitrógeno, ya que luego de comenzado el barbecho, las leguminosas tendrían que liberar más rápidamente que las gramíneas nitrógeno al suelo (Gill y Vear, 1985). Además las leguminosas deberían mejorar la estructura del suelo entre otros factores por el mayor aporte de nitrógeno (Carámbula, 2006).

Las gramíneas son las que le siguieron al Alejandrino y a la Arveja en cuanto a producción. Cabe destacar que estas si bien aportan estructura al suelo, seguramente inmovilicen nitrógeno cuando se descompongan dada su alta relación C:N (Reeves et al. 1993, Griffin y Hesterman 1991).

4.3. AGUA DISPONIBLE

La evaluación de agua disponible en suelo se llevó a cabo en tres fechas y a tres profundidades distintas, para estudiar no sólo la evolución del agua en todo el perfil si no también como se distribuye esta en el mismo.

4.3.1. Evolución del agua disponible en el suelo (0 a 60 cm de profundidad)

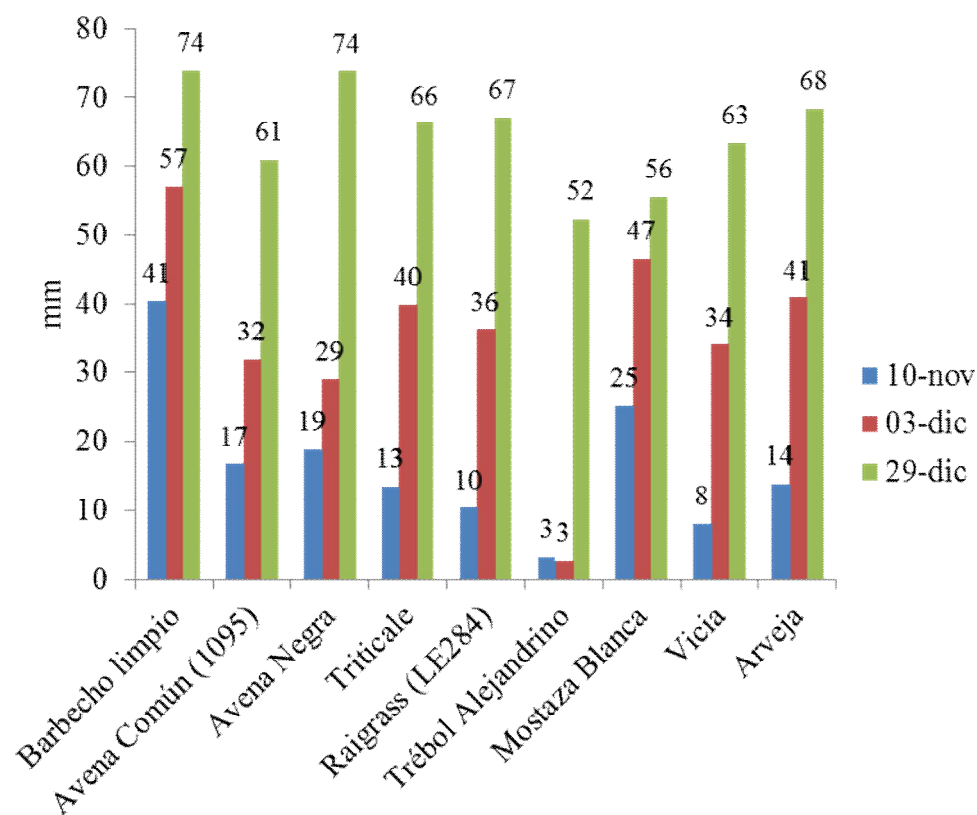


Figura No. 4 Agua disponible (mm) en suelo 0 a 60 cm.

DMS 10 nov ($P \leq 0,10$)= 5,23 mm; DMS 03 dic ($P \leq 0,10$)= 6,17 mm.

Analizando la primer fecha (10 de noviembre), se puede apreciar una mayor cantidad de agua disponible en suelo en el barbecho limpio. Esta diferencia es

estadísticamente significativa. Seguramente esto se deba a la inexistencia de consumo de agua por parte de plantas de los cultivos cobertura ya que se trata de un barbecho largo sin coberturas durante el invierno (Ernst, 2004). El BL solo tiene un 40 % de su CAAD, esto es debido a las precipitaciones del periodo.

La cobertura que llama la atención dado la escasa acumulación de agua que presenta es el trébol alejandrino el cual no llega a 5 mm de agua acumulados en el perfil. Esto se debe al largo de ciclo que presenta (Carámbula, 2007), ya que previo al comienzo del barbecho, cuando la mayoría de las coberturas estaban senesciendo y disminuyendo el consumo de agua, el trébol alejandrino posiblemente siguiera absorbiendo agua debido a su mayor tolerancia al herbicida.

Si bien las avenas junto al triticale y el raigrás son todas gramíneas, las avenas presentaron una mayor acumulación de agua, principalmente la avena negra. Esto también es debido al ciclo de producción y no a la cantidad de materia seca producida ya que la avena negra es la que presenta más agua de las gramíneas y es la que presenta el ciclo más corto (Zanoniani y Ducamp, 2000).

Si ahora se observa lo ocurrido en el muestreo del 3 de diciembre vemos una recarga del perfil en todas las coberturas a excepción del trébol alejandrino que sigue en valores muy bajos de agua disponible en el suelo. Los motivos de esto no son posibles de conocer con este set de datos.

Como se dijo anteriormente todos los perfiles se recargaron y si observamos las precipitaciones durante el período entre los muestreos, vemos que no ocurrieron lluvias como para generar esta recarga. Lo que pudo haber sucedido con seguridad es que la lluvia registrada el día 9 de noviembre, un día antes del primer muestreo no haya infiltrado toda en el suelo y si lo hizo en los sucesivos días, generando la recarga de agua del perfil.

Se puede observar que nuevamente la cobertura que tiene mayor cantidad de agua disponible es el barbecho limpio seguida de la mostaza blanca. Luego siguen las demás coberturas.

Finalmente al 29 de diciembre todas las coberturas tienen el perfil prácticamente recargado debido a que pasaron 60 días desde el comienzo del barbecho y en este período las precipitaciones se encargaron de depositar agua en el suelo. Principalmente a partir de mediados de diciembre.

En este caso el trébol alejandrino también se recargó igualándose con las demás coberturas. En este muestreo las coberturas no generaron diferencias estadísticamente significativas.

4.3.2. Distribución del agua en el perfil

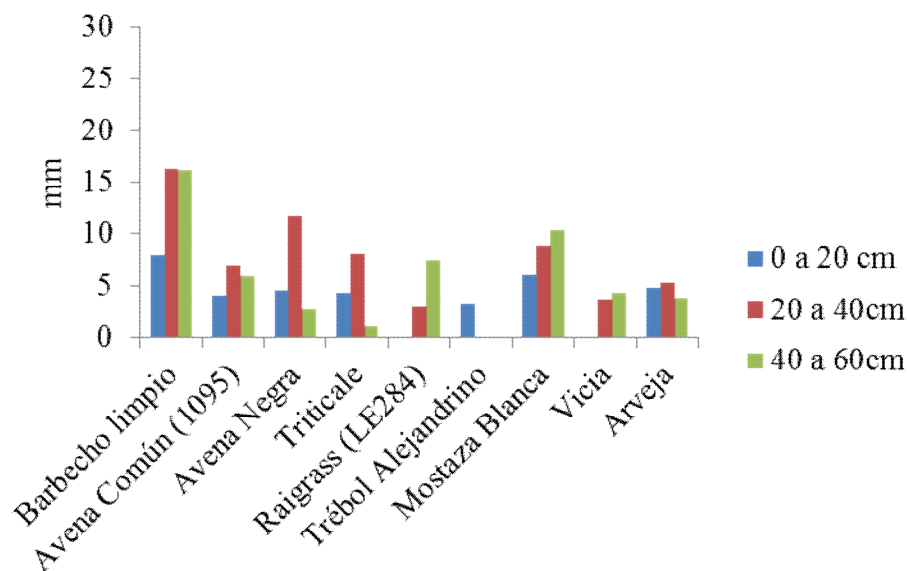


Figura No. 5 Agua disponible (mm) en suelo al 10 de noviembre.

El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en cuanto al efecto de las coberturas sobre el agua disponible en suelo a ninguna de las profundidades estudiadas.

El Trébol alejandrino es el que obtuvo los menores valores de agua disponible en esta fecha. Esto puede deberse a su tolerancia a herbicidas, estando por mas tiempo absorbiendo agua.

La distribución del perfil más cargado (barbecho limpio) seguramente concentre mayor cantidad de agua en las capas profundas debido a un efecto de evaporación de agua de la capa más superficial debido a la escasa o nula cobertura (Gómez de Andrade et al., 2011).

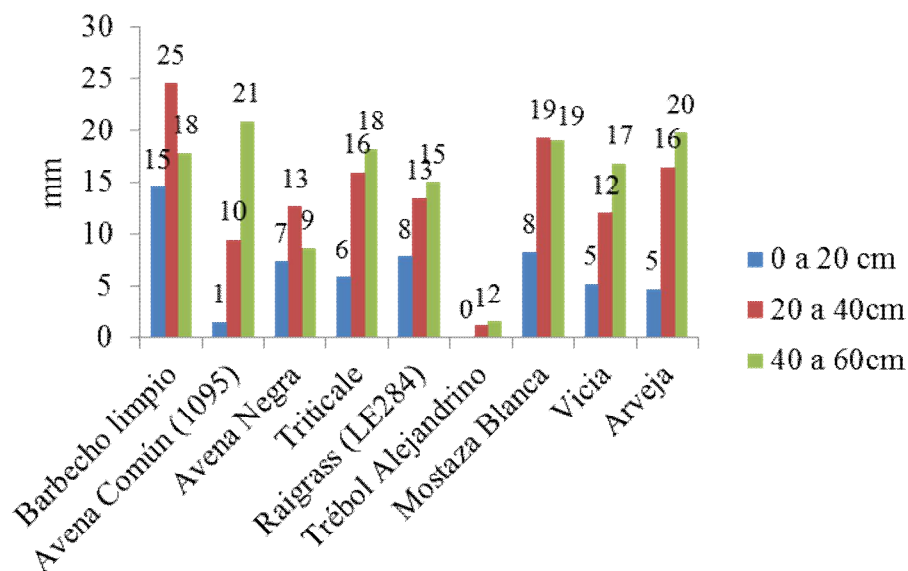


Figura No. 6 Agua disponible (mm) en suelo al 03 de diciembre.

DMS 0 a 20 cm ($P \leq 0,10$)= 8,42 mm; DMS 20 a 40 cm ($P \leq 0,10$)= 10,94 mm;

DMS 40 a 60 cm ($P \leq 0,10$)= 8,58mm.

Las diferencias encontradas en este caso si son significativas estadísticamente. Nuevamente el trébol alejandrino presenta prácticamente vacío el perfil y el que más tiene es el barbecho limpio. A diferencias de la fecha de muestreo anterior, el barbecho limpio posee agua en las capas superficiales, debido esto a que todo el perfil se recargó. En todos los casos los perfiles se recargaron en los tres estratos pero principalmente los más profundos, en comparación con la fecha anterior.

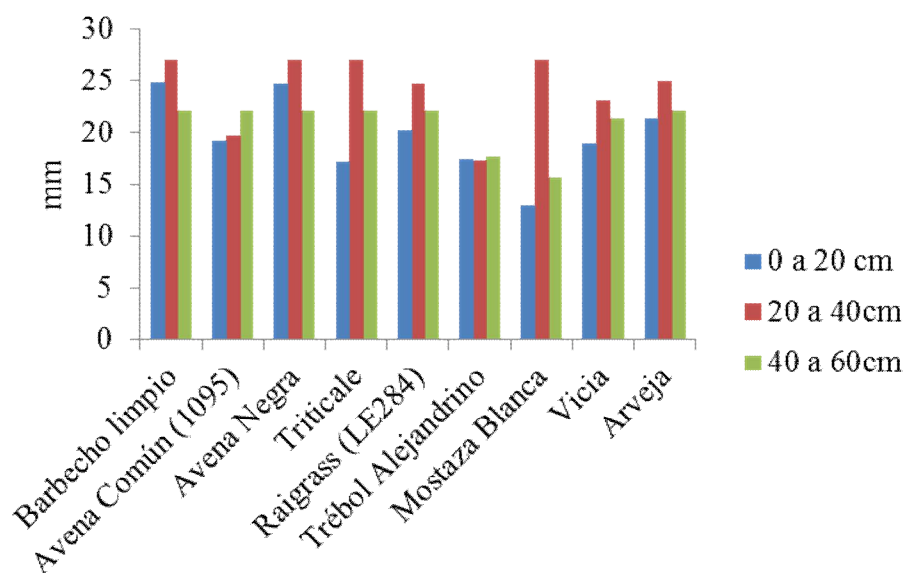


Figura No. 7 Agua disponible (mm) en suelo al 29 de diciembre.

En este caso no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la distribución del agua por estratos según la cobertura. Lo que si se aprecia claramente es que todos los perfiles se encuentran con agua en sus tres estratos incluyendo el trébol alejandrino que en los muestreos anteriores no presentaba agua o presentaba muy poca. Si observamos las precipitaciones entre los últimos dos muestreos se encuentra la explicación de esta recarga ya que en la segunda quincena de diciembre se registraron precipitaciones importantes.

Llama la atención la poca cantidad de agua que presenta la mostaza blanca en el estrato superior si lo comparamos con los demás, ya que si bien la siembra del maíz fue el 15 de diciembre y el cultivo pudo haber absorbido algo de agua, es el único caso en el cual hay tanta diferencia entre el estrato superior y el que le sigue. Las razones de esto se desconocen ya que no se encontraron diferencias significativas en la implantación del cultivo de maíz, en caso de haberse encontrado una mayor implantación en este rastrojo, esa sería una de las explicaciones, pero en este experimento no fue así.

4.4. NITRATOS EN SUELO

Las coberturas generaron diferencias significativas en la cantidad de nitratos (NO₃) en suelo, solamente al momento de la siembra. Los resultados de los tres

momentos se presentan a continuación, siendo; Nt1: NO₃ pre siembra, Nt2: NO₃ a siembra y Nt3: NO₃ en post siembra. Recordemos que entre inicio de barbecho químico y siembra hay unos 60 días.

Cuadro No. 5. Evolución de los niveles de N-NO₃ en suelo según cobertura.

09/12/2010		23/12/2010	02/01/2011
Cobertura	Nt1 (ppm)	Nt2 (ppm)	Nt3 (ppm)
Barbecho limpio	8,2	16,1	16,4
Avena común	9,4	13,4	13,8
Avena negra	6,4	13,8	13,0
Triticale	7,2	16,6	16,3
Raigrass	7,2	13,0	16,7
Alejandrino	8,7	23,7	17,4
Mostaza	7,7	14,6	17,6
Vicia	7,8	21,2	16,6
Arveja	7,8	18,3	15,5
DMS	n.s.	5.6	n.s.

Pre siembra si bien no se encontraron diferencias, todos los niveles de nitratos son bajos, debido esto seguramente a la inmovilización que aún se estaba dando en todos los rastrojos. Dos semanas más tarde, en el momento de la siembra los niveles subieron en todas las coberturas. Los niveles de nitratos encontrados fueron significativamente diferentes dependiendo de las mismas. A excepción del Triticale, las gramíneas presentaron niveles más bajos que el resto de las especies. Esto coincide con varios autores los cuales encontraron que con gramíneas los niveles de N descienden cuando se realiza un cultivo cobertura previo al cultivo “renta” (Kramberger, 2009).

En otras palabras las coberturas con leguminosas tuvieron un efecto positivo respecto a las gramíneas y en algunos casos frente al barbecho limpio como es el caso del Alejandrino, aportando más nitrógeno al suelo al momento de la siembra. Este efecto de las leguminosas es reportado entre otros por Osborne et al. (2011). Sin embargo algunas coberturas de leguminosa como el alejandrino presentaron menores cantidades de agua disponible.

Post siembra los niveles de nitratos en suelo no fueron diferentes estadísticamente entre las diferentes coberturas. Al observar los datos lo que se ve es una

disminución de los niveles de las leguminosas principalmente. Este nitrógeno desaparecido del suelo pudo haber sido absorbido por las plantas de maíz o se pudo haber lavado debido los 55 mm de agua que llovieron el 24 de diciembre. Seguramente hayan ocurrido ambas. No se cuenta con la cuantificación de lo lavado a horizontes profundos y lo absorbido por el cultivo, pero se puede inferir que el barbecho limpio tuvo menor lavado ya que al no poseer cobertura, el agua infiltra menos en el perfil y consecuentemente los niveles de N no disminuyen tanto.

4.5. IMPLANTACION DEL CULTIVO

Luego de analizar los puntos anteriores, vale la pena estudiar como estos afectan la implantación del cultivo. Es decir si las diferentes coberturas ya sea mediante la generación de una mejor estructura de suelo (Sousa Neto et al., 2008) una mayor o menor disponibilidad de nitratos, más rastrojo en superficie, etc, afectan la implantación del cultivo.

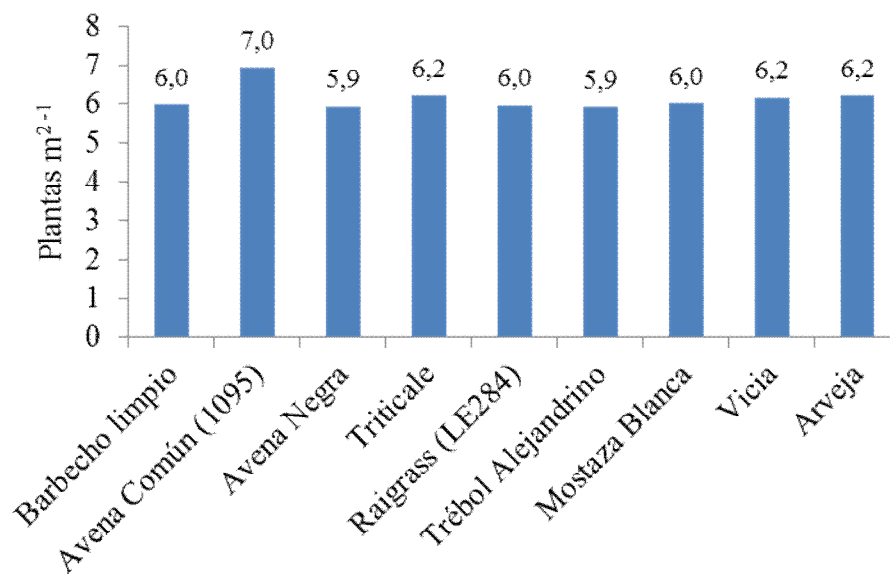


Figura No. 8. Implantación del cultivo (pl/m²).

Estadísticamente las diferencias no fueron significativas en esta ocasión. Lo que se pueden observar son algunas tendencias. Se observa que el alejandrino que mostraba

los menores niveles de agua disponible tuvo la implantación menor junto con la avena negra (otra cobertura con baja cantidad de agua disponible).

Otro dato que llama la atención es la muy buena implantación que se obtuvo con la arveja a pesar de los altos niveles de producción de materia seca y consecuentemente de rastrojo. Esto se podría deber a la rápida descomposición y liberación de nitrógeno por parte del rastrojo, factor que en este experimento no fue estudiado. Lo que si se estudió fueron los nitratos en suelo, dando los valores más altos a la siembra en las leguminosas.

Cabe destacar que en ninguno de los tratamientos se alcanzó la población objetivo de 70000 plantas ha⁻¹, los motivos de esto si bien no se conocen con exactitud, pudo haber una mezcla de factores que afectaron el número de plantas establecidas. Uno de estos factores es la falta de agua previo a la siembra.

4.6. PRODUCCION DE MATERIA SECA A V8

La producción de materia seca se analiza de forma individual (gr planta⁻¹) y por área (gr/m²).

4.6.1. Producción de materia seca por planta

El peso individual de las plantas de maíz tuvo diferencias significativas según la cobertura en estudio.

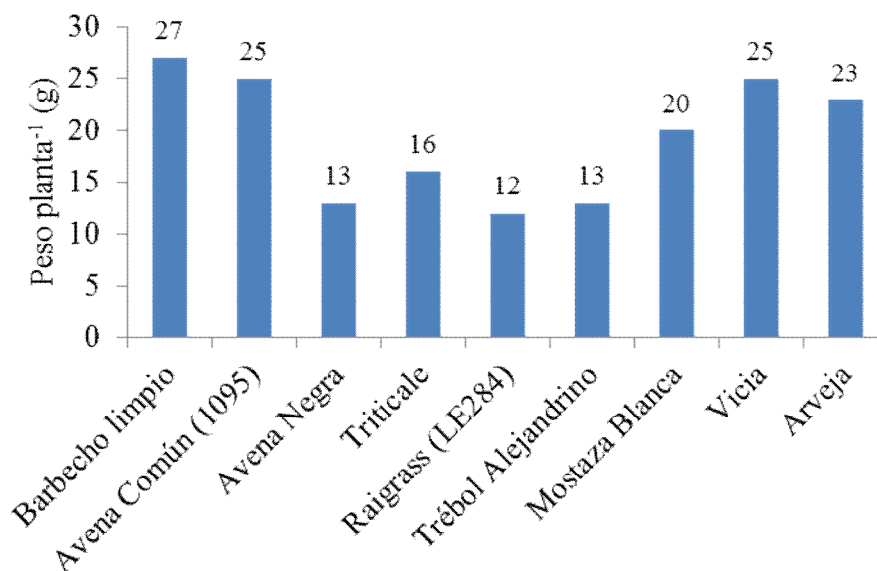


Figura No. 9. Peso individual de plantas de maíz según cobertura.

DMS vicia ($P \leq 0,10$)= 9,26g y DMS resto ($P \leq 0,10$)= 7,71.

Como se observa en el grafico el barbecho limpio tuvo el mayor peso individual aunque estadísticamente este valor fue igual a la avena común, la vicia, la arveja y la mostaza. Adelante se analizará el estado fenológico de las plantas a este momento para observar si estas diferencias se deben a la edad de las plantas. Por otro lado los valores más bajos lo obtuvieron las coberturas de avena negra, raigrass y alejandrino. Esto implica que estas coberturas crecieron menos que el resto o se encontraban un un estadio fonológico menos avanzado.

4.6.2. Producción de materia seca por m²

El resultado de este análisis también arrojó resultados con diferencias significativas entre las coberturas. Por lo tanto puede decirse que por lo menos una cobertura obtuvo un valor de materia seca por m² estadísticamente diferente del resto.

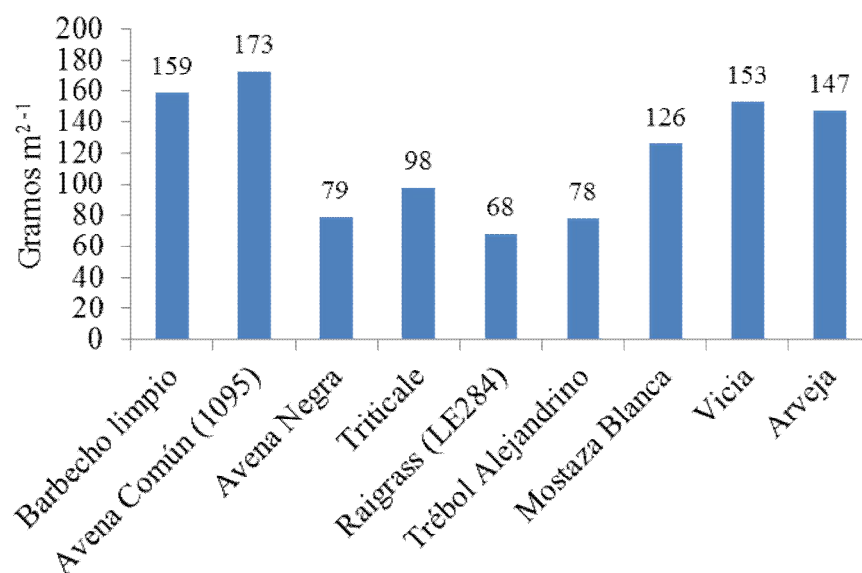


Figura No. 10. Producción de materia seca de maíz por m² según cobertura.

DMS vicia ($P \leq 0,10$)= 65g y DMS resto ($P \leq 0,10$)= 54g.

Cuando se realiza el estudio estadístico de la producción de materia seca por metro cuadrado se observa una fuerte relación con lo que se encontró en el análisis individual. En ambos casos (producción por planta o por superficie), habría que analizar como influyó el desarrollo del cultivo en las diferentes coberturas. Para esto se presenta a continuación el análisis según la escala de Haun.

4.6.3. Nitrógeno absorbido por el cultivo

Se observan diferencias significativas en cuanto a la absorción de nitrógeno por parte del cultivo. Se decidió expresarlo en kg N ha⁻¹ porque se considera que es más ilustrativo de la situación.

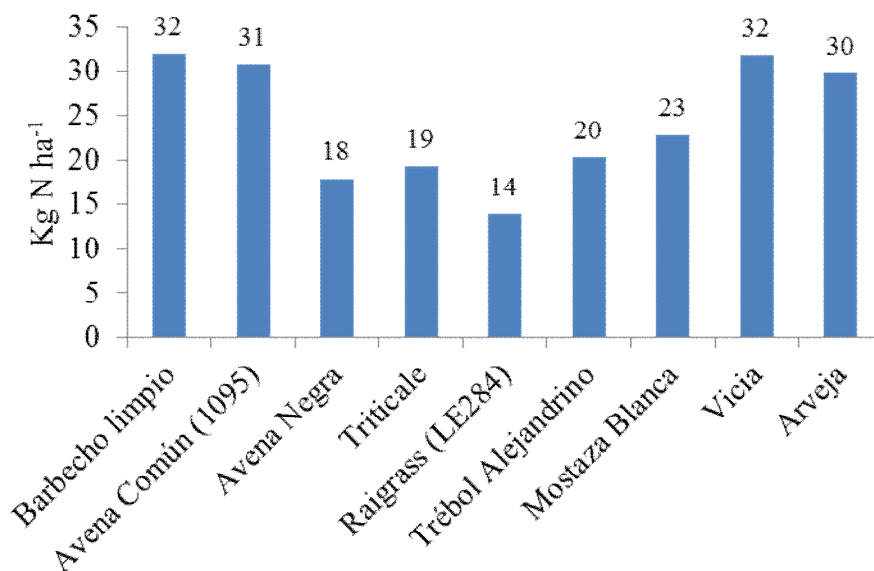


Figura No. 11 Nitrógeno absorbido por hectárea por el cultivo de maíz siembra-v8.

DMS vicia ($P \leq 0,10$)= 12,73 kg y DMS resto ($P \leq 0,10$)= 10,77 kg.

Podemos ver una clara supremacía del barbecho limpio y las leguminosas a excepción del trébol alejandrino sobre las gramíneas, salvo la avena común. La mayor absorción de nitrógeno de la avena común se podría estar explicando por una mayor producción de materia seca del maíz sobre este rastrojo más que por un mayor porcentaje de nitrógeno en planta.

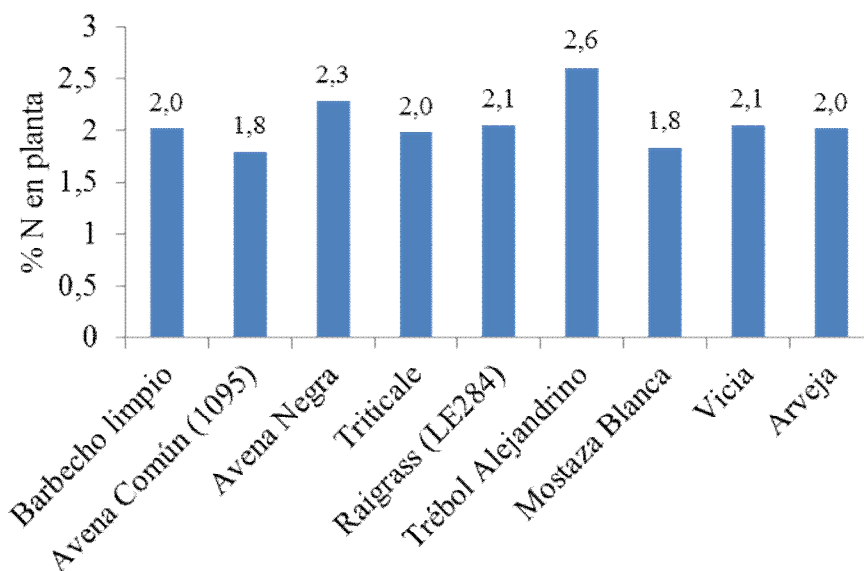


Figura No. 12 Porcentaje de nitrógeno en planta de maíz según cultivo cobertura.

DMS vicia ($P \leq 0,10$)= 0,219 % y DMS resto ($P \leq 0,10$)= 0,179 %.

Si relacionamos ambos gráficos podemos concluir que aquellos rastrojos que generaron una mayor absorción de nitrógenos por hectárea por parte del maíz, son los que tuvieron un menor porcentaje de nitrógeno en planta. Es decir cuanto mayor producción de materia seca de maíz, mayor absorción de nitrógeno por hectárea pero menor porcentaje de nitrógeno en cada planta. Esto revela una mayor eficiencia de uso de nitrógeno en aquellas plantas con menor porcentaje, ya que generaron mayor biomasa por superficie. Esta mayor producción de biomasa se debió a un mayor peso de planta y no a un mayor número de plantas ya que la implantación del cultivo fue similar para todos los casos.

4.6.4. Análisis de desarrollo del cultivo según escala de Haun

El análisis estadístico de Haun no mostró diferencias significativas. Por lo tanto agrónomicamente podemos decir que los individuos de las diferentes parcelas se encontraban en el mismo estado fenológico. Con esto comprobamos que las diferencias obtenidas en materia seca no se debieron a un efecto edad. A continuación se presenta la tabla con los valores de Haun.

Cuadro No. 6. Desarrollo según escala de Haun.

Parcela	Haun
Barbecho limpio	9,06
Avena común	8,36
Avena negra	8,06
Triticale	8,33
Raigrass	8,16
Alejandrino	7,73
Mostaza	8,7
Vicia	8,75
Arveja	8,7

Aunque no se encontraron diferencias significativas en el estudio, se puede ver una tendencia que marca un mayor grado de desarrollo en el barbecho limpio, ya que al tener el suelo descubierto, éste alcanzaría temperaturas mayores (Quiroga et al., 2005).

En conclusión, se puede decir que las coberturas presentaron diferentes producciones de materia seca por planta y por superficie, destacándose el barbecho limpio, y la avena común, seguidas por la arveja y la vicia. Además estas diferencias no se debieron a un mayor grado de desarrollo del cultivo sobre los diferentes rastrojos.

Estos resultados sorprenden ya que en todo caso lo esperable es que además del barbecho limpio las leguminosas se encontraran por encima de las gramíneas dado esto por una mayor disponibilidad de nitrógeno en suelo. Y el barbecho limpio se encontrara por encima debido a una mayor temperatura del suelo que permitiera un desarrollo más rápido que los presentados por las coberturas. Referido a esto último se observa una tendencia en el cuadro donde, si bien la diferencia no es suficiente como para que el modelo estadístico la aprecie, el barbecho limpio es el único que se encuentra por encima de 9.

4.7. IAF

El análisis estadístico del IAF del cultivo de maíz no generó diferencias significativas ya sea por efecto de las coberturas, efecto de la fertilización nitrogenada, ni por la interacción entre ambas. Se estudió el IAF propiamente dicho (mediante la medición de LAI) y la proporción de espacio descubierto por el cultivo (mediante la medición DIF).

En ambas mediciones se puede encontrar una tendencia sobre el cultivo fertilizado, siendo levemente superior el IAF y consecuentemente inferior el espacio descubierto por el cultivo en estos tratamientos.

En cuanto a las coberturas no se pudo encontrar ninguna tendencia clara, ya sea del barbecho limpio respecto a los demás ni comparando a las gramíneas con las leguminosas.

4.8. RENDIMIENTO

Para evaluar el rendimiento de los diferentes tratamientos, este se desglosa en varios componentes. Comenzando con la fertilidad de las plantas, siguiendo con el número de granos por marlo, número de granos por m² y peso de mil granos para finalmente determinar el rendimiento. Cabe destacar que no se encontró interacción entre el nivel fertilización y cobertura utilizada en ningún caso.

4.8.1. Fertilidad

Al analizar los datos de fertilidad de la planta que arrojaron las diferentes coberturas, los diferentes niveles de fertilización y la interacción entre ambos, lo único que se puede concluir es que la fertilidad aumenta conforme aumenta los niveles de N. Por lo menos para los dos niveles de fertilización nitrogenada que se manejaron en el experimento (0 y 50 UN por hectárea). A continuación se presentan los datos, en primer lugar como afectaron las coberturas y luego la fertilización.

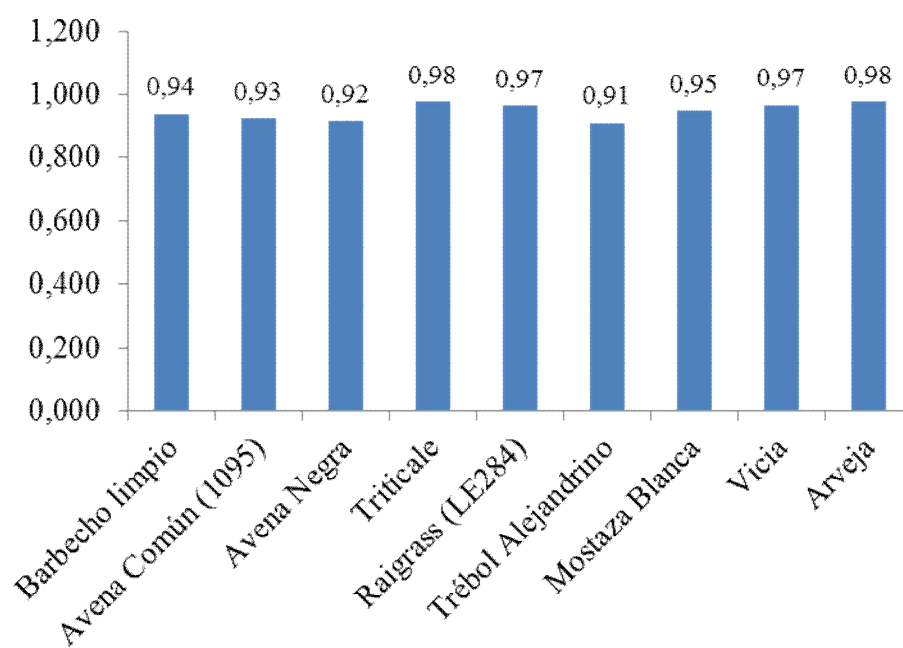


Figura No. 13. Efecto de las coberturas sobre la fertilidad de las plantas de maíz.

El modelo estadístico utilizado no muestra diferencias significativas en cuanto al efecto de las coberturas sobre la fertilidad de las plantas.

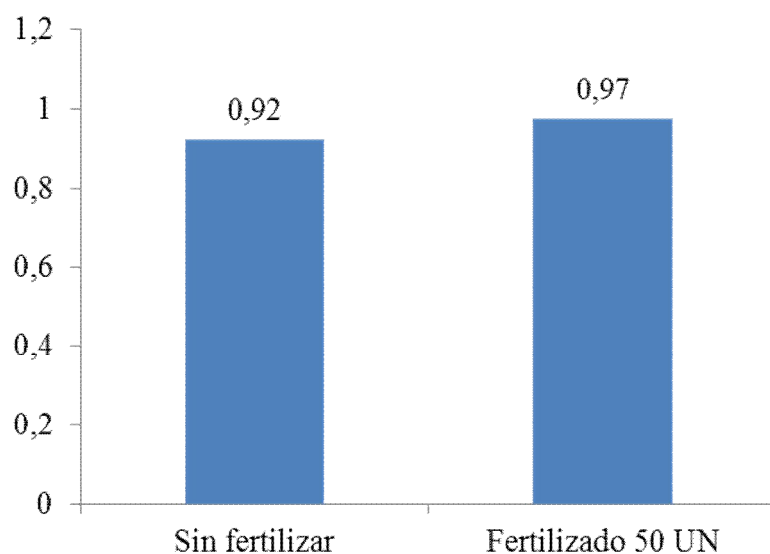


Figura No. 14. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la fertilidad de las plantas de maíz.

DMS ($P \leq 0,10$)= 0.0325.

Se encontraron diferencias significativas al nivel de fertilización estudiado, 50 UN, no existiendo interacción nivel fertilización cobertura.

4.8.2. Granos por espiga

Al analizar la fertilidad sabemos que porcentaje del total de plantas generaron estructuras reproductivas. Ahora debemos saber que producción tuvieron cada una de esas estructuras. Para esto se realiza el estudio del número de granos por marlo.

Cuadro No. 7. Producción de granos por marlo según cultivo cobertura.

Cobertura	Granos marlo⁻¹
Arveja	333,04
Vicia	327,48
Barbecho limpio	326,54
Trébol Alejandrino	320,79
Mostaza Blanca	313,98
Avena Común (1095)	296,46
Avena Negra	293,45
Raigrass (LE284)	291,91
Triticale	282,95

DMS ($P \leq 0,10$)= 25,45 granos.

Se puede apreciar que los cultivos cobertura gramíneas arrojaron una menor producción por marlo de granos de maíz. Estas diferencias son estadísticamente significativas y rankean a las leguminosas por encima de las gramíneas en mayor o menor medida como muestra el cuadro.

Además del efecto de las coberturas, al igual que en el caso anterior, se estudió el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción de granos por marlo.

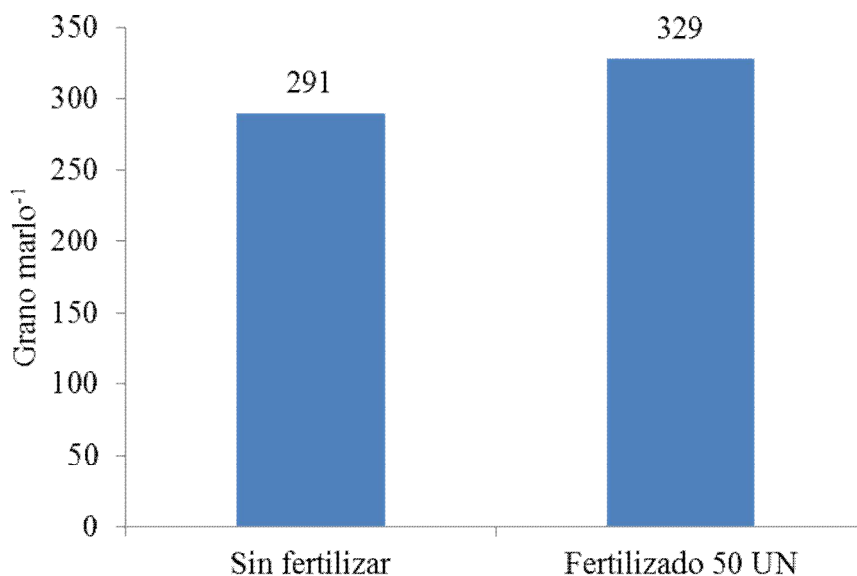


Figura No. 15. Producción de granos por marlo según nivel de fertilización nitrogenada.

DMS ($P \leq 0,10$)= 12.55 granos.

Al igual que en el caso de fertilidad de las plantas, la fertilización nitrogenada tuvo efecto significativo sobre la producción de granos por marlo.

Siguiendo con los componentes del rendimiento en grano de maíz, a continuación se presenta la producción por m² de los diferentes tratamientos, para de esta manera combinar los puntos anteriores y obtener una producción de granos por unidad de área.

4.8.3. Granos por m²

Cuadro No. 8. Producción de granos de maíz por m² según cultivo cobertura.

Cobertura	granos / m²
Arveja	2609,71
Vicia	2550,76
Barbecho limpio	2449,01
Mostaza Blanca	2390,76
Trébol Alejandrino	2372,9
Raigrass (LE284)	2266,01
Triticale	2213,4
Avena Común (1095)	2192,53
Avena Negra	2168,32

DMS ($P \leq 0,10$)= 239,48 granos.

Las diferencias encontradas fueron significativas y colocan a la vicia y la arveja por encima de las gramíneas, al igual que en el caso de la producción por marlo.

La fertilización también tuvo un efecto significativo sobre la producción por m² de granos de maíz.

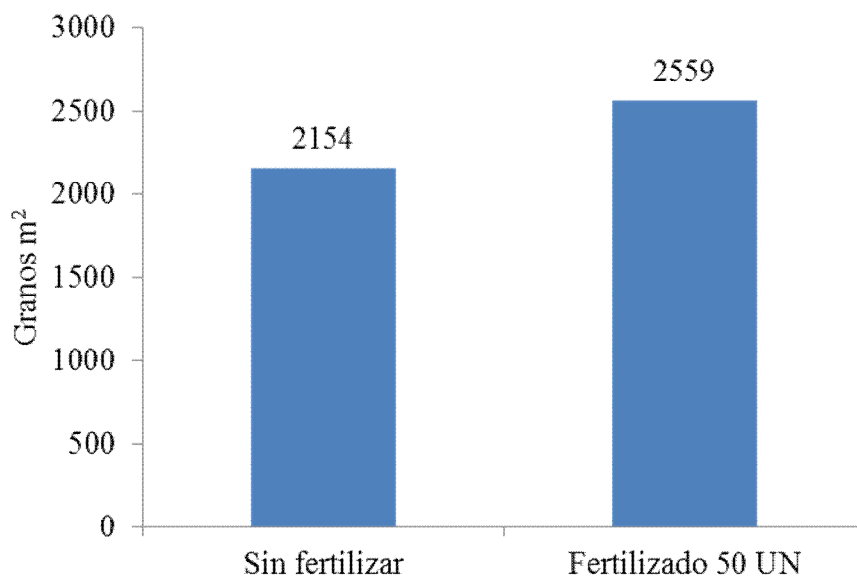


Figura No. 16. Producción de granos por m² según nivel de fertilización nitrogenada.

DMS ($P \leq 0,10$)= 155,99

4.8.4. Peso de mil granos (pmg)

En este experimento las diferentes coberturas no tuvieron efecto sobre el pmg.

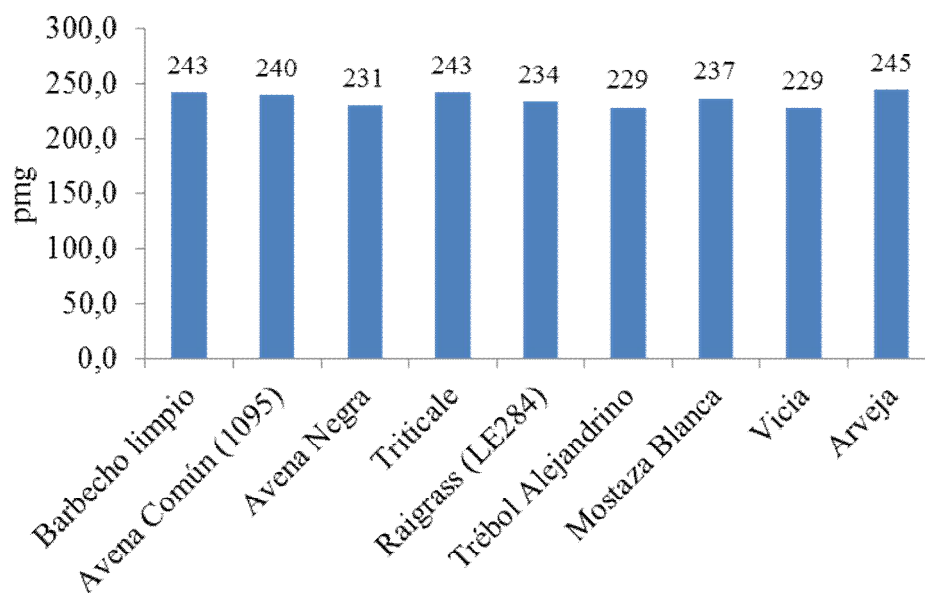


Figura No. 17. Efecto de cultivo cobertura sobre pmg.

Además de no dar significativas las diferencias, tampoco se puede distinguir alguna tendencia si se agrupan las leguminosas y las gramíneas.

Lo que nuevamente tuvo efecto significativo sobre el pmg fue la fertilización nitrogenada.

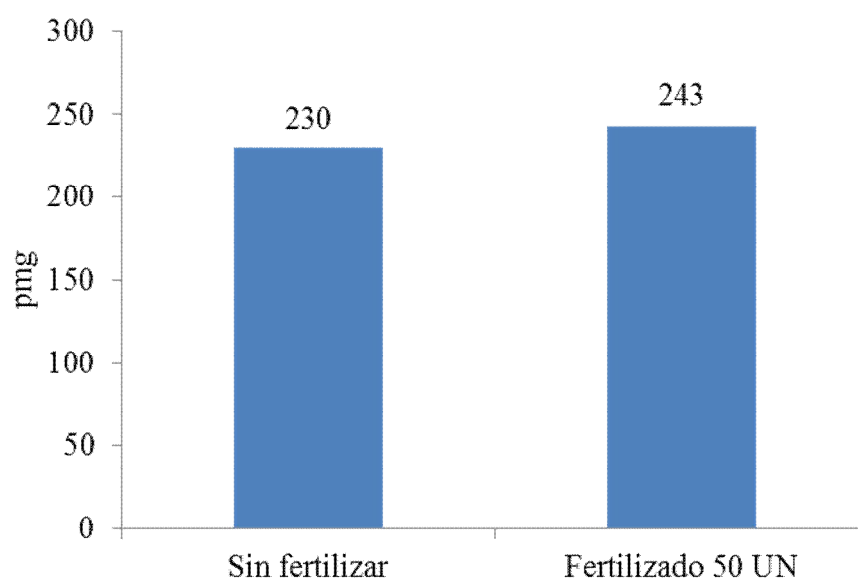


Figura No. 18. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre pmg.

DMS ($P \leq 0,10$)= 5,83 gramos.

4.8.5. Rendimiento en grano de maíz (kg ha⁻¹)

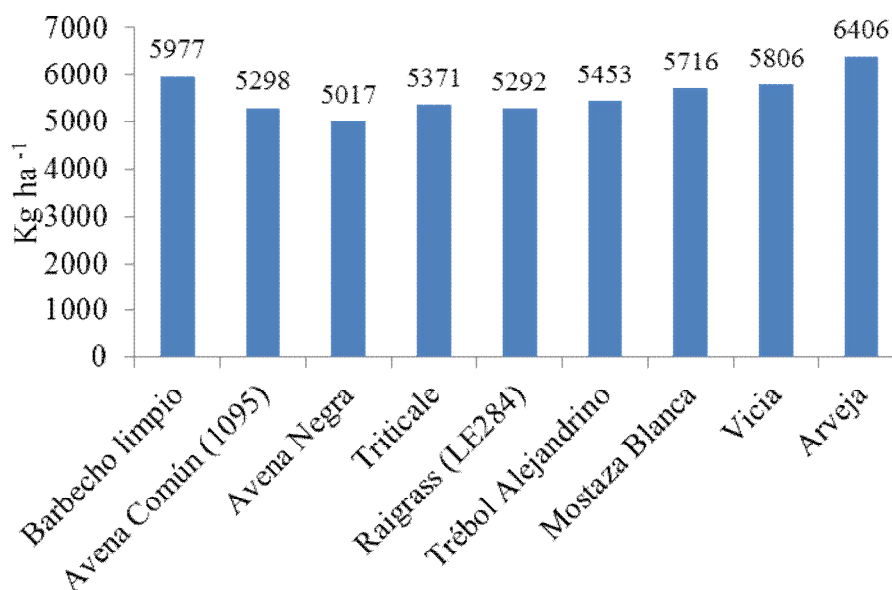


Figura No. 19. Rendimiento en grano según efecto cultivo cobertura.

El análisis estadístico no generó diferencias significativas, en tanto se pueden observar tendencias en el gráfico. La arveja fue la que más produjo y las leguminosas en su conjunto se sitúan por encima de las gramíneas (600 kg de diferencia), estas diferencias no son significativas, por lo que estadísticamente no se puede decir que haya una o varias coberturas mejores que otras.

Lo que si produjo nuevamente diferencias estadísticamente significativas fue la fertilización nitrogenada.

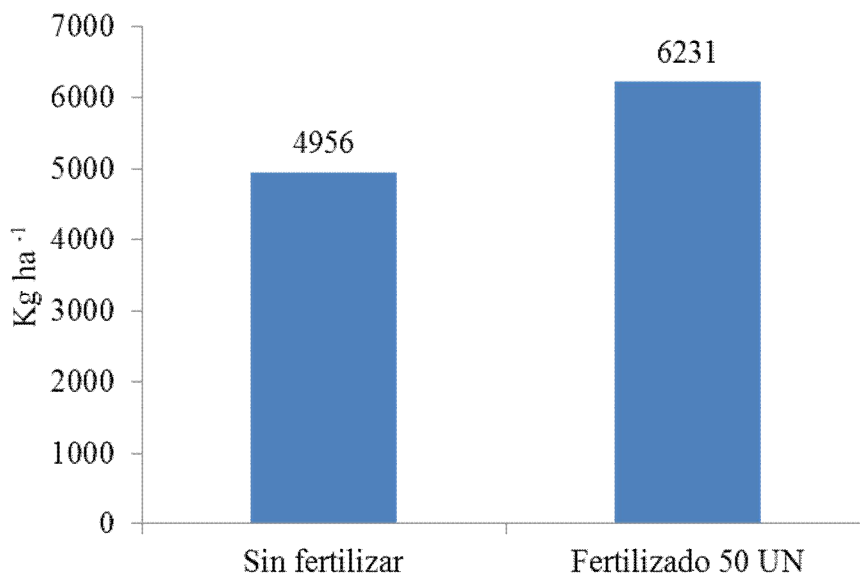


Figura No. 20. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre rendimiento en grano de maíz.

DMS ($P \leq 0,10$)= 348 kg.

Concluyendo este análisis de rendimiento en grano de maíz y sus componentes se puede decir que la fertilización nitrogenada tuvo efecto sobre el rendimiento y todos sus componentes.

Además las coberturas tuvieron efecto sobre el número de granos por marlo y consecuentemente sobre el número de granos por m², ya que las coberturas no produjeron diferencias en el número de plantas/m².

Aunque se encontraron diferencias en el número de granos/m² entre las coberturas, estas no fueron suficientes para provocar diferencias significativas en el rendimiento, a pesar de que el pmg estadísticamente no presentó diferencias entre las coberturas. Estos resultados coinciden con los encontrados por (Sousa Neto et al., 2008) en la zona de Mato Grosso, Brasil, donde tampoco se encontraron diferencias en rendimiento cuando se realizaron coberturas previo al cultivo de maíz.

En cuanto al nitrógeno, era esperable una alta respuesta debido a las precipitaciones dadas en el período que podrían haber ocasionado un lavado del

nitrógeno a horizontes más profundos. La respuesta obtenida fue de 25,5 kg de maíz por cada kg de N agregado, lo cual hoy en día es una relación muy buena.

Si bien con la fertilización se obtuvieron 1275 kg ha⁻¹ más de maíz, las parcelas no fertilizadas, llegaron a producir 5000kg ha⁻¹ aproximadamente. Esto deja en evidencia la buena condición y principalmente contenido de nitrógeno que presenta el suelo sobre el cual se hizo el experimento (Brunosol Éutrico Unidad San Manuel).

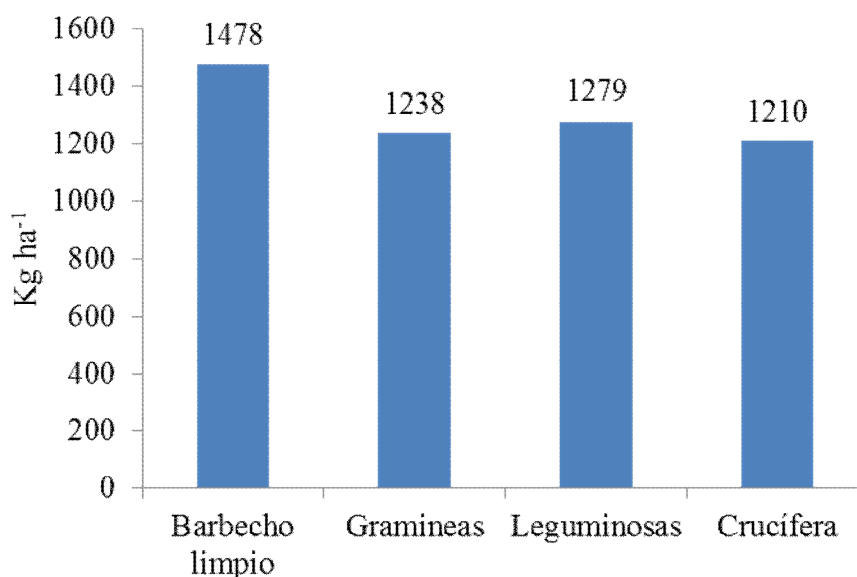


Figura No. 21 Respuesta a la fertilización nitrogenada según familia empleada como cobertura.

Si bien el análisis estadístico no generó diferencias significativas, se observa una clara tendencia de mayor respuesta en el barbecho limpio. Posiblemente esto sea debido a un reciclaje de nitrógeno retenido en las coberturas, siendo el barbecho limpio el más expuesto al lavado del nutriente (Capurro et al., 2010).

5. CONCLUSIONES

Las características climáticas del año fueron, temperaturas levemente por encima de la media histórica, precipitaciones escasas en las primeras etapas del cultivo invirtiéndose esta situación a partir de V8 lo que permitió alcanzar rendimientos aceptables.

La arveja se destacó en producción de materia seca respecto a las demás coberturas, produciendo 2,5 veces más que quien le sigue (trébol alejandrino).

En cuanto a la implantación del maíz no se encontraron diferencias significativas a pesar de tener distintos volúmenes de rastrojo entre coberturas.

Se encontraron diferencias significativas para la acumulación de agua en las primeras etapas del barbecho. Luego estas diferencias se disiparon debido a las precipitaciones ocurridas durante el período.

En los análisis de N-NO₃ solo se encontraron diferencias significativas en pos siembra, donde las gramíneas obtuvieron los menores valores.

La medición de materia seca a V8 evidenció diferencias significativas a favor de ciertas coberturas. Los tratamientos que tuvieron mayor producción (barbecho limpio, avena negra, vicia, arveja y mostaza blanca) de materia seca, fueron aquellos que absorbieron mayor cantidad de nitrógeno por hectárea, pero que presentaron menor concentración del nutriente en planta. Esto deja en evidencia una mayor eficiencia de uso del nitrógeno a mayores niveles de producción de materia seca.

Finalmente las coberturas no generaron diferencias significativas en el rendimiento de los distintos tratamientos. Sin embargo la fertilización nitrogenada impactó en todos los componentes del rendimiento estudiado. Obteniéndose una respuesta de 25,5 kg de grano UN⁻¹ agregada (50 UN ha⁻¹).

A pesar de no haber diferencias en rendimiento entre coberturas, se observa una tendencia a favor de la arveja la cual arveja produjo 900 kg más de maíz ha⁻¹. Teniendo en cuenta este dato y las demás características de la arveja, resulta interesante como opción para controlar la erosión sin perjudicar al cultivo renta.

6. RESUMEN

El experimento fue realizado en la Estación Experimental Mario Cassinoni, en el departamento de Paysandú. Se realizaron 9 tratamientos, con 3 repeticiones cada uno, correspondientes a 9 coberturas invernales diferentes, las cuales antecedieron el cultivo de maíz el cual se realiza bajo siembra directa en un sistema de agricultura continua. El fin de este experimento fue evaluar cómo afectan los diferentes antecesores al cultivo estival y además cada tratamiento fue dividido posteriormente en dos niveles de fertilización (0 UN ha^{-1} y 50 UN ha^{-1}) para evaluar este efecto. Las mediciones realizadas fueron producción de materia seca de las coberturas, acumulación de agua en el suelo, implantación del cultivo de maíz, nitratos en suelo, producción de materia seca a V8, y rendimiento en grano. Los resultados obtenidos en este caso dejan a la arveja (*Panicum sativum*) como la mejor opción para realizar coberturas invernales, ya que fue la que tuvo mayor producción de materia seca durante el invierno sin comprometer luego la implantación del maíz ni comprometer su rendimiento, observándose una tendencia a aumentarlo en 900 kg ha^{-1} . Además la fertilización produjo un aumento del rendimiento en grano de 25 kg ha^{-1} por unidad de nitrógeno agregada.

Palabras clave: Maíz; Siembra directa; Agricultura continua; Cultivos cobertura.

7. SUMMARY

The experiment was realized in Paysandu, in Estación Experimental Mario Cassinoni. It's composed of 9 main treatments and replicated thrice, each treatment match up with a winter cover crop, followed by no tillage corn monoculture and the secondary treatment were 2 levels of fertilization (0 UN ha⁻¹ and 50 UN ha⁻¹). This study aimed to evaluate the cover crop and the fertilization level effect in the corn preharvest and harvest period. The measurement taken were cover crop dry matter, soil accumulated water, corn plants establishment, soil nitrates, V8 dry matter production and corn grain yield. Results collocate vetch (*Panicum sativum*) as the best winter cover crop in this case due to the highest winter dry matter production without having negative effects in corn crop, furthermore vetch cover crop shows a positive trend in corn grain yield (900 kg ha⁻¹). The fertilization level produced a grain yield increase of 25 kg ha⁻¹ per UN aggregated independently of winter cover crop effect.

Keywords: Corn; No tillage system; Corn monoculture; Cover crops.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ANDRADE, F.H.; GARDIOL, J.M., 1994. Sequia y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. EEA INTA Balcarce. Boletín técnico no. 132.
2. AYALA SÁNCHEZ, A.; KRISHNAMURTHY, L.; BASULTO GRANIEL, J. A. 2009. Legumes as cover crops to improve and sustain corn productivity in the southern Yucatán. *Terra* 27 (1): 63-69.
3. BARIFFI, H. 2007. Consideraciones generales sobre el cultivo de arveja proteica. Balcarce, INTA. s.p.
4. BARRETO, H. J. 1994. Efecto de dosis de urea – N en el rendimiento del maíz bajo un sistema de rotación con leguminosas de cobertura. *Agronomía Mesoamericana*. 5: 88-95.
5. BASTOS, M.; FELLER, D.; INGOLD, J. 2007. Efectos del cultivo de cobertura y grupo de madurez en el contenido de agua del suelo y rendimiento de soja. . Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía.150 p.
6. BEMHAJA, M.1996. INIA Carece Triticale. Tacuarembó, INIA. 11 p. (Serie Técnica no. 77).
7. BEMHAJA, M; RISSO, D.F; ZARZA, A; DEL CAMPO, M. 1997. Potencial forrajero de Triticale INIA Carece en suelos arenosos. In: Congreso Binacional de Producción Animal Argentina-Uruguay (1o., 1997, Paysandú). Trabajos presentados. *Revista Argentina de Producción Animal*. 17(1): 196-197.
8. BERNARDINO, H. 2006. Cobertura de leguminosas en el cultivo de maíz en los altos de Chiapas, México. *Terra Latinoamericana*. 24: 133-140.
9. CAPURRO, J.; ANDRIANI, M.J.; GONZALEZ, C. 2010. Evaluación de distintas especies de cultivos cobertura en secuencias soja – soja en el sur de la provincia de Santa Fé. *Soja 2010. Para Mejorar la Producción*. no. 45: s.p.
10. CARAMBULA, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 518 p.
11. _____. 2007. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para la producción de forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. t 1. 357 p.

12. CAZORLA, C.; BAIGIRRIA, T. 2010. Antecesoros de maíz; barbecho o cultivo cobertura? Martín Juárez, INTA. s.p.
13. CORDONE, G.; HANSEN, O. 1985. Vicia como cultivo cobertura. Pergamino, Buenos Aires, INTA. s.p. (Carpeta de Producción Vegetal no. 80).
14. DABNEY, S. M.; DELGADO, J. A.; REEVES, D. W. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32(7): 1221 – 1250.
15. DA SILVEIRO, P. M. 2010. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 40: 283- 290.
16. ERNST, O. 2001. Siembra sin laboreo; importancia del manejo del barbecho. In: Jornada Nacional de Siembra Directa (9ª., 2001, Paysandú). Resumen de trabajos. Montevideo, AUSID. pp. 11-15.
17. _____. 2004. Leguminosas como cultivos de cobertura. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 21: s.p.
18. FRYE, W. 1985. Economics of winter cover crops as a source of nitrogen for no-till corn. *Journal of Soil and Water Conservation*. 40 (2): 246-249.
19. GARCIA PERCHAC, F. 1992. Aspectos básicos del comportamiento de suelos en siembra directa: Propiedades físicas. p. 15.
20. GARCIA, J. A. 1995. Mejoramiento de forrajeras en el INIA. Raigras, gramíneas bianuales y perennes, trébol blanco y leguminosas anuales. In: Seminario de Actualización Técnica Sobre Producción y Manejo de Pasturas (1995, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 1-5.
21. GARDNER, W.R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Science*. 89: 63-73.

22. _____. 1983 Soil properties and efficient water use; an overview. *In*: Taylor, H.M. eds. Limitations to efficient water use in crop production.s.l., ASA/CSSA/SSSA. pp. 45-64.
23. GILL, N. T.; VEAR, K.C. 1965. Botánica agrícola. Zaragoza, España, Acribia. 725 p.
24. GOMES DE ANDRADE, J.; PACHECO SEGUÍ,J.; JNIES, A. E. 2011. Perdidas de agua por evaporación en maíz con siembra convencional y directa para diferentes niveles de cobertura muerta. I. resultados experimentales. *Revista Ciencias Técnicas Agrarias*. 20(2): 60-64.
25. GRIFFIN, T.S.; HESTERMAN, O.B. 1991. Potato response to legume and fertilizer nitrogen sources. *Agronomy Journal*. 83(6): 1004-1012.
26. GRIFFITH, D.R.; MANNERING, J.V.; BOX, J.E. 1986. Soil and moisture with reduced tillage. *In*: Sprague, M.A; Triplett, G.B. eds. No-tillage and surface-tillage agriculture, the tillage revolution. Nueva York, s.e. pp. 19-58.
27. GUDETA, S. 2008. Meta-analisis of maize yield response to woody and herbaceous legumes in sub- Saharan Africa. *Plant and Soil*. 307: 1-19.
28. HANSEN, J. W. 1996. Agricultural sustentability a usefull concept. *Agricultural Systems*. 50: 117-43
29. HART, R.; BURTON, G. W.; MOREY, D. D. 1964. Small grain varieties for winter forage in the coastal plain. *Bulleting of University of Georgia Collage of Agriculture* no. 121. 18 p.
30. HUHN, M.R. 2000. Response of small grain varieties to simulated differential grazing intensities. Degree of Bachelor of Science. Minesota, USA. University of Minnesota. s.p.
31. KARUMA, A.; GACHENE, C. K. K.; GICHERU, P. T.; MWANG'OMBE, A. W.; MWANGI, H. W.; CLAVEL, D.; VERHAGEN, J.; KAUFMANN, R. VON; FRANCIS, J.; EKAYA, W. 2011. Effects of legume cover crop and sub-soiling on soil properties and maize growth in semi arid area of Machakos District. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14(1): 237-243.

32. KRAMBERGER, B. 2009. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *European Journal of Agronomy*. 31(2): 103-109.
33. KRUEGER, E.; OSCHNER, T.; PORTER, P.; BAKER, J. 2011. Winter rye cover crops management influences on soil, water, soil nitrate and corn development. *Agronomy Journal*. 103(2): 316-323.
34. LETEY, J. 1985. Relationship between soil properties and crop production. *Soil Science*. 1: 273-294.
35. MAFAKHERI, S.; ARDAKANI, M.; MEIGHANI, F.; MIRHADI, M.; VAZAN, S. 2010. Rye cover crop management affects weeds and yield of corn (*Zea mays* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 38(3): 117-123.
36. MESA, J.; ELOLA, U. 1996. Estudio comparativo de implantación de diferentes verdeos asociados a una mezcla. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 108 p.
37. ONSTAD, C.A.; VOORHEES, W.B. 1987. Hydrologic soil parameters affected by tillage. In: Logan, T. J. eds. *Effects of conservation tillage on ground water quality, nitrates and pesticides*. s.l., Lewis Publishers. pp. 95-112.
38. OSBORNE, S.L.; DAGEL, K.J.; FORGEY, D.; BECK, D. 2011. The impact of fall cover crops on soil nitrate and corn growth. *Agricultural Journal*. 6: 35-39.
39. OZPNAR, S. 2009. Tillage and cover crops effects on maize yield and soil nitrogen. *Bulgarian Journal and Agricultural Science*. 15: 533-543.
40. PAGLIARICCI, H.R.; GONZÁLEZ, S.; OHANIAN, A.E.; PEREYRA, T.W. 2000. Caracterización del crecimiento y la producción de cereales forrajeros invernales en Córdoba. *Agricultura Técnica* 60(3): s.p.
41. QUIROGA, A.; FUNARO, D.; FERNANDEZ, R.; NOELLMAYER, E. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la región pampeana. *Ciencia y Suelo*. 23(1): s.p.
42. REEVES, D.W.; TOUCHTON, J.T. 1993. *Cover crops and rotations*. s.l., United States Department of Agriculture. s.p.

43. ROSENGURTT, B.; DEL PUERTO, O.; ARRILLAGA de MAFFEI, B.; LOMBARDO, A. 1992. Gramíneas. Montevideo, Facultad de Agronomía. 158 p.
44. SAINJU, U.M.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. 1998. Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agronomy Journal*. 90: 511-518.
45. SAWCHIK, J. 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
46. SOUSA NETO, E. L. DE; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. 2008. Soil physical attributes and corn yield as a response to cover crops prior to corn. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 43(2): 255-260.
47. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMÍA. 2006. Curso práctico de agrometeorología. Montevideo. 55 p.
48. WRIGHT, R. L.; AGRYARE, J.A.; JESSOP, R.S. 1990. Selection factors for australian grazing/dual purpose triticales. In: Internacional Triticales Symposium (2nd., 1990, Passo Fundo, RS, Brazil). Proceedings. s.n.t. pp. 438-441.
49. YUANSHU, S.; CHONGYI, W. 1990. Triticale as a new silage for dairy cattle. In: Internacional Triticales Symposium (2nd., 1990, Passo Fundo, RS, Brazil). Proceedings. s.n.t. pp. 514-515.
50. ZANONIANI, R.; DUCAMP, F. 2000. Consideraciones a tener en cuenta en la elección de verdes de invierno. *Cangüé*. no. 18: 22-26.