

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

EFEECTO DE LOS CULTIVOS COBERTURA SOBRE LA
RECARGA DE AGUA, NITROGENO EN EL SUELO Y LA
PRODUCTIVIDAD DEL MAIZ

por

Lucia CAMELO BANCHERO
Pablo LEIVA SANCHEZ

Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el título
de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2022

Trabajo final de grado aprobado por:

Director: -----
Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Santiago Álvarez

Fecha: 9 de noviembre de 2022

Autor: -----
Lucia Camelo Banchero.

Pablo Leiva Sánchez.

AGRADECIMIENTOS

Un muy especial agradecimiento a nuestras familias por el sostén desde el comienzo a fin de nuestra carrera.

A los profesores Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto e Ing. Agr. Oswaldo Ernst por el apoyo en la realización de la tesis.

A las personas que trabajan en la Estación Experimental Mario Cassinoni que colaboraron en la realización de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDOS

	Página.
PÁGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1.INTRODUCCION.....	1
2.REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1 CULTIVOS DE COBERTURA.....	2
2.1.1 Efectos generales de la inclusión de coberturas.....	2
2.1.2 Características generales de las especies utilizadas como coberturas	
4	
2.1.2.1 Avena.....	4
2.1.2.2 Lolium multiflorum.....	5
2.1.2.3 Triticale.....	6
2.1.2.4 Trifolium alexandrinum.....	7
2.1.2.5 Vicia sativa.....	8
2.1.2.6 Pisum sativum.....	8
2.1.2.7 Sinapsis alba.....	9
2.2 EL AGUA EN EL SUELO.....	10
2.2.1 Influencia del rastrojo y período de barbecho sobre la dinámica del	
agua.....	10
2.2.2 Utilización del agua por las coberturas invernales.....	12
2.2.3 Necesidades hídricas del cultivo de renta.....	13
2.3 DINAMICA DEL NITRÓGENO.....	14
2.3.1 Proceso de mineralización-inmovilización.....	14
2.3.2 Leguminosas como cultivo de cobertura.....	15
2.3.3 Utilización del nitrógeno proveniente de la FBN.....	16
2.3.4 Efecto sobre el rendimiento del cultivo.....	18
2.3.5 Formas de cuantificar el N para la fertilización en maíz.....	19
3. MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO.....	20
3.1.1 Localización.....	20
3.1.2 Suelo e historia de la chacra.....	20
3.1.3 Diseño experimental.....	20
3.1.4 Tratamientos.....	21
3.2 MANEJO Y DETERMINACIONES EN EL CULTIVO DE MAIZ.....	21
3.2.1 Siembra.....	21

3.2.2 Determinaciones.....	22
3.3 DETERMINACIONES EN EL SUELO	22
3.3.1 Humedad	22
3.3.2 Evolución de nitratos	23
3.4 RESUMEN DE LABORES.....	23
3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	23
4. RESULTADOS Y DISCUSION	24
4.1 CARACTERIZACION CLIMATICA	24
4.1.1 Precipitaciones	24
4.1.2 Temperatura	25
4.2 CULTIVOS COBERTURAS.....	26
4.2.1 Producción de materia seca por las coberturas.....	26
4.3 DETERMINACIONES EN EL SUELO	27
4.3.1 Evolución del agua disponible en el suelo	27
4.3.1.1 Agua disponible según profundidad	28
4.3.1.2 Agua disponible según tratamientos.	29
4.3.2 Evolución de Nitratos (N-NO ₃ ⁻) en el suelo	31
4.4 CULTIVO DE MAIZ	33
4.4.1 Implantación	33
4.4.2 En estadio V6	34
4.4.2.1 Índice de área foliar (IAF).....	34
4.4.2.2 Producción de materia seca (MS) del maíz y % de Nitrógeno (N) en planta.....	35
4.4.3 En estadio de floración	37
4.4.3.1 Índice de área foliar (IAF).....	37
4.4.3.2 Producción de materia seca (MS) del maíz y % de Nitrógeno en planta (N).....	38
4.4.4 Rendimiento en grano.....	39
4.4.5 Relación entre nitratos en el suelo con el rendimiento del maíz	41
4.4.6 Componentes del rendimiento	43
4.4.6.1 Numero de granos por espiga (NG)	43
5. CONCLUSIONES	45
6. RESUMEN	46
7. SUMMARY.....	47
8. BIBLIOGRAFIA.....	48

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

	Página.
Cuadro 1: Densidad de siembra según tratamiento.....	21
Cuadro 2: Análisis de varianza según cobertura y profundidad para agua disponible.....	27
Figura 1: Cronograma de labores.....	23
Figura 2: Precipitaciones medias mensuales durante el experimento (2009/2010) y del promedio histórico del 1961 al 2000.....	24
Figura 3: Promedio de temperaturas registradas durante el experimento (2009/2010) comparadas con una serie histórica desde 1961 al 2000.....	25
Figura 4: Producción de biomasa aérea (kg MS ha ⁻¹) por las distintas coberturas. Las diferencias fueron significativas (P<= 0.10); MDS 880 kg.....	26
Figura 5: Contenido de agua en el suelo según profundidad, en las cuatro fechas de muestreo. Existieron diferencias significativas (p≤0.001.....	28
Figura 6: Contenido de agua en el suelo según tratamiento, en las cuatro fechas de muestreo. Existieron diferencias significativas (p≤0.001), excepto el 9 de octubre.....	29
Figura 7: Evolución de nitratos en el suelo según cultivo cobertura. En todas las fechas de muestreo existieron diferencias significativas con P<= 0.10. I= MDS31	
Figura 8: Número de plantas de maíz por metro cuadrado según tratamiento, a los 13 días después de la siembra. Las diferencias entre tratamientos no son significativas (P<= 0.10).....	33
Figura 9: Índice de Área Foliar del maíz en estadio V6 según tratamiento. Las diferencias entre tratamientos son significativas (P<= 0.10).....	34
Figura 10: Producción de Materia Seca y porcentaje de Nitrógeno en planta del maíz en estadio V6 según tratamiento. Las diferencias entre tratamientos son significativas (P<= 0.10).....	36

Figura 11: Índice de Área Foliar del maíz en floración según tratamiento y fertilización con Nitrógeno. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$).....	37
Figura 12: Producción de Materia Seca y porcentaje de Nitrógeno en planta del maíz a floración según tratamiento. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$).....	38
Figura 13: Rendimiento en grano del cultivo de maíz según fertilización y cobertura. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$).....	40
Figura 14: Correlación entre nitratos a la siembra y el rendimiento de maíz en los tratamientos sin fertilizar.	41
Figura 15: Correlación entre nitratos a la siembra y el rendimiento de maíz en los tratamientos con fertilización con 50UN.....	42
Figura 16: Numero de granos por espiga del cultivo de maíz según fertilización y cobertura. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$).....	43

1. INTRODUCCION

En los sistemas agrícolas uruguayos existen rotaciones de cultivos en donde en ciertas fases de estas se obtiene un cultivo de verano por año (comúnmente llamado cultivo de primera). En estos casos, durante el invierno previo no se realizan cultivos de renta, en consecuencia el tiempo de barbecho entre un cultivo y otro se hace muy largo dejando el suelo al descubierto, aumentando la probabilidad que se produzcan pérdidas de suelo y nutrientes a causa de la erosión. Para estas situaciones existe una herramienta agronómica que es la utilización de cultivos de cobertura.

La inclusión de cultivos de cobertura en los sistemas de rotación agrícola o agrícola pastoriles es una herramienta muy efectiva para el manejo integrado de las malezas, siendo factores claves en la minimización de aplicaciones de agroquímicos. Esto ocurre, principalmente, por el efecto que logran en bajar la presión de malezas para el cultivo siguiente. Además, tienen un rol protagónico en la conservación del suelo, ya que logran su cobertura durante todo el año reduciendo en forma significativa las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Estos beneficios derivados de la inclusión de cultivos de cobertura favorecen a la sustentabilidad de los sistemas productivos (Grahmann et al., 2020). Por estas y otras funciones que se verán más adelante podemos decir que son una alternativa para realizar una agricultura continua sustentable.

El objetivo de este trabajo es investigar el efecto que tienen diferentes cultivos cobertura invernales sobre la dinámica del agua y del nitrógeno, y el impacto que producen en el cultivo siguiente, en este caso el maíz.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CULTIVOS DE COBERTURA

2.1.1 Efectos generales de la inclusión de coberturas

A través de los siglos se ha conocido la utilidad de los cultivos coberturas (CC) en la agricultura. Estos cultivos se siembran, no tanto por sus beneficios de corto plazo, sino por sus beneficios a largo plazo. Estos beneficios aparecen cuando los CC se cortan o disecan y se dejan sobre el suelo para mejorar el aporte de biomasa y por ende la entrada de carbono al sistema suelo (Siri y Ernst, 2011).

Se definen cultivos coberturas a 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 et al., 1993). Los CC son sembrados entre dos cultivos de cosecha y no son incorporados al suelo (a diferencia de los abonos verdes), pastoreados (a diferencia de los verdeos) o cosechados (Ruffo y Parsons, 2004).

Los residuos de los CC quedan en superficie, liberando los nutrientes contenidos en la biomasa vegetal al descomponerse. Las coberturas han sido utilizadas tradicionalmente para controlar la erosión pero pueden cumplir múltiples funciones en el sistema de producción. Por ejemplo, son utilizados para reducir la compactación, minimizar la lixiviación de nitratos residuales, incrementar el contenido de carbono y nitrógeno del suelo, controlar malezas y aportar N mineral al cultivo siguiente (Ruffo y Parsons, 2004).

En este sentido los autores Wander y Traina (1996) comprobaron que los contenidos de materia orgánica (MO) fueron significativamente mayores cuando se incorporaron cultivos de cobertura a la rotación, además de que la inclusión de los mismos afectó positivamente y en mayor grado las fracciones livianas de la MO.

Scianca et al. (2007) manifestaron que el centeno y triticale por su mayor producción de biomasa y por su incidencia sobre las malezas que se prolonga durante el ciclo de cultivo de maíz, aparecen como las especies más promisorias para estos planteos productivos. Comprobándose efectos significativos sobre la MO respecto del testigo sin inclusión de CC, dado a que

tanto triticale como centeno contribuyeron en un aumento significativo de la materia orgánica joven en los primeros 5 cm del perfil de suelo.

La siembra de una leguminosa como cobertura invernal entre dos cultivos de verano consecutivos, además de cubrir el suelo para que este no sea erosionado, genera un aporte adicional de nitrógeno por fijación biológica. Según Ernst (2006) el crecimiento, absorción de N y rendimiento del maíz fue incrementado por la siembra de una leguminosa anual como CC durante el invierno previo.

En general, los cultivos de cobertura juegan un papel importante en el ciclismo de nutrientes, tanto los agregados a través de los fertilizantes y no utilizados por los cultivos, como de aquellos provenientes de la mineralización de materia orgánica o del propio material de origen del suelo (Aita et al., citados por Santi et al., 2003). Cuantitativamente los nutrientes más reciclados fueron el K y el Ca. Para el caso del K, en la parte aérea de la avena se registró 141 kg ha⁻¹ a la mayor dosis de nitrógeno, esto corresponde a un aumento del 88% en la cantidad de K acumulado en la biomasa de avena (Santi et al., 2003). De acuerdo con Coelho y França (2003), esta cantidad de K reciclado en la biomasa de avena sería mayor que la necesidad de absorción para un rendimiento de maíz de 7,9 tt ha⁻¹. Por lo tanto, el ciclaje de K por la avena es una importante estrategia para reducir las pérdidas de nutrientes por lixiviación en los períodos de barbechos largos.

Los cultivos de cobertura pueden tener un papel importante en el manejo de N, especialmente en áreas con altos niveles de precipitación en invierno, que pueden lixiviar nutrientes móviles como el N-NO⁻³ de los suelos durante la temporada. Sin embargo, cuando los cultivos de cobertura son gramíneas pueden representar un riesgo a corto plazo de inmovilización del N, debido a su amplia relación C/N (Ranells y Rabino, citados por Odhiambo y Bomke, 2001). En cambio sí se utilizan coberturas leguminosas estas generan un aporte de N vía fijación biológica, y además se minimiza el riesgo potencial de inmovilización a corto plazo (Ranells y Wagger, citados por Odhiambo y Bomke, 2001).

Según Baigorria et al. (2011) una característica importante para elegir un CC es su precocidad para cubrir el suelo, ya que le otorga una mayor competencia con las malezas y disminuye las pérdidas de agua por evaporación, aumentando la eficiencia del uso del agua. En este sentido, *Vicia villosa* demuestra tener estas características, comportándose como un cultivo de crecimiento más rápido que *Vicia sativa*.

Quiroga et al., citados por Álvarez y Scianca (2006), reportaron que las pérdidas de $N-NO_3^-$ por lixiviación en diferentes suelos se redujeron en casos de hasta un 80 % en situaciones donde se utilizó cultivos de coberturas comparados a barbechos desnudos. En otro caso Strock et al., citados por Álvarez y Scianca (2006), reportaron que las pérdidas de $N-NO_3^-$ por lixiviación en un suelo moderadamente drenado se redujeron en un 13 % en una rotación maíz-soja cuando un cultivo de centeno se implantó durante el periodo de barbecho.

2.1.2 Características generales de las especies utilizadas como coberturas

2.1.2.1 Avena

La avena es una gramínea anual invernal. Presenta un periodo de siembra que abarca desde mediados de últimos días febrero hasta los de mayo. Sin embargo, la época más adecuada para ser sembrada va desde marzo a mediados de abril, periodo durante el cual las condiciones climáticas son generalmente propicias para las plántulas recién emergidas. García (2003) menciona como limitante en siembras de febrero los riesgos de ataque de pulgón y encañazón prematura en algunos cultivares. Por otro lado este mismo autor señala que este verdeo es muy susceptible a las condiciones de anegamiento temporario y problemas importantes de roya son muy frecuentes en esta especie.

En términos generales las avenas constituyen el verdeo con mayor potencial de producción de forraje en otoño, siendo además muy bueno en el invierno. El alto potencial de otoño se explica por ser una especie cuya semilla germina bien con bajos tenores de humedad en el suelo y sus plántulas son altamente resistentes a altas temperaturas (Formoso, 2010).

2.1.2.1.1 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. Las principales variedades son la Avena 1095a y la avena RLE 115 (Mesa y Elola, 1996).

El cultivar 1095a se destaca por sus buenas virtudes para el pastoreo ya que combina un ciclo largo, habito de crecimiento semipostrado y un excelente macollaje. En contraposición sus características para la producción de grano no son las mejores, presentando además, dados sus tallos finos, una marcada tendencia al vuelco, lo que dificulta su cosecha. Sin embargo, su mayor virtud es un adecuado comportamiento doble propósito en siembras

tempranas de otoño, permitiendo muy buenas producciones de forraje y buenas producciones de grano. Sanitariamente presenta buena resistencia a Roya y mediana resistencia a pulgón y a virus (Zanoniani y Ducamp, 2000).

Avena byzantina Estanzuela 1095 a, en siembras de febrero (8836 kg MS ha⁻¹) y marzo (8491 kg MS ha⁻¹), fue la especie de mayor rendimiento de forraje en otoño, en otoño más invierno y en producción total. Ya cuando la siembra fue en el mes de mayo, la producción total fue notoriamente menor ubicándose en el orden de los 5143 kg MS ha⁻¹ (Formoso, 2011).

2.1.2.1.2 Avena strigosa

La principal variedad es la conocida como avena negra. Son materiales de ciclo muy corto, porte erecto, muy baja capacidad de macollaje y rebrote, hojas finas de color verde intenso y floración temprana. Su principal característica es la elevada entrega de forraje temprano, pero con muy mal rebrote, lo que determina que no pueda utilizarse como doble propósito. Es una especie de gramínea rustica, poco exigente, altamente resistente a las royas y al ataque de los pulgones. Además es tolerante a sequías y se adapta a tierras con fertilidad baja, donde la producción de biomasa es bastante satisfactoria. Presenta desarrollo inicial rápido y es muy eficiente en el reciclaje de nutrientes, como el N y el P (Mesa y Elola, 1996)

Actualmente se promueve la siembra de avena negra, especie que sembrada temprano encaña rápidamente, produciendo más forraje en otoño, pero la producción invernal es muy baja (Formoso, 2011). En el mismo sentido Carámbula et al. (1996) demuestran que la avena negra es la especie capaz de hacer una entrega importante de forraje temprano en el otoño superando sensiblemente al resto de las avenas de pastoreo. Dicha precocidad se debe fundamentalmente al rápido encañado que presenta esta forrajera.

Para Carámbula et al. (1996) la producción de forraje anual de la avena negra rondó en los 2764 kg MS ha⁻¹, con un claro mayor aporte en otoño-invierno (1921 kg MS ha⁻¹) frente a los 843 kg MS ha⁻¹ de primavera. De la misma forma Barbera et al. (2012) reportaron que la avena negra logro una producción total de 4361 kg MS ha⁻¹, sembrada el 4 de abril, donde se destacó su alta producción inicial llegando a un 66 % antes del 15 de junio, y por tener una sanidad de hoja superior a todos los materiales de avena blanca.

2.1.2.2 Lolium multiflorum

Esta especie pertenece a la familia de las gramíneas y dentro de éstas a las de ciclo anual invernal también llamados verdeos invernales. Se trata de

una gramínea de muy fácil implantación aunque presentan un crecimiento más lento que los cereales al principio de su ciclo, aspecto que es recompensado por su ciclo más largo que el de aquéllos. Si bien producen en invierno, su entrega mayor de forraje se registra en primavera, cuando llegan al final de su ciclo florecen y fructifican en abundancia (Carámbula, 2002). La época de siembra es en otoño temprano, el inconveniente del raigrás es que se siembra en esta fecha, sus plántulas tienen baja tolerancia al estrés térmico, razón por la cual siembras excesivamente tempranas, presentan alto riesgo de marchitarse frente a temperaturas muy elevadas y bajas disponibilidades de agua en el suelo (Formoso, 2010).

El cultivar LE 284 es una especie diploide que además de ser anual, no presenta requerimiento de frío (vernalización) como si lo requieren otro tipo de raigrases y florece con los días largos. Entre las fortalezas de esta gramínea se encuentran la gran adaptación a distintos tipos de suelos, siendo altamente productiva en suelos fértiles, además de ello, es un verdeo que presenta un valor nutritivo muy elevado dado al buen equilibrio que se registra en sus tejidos. Como atributo adicional importante, se resalta que generalmente los materiales mejor adaptados no presentan problemas graves frente a royas y pulgón (Formoso, 2010).

Para este autor la producción total de este verdeo en un promedio de cinco años, sembrado luego de la cosecha de cultivos de verano a fines de mayo, fue de 6195 kg MS ha⁻¹, y el mínimo rondó en los 3011 kg MS ha⁻¹. Cuando la siembra se ubica en el mes de marzo el rendimiento de este verdeo rondó los 6933 kg MS ha⁻¹ (Formoso, 2011). La densidad de siembra que se utiliza es de 20-30 kg ha⁻¹ en siembras puras.

2.1.2.3 Triticale

El triticale es una gramínea anual invernal y es el primer cereal de valor comercial creado por el hombre. Ha demostrado ser más tolerante que las avenas al complejo de enfermedades, presenta una gran adaptación a suelos típicos de areniscas, de textura gruesa, buen drenaje, pH ácidos con presencia de Al intercambiable (Bemhaja, 1996).

Se trata de una planta rústica, con alta producción de biomasa, resistente al vuelco. Este cultivo se siembra en otoño, a partir de mediados de abril, la densidad recomendada es de 150 kg en siembra convencional en líneas. El cultivo es de rápido establecimiento, con gran vigor inicial en estos suelos y la producción de forraje comienza a ser importante a partir de los 60 días luego de la siembra. Presenta un buen valor nutritivo con altos niveles de

proteína cruda y un nivel de digestibilidad que supera al 71 % a los 60 días pos siembra (Bemhaja, 1996).

La principal variedad utilizada en Uruguay es INIA Carece. Este cultivar se adapta muy bien a suelos ácidos arenosos, con rápido establecimiento y buen vigor inicial. Presenta ciclo medio a corto, hábito de crecimiento semierecto, escaso macollaje, excelente producción de grano y rusticidad al complejo de enfermedades foliares (Bemhaja, 1996). La producción para el material INIA Carece en siembras de abril, fue de 1260 y de 7581 kg MS ha⁻¹ a los 70 y 180 días respectivamente.

2.1.2.4 *Trifolium alexandrinum*

Según García (2000) el trébol alejandrino es una leguminosa anual cultivada desde la antigüedad. Actualmente es una leguminosa cultivada en muchos países, principalmente en regiones relativamente húmedas sin heladas severas. Presenta un porte erecto, similar a la alfalfa, con tallos huecos y folíolos alargados. Dentro de las leguminosas anuales es una especie muy versátil, ya que puede utilizarse para pastoreo directo, heno, silo y abono verde.

Es una leguminosa que se adapta a distintos tipos de suelos aunque lo más adecuados serían aquellos de texturas medias y bien drenados; tolera bien suelos salinos y alcalinos. Tiene muy bajo nivel de semillas duras y normalmente no se resiembra.

El cultivar INIA Calipso abarca una amplia fecha de siembra la cual va desde el mes de marzo hasta fines de agosto. Sin embargo las fechas de siembra tempranas (marzo) son las que permiten aprovechar más su potencial de otoño/invierno. La densidad de siembra que se maneja para este cultivar son de 15-18 kg ha⁻¹ en siembras puras, la semilla debe de ser inoculada con cepas específicas de rizobio y la profundidad de siembra no debería ser mayor de 1 cm (García, 2000).

El rendimiento de este cultivo puro y para siembras de abril, en promedio para un período de 5 años de evaluación fue de 6800 kg MS ha⁻¹. Cuando los rendimientos son bajos generalmente están asociados a inviernos muy fríos y primaveras secas. Cuando se lo compara con el trébol rojo LE 116, en el período otoño-invierno y hasta mediados de octubre, el cultivar Calipso presenta tasas de crecimiento superiores a las del trébol rojo. Su producción invierno-primaveral es pobre si se registran bajas temperaturas y déficit hídricos pero si se dan condiciones favorables, a través de buenas temperaturas y niveles adecuados de humedad, es posible producir forraje en primavera con tasas de hasta 100 kg MS día ha⁻¹ (García, 2000).

2.1.2.5 Vicia sativa

Dentro de las leguminosas mejor adaptada como cultivo de cobertura se encuentra la vicia (Ruffo y Parsons, 2004). Con la denominación común de "veza forrajera" se incluyen dos especies: *Vicia sativa* (veza común) y *Vicia villosa* (veza velluda). Las especies forrajeras del género *Vicia* están especialmente indicadas como plantas anuales utilizadas en las tierras de cultivos de secano como cultivos de cobertura, con el objetivo de disminuir la superficie en barbecho en las alternativas de cultivo tradicionales (Treviño y Caballero, 1973).

Tanto *Vicia villosa* como *Vicia sativa*, se cultivan en diversas regiones templadas del mundo, comportándose bajo esas condiciones como invierno-primaverales (Wheeler y Hill, citados por Baigorria et al., 2011). La fecha de siembra de vicia es uno de los factores que determina su potencial productivo, mencionándose en diversas publicaciones desde fines de verano hasta mediados de invierno, con producciones de materia seca (MS) que varían entre 500 y 7200 (Vanzolini et al., citados por Baigorria et al., 2011).

Como mencionan Baigorria et al. (2011) para los ambientes evaluados la *Vicia villosa* presenta algunas ventajas tales como la mayor precocidad, mayor resistencia al frío, mayor producción de MS, mayores aportes de N y menores consumos de agua. Por lo mencionado anteriormente, se concluyó que *Vicia villosa* es más eficiente en la producción de MS y que la *Vicia sativa* debido a su hábito de crecimiento erecto puede presentar pérdidas de agua por evaporación hasta que se cubra el surco.

En el experimento de Capurro et al. (2012) la densidad de siembra utilizada para el cultivo de vicia fue de 45 kg/ha a 17,5 cm entre líneas de siembra. Los CC crecieron durante 141 días y su crecimiento se suprimió a mediados de octubre de 2011. En este experimento el rendimiento en MS para la vicia villosa rondó en los 2900 y 3300 kg MS ha⁻¹.

2.1.2.6 Pisum sativum

La arveja es una leguminosa de la familia de las Fabáceas, subflía Papilionoidea. El hábito de crecimiento de las variedades cultivables es indeterminado, con respuesta fotoperiódica cuantitativa a días largos (Prieto, 2012).

En Uruguay la introducción de la arveja forrajera data del año 2007, habiéndose realizado experiencias de cultivo en rotación con soja. Por ser

tolerante a las bajas temperaturas para su germinación y crecimiento, la arveja es una leguminosa de ciclo invierno-primaveral. Parte de su interés radica en que cubre el suelo durante el invierno, dejándolo libre para una siembra de segunda antes que la cebada o trigo y con un rastrojo de mejor calidad. Como aspecto limitante se señala su baja tolerancia a la saturación de agua del suelo en el proceso de germinación; por lo que para su implantación se recomiendan suelos con buen drenaje y escurrimiento (Bauza et al., 2012).

Según el cultivar el peso de 1000 semillas va entre 150 hasta más de 300 gramos, de esto último se desprende que la densidad de siembra para lograr un stand de entre 80 y 100 plantas por metro cuadrado, puede ser desde 170 a más de 300 kg ha⁻¹ de semilla. La arveja históricamente se sembró en hileras a 15 y 17.5 cm, mientras que en la actualidad hay experiencias exitosas con hileras a 19 cm e incluso 26 cm, aprovechando la disponibilidad de sembradoras de granos gruesos. En condiciones normales de desarrollo y crecimiento la planta puede alcanzar los 50 cm de altura al momento de floración inicio del período crítico (Prieto, 2012).

Los rendimientos obtenidos en Uruguay son del orden de 2500 kg MS ha⁻¹ (Bauza et al., 2012), mientras que en ensayos del INTA Arroyo seco en la zafra 2007-2008 se alcanzó rendimientos de hasta 4.000 kg ha⁻¹ con variedades como Viper. En cambio cuando las condiciones son adversas, los niveles de producción son muy bajos (Prieto, 2012).

2.1.2.7 *Sinapis alba*

La mostaza blanca (*Sinapis alba* L.) pertenece a la familia botánica de las Crucíferas. Es una planta anual, herbácea, pubescente, de tallo erecto y altura variable entre 0,70 y 1,20 m. Las hojas son cortamente pecioladas, de unos 15 cm de largo por 6-7 cm de ancho, con el limbo pinatipartido y lóbulos sinuosodentados. Las flores de color amarillo están dispuestas en inflorescencias racimosas, con pedicelos ascendentes (Rubio et. al., 1984).

Muchas mostazas, colzas, y otras especies de la familia de la mostaza (crucíferas) son adecuadas para cultivos de cobertura. Las ventajas de las crucíferas incluyen un rápido crecimiento inicial y cobertura del suelo, una fácil incorporación al suelo, un alto contenido de nitrógeno (reciclando el nitrógeno existente en el suelo o el nitrógeno aplicado), y una baja dosis de semilla con menor costo de las mismas. Además algunas variedades de crucíferas pueden tener alelopatía específica y efectos nematocidas (Miller et al., 1990).

2.2 EL AGUA EN EL SUELO

El suelo desde el punto de vista agrícola, constituye la principal reserva de agua para el crecimiento de las plantas y es el almacenamiento regulador del ciclo hidrológico a nivel de cultivo, por lo tanto, el contenido de agua del mismo afectará directamente el crecimiento vegetal sobre él. Si bien existen los aspectos positivos que se evidencian por la incorporación de las coberturas, una de las limitantes que se pueden esperar es el uso del agua por parte de estas, ya que si no se producen lluvias luego de la muerte de los CC que permitan recargar el perfil, el agua podría transformarse en una limitante para el cultivo siguiente (Corak et al., 1991).

2.2.1 Influencia del rastrojo y período de barbecho sobre la dinámica del agua

El rastrojo en superficie tiene un reconocido efecto sobre la disponibilidad de agua en el suelo para condiciones de no extrema sequía ni aporte no limitante. En estas condiciones el doble cultivo anual reduce las pérdidas de agua por escurrimiento y drenaje profundo pero puede verse limitado el rendimiento de cada uno de los cultivos por la disponibilidad hídrica estacional (Monzón et al., 2006).

El efecto de cobertura del rastrojo es eliminado si el agua se pierde desde del suelo por transpiración. Estas situaciones se producen cuando existe crecimiento vegetal, ya sea este un cultivo, un verdeo o una pradera. En siembras tempranas “de primera” sobre rastrojos de cultivos de verano del año anterior, la recarga de agua del suelo se produce durante el invierno, por lo que el manejo de barbecho debe tender a conservar el agua, reduciendo la evaporación (cobertura con rastrojo) y eliminando la transpiración (control de malezas). Sobre cultivos de cobertura, se debe contemplar además, la recarga del agua consumida por el cultivo. En estos casos, la cantidad de rastrojo y la cobertura del suelo depende del estado fenológico al momento de aplicado el glifosato y el tiempo transcurrido desde esta aplicación hasta la siembra del cultivo de renta (Ernst et al., 2009).

Estos autores manifiestan que la distribución y cantidad de lluvia, son determinantes del efecto del tiempo en barbecho sobre la cantidad de agua disponible en el suelo a la siembra de un cultivo de verano de primera. Pero también indican que períodos de barbechos excesivos combinados con baja cobertura del suelo, no logran el efecto buscado en años en que las precipitaciones pueden no ser suficientes para recargar el agua consumida por el cultivo de cobertura.

En el experimento llevado a cabo por Monzón et al. (2006) se determinó que para maximizar el efecto de la cobertura del suelo por rastrojo son necesarios 0,86 mm de lluvia durante el período de barbecho por cada mm de capacidad de almacenar agua del suelo. Por lo tanto, cuando el período de barbecho es muy largo (mayor a 4 meses) es más probable que ocurran las precipitaciones necesarias para recargar el agua del suelo y, en estos casos, el problema es controlar el escurrimiento para no generar problemas de erosión (Díaz-Ambrona et al., 2005). En periodos de barbecho cortos, como los que establece el doble cultivo anual, la probabilidad de recargar el suelo se reduce, en especial, para los de mayor capacidad de almacenaje.

Según Álvarez y Scianca (2006) los tratamientos de coberturas que inician el período de barbecho con mayor anterioridad a la siembra de soja, lograron llegar con más contenido de agua. Las diferencia en la cantidad de agua acumulada entre tratamientos sería parcialmente explicada por diferencias en el consumo de agua por el cultivo de cobertura junto con la ocurrencia de lluvias insuficientes para la recarga del perfil del suelo durante el barbecho.

Otras evaluaciones llevadas a cabo por Fernández et al. (2012) muestran que durante el periodo invernal los mayores niveles de agua en el suelo se registraron en el barbecho limpio, comparados con los tratamientos con cultivos coberturas. Sin embargo a la fecha de siembra del cultivo de verano, los mayores contenidos de agua se obtuvieron en tratamientos con cultivos coberturas.

Ese hecho tiene su explicación, ya que una vez iniciado el barbecho de los cultivos coberturas, éstos permiten mantener elevadas tasas de infiltración del agua de lluvia, debido al incremento en la cobertura del suelo y de la macro porosidad por descomposición de las raíces que generan un sistema de canales o galerías. La mayor cobertura de biomasa disponible disminuye la amplitud térmica del suelo superficial, que se traduce en menos pérdida de agua por evaporación. Esto genera una mejora en la eficiencia de uso del agua, que puede aumentar la disponibilidad para el cultivo agrícola siguiente (Casas, citado por Capurro et al., 2010).

Según Ernst et al. (2009) para cultivos de verano de primera sembrados a partir de un cultivo de cobertura el tiempo de barbecho es el principal determinante de la cantidad de agua almacenada al momento de la siembra. En términos promedios y para suelos con capacidad de almacenaje de más de 80 mm se puede concluir que, en el promedio de los años se lograron recargas de los horizontes superficiales, con periodos de barbecho del entorno de los 20 días y recarga total de todo el perfil con periodos de 40 días. De todas maneras son periodos estimativos ya que dependen mucho de la cantidad de

precipitaciones entre el periodo inicio del barbecho - siembra. Por otra parte periodos de barbecho muy largos tienen mayor probabilidad de tener precipitaciones que permitan recargar el perfil, pero generan menos cobertura vegetal y por tanto logran menos control sobre las pérdidas posteriores por evaporación.

2.2.2 Utilización del agua por las coberturas invernales

La evapotranspiración de un cultivo es el proceso por el cual el agua es transferida desde el suelo hacia la atmósfera, e incluye los términos evaporación desde el suelo o la planta y transpiración desde la planta. Está influenciada por diversos factores climáticos como radiación, humedad relativa, temperatura y viento; factores de suelo como la disponibilidad de agua y factores de cultivo como tipo y estado fenológico del mismo (Sawchik, 2000).

En un experimento llevado a cabo por Capurro et al. (2010) se evaluaron diferentes coberturas tales como trigo, avena y avena más vicia. El consumo de agua por parte de los mismos no fue limitante para la producción de MS de las especies evaluadas, ni para la producción de granos de la siguiente soja. La producción de MS de los CC y el rendimiento del cultivo de soja estuvieron claramente asociados a las condiciones de precipitaciones y temperaturas de cada año y no estuvieron asociados a los tratamientos de cobertura evaluados.

El cultivo de cobertura consume agua durante su crecimiento, lo que puede retrasar la fecha de siembra del cultivo siguiente si no se ajusta la fecha de barbecho el cual se inicia con la muerte del CC. Además un retraso en la aplicación del herbicida sobre el CC puede significar un mayor y más tarde aporte cuantitativo de N en el ciclo del cultivo (Odhiambo y Bomke, 2001).

En ensayos utilizando triticale como cultivo de cobertura en secuencias continuas de soja, se concluyó que la cobertura interfiere con la normal oferta de agua para el cultivo, pero no se observaron efectos diferenciales sobre los rendimientos del cultivo (Álvarez et al., 2006).

Baigorria y Cazorla (2010) concluyen para dos años de evaluación, que la Vicia villosa (VV) presenta similar producción de MS que Vicia sativa (VS) con un menor consumo hídrico, por lo tanto entre estas, la VV sería la mejor opción para utilizarla como cultivo de cobertura.

2.2.3 Necesidades hídricas del cultivo de renta

En cuanto a los requerimientos hídricos entre los cultivos hay diferencias tanto en cantidad necesaria para el máximo rendimiento, como en los momentos críticos para la definición y concreción del rendimiento en grano y la eficiencia de uso del agua. Los requerimientos de agua de los cultivos de verano están influenciados por la tasa de evapotranspiración diaria, la que es función de la temperatura, radiación, humedad relativa y velocidad del viento.

Para cultivos de verano de segunda, siempre hay dependencia de las lluvias ya que el cultivo de invierno en la mayoría de los años entrega el suelo con baja disponibilidad de agua a la siembra. Esto no determina necesariamente rendimientos inferiores que cultivos de primera que se inicien sobre un perfil a capacidad de campo, en especial si la capacidad de almacenaje del suelo no es alta. Para estos casos las precipitaciones que ocurran en el periodo crítico de los cultivos son las principales determinantes del rendimiento final (Ernst et al., 2009).

En años de bajas precipitaciones existe una alta respuesta a las variables de manejo que aumentan la probabilidad de recarga de agua del suelo y reduzcan las pérdidas por evaporación, y en general son limitadas las posibilidades del doble cultivo anual. En tanto, en regiones húmedas y años de precipitaciones no limitantes, el efecto del manejo del suelo y de la secuencia de cultivos tiene baja respuesta en rendimiento (Incerti et al., 1993). En estas situaciones el tiempo de barbecho pierde importancia y el doble cultivo permitiría incrementar la eficiencia de uso del agua del sistema.

El agua disponible para el cultivo va a depender también de su profundidad de arraigamiento. Para ello tendremos que tener en cuenta donde se acumula el mayor porcentaje de raíces y hasta que profundidad la exploración es significativa. En el caso de maíz, la exploración radicular puede llegar a más de 1 m de profundidad, pero a los efectos prácticos tomamos una profundidad efectiva de 40-50 cm en el período de floración (Sawchik, 2000).

En general, cuando el rastrojo permanece en superficie, es menor el crecimiento del cultivo durante el primer mes que cuando se lo remueve, probablemente debido a que su presencia determina menores temperaturas. A pesar de ese menor crecimiento inicial se obtienen mayores rendimientos por la presencia de mayor cantidad de agua disponible en etapas posteriores de la estación de crecimiento (Hoefler et al., citados por Bastos et al., 2007).

2.3 DINAMICA DEL NITRÓGENO

2.3.1 Proceso de mineralización-inmovilización

La biomasa microbiana del suelo constituye la parte viva de la materia orgánica. Es una fracción relativamente lábil que puede ser afectada por factores ambientales y de manejo de suelos. Cuando el N mineral proveniente de la mineralización, amonio o nitrato, es liberado, éste puede ser asimilado por la biomasa microbiana y transformado en compuestos de N orgánico constituyentes de las células de los microorganismos, con una oxidación paralela de sustratos carbonados (Jarvis et al., citados por Sawchik, 2001). Este proceso se conoce con el nombre de inmovilización. Preferentemente la asimilación por los microorganismos se produce desde el pool de amonio. El N inmovilizado puede luego volver a ser mineralizado. Este continuo pasaje de formas de N orgánico y mineral a través de la biomasa microbiana se conoce con el nombre de MIT (mineralización-inmovilización turnover) y juega un rol fundamental en el reciclaje de nutrientes (Sawchik, 2001).

En situaciones de rotaciones de cultivos y pasturas mezclas de larga duración, se constató que hubo un ahorro importante de fertilizante nitrogenado así como un mayor rendimiento del primer cultivo luego de la pastura. Cuando la pastura fue exclusivamente a base de gramíneas, si bien las condiciones físicas del suelo fueron muy buenas para el desarrollo de los cultivos, pudo ocurrir un efecto de inmovilización de N importante, producto de la calidad de los residuos incorporados, lo que explica los bajos rendimientos de los tratamientos testigo sin agregado de N (García Lamothe, 1994).

Para Santi et al. (2003) la persistencia de residuos de cosecha sobre el suelo se define por su grado de descomposición, la cual es una variable importante en la gestión del suelo. Este proceso es esencialmente biológico, sujeto a la interferencia de varios factores (clima, temperatura, tipo de suelo, relación C/N, etc). Entre ellos, la relación C/N juega un papel importante en la descomposición y la inmovilización-mineralización de N del suelo. Quemada y Cabrera, citados por Santi et al. (2003), en la evaluación de la descomposición de la parte aérea de avena, trigo, triticale y trébol, concluyeron que la concentración de C/N y N en los tejidos fueron los mejores indicadores para estimar la liberación de N de dichos residuos. La fertilización con nitrógeno puede potencialmente modificar estos indicadores reflejado en la calidad de los residuos producidos.

En rotaciones con pasturas uno de los objetivos más importantes a corto plazo, es lograr que en la fase de salida de la pastura exista una buena disponibilidad de N mineral para el primer cultivo en la medida que esto

representa un ahorro de fertilizante nitrogenado. La calidad de la pastura, que puede caracterizarse en base a su relación C/N, contenido de lignina, entre otros, afecta fuertemente la tasa de descomposición de los residuos. El momento del año es otro factor que afecta los procesos de descomposición y mineralización. El aumento de la temperatura provoca incrementos en la tasa de descomposición de los residuos y además acelera la tasa de mineralización de N orgánico del suelo. En términos generales, con residuos de baja calidad (de alta relación C/N) los tiempos de barbecho necesarios para lograr una disponibilidad de N mineral aceptable deberían ser más largos que con residuos de baja relación C/N (Sawchik, 2001).

Según Álvarez et al. (2006) la oferta de N disponible en la siembra de soja mostró variaciones entre años pero con efectos consistentes entre tratamientos, detectándose mayores contenidos en los tratamientos con mayor duración de barbecho o sin cultivo de cobertura.

Por otro lado Sullivan et al., Aita et al., Heinrichs et al., citados por Giacomini et al. (2004) reportaron que utilizando avena como antecesor del cultivo de maíz, se observa una reducción en el rendimiento de grano en comparación con el maíz sobre barbecho limpio, lo que se atribuye a la disminución de la disponibilidad de N en el suelo por la inmovilización microbiana.

2.3.2 Leguminosas como cultivo de cobertura

La inclusión de una leguminosa aporta carbono, genera cobertura, reduce el requerimiento de fertilizante nitrogenado e incrementa el rendimiento potencial del maíz (Ruffo y Parsons, 2004).

Díaz Rosselló (1992) mediante estimaciones indirectas realizadas a partir de un experimento de largo plazo que incluye rotaciones de cultivos y pasturas, estimó una entrada al suelo de 40 kg de N por tonelada de MS de leguminosa producida. Por otra parte Rennie y Dubetz, citados por Prieto (2012) manifestaron que la capacidad de fijación de nitrógeno por parte de la arveja suele ser muy alta. Se han medido aportes de hasta 185 kg ha⁻¹ por esta vía.

En promedio, el 70% del N acumulado en la parte aérea de las leguminosas proviene de la fijación simbiótica, y un 12% del total en la parte radicular (entre 8 y 23%). En todos los casos, la cantidad de N fijado aumenta con la cantidad de materia seca acumulada (Mitchel y Till, 1977).

García (2000) sugiere para el trébol alejandrino, dado a la excelente nodulación que se obtiene junto con el vigor y rendimiento de los cultivos, que

éste presenta muy buen potencial de fijación de nitrógeno, probablemente en el entorno de los 200 kg año ha⁻¹. Según Ernst (2006), hasta la fecha en que se aplicó el herbicida total, el *Trifolium alexandrinum* usado como cultivo de cobertura produjo 1.321 kg MS ha⁻¹ con 46 g de N por kg de MS, lo que representa un aporte de 61 kg ha⁻¹ de N al sistema.

2.3.3 Utilización del nitrógeno proveniente de la FBN

Para Reeves et al. (1993) la eficiencia de recuperación del N fijado por una leguminosa como CC depende de la sincronización entre el momento de aporte del nutriente y la demanda del cultivo de renta.

En general la recuperación de N proveniente del fertilizante es mayor que la proveniente de los residuos de leguminosa. En un sumario de experimentos utilizando residuos de leguminosas marcados concluyen que: a) menos de 30 % del N de los residuos de leguminosas fue recuperado por el cultivo siguiente, b) grandes cantidades del N proveniente de las leguminosas fueron retenidas en el suelo como N orgánico, c) la recuperación total del N de las leguminosas osciló entre un 70 y 90 % en el cultivo y el suelo luego de 1 año, d) menos de 5 % del N de la leguminosa fue recuperado por un segundo cultivo. También se determinó la recuperación de N por un cultivo de cebada con trébol rojo o fertilizante nitrogenado marcado. En el primer cultivo se recuperó un 40 % del N proveniente del fertilizante y sólo un 17 % del N de la leguminosa. En el suelo en cambio, se recuperó un 47 % del N de la leguminosa y solo un 17 % del fertilizante. En definitiva grandes cantidades de N de las leguminosas son retenidas en el suelo en forma orgánica (Harris et al., 1994).

Müller y Sundman (1988) determinaron que la mayoría de la N liberado de los materiales vegetales en descomposición fue retenida en el suelo (27 a 46 % de la entrada), y que el cultivo posterior (cebada) asumió de 6 a 25 % de la entrada de este nutriente. Estos autores también mencionan que en condiciones de exceso de agua en el suelo y baja temperatura, el N liberado desde un CC puede perderse antes de que el cultivo de renta sea sembrado. En suelos con un horizonte Bt a 25 cm de profundidad, las lluvias excesivas favorecen las pérdidas de N por desnitrificación.

Se detectó además que un porcentaje mayor de N estaba en el pool de biomasa microbiana cuando se agregaban residuos de leguminosas. La menor tasa de recuperación por el cultivo del N de residuos de leguminosas parece lógica en la medida que éstos son un sustrato de C fresco para los microorganismos del suelo.

Reeves et al. (1993) mencionan los factores que condicionan la utilización del N fijado por las leguminosas, entre ellos se citan el estado de madurez del CC, la fecha de aplicación del herbicida total al CC, el tiempo entre la aplicación del herbicida y la siembra del cultivo de renta, las condiciones de temperatura y humedad durante ese período y el manejo de la fertilización nitrogenada en el cultivo de renta.

En condiciones de siembra directa o sin laboreo, el aporte inicial de N es menor, mientras que el aporte tardío cercano a la floración del cultivo de interés, es alto aunque su eficiencia puede quedar comprometida si no se corrige la deficiencia inicial del nutriente con fertilizante nitrogenado (Reeves et al., 1993).

Ernst (2006) determinó que el CC leguminosa aportó una cantidad creciente de N coincidente con el aumento de la demanda del cultivo de maíz, pero que el aporte inicial fue deficiente, debido a un corto periodo de barbecho (24 días). La corrección de esta deficiencia con el agregado de N a la siembra permitió mejorar el comportamiento del cultivo. La respuesta en producción de materia seca, absorción de N y concentración de N en planta tuvo un incremento lineal hasta el máximo evaluado.

Para Santi et al. (2003) el efecto de la fertilización nitrogenada en la relación C/N de los residuos de avena negra fue muy positiva, ya que ante aumentos en la dosis de N se encontró una correlación inversa a la relación C/N de los residuos producidos. Esto indica que hay una mayor concentración de este nutriente en el tejido, promoviendo la reducción de la relación C/N, lo cual se traduce en una alteración en la dinámica de la descomposición y liberación de N de los residuos de la avena. El ajuste de una ecuación lineal mediante datos experimentales, permite indicar que cada 10 kg N ha⁻¹ aplicada a la avena, hubo una reducción de aproximadamente una unidad en la relación C/N de la misma. Por lo tanto el nitrógeno en la avena es una estrategia eficiente para aumentar la cantidad y calidad de los residuos añadidos al suelo en el sistema de siembra directa.

Según Ernst (2006) el crecimiento y rendimiento en materia seca y grano de maíz sobre cultivo cobertura leguminosa (CC) fue significativamente mayor que sobre sin cobertura (SC) en los testigos sin agregado de fertilizante nitrogenado a la siembra. Como el CC no modificó la población obtenida a V6, se descarta un posible efecto de ésta sobre la producción y absorción de N del maíz. Hasta V6, el CC presentó una menor concentración de N-NO₃⁻ en suelo que SC, lo que estaría determinado por la mayor extracción de N ha⁻¹ por parte del cultivo. El maíz creció un 14% más y absorbió un 23% más de que sobre

SC. Hasta el estado R1 el incremento en la producción de MS fue de un 10% respecto a SC y en la absorción de N fue de un 18% más llegando a cosecha con un 34% más de N absorbido. La tasa de absorción de N hasta V6 fue de 0,6 kg día ha⁻¹ y entre V6 y R1 fue de 3 y 3,5 kg día ha⁻¹ para SC y CC respectivamente.

2.3.4 Efecto sobre el rendimiento del cultivo

Por ejemplo, Cordone y Hansen, citados por Ruffo y Parsons (2004) encontraron un incremento de rendimiento de trigo de 250 kg ha⁻¹ sembrado luego de maíz que tuvo vicia villosa como antecesor en INTA Pergamino. En el mismo sentido Frye et al., citados por Ruffo y Parsons (2004) reportaron un incremento de 500 kg año ha⁻¹ en el rendimiento de maíz continuo con vicia villosa, y atribuyeron este resultado a la mejora de la fertilidad del suelo.

Al comparar el rendimiento de grano de maíz sobre los tratamientos de Vicia sativa con la que se obtiene después de Avena strigosa, se observa que los valores de la leguminosa superan a la de la gramínea en 36% (1,97 tt ha⁻¹), el 52% (1,91 tt ha⁻¹) y el 34% (1,22 tt ha⁻¹) en 1999, 2000 y 2001, respectivamente. En relación con barbecho limpio el aumento en el rendimiento de grano proporcionado por la Vicia sativa fue del 48% en 1999, un 73% en el 2000, y el 74% en 2001. El efecto positivo de la Vicia sativa en el rendimiento de grano de maíz es reportado en varios artículos y se debe al N añadido al suelo por la leguminosa, a través de la fijación biológica de nitrógeno, y la facilidad con la que este N se libera de los residuos de cultivos durante la descomposición (Heinrichs et al., citados por Giacomini et al., 2004).

Algunos resultados sugieren que la vicia por su capacidad para fijar biológicamente nitrógeno atmosférico y la alta tasa de descomposición de su rastrojo, es capaz de proporcionar importantes cantidades de N para el maíz en la sucesión, proporcionando, en algunos casos, un rendimiento en grano equivalente al obtenido con fertilizantes con N mineral. En cuanto a la avena, al acumular menos N en su biomasa y liberarlo lentamente después de su muerte, afecta el suministro de N y rendimiento de grano de maíz (Heinrichs et al., Aita et al., citados Giacomini et al., 2004). Giacomini et al. (2003) estimó que la relación C/N fue de 14,1 para la vicia y de 36,5 para la avena, mientras que en el rábano la relación C/N se sitúa en un valor intermedio.

Mascarenhas et al., Sá, citados por Rosolem et al. (2004) reafirman los conceptos en cuanto a que los cultivos de cobertura de invierno pueden afectar el rendimiento y la nutrición nitrogenada de los siguientes cultivos comerciales, y que las especies de leguminosas han sido elegidas como la mejor opción para ser cultivadas antes que el maíz. Coincidiendo con lo anterior Ros y Aita,

citados por Rosolem et al. (2004) concluyeron que el maíz cultivado después de leguminosas acumuló más nitrógeno y obtuvo un mayor rendimiento que cuando se cultiva después de avena negra o en barbecho limpio.

En experimentos realizados por Fernández et al. (2012), los resultados indican que durante el periodo invernal los niveles de nitrógeno en el suelo son menores en tratamientos con cultivos coberturas comparados al barbecho limpio, pero a la fecha de siembra del cultivo de verano no se encontraron diferencias significativas y los contenidos de N en el suelo fueron similares entre los tratamientos. Pero resulta necesario tener presente que los tratamientos con CC tienen una importante cantidad de N orgánico en los residuos sobre la superficie del suelo que serían entregados durante el ciclo del cultivo.

Resultados obtenidos por Kramberger et al. (2009) muestran que a diferencia de los tratamientos con coberturas de leguminosas, los rendimientos de maíz fueron afectados significativamente cuando el cultivo de cobertura se trató del *Lolium multiflorum*. En comparación con el control, el raigras italiano en el experimento determinó una disminución del rendimiento en grano de maíz que pasó de 9300 kg ha⁻¹ a 7746 kg ha⁻¹, en donde además también la producción de materia seca fue menor 17.448 kg ha⁻¹ versus 13.476 kg ha⁻¹.

2.3.5 Formas de cuantificar el N para la fertilización en maíz

Borghi y Wornikov (1998) descartaron a la cantidad de N absorbido y al estado nutricional del cultivo de maíz hasta V6 como estimadores de la respuesta a la fertilización nitrogenada en este estadio y proponen la disponibilidad de N-NO₃⁻ en el suelo en los primeros 0,2 m del perfil del suelo. La concentración de N en la hoja opuesta a la mazorca a la floración es utilizada como un indicador del estado nutricional del cultivo (Voss et al., 1970).

Para Sawchik (2001) la concentración de nitrato en el suelo en determinado momento y para diferentes cultivos es el indicador más empleado para estimar la probabilidad de respuesta al agregado de N. Su mayor utilidad es que refleja el balance de los procesos de mineralización-inmovilización que están ocurriendo en el campo. Una limitante de este indicador es su variabilidad en el corto plazo debido a condiciones ambientales, y el agregado reciente de residuos, entre otros factores.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL EXPERIMENTO

3.1.1 Localización

El experimento se realizó en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, ubicada en el Departamento de Paysandú, 10 Km. al sur de la ciudad de Paysandú, ruta 3 km. 363. El ensayo se realizó en el potrero no. 31.

3.1.2 Suelo e historia de la chacra

El suelo se clasifica como Brunosol Eutrico Típico (según sistema de clasificación de USDA) con 3,7 % de Materia Orgánica y 12 ppm de fósforo (BRAY I) en los primeros 0,2 m. del perfil, perteneciendo a la Unidad San Manuel según la carta 1:1.000.000.

El trabajo de campo se realizó desde mayo 2009 a marzo 2010, y es el tercer año de realización de este ensayo, en donde se viene desarrollando un sistema de rotación de agricultura continua para obtener un cultivo por año, utilizando la tecnología de siembra directa.

3.1.3 Diseño experimental

El diseño utilizado fue un factorial de bloques completos al azar con tres repeticiones, siendo las coberturas la parcela mayor y las dosis de nitrógeno la parcela menor.

El tamaño de las parcelas mayor es de 75 metros cuadrados (5 metros de ancho por 15 de largo) y de las parcelas menor es de 37.5 metros cuadrados (2.5 metros de ancho por 15 de largo)

Los tipos de coberturas utilizadas fueron; cuatro gramíneas (Avena bizantina, Avena strigosa, Lolium multiflorum y Triticale), tres leguminosas (Trifolium alexandrinum, Vicia sativa, Pisum sativum) y una compuesta (Sinapsis alba).

Las dosis de fertilizante utilizadas a estadio V6 del maíz fueron 0 y 50 unidades de nitrógeno.

3.1.4 Tratamientos

La siembra de todas las coberturas fue el 22 de mayo de 2009 y su producción fue hasta el 6 de octubre donde comienza el barbecho químico, aplicando herbicida “starane” a las leguminosas y “glifosato” a las demás coberturas. Al final de su ciclo se midió el total de materia seca producida por cada tratamiento. No se realizó fertilización en ninguna cobertura. Las densidades utilizadas para cada cobertura se detallan en el cuadro siguiente:

Cuadro 1: Densidad de siembra según tratamiento

Tratamientos	Densidad de siembra
Barbecho Limpio (BL)	0
Avena Común (AC)	100 kg ha ⁻¹ en línea
Avena Negra (AN)	100 kg ha ⁻¹ en línea
Triticale (Tr)	120 kg ha ⁻¹ en línea
Raigras (Rg)	20 kg ha ⁻¹ al voleo
Trébol Alejandrino (TA)	14 kg ha ⁻¹ en línea
Mostaza Blanca (M)	10 kg ha ⁻¹ en línea
Vicia Sativa (V)	40 kg ha ⁻¹ en línea
Arveja (A)	50 kg ha ⁻¹ en línea

3.2 MANEJO Y DETERMINACIONES EN EL CULTIVO DE MAIZ

3.2.1 Siembra

La siembra del cultivo de maíz fue el 9 de diciembre de 2009, a pesar de ser un cultivo de primera la fecha no se corresponde con esto, debido a problemas de excesos hídricos que llevaron a la resiembra del cultivo. El híbrido utilizado fue Dekalb 670 MG, y se sembró con una sembradora Semeato SH 11 de doble disco de 5 líneas distanciadas a 0.5 metros entre si y a una densidad de 4,5 semillas por metro lineal buscando una población objetivo de 75 mil plantas por hectárea. No se realizó fertilización a la siembra. La semilla fue curada con Gaucho (Imidacloprid).

3.2.2 Determinaciones

Para el conteo de implantación se contabilizaron cuantas plantas había en 10 metros lineales en dos surcos, esto se efectuó 13 días después de la siembra de maíz.

El 5 de enero cuando el cultivo se encontraba en estado fonológico V6 se fertilizó la mitad de cada tratamiento con 50 kg N ha^{-1} ($109 \text{ kg UREA ha}^{-1}$), la elección de la mitad de cada parcela fertilizada fue al azar.

En estado V6, el 7 de enero se estimó el índice de área foliar (IAF) y se cortaron 10 plantas por cada tratamiento colocándola en estufa a 60°C para el cálculo de materia seca.

En floración el 10 de febrero se midió el índice de área foliar (IAF) utilizando el equipo LAI 2000, y también se cortaron plantas de cada tratamiento para la estimación de materia seca.

La cosecha fue el 30 de marzo de 2010, para esto se arrancó las mazorcas manualmente en 8 metros lineales. Se midió humedad y se pesaron los granos para estimar el rendimiento. La cosecha se tuvo que adelantar debido a que se estaba teniendo un fuerte ataque por loros.

3.3 DETERMINACIONES EN EL SUELO

3.3.1 Humedad

Para estudiar la evolución de la humedad en el suelo se realizaron durante el barbecho tres muestreos y en el cultivo solo se realizó uno, debido a los excesos hídricos que imposibilitaron realizar la labor. Para ello se tomaron muestras de 60 cm de profundidad con un calador hidráulico, luego estas se fraccionaban de 0 a 15, 15 a 30, 30 a 45 y de 45 a 60 cm. Después de obtenidas las muestras se pesaban en fresco, luego se secaban en estufa a 105°C durante 48 horas y se obtenía el peso seco. Luego tomando como referencia una densidad aparente del suelo de 1.25 gr/cm^3 y utilizando la fórmula de Sawchik (2000) se obtuvo la cantidad de agua en milímetros.

3.3.2 Evolución de nitratos

Para el estudio de la evolución del contenido de $N-NO_3^-$ en suelo en los primeros 20 cm del perfil, en el barbecho y durante el cultivo de maíz, se realizaron muestreos de suelo el 16, 23 y 30 de octubre, el 10 y 29 de diciembre y el 4 de enero. La metodología para estos muestreos fue realizar una muestra compuesta de 6 submuestras por tratamiento, extraída con un calador a 20 cm de profundidad. Después de obtenidas las muestras se ponen a secar en estufa a 60 °C durante 48 horas, luego son molidas y analizadas para determinar cantidad de $N-NO_3^-$.

3.4 RESUMEN DE LABORES

A continuación, se detalla el cronograma de las determinaciones realizadas durante el experimento:

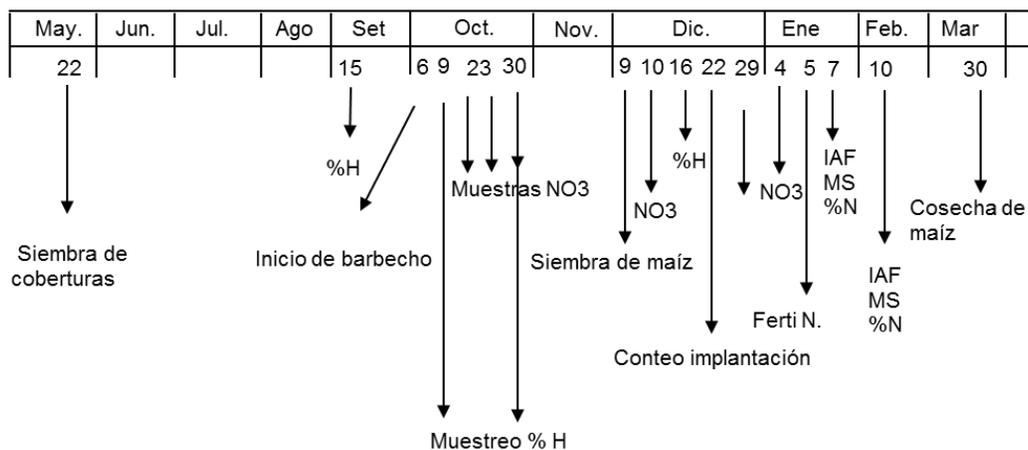


Figura 1: Cronograma de labores

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se analizó el efecto de los diferentes tratamientos coberturas, el efecto de la fertilización y sus interacciones, sobre las variables medidas (humedad, nitratos, producción de materia seca, IAF, rendimiento de maíz). Para esto fue utilizado el software estadístico InfoStat versión 2011. La separación de medias se realizó a través de la MDS al 10 % de probabilidad de error.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 CARACTERIZACION CLIMATICA

4.1.1 Precipitaciones

En la siguiente figura se muestra como fueron las precipitaciones medias mensuales durante el experimento (2009/2010) comparadas con un promedio histórico desde 1961 hasta el 2000

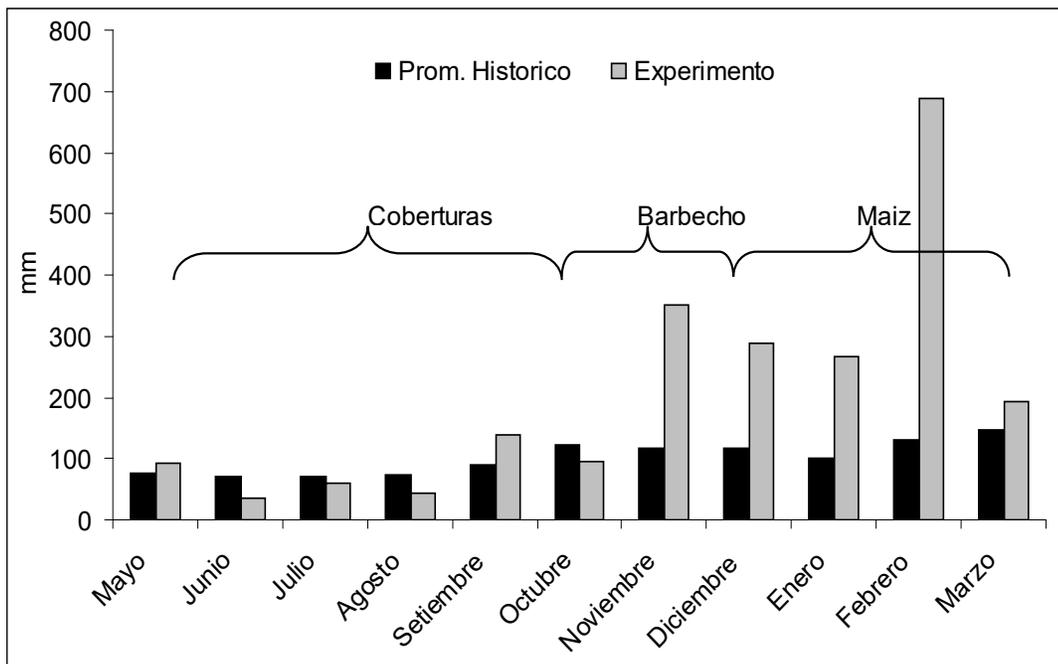


Figura 2: Precipitaciones medias mensuales durante el experimento (2009/2010) y del promedio histórico del 1961 al 2000

Durante el periodo de las coberturas (del 22 de mayo al 6 de octubre) las precipitaciones estuvieron por debajo del promedio histórico excepto en el último periodo de su producción donde se registraron aumentos de lluvia que sobrepasaron al promedio histórico. Luego durante el barbecho las precipitaciones fueron altas, ubicándose por encima del promedio, esto logro recargar el suelo con agua ya que no existía un cultivo absorbiendo. Por otra parte desde la instalación hasta la cosecha del cultivo de maíz las lluvias registradas fueron abundantes, situándose muy por encima del promedio histórico, lo que hace que en todo el ciclo del cultivo el agua no fuera limitante.

4.1.2 Temperatura

En la siguiente figura se muestra como fueron las temperaturas medias mensuales durante el experimento, comparadas con un promedio histórico de 1961 al 2000

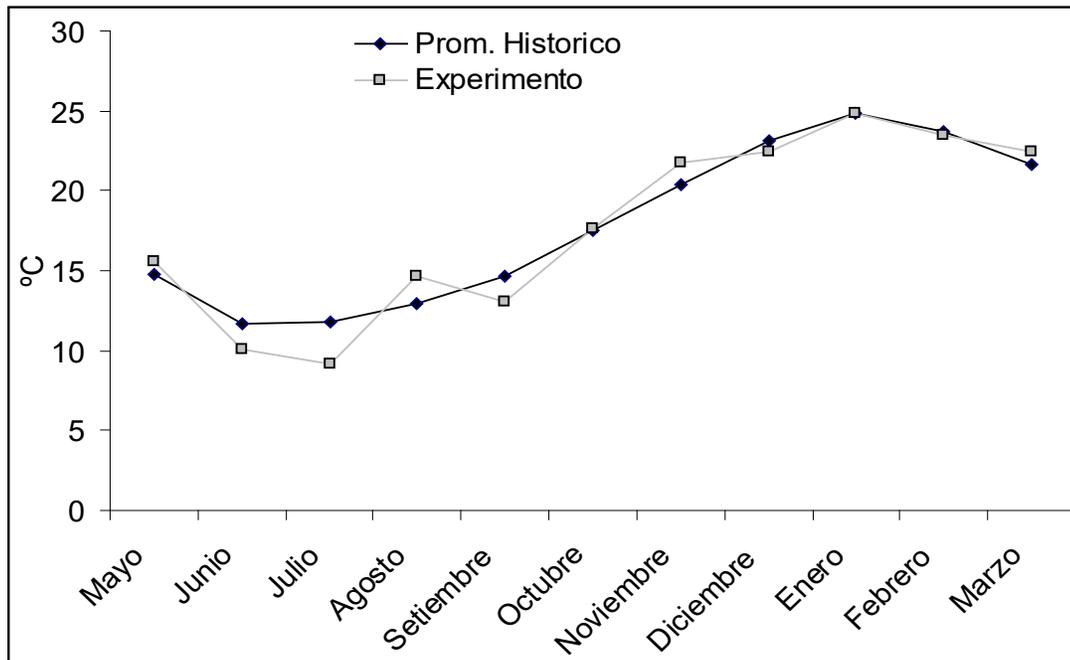


Figura 3: Promedio de temperaturas registradas durante el experimento (2009/2010) comparadas con una serie histórica desde 1961 al 2000

Durante el periodo de producción de las coberturas se dieron temperaturas que en su mayoría estuvieron 2 grados por debajo del registro histórico, excepto para el mes de agosto donde se registraron 2 grados por encima del promedio. En el resto del periodo experimental no hubo grandes diferencias en la temperatura con respecto al promedio histórico.

4.2 CULTIVOS COBERTURAS

4.2.1 Producción de materia seca por las coberturas

Como se ha mencionado la siembra de las coberturas se realizó el 22 de mayo y su producción fue hasta el 6 de octubre cuando comenzó el barbecho químico. Durante estos 137 días de producción de biomasa, se generaron diferencias significativas en cuanto a la acumulación de materia seca aérea en las distintas coberturas, las que se pueden observar en la siguiente figura.

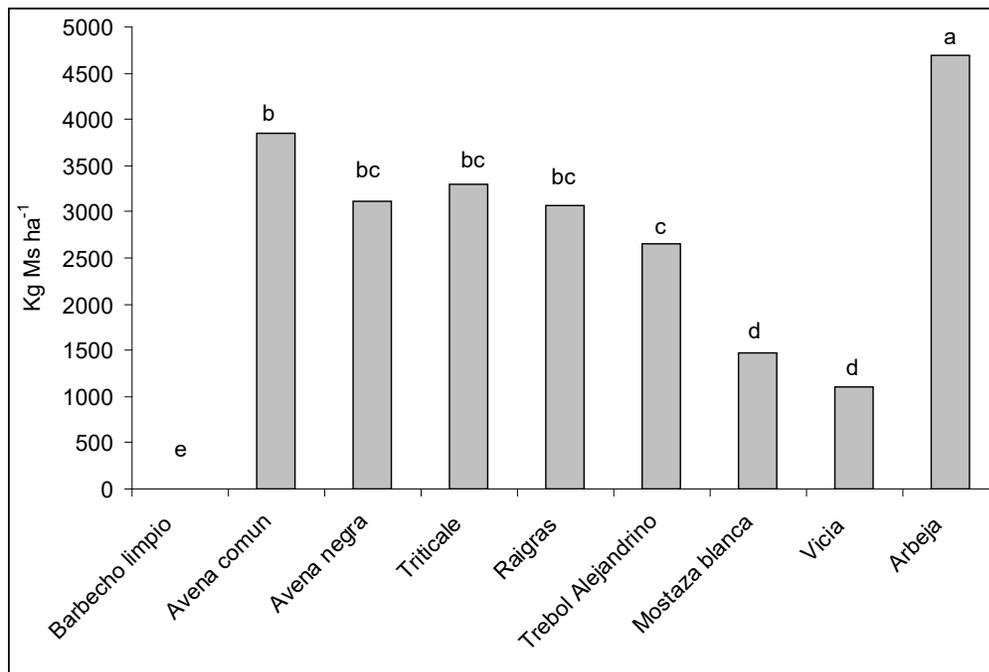


Figura 4: Producción de biomasa aérea (kg MS ha⁻¹) por las distintas coberturas. Las diferencias fueron significativas ($P \leq 0.10$); MDS 880 kg

El tratamiento de mayor producción de materia seca (4694 kg MS ha⁻¹) fue la arveja, por lo que podemos decir que es una buena alternativa para utilizarla como cobertura tomando en cuenta esta característica de producción. En segundo lugar le siguen con diferencias significativas a la anterior, las cuatro gramíneas; avena común, triticale, avena negra y raigras, no existiendo diferencias entre ellas y alcanzando una producción promedio de 3332 kg MS ha⁻¹, estas especies también serían una buena alternativa para generar cobertura al suelo. Los resultados obtenidos por Masoller et al. (2008) dieron

que las gramíneas utilizadas como coberturas fueron las de mayor producción de materia seca.

Luego con un rendimiento considerable de 2656 kg MS ha⁻¹ se encuentra el trébol alejandrino, sin diferenciarse del triticale, el raigras y la avena negra. Por último los tratamientos de menor producción fueron vicia (1103 kg MS ha⁻¹) y mostaza blanca (1477 kg MS ha⁻¹), en estos casos la cobertura del suelo fue menor, lo que estaría perjudicando el efecto de estas especies como cultivos coberturas. Para Masoller et al. (2008) la vicia no cumplió con el objetivo de cobertura porque la producción de materia seca no se diferenció del barbecho limpio. Sin embargo varios autores reportaron mayores rendimientos de esta leguminosa y concluyeron que es una buena alternativa para utilizarla como cultivo cobertura.

4.3 DETERMINACIONES EN EL SUELO

4.3.1 Evolución del agua disponible en el suelo

Para determinar la evolución del agua disponible en el suelo y evaluar el efecto de las coberturas sobre este, se hicieron muestreos de suelo en 4 fechas diferentes.

Cuadro 2: Análisis de varianza según cobertura y profundidad para agua disponible

	15 Setiembre	9 Octubre	30 Octubre	16 Diciembre
Cobertura	***	ns	***	**
Profundidad	***	***	***	***
Cobertura x Prof.	ns	ns	ns	ns

*** p≤0.001, ** p≤0.01, * p≤0.1,

Para la interacción cobertura por profundidad no se encontraron diferencias significativas en ningunas de las fechas evaluadas. Si hubo momentos donde se diferenció la disponibilidad de agua según cobertura, la disponibilidad de agua según profundidad, los cuales se analizarán a continuación.

4.3.1.1 Agua disponible según profundidad

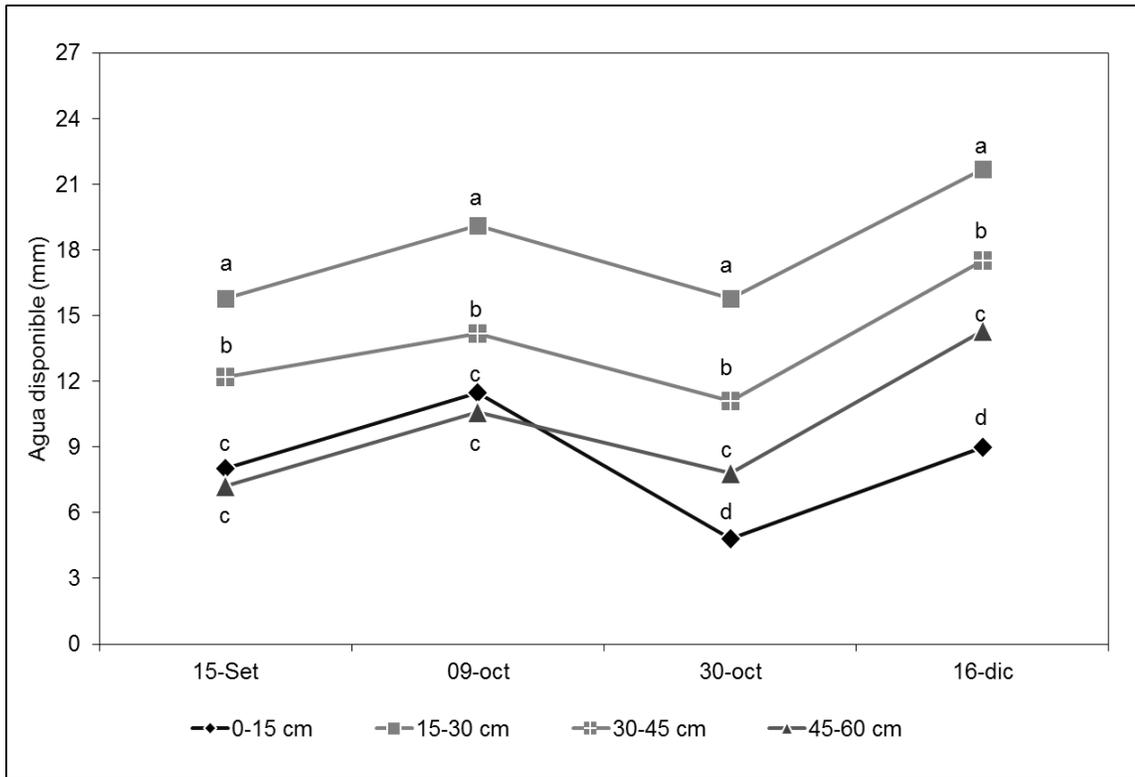


Figura 5: Contenido de agua en el suelo según profundidad, en las cuatro fechas de muestreo. Existieron diferencias significativas ($p \leq 0.001$)

En todas las fechas evaluadas existieron diferencias significativas en cuanto al agua disponible según profundidad. La tendencia fue similar en todas las fechas, en donde la mayor agua disponible se encontraba de 15 a 30 cm de profundidad seguido por el estrato de 30 a 45 cm. Por último la menor disponibilidad de agua se dio en los primeros 15 cm de suelo y de 45 a 60 cm.

4.3.1.2 Agua disponible según tratamientos.

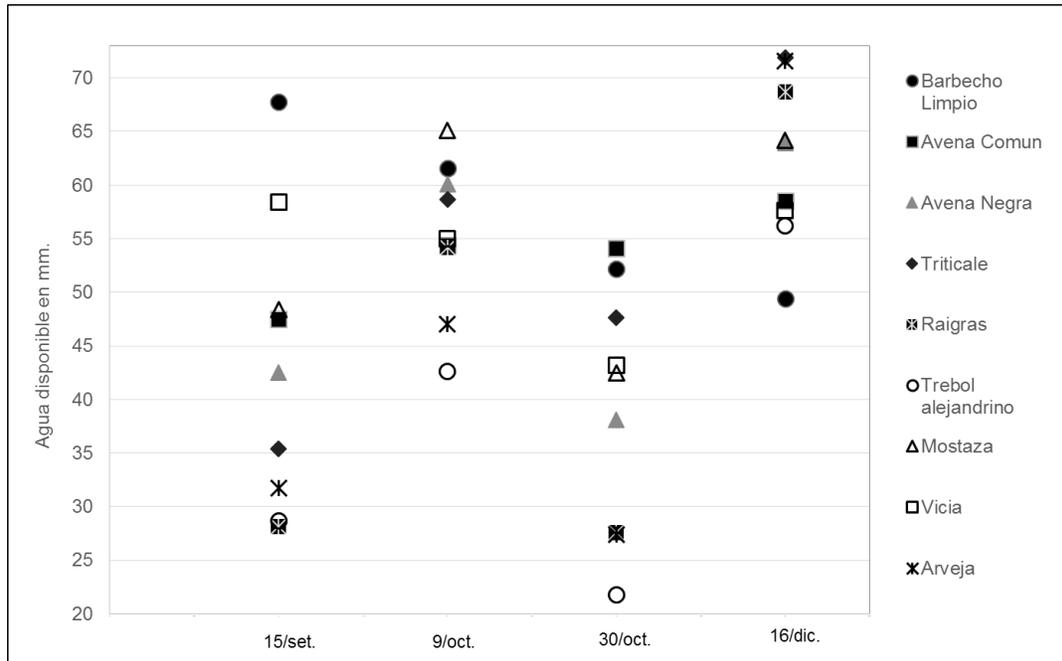


Figura 6: Contenido de agua en el suelo según tratamiento, en las cuatro fechas de muestreo. Existieron diferencias significativas ($p \leq 0.001$), excepto el 9 de octubre

Para el muestreo del 15 setiembre habían transcurrido 8 días desde la última precipitación de 25 milímetros. Para esta fecha, las coberturas continuaban en crecimiento hasta el 6 de octubre en donde se inició el barbecho. En este caso la mayor disponibilidad de agua se encuentra en el suelo que no tiene cobertura, seguido sin diferencias significativas por la cobertura de vicia. Esto se debe a que no existe un cultivo absorbiendo el agua y en el caso de la vicia puede estar explicado por la poca producción de biomasa que se había generado en este caso, lo que lleva a un menor consumo. Para el resto de las coberturas utilizadas, la disponibilidad de agua en el suelo fue significativamente menor que el barbecho limpio.

El 9 de octubre habían pasado 3 días de la muerte de las coberturas, por lo tanto nos da una idea de cómo fue el consumo de agua de estas en su ciclo. Hasta la fecha de muestreo la última precipitación importante (64 mm) había ocurrido 21 días antes. En este caso no se encontraron diferencias significativas

en cuanto al agua disponible según tratamientos. Tampoco existe una tendencia clara que explique la situación del contenido de humedad. Posiblemente las lluvias ocurridas luego del primer muestreo y 21 días antes a esta evaluación, permitieron cargar el perfil del suelo y al momento de este muestreo se borraron las diferencias encontradas en la anterior evaluación

Para el caso del 30 de octubre, habían transcurrido 19 días de la última precipitación de 81 mm. Para este momento se encontraron diferencias de disponibilidad de agua dependiendo de la cobertura, pero sin una explicación clara del porqué de las mismas. Los mayores contenidos de humedad se dieron en los tratamientos con Avena común, Barbecho limpio, Triticale, Mostaza y Vicia. Los menores contenidos se dieron en Raigrás, Arveja y Trébol Alejandrino

En la medición del 16 de diciembre, las precipitaciones 15 días antes llegaron a los 77 mm. En ese momento transcurrían 7 días de la siembra del cultivo de maíz, por lo tanto estos resultados demuestran si el cultivo se verá afectado por las coberturas en cuanto a la disponibilidad de agua a la siembra. La cantidad promedio de agua disponible para todos los tratamientos fue de 62 mm. En esta medición se encontraron diferencias significativas, donde la mayor disponibilidad de agua en el suelo estuvo en los tratamientos con coberturas de triticale y arveja. Contrariamente la menor disponibilidad de agua se dio en el barbecho limpio.

Para Baigorria y Cazorla (2010) los cultivos coberturas afectan la disponibilidad de agua a la siembra del cultivo estival. Esta disminución en los contenidos de humedad con respecto al barbecho se puede denominar costo hídrico (CH) por la realización de un CC. El CH se encuentra entre 30 a 40 mm y de 40 a 80 mm para leguminosas y gramíneas respectivamente dependiendo de las precipitaciones durante el ciclo de crecimiento de los CC.

Para el caso de este experimento los CC no afectaron la disponibilidad de agua al momento de la siembra del cultivo de maíz, debido quizás a la recarga de agua por las abundantes precipitaciones que se dieron durante el barbecho (504 mm).

4.3.2 Evolución de Nitratos (N-NO₃⁻) en el suelo

Para determinar la evolución de N-NO₃⁻ en el suelo, se hicieron muestreos en 6 diferentes fechas, los que se detallan en la siguiente figura:

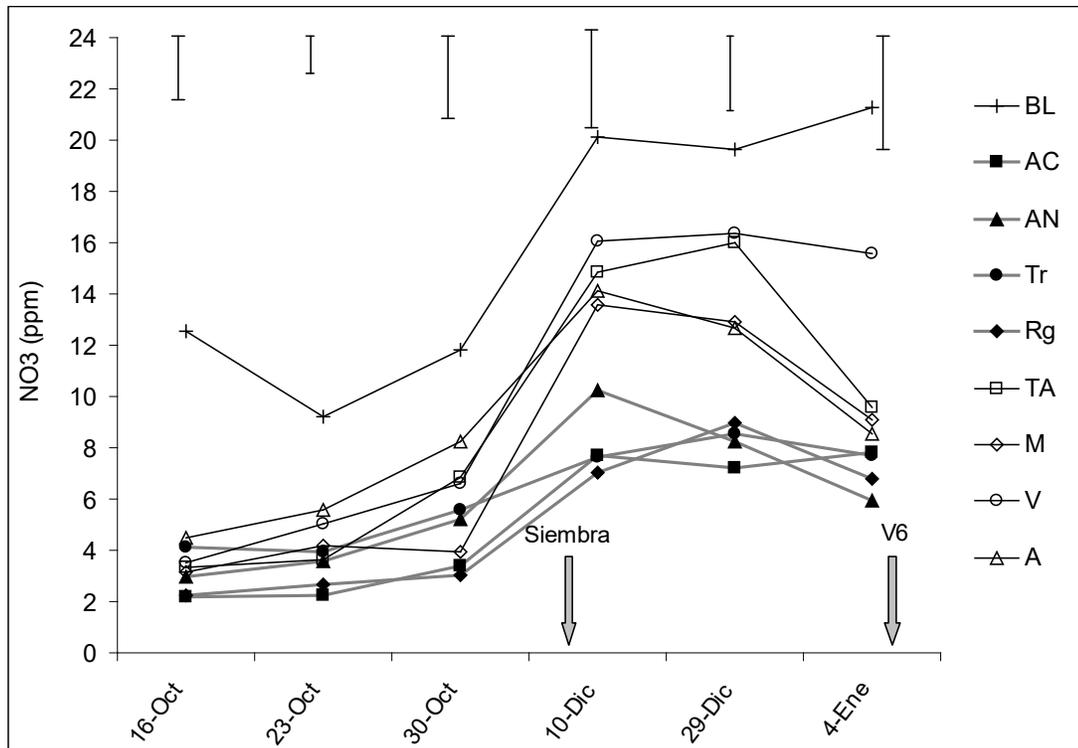


Figura 7: Evolución de nitratos en el suelo según cultivo cobertura. En todas las fechas de muestreo existieron diferencias significativas con $P \leq 0.10$. I= MDS

En general la tendencia del contenido de nitrato desde el muestreo del 16 de octubre (10 días después de la muerte de las coberturas) hasta el 10 de diciembre (1 día luego de la siembra de maíz) fue en aumento. Llegando al día de la siembra con mayor contenido de N-NO₃⁻ en el tratamiento con barbecho limpio, luego en las leguminosas y la compuesta, y por último en las gramíneas.

Durante esta etapa de barbecho los contenidos de N-NO₃⁻ fueron bajos para todas las coberturas, debido a la inmovilización de este nutriente por parte de los microorganismos. Pero a medida que transcurrían los días de barbecho los niveles de este nutriente aumentaban debido a la descomposición del rastrojo. A pesar de los altos registros de precipitaciones diarias y acumuladas

durante el mes de noviembre, los contenidos de este nutriente no se vieron disminuidos.

Luego de la siembra de maíz los niveles de N-NO_3^- en el tratamiento sin cobertura tendieron a mantenerse en altos contenidos, en el caso de los tratamientos con leguminosas estos niveles tendieron a disminuirse al igual que la compuesta, y en el caso de las gramíneas el contenido de nitrato se mantuvo. La disminución en el caso de las leguminosas puede deberse a una mayor extracción por el cultivo de maíz el cual se presentaba con mayor crecimiento comparado al cultivo sobre gramíneas.

Independientemente de la fecha de muestro se observó que el barbecho limpio es el tratamiento que presento mayor contenido de N-NO_3^- . Esto se debe a que en la etapa de barbecho el rastrojo presente es muy poco, por lo que la inmovilización de N-NO_3^- es baja y este nutriente se encuentra disponible, y durante la etapa de cultivo los niveles siguen siendo mayores a los demás tratamientos debido a que se trata de un muy buen suelo, con alta fertilidad natural, lo que determina que este nutriente no sea limitante para una buena producción. De todas maneras siempre hay que realizar un buen manejo del suelo ya que esta característica se puede perder.

Los resultados muestran que cuando se trata de coberturas gramíneas los niveles de nitratos son menores con respecto a cuándo son leguminosas. Además se aprecia que en los tres primeros muestreos las diferencias entre especies es menor que si se observa en los siguientes muestreos. Esto es debido a que a medida que transcurre el tiempo de barbecho las leguminosas se descomponen más rápido comparado a gramíneas, a causa de la menor relación C/N de las primeras.

Tendencias similares se encontraron en ensayos utilizando especies como CC en el INTA Marcos Juárez, se registraron contenidos de N-NO_3^- de 90 ppm en el barbecho, mientras que con CC el contenido se reduce a 60 y 40 ppm con leguminosas y gramíneas, respectivamente (Baigorria et al., 2009)

Por ultimo a estadio V6 que fue donde se fertilizo con N, excepto en el barbecho limpio donde los niveles son buenos (21 ppm), el resto de los tratamientos presentaban niveles bajos para este cultivo, lo que a priori se puede esperar una mayor respuesta a la fertilización.

4.4 CULTIVO DE MAIZ

4.4.1 Implantación

En promedio en el experimento se logró una población de 9 pl m⁻² (90000 pl ha⁻¹), cuando la población objetivo buscada era de 75000 plantas por hectárea.

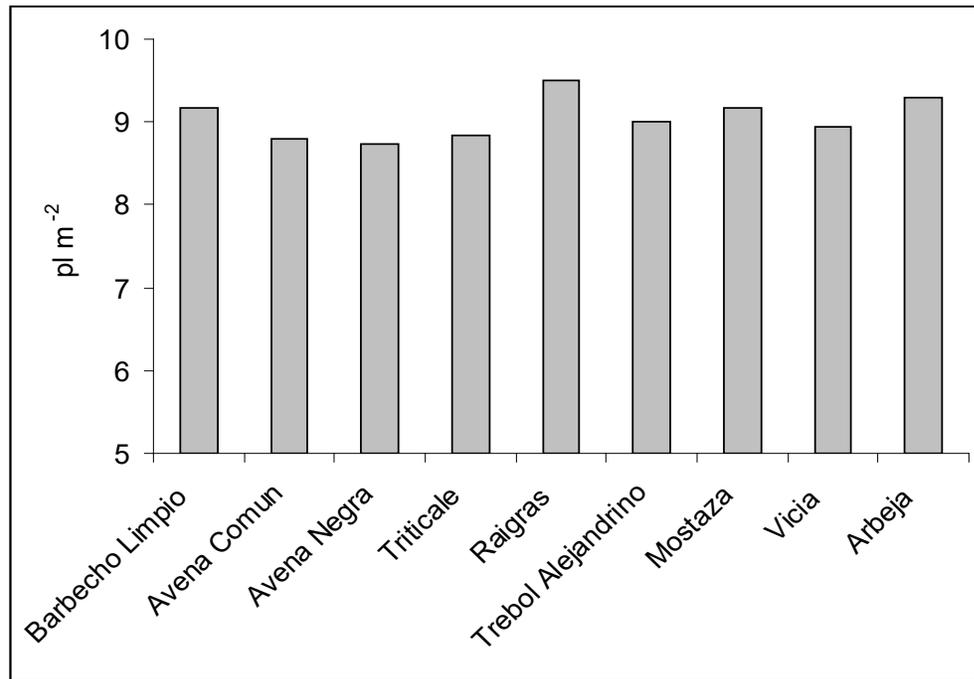


Figura 8: Número de plantas de maíz por metro cuadrado según tratamiento, a los 13 días después de la siembra. Las diferencias entre tratamientos no son significativas ($P \leq 0.10$)

En cuanto a la implantación del cultivo de maíz no hubo diferencias entre tratamientos, ni tampoco se encontró una tendencia clara. Lo que significa que el cultivo cobertura utilizado no influyó en la cantidad de plantas logradas por el cultivo. Resultados diferentes mostraron Masoller et al. (2008) donde las coberturas gramíneas presentaron menores implantaciones del cultivo de maíz respecto a las demás coberturas evaluadas

4.4.2 En estadio V6

En el cultivo de maíz al estadio de V6 se realizaron diferentes mediciones para comparar el impacto de los tratamientos sobre el Índice de Área Foliar, la producción de Materia Seca y el porcentaje de Nitrógeno en planta.

4.4.2.1 Índice de área foliar (IAF)

Cuando el cultivo se encontraba en V6 ya se apreciaban grandes diferencias visuales entre tratamientos en cuanto al crecimiento de este. Esto se ve reflejado en la figura 12:

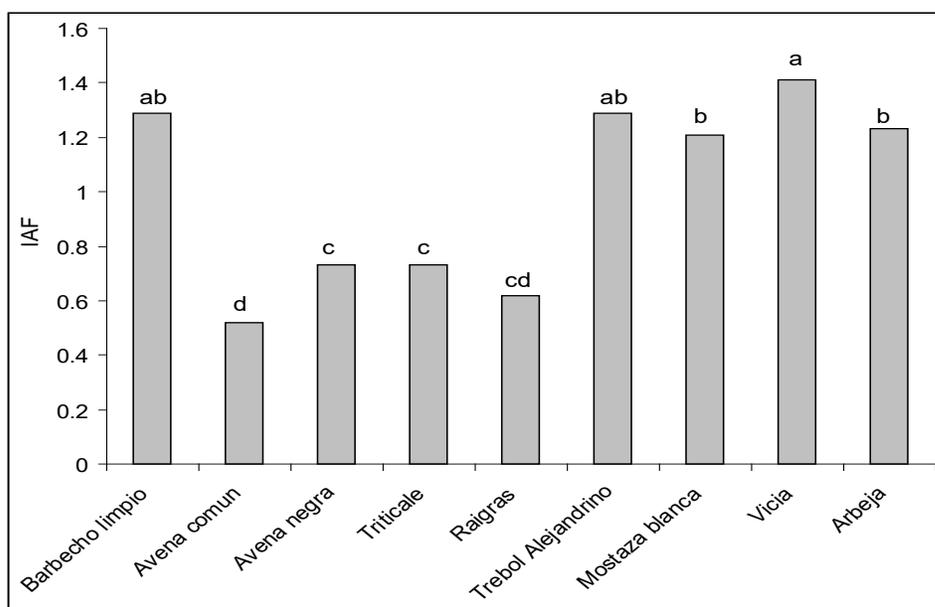


Figura 9: Índice de Área Foliar del maíz en estadio V6 según tratamiento. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$)

Se observa que el área foliar del maíz presenta variaciones según la cobertura anterior. Por un lado se agrupan las de mayor IAF que son las coberturas leguminosas y la compuesta, y sin diferencias con estas también aparece el barbecho limpio. Por el otro lado se agrupan las coberturas gramíneas las cuales perjudicaron el crecimiento de maíz por lo que a este estadio presentaba menor área foliar comparado a los demás tratamientos.

Estos resultados demuestran que cuando se trata de coberturas leguminosas, en este caso no se vio perjudicado el crecimiento del área foliar del cultivo ya que no hay diferencias entre utilizar estas coberturas o dejar el suelo descubierto. En cambio cuando se trata de coberturas gramíneas estas afectaron el crecimiento del área foliar al estadio V6.

Este comportamiento del IAF está ligado a la disponibilidad de N-NO_3^- en el suelo, ya que como se vio anteriormente las coberturas leguminosas y el barbecho limpio presentaban mayores contenidos de este nutriente lo que permite un mayor crecimiento del cultivo. En cambio en gramíneas los valores de N-NO_3^- eran bajos lo que enlenteció el crecimiento del maíz.

En esta medición la cobertura que genero un mejor efecto sobre el maíz fue la vicia, en cambio la que más perjudico al cultivo fue avena común.

4.4.2.2 Producción de materia seca (MS) del maíz y % de Nitrógeno (N) en planta

Con la producción de materia seca aérea del maíz ocurre un comportamiento similar al de IAF. Como se observa en la gráfica 16, si se agrupa las coberturas por especies, vemos que la mayor producción de MS se dio cuando las coberturas son leguminosas al igual que la compuesta y el barbecho limpio. Por otra parte cuando las coberturas son gramíneas la producción se ve disminuida.

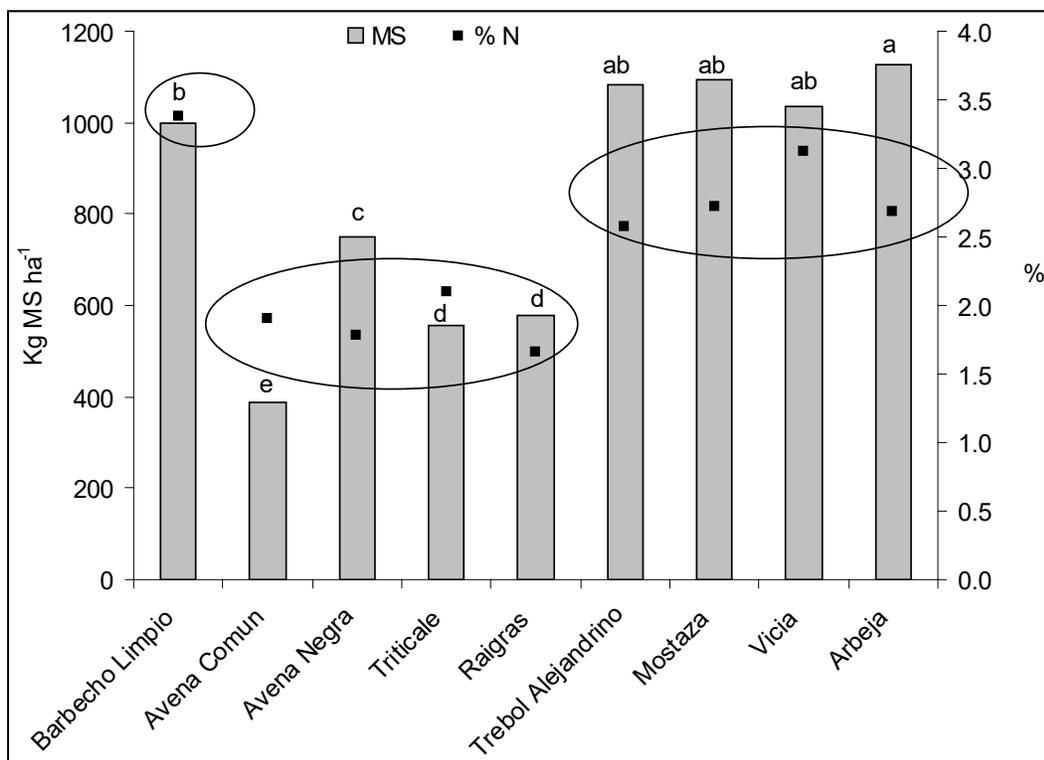


Figura 10: Producción de Materia Seca y porcentaje de Nitrógeno en planta del maíz en estadio V6 según tratamiento. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$)

Tomando en cuenta que la disponibilidad de agua hasta este momento fue muy buena debido a las precipitaciones ocurridas, el principal factor que explica estas diferencias en la producción del cultivo de maíz es la disponibilidad de $N-NO_3^-$ en el suelo y su absorción por el mismo. Esto se confirma si se observa el contenido de nitrógeno en planta donde se ve que las mayores concentraciones son en el cultivo sobre leguminosas y en barbecho limpio, y las menores sobre coberturas gramíneas.

Hasta este estadio la producción de MS del maíz sobre leguminosas en promedio fue de 1085 kg ha^{-1} , en barbecho 998 kg ha^{-1} y sobre gramíneas 569 kg ha^{-1} . A su vez la concentración promedio de N en planta es de 34 kg ha^{-1} en barbecho, 30 kg ha^{-1} sobre leguminosa y 11 kg ha^{-1} sobre coberturas gramíneas.

El % de N en planta es un buen indicador del status nutricional de las plantas para un momento puntual de muestreo (Borghi y Wornicov, 1998).

4.4.3 En estadio de floración

Cuando el cultivo de maíz se encontraba en floración se realizaron diferentes mediciones para determinar el efecto de los tratamientos sobre Índice de Área Foliar, la producción de Materia Seca y el porcentaje de Nitrógeno en planta. Para este estadio cada parcela estaba dividida en dos sub parcelas, una con aplicación de nitrógeno y otra sin aplicación.

4.4.3.1 Índice de área foliar (IAF)

Analizando el IAF en floración vemos una tendencia similar al estadio V6, donde la mayor área foliar del maíz se logra sobre el barbecho limpio y sobre coberturas leguminosas, y las menores sobre las gramíneas. Aunque en este caso las diferencias entre tratamientos son menores.

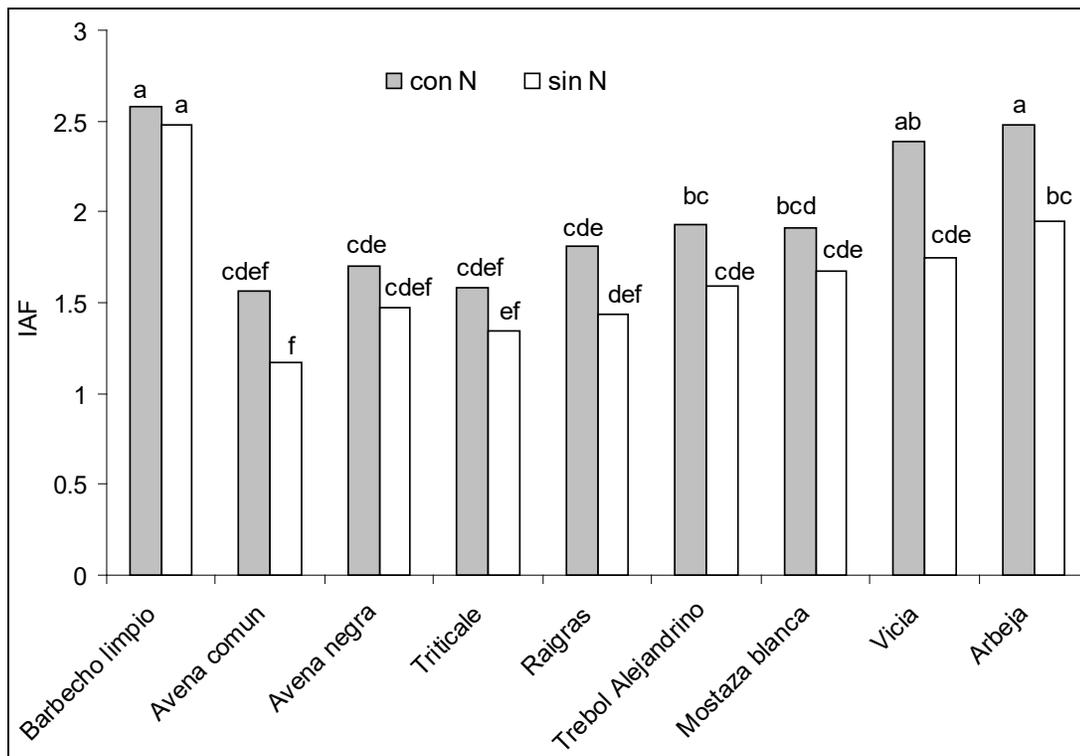


Figura 11: Índice de Área Foliar del maíz en floración según tratamiento y fertilización con Nitrógeno. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$)

La fertilización con N no produjo aumentos significativos en el IAF, excepto en los tratamientos con vicia y arveja donde la diferencia si fue significativa. Además se observa que al fertilizar con N se pierden las diferencias significativas que existían entre el barbecho limpio, la vicia y la arveja, cuando se las comparaba a las mismas sin este nutriente. Contrariamente la menor respuesta a la fertilización se obtuvo en barbecho limpio donde no se constataron diferencias. De todas maneras, sí se aprecia una clara tendencia a que cuando se fertiliza se mejora el IAF.

4.4.3.2 Producción de materia seca (MS) del maíz y % de Nitrógeno en planta (N)

Con respecto a la producción de MS los resultados muestran claramente que la mayor producción se da sobre coberturas leguminosas y barbecho limpio, y las menores producciones sobre gramíneas.

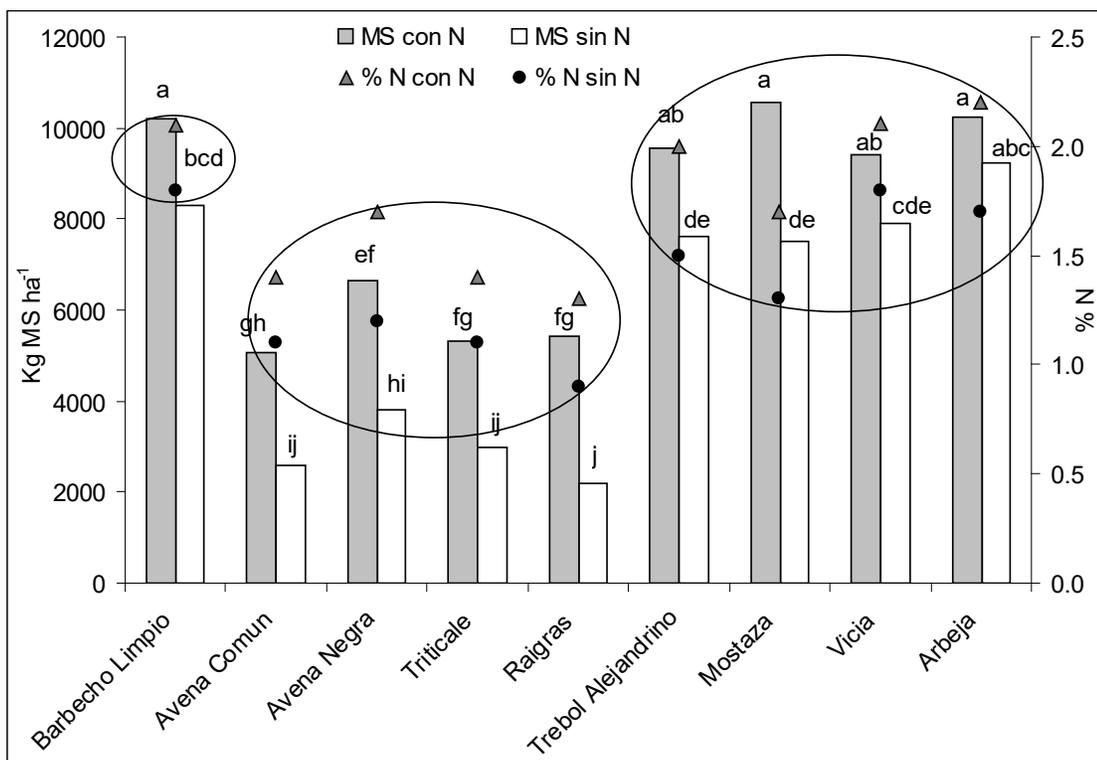


Figura 12: Producción de Materia Seca y porcentaje de Nitrógeno en planta del maíz a floración según tratamiento. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$)

En este caso si existió respuesta a la fertilización, ya que la producción de MS sobre las coberturas con N fueron significativamente mayores a las sin N. El único caso donde no hubo respuesta fue en arveja. La producción promedio de MS del maíz sobre leguminosas con N fue 23 % mayor que sin N (9943 vs. 8063 kg ha⁻¹), sobre gramíneas con N fue 93 % mayor que sin N (5605 vs. 2897 kg ha⁻¹) y en barbecho limpio con N fue 23 % mayor que sin N (10211 vs. 8284 kg ha⁻¹).

La concentración de N en planta se corresponde con la producción de MS, donde los mayores contenidos de N se dan en el maíz sobre barbecho limpio y leguminosas, y los menores contenidos sobre coberturas gramíneas. En el caso de barbecho limpio con N la concentración de N en el maíz fue 44 % superior a sin N (214 vs. 149 kg ha⁻¹), sobre leguminosas con N fue 54 % superior a sin N (199 vs. 129 kg ha⁻¹) y sobre gramíneas con N fue 162 % mayor a sin N (84 vs. 32 kg ha⁻¹).

Según Ernst (2006) el crecimiento, absorción de N y rendimiento del maíz fue incrementado por la siembra de una leguminosa anual como CC durante el invierno previo.

4.4.4 Rendimiento en grano

En general el rendimiento resulto en una distribución similar a la producción de MS, donde la mayor respuesta en grano se obtuvo en el cultivo sobre barbecho limpio, luego sobre leguminosas, seguido por la compuesta y por último los menores rendimientos se dieron sobre las gramíneas.

El rendimiento de maíz promedio de todos los tratamientos con aplicación de N fue de 5815 kg ha⁻¹, y en los casos donde no se fertilizo fue de 4140 kg ha⁻¹.

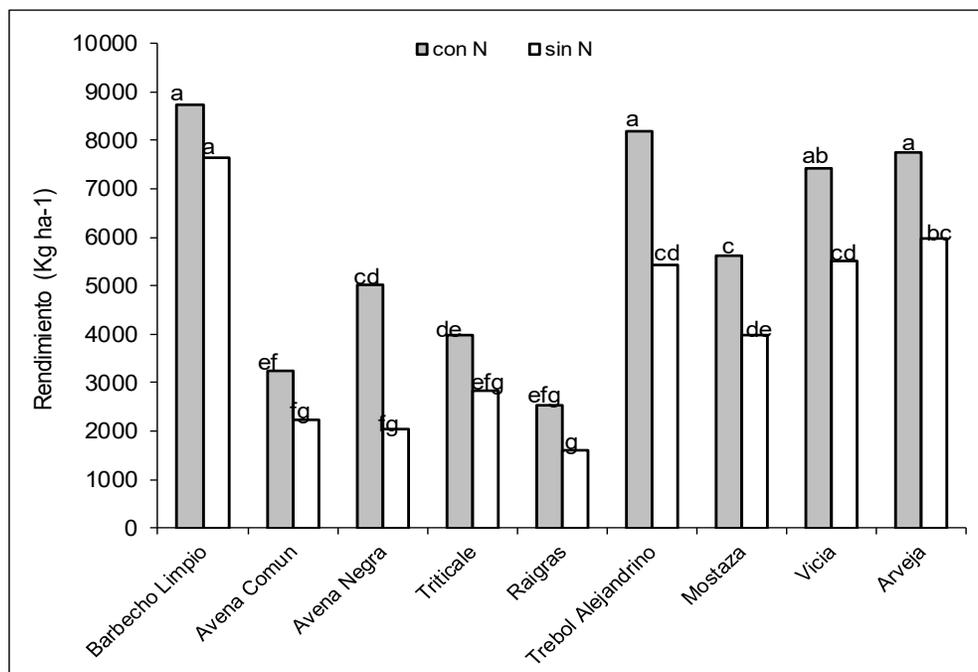


Figura 13: Rendimiento en grano del cultivo de maíz según fertilización y cobertura. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$)

El mayor rendimiento de maíz se dio sobre barbecho limpio fertilizado y no fertilizado (8540 kg ha^{-1} y 7849 kg ha^{-1}), así como también sin diferencias con lo anterior aparecen el trébol alejandrino (8194 kg ha^{-1}), la arveja (7761 kg ha^{-1}) y la vicia (7414 kg ha^{-1}) en todos estos casos con N. De lo contrario los peores rendimientos se dieron sobre gramíneas, sobre todos en los tratamientos sin agregado de N (2137 kg ha^{-1})

La fertilización produjo incrementos en barbecho limpio de un 9 % ($8540 \text{ vs. } 7849 \text{ kg ha}^{-1}$), en el caso de las leguminosas el aumento fue de 38 % con N ($7790 \text{ vs. } 5631 \text{ kg ha}^{-1}$), en la compuesta 42 % mayor con N ($5611 \text{ vs. } 3974 \text{ kg ha}^{-1}$) y la mejor respuesta a la fertilización se obtuvo en las gramíneas con un aumento de 73 % ($3703 \text{ vs. } 2137 \text{ kg ha}^{-1}$). Estas diferencias pueden estar explicadas por la concentración de nitratos en el suelo, como se vio en la figura 13, donde en el caso de las gramíneas la concentración de este nutriente es la más baja y por lo tanto donde la respuesta a la fertilización fue mayor.

Sin embargo si se observa en términos absolutos el incremento debido a la fertilización fue mayor en las leguminosas con un aumento de 2159 kg ha^{-1} ,

luego en la compuesta con 1637 kg ha⁻¹, seguido en las gramíneas con 1531 kg ha⁻¹, y por ultimo sobre barbecho con un aumento de 1081 kg ha⁻¹.

Baigorria et al. (2009) concluyeron que el rendimiento de maíz se ve limitado en parte por la disponibilidad de agua y en parte por la deficiencia de N. En condiciones de fertilización se observa una disminución en los rendimientos utilizando CC gramíneas. En condiciones sin fertilización hay incrementos de rendimientos cuando se utiliza vicia como CC.

En el experimento de Ernst (2006) donde se evaluó el trébol alejandrino como cobertura, se obtuvo respuesta en rendimiento de maíz al agregado de N a la siembra con la presencia o no del CC. Mientras que para el testigo sin N, el rendimiento en grano fue un 20,4 % superior sobre CC, con 60 kg de N ha⁻¹ no hubo diferencia entre tratamientos. Sin embargo, fueron necesarios 40 kg ha⁻¹ de N para el máximo rendimiento sobre CC y 60 kg ha⁻¹ sobre SC.

4.4.5 Relación entre nitratos en el suelo con el rendimiento del maíz

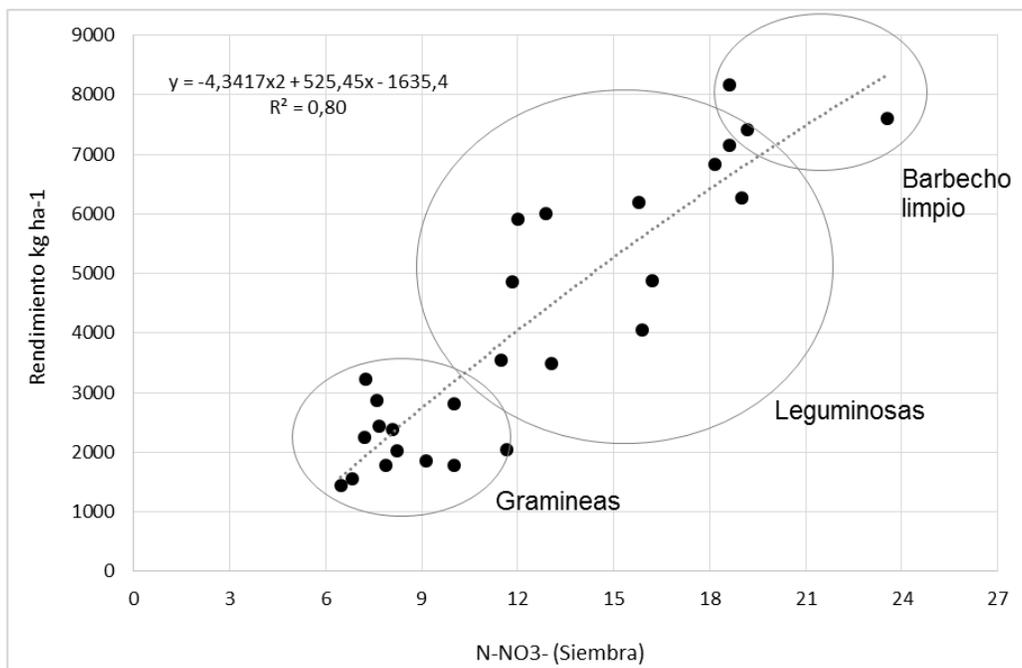


Figura 14: Correlación entre nitratos a la siembra y el rendimiento de maíz en los tratamientos sin fertilizar.

El resultado de rendimiento en grano del maíz tiene una relación positiva con el nivel de nitratos en el suelo. Donde los contenidos más bajos de N-NO_3^- se dieron en los tratamientos que tuvieron gramíneas y por lo tanto el rendimiento del maíz fue menor. Seguido en un nivel más alto de rendimiento están los tratamientos con leguminosas, y por último los mayores niveles de nitratos y por lo tanto de rendimiento, se dieron sobre barbecho limpio. Estos resultados para los tratamientos que no se fertilizaron con nitrógeno.

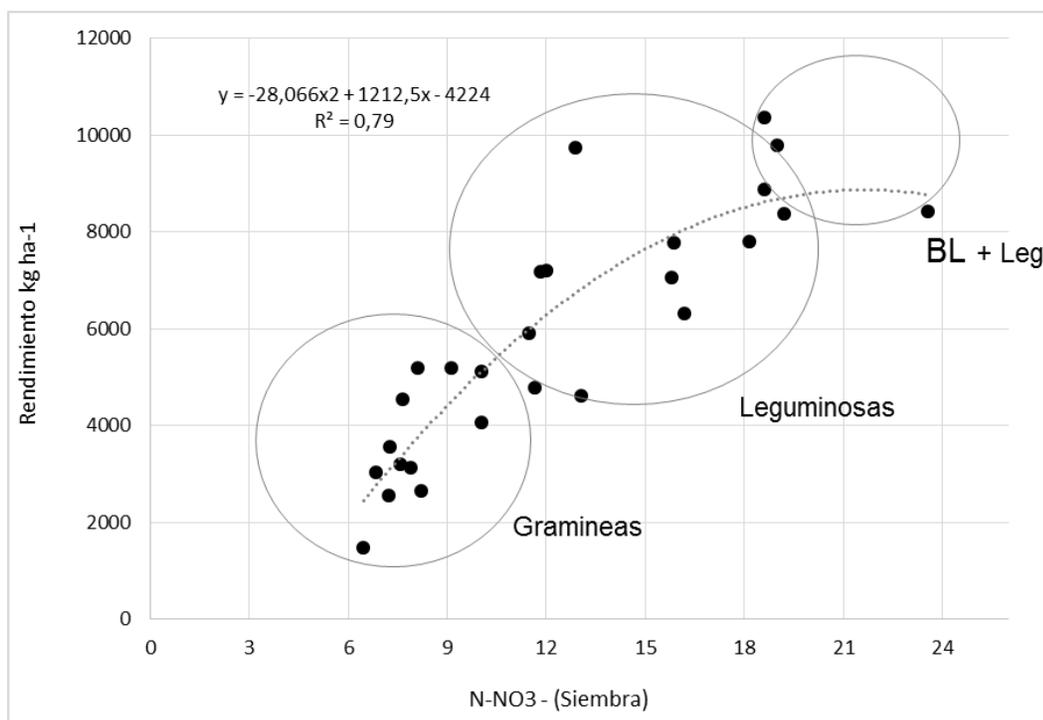


Figura 15: Correlación entre nitratos a la siembra y el rendimiento de maíz en los tratamientos con fertilización con 50UN.

La tendencia es similar para los casos que no se fertilizo y también en los tratamientos que se agregó 50 UN. Con la diferencia que en estos últimos se lograron mayores rendimientos y en estos casos hubo algunas leguminosas que igualaron en rendimiento al barbecho limpio.

4.4.6 Componentes del rendimiento

4.4.6.1 Numero de granos por espiga (NG)

En la siguiente figura se muestra como fue la tendencia en el número de granos por espiga según tratamientos.

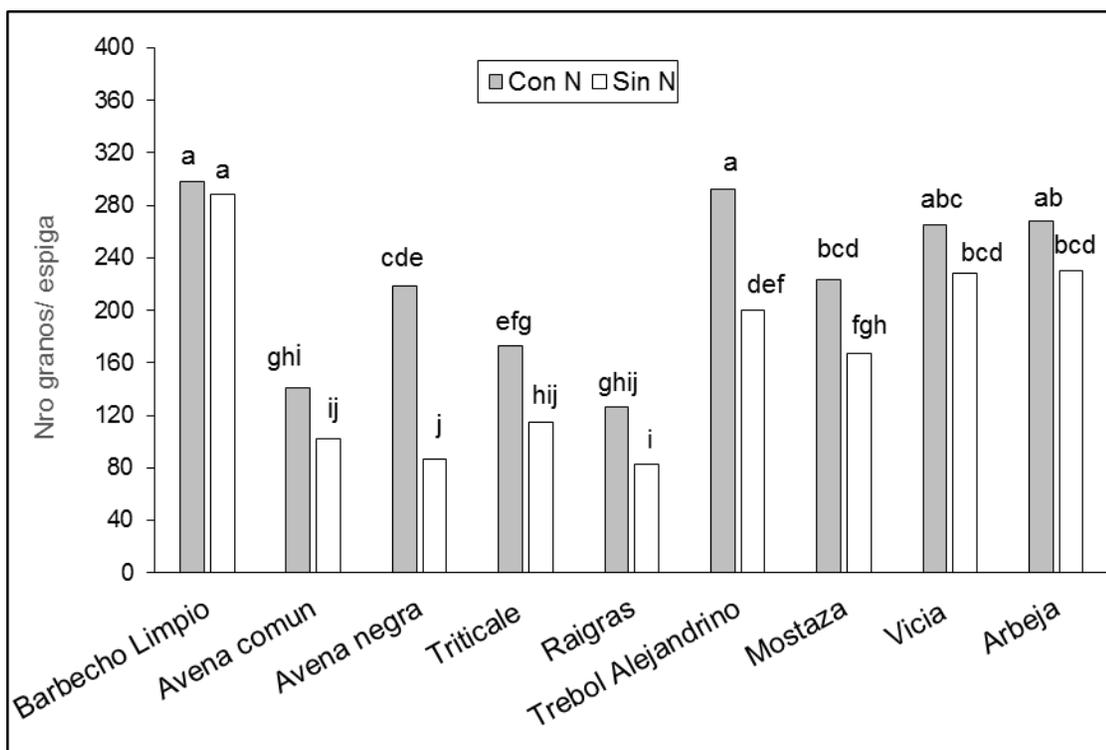


Figura 16: Numero de granos por espiga del cultivo de maíz según fertilización y cobertura. Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.10$)

Los resultados muestran que el mayor número de grano se corresponde con los mayores rendimientos. Estos son logrados en el barbecho limpio en ambas condiciones (con N y sin N), a su vez sin diferencias con lo anterior aparecen el trébol alejandrino, la arveja y la vicia todos estos con N. Para la totalidad de los tratamientos la fertilización aumento el número de granos.

En maíz las diferencias de rendimiento están ligadas a variaciones en el número de granos (NG). La presencia de estrés hídrico o nutricional reduce la

tasa de crecimiento del cultivo en el periodo crítico de generación del NG y esto produce marcadas reducciones en el rendimiento del cultivo (Andrade y Ferreiro, citados por Baigorria et al., 2009). El NG fue el componente que más explico las diferencias observadas en el rendimiento para condiciones de fertilización y sin fertilización (Baigorria et al., 2009).

5. CONCLUSIONES

La mayor producción de materia seca fue lograda por la arveja (4694 kg MS ha⁻¹), seguido por las gramíneas; avena común, triticale, avena negra y raigrás, no existiendo diferencias entre ellas y alcanzando una producción promedio de 3332 kg MS ha⁻¹. Estas coberturas estarían cumpliendo con uno de los objetivos por las que se utilizan, generar biomasa al suelo.

Los contenidos de agua en el perfil de suelo al momento de la siembra del cultivo de maíz, no fueron perjudicados por los tratamientos con coberturas respecto al barbecho sin cobertura. Este hecho se explica dado a que en los 64 días de barbecho las precipitaciones recibidas fueron abundantes (500 mm), permitiendo recargar todo el perfil de suelo.

Con respecto a los niveles de N-NO₃⁻ en el suelo al momento de la siembra del cultivo de maíz, se observó que la utilización de coberturas afectó de diferente manera este nutriente, donde la menor disponibilidad se dio sobre los antecesores de especies gramíneas, seguido por las leguminosas y compuestas y por último, el barbecho limpio, tratamiento que siempre estuvo con mayor disponibilidad durante todo el período en evaluación.

El rendimiento de maíz fue mayor sobre el antecesor barbecho limpio para ambos tratamientos (con N y sin N). Sin diferencias a este, aparecen el trébol alejandrino, la arveja y la vicia, en todos los casos que fueron fertilizados con N. Los rendimientos más bajos se dieron sobre los antecesores gramíneos, acentuados aún más en los tratamientos sin agregado de N. Estos resultados coinciden con la evolución de la disponibilidad de nitratos según tratamiento a lo largo del barbecho y del cultivo. Los tratamientos que siempre mostraron mayores contenidos de nitratos fueron en donde el rendimiento en grano de maíz fue mayor. Estas diferencias en rendimiento están explicadas por la variación en el número de granos por espiga. Esto nos muestra que al utilizar algún tipo de cobertura invernal antes de la siembra de un maíz, debemos prestar atención en el manejo de los niveles de N.

La fertilización con 50 unidades de N produjo incrementos en el rendimiento de maíz de un 9% sobre barbecho limpio, de un 38 % sobre leguminosas, en la compuesta de 42% y la mayor respuesta a la fertilización se obtuvo en las gramíneas con un aumento de 73%. Esta diferencia está explicada por el aumento en el número de granos por espiga.

6. RESUMEN

En Uruguay la agricultura ha tenido un incremento muy importante en muchos sentidos, generando en varios casos el incremento de rotaciones con agricultura continua y manejos que se basan en la obtención de un cultivo por año. En estas situaciones se deja un tiempo de barbecho muy largo en el invierno, donde el suelo queda descubierto. Para lograr la sustentabilidad del sistema de producción basada en granos, se debe mejorar el balance de carbono a través de un mayor aporte de biomasa vegetal. En este sentido, los cultivos de coberturas son una herramienta agronómica ideal porque cumplen el rol de aportar carbono, mantener el suelo cubierto, reciclar nutrientes y producir un nuevo ingreso de rastrojo al sistema (Siri y Ernst, 2011). En este trabajo se busca comprobar el efecto que tienen diferentes cultivos coberturas invernales sobre la evolución de humedad y nitratos en el suelo y su impacto sobre el cultivo de maíz. Para esto se realizó un experimento en el departamento de Paysandú sobre un suelo Brunosol Eutrico Típico. El diseño utilizado fue un factorial completo al azar con tres repeticiones, siendo las coberturas la parcela mayor y las dosis de nitrógeno la parcela menor. Los tipos de coberturas utilizadas fueron; cuatro gramíneas (Avena bizantina, Avena strigosa, Lolium multiflorum y Triticale), tres leguminosas (Trifolium alexandrinum, Vicia sativa, Pisum sativum) y una compuesta (Sinapsis alba). Las dosis de fertilizante utilizadas a estadio V6 del maíz fueron 0 y 50 unidades de nitrógeno. La siembra de todas las coberturas fue el 22 de mayo y su producción fue hasta el 6 de octubre donde comienza el barbecho químico. La siembra del cultivo de maíz se realizó el 9 de diciembre. En términos generales, las conclusiones son que la utilización de coberturas no perjudicó la disponibilidad de agua para la siembra del cultivo de maíz, debido a la gran cantidad de precipitaciones ocurridas en el barbecho lo que permitió una recarga de agua en el perfil del suelo. En el caso del nitrógeno en el suelo las coberturas disminuyeron los niveles de este nutriente comparados al barbecho limpio, sobre todo las gramíneas. Por último, los mayores rendimientos del cultivo de maíz se lograron sobre barbecho limpio con y sin fertilización, también sin diferencias con el anterior se encuentran las coberturas de trébol alejandrino, arveja y vicia todas con fertilización con N. Los menores rendimientos se obtuvieron sobre gramíneas.

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

7. SUMMARY

In Uruguay agriculture has been increasingly important in many ways in many cases, generating increasing continuous cropping rotations and handling based on obtaining one crop per year. In these situations leaves a long fallow period in the winter, when the ground is bare. To achieve sustainability of the production system based on grains, should improve the carbon balance through an increased supply of plant biomass. In this sense, hedge crops are agronomic tool ideal because they play the role of providing carbon, maintain the soil covered, recycle nutrients and produce a new entry to the system stubble (Siri and Ernst, 2011). This paper seeks to test the effect that different cultures have winter covers the evolution of moisture and nitrate in soil and its impact on the cultivation of maize. For this experiment was conducted in the department on a floor Paysandú Eutrico Brunosol Tipico. The design was a randomized complete factorial with three replications hedges being the main plot and nitrogen doses lower plot. The cover types were used, four grasses (*Avena Byzantine strigosa*, *Avena*, *Lolium multiflorum* and *Triticale*), three legumes (*Trifolium alexandrinum*, *Vicia sativa*, *Pisum sativum*) and composite (*Sinapis alba*). The fertilizer used to V6 stage of corn were 0 and 50 units of nitrogen. Planting of all coverages was on May 22 and its production was to begin on October 6 where the chemical fallow. The corn planting was held on December 9. In general terms, the conclusions are that the use of covers did not harm the availability of water for planting the corn crop, due to the large amount of rainfall that occurred in the fallow, which allowed a recharge of water in the soil profile. In the case of nitrogen in the soil, the covers decreased the levels of this nutrient compared to the clean fallow, especially the grasses. Finally, the highest yields of the corn crop were achieved on clean fallow with and without fertilization, also without differences with the previous one are the covers of alexandrine clover, pea and vetch, all with N fertilization. The lowest yields were obtained on grasses.

Keywords: cover crops; corn; water; nitrogen.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Álvarez, C.; Scianca, C. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la región pampeana: aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. In: Día de campo: jornada profesional agrícola (2006, General Villegas, Argentina). Trabajos presentados. General Villegas, INTA. 16 p.
2. _____.; _____.; Barraco, M.; Díaz-Zorita, M. 2006. Inclusión de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja. In: INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AR). Memoria técnica 2005 - 2006. General Villegas. pp. 21 - 23.
3. Baigorria, T.; Cazorla, C.; Santos, D.; Pegoraro, V.; Ortiz, J. 2009. Evaluación de especies como cultivos de cobertura en sistemas agrícolas puros en siembra directa. (en línea). Marcos Juárez, INTA. Consultado jun. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-intamjz_ccsd_baigorria12.pdf
4. _____.; _____. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos coberturas. In: Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo (22º., 2010, Rosario). Trabajos presentados. INTA, Rosario. s.p.
5. _____.; Gómez, D.; Cazorla, C.; Lardone, A.; Bojanich, M.; Aimetta, B.; Bertolla, A.; Cagliero, M.; Vilches, D.; Rinaudo, D.; Canale, A. 2011. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. (en línea). INTA, Marcos Juárez, Argentina. Consultado mar. 2012. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-bases para el manejo de vicia como antecesor del.pdf>
6. Barbera, P.; Maidana, C.; Zapata, P.; Ramírez, R.; Ramírez, M.; Fernández, R.; Benítez, P.; Benítez, J. 2012. Evaluación de cultivares de raigrás anual y avena. (en línea). Mercedes, INTA. 4 p. (Hoja Informativa no. 51). Consultado mar. 2022. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-ficha_tecnican51_feb2012_cultivares_de_raigras_y_aven.pdf
7. 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. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 97 p.

8. Bauza, R.; Capra, G.; Bratschi, C. 2012. Valor nutritivo para cerdos de la arveja forrajera. Revista INIA. no. 28: 29 - 33.
9. Bemhaja, M. 1996. INIA Carace Triticale. Tacuarembó, INIA. 11 p. (Serie técnica no. 77).
10. Borghi, E.; Wornikov, C. 1998. Evaluación de la capacidad predictiva de distintos indicadores de suelo y planta para el ajuste de la refertilización nitrogenada en el cultivo de maíz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 53 p.
11. Capurro, J.; Surjac, J.; Andrian, J.; Dickie, M.; González, M. 2010. Evaluación de distintas especies de cultivos de cobertura en secuencias soja-soja en el área sur de la provincia de Santa Fe. Informaciones Agronómicas. no. 47: 13 - 15.
12. _____.; Dickie, M.; Ninfi, D.; Zazzarini, A.; Tosi, E.; González, M. 2012. Vicia y avena como cultivos de coberturas en maíz. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. no. 6: 20 - 22.
13. Carámbula, M.; Ayala, W.; Bermúdez, R.; Carriquiry, E. 1996. Verdeos de invierno asociados. Montevideo, INIA. 17 p. (Boletín de Divulgación no. 58).
14. _____. 2002. Pasturas y forrajes; potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. 357 p.
15. Coelho, A.; França, G. 2003. Nutrição e adubação do milho. (en línea). s.n.t. Consultado mar. 2022. Disponible en <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/adubacao/livros/NUTRICA0%20E%20ADUB.%20MILHO%20-%20CNPMS.pdf>
16. Corak, S.; Frye, W.; Smith, M. 1991. Legume and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. Soil Science Society of America Journal. 55: 1395 - 1400.
17. Díaz-Ambrona, C.; O'Leary, G.; Sadras, V.; O'Connell, M.; Connor, D. 2005. Environmental risk analysis of farming systems in a semi-arid environment: effect of rotations and management practices on deep drainage. Field Crops Research. 94: 257 - 271.
18. Díaz Roselló, R. 1992. Evolución del nitrógeno total en rotaciones con pasturas. Revista INIA. no. 1: 27 - 35.

19. Ernst, O. 2006. Efecto de la leguminosa invernal como cultivo de cobertura sobre rendimiento en grano y respuesta a nitrógeno de maíz sembrado sin laboreo. *Agrociencia (Uruguay)*. 10(1): 25 - 35.
20. _____.; Siri-Prieto, G.; Mazzilli, S. 2009. Manejo de la reserva de agua del suelo para situaciones de estrés hídrico. *In*: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º, 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 33 - 48.
21. Fernández, R.; Quiroga, A.; Noellemeyer, E. 2012. Cultivo de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semiárida pampeana? *Ciencia del Suelo*. 30(2): 137 - 150.
22. Formoso, F. 2010. Producción de forraje y calidad de verdeos de invierno y otras alternativas de producción otoño-invernales. Colonia, INIA. 124 p. (Serie técnica no. 184).
23. _____. 2011. Verdeos de invierno. *Revista INIA*. no. 24: 23 - 27.
24. García, J. 2000. INIA Calipso: nuevo cultivar de trébol alejandrino. Colonia, INIA. 9 p. (Boletín de Divulgación no. 70).
25. _____. 2003. Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en la Estanzuela. Colonia, INIA. 26 p. (Serie Técnica no. 133).
26. García Lamothe, A. 1994. Manejo del nitrógeno para aumentar la productividad de trigo. Colonia, INIA. 27 p. (Serie Técnica no. 54).
27. Giacomini, S.; Aita, C.; Vendruscolo, E.; Cubilla, M.; Nicoloso, R.; Fries, M. 2003. Matéria seca, relação C/N e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em misturas de plantas de cobertura de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 27: 325 - 334.
28. _____.; _____.; Chiapinotto, I.; Hübner, A.; Marques, M.; Cadore, F. 2004. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto: II. Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 28: 751 - 762.
29. Grahmann, K.; Quincke, A.; Barolín, E.; Ciganda, V. 2020. Cultivos de cobertura: reducción de la erosión y aportes a la nutrición del suelo. El caso de la mezcla de Centeno con Vicia Villosa. *Revista INIA*. no. 60: 71 - 74.

30. Harris, O.; Hesterman, O.; Paul, E.; Peters, S.; Janke, R. 1994. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experiment. *Agronomy Journal*. 86: 910 - 915.
31. Incerti, M.; Sale, P.; O'Leary, G. 1993. Cropping practices in the Victorian Mallee: 1. Effect of direct drilling and stubble retention on the soil water economy and yield of wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 33: 877 - 883.
32. Kramberger, B.; Gselmana, A.; Janzekovic, M.; Kaligaric, M.; Brackoa, B. 2009. Effects of cover crops on soil mineral nitrogen and on the yield and nitrogen content of maize. *European Journal of Agronomy*. 31: 103 - 109.
33. Masoller, H.; Olazarri, G.; Uribe, E. 2008. Biomasa producida por coberturas anuales invernales para optimizar la dinámica del agua en el suelo y el aporte de nitrógeno en dos regiones del litoral uruguayo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 70 p.
34. Mesa, J.; Elola, U. 1996. Estudio comparativo de implantación de diferentes verdes asociados a una mezcla. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 108 p.
35. Miller, P.; Graves, W.; Williams, W.; Madson, B. 1990. Cultivos de cobertura para la agricultura de California. California, Agricultural Experiment Station. 27 p. (Agronomy Progress Report no. 219).
36. Mitchell, W.; Till, M. 1977. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. *Agronomy Journal*. 69: 569 - 573.
37. Monzón, J.; Sadras, V.; Andrade F. 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. *Field Crops Research*. 98: 83 - 90.
38. Müller, M.; Sundman, V. 1988. The fate of nitrogen (^{15}N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant and Soil*. 105: 133 - 139.
39. Odhiambo, J.; Bomke, A. 2001. Grass and legume cover crop effects on dry matter and nitrogen accumulation. *Agronomy Journal*. 93: 299 - 307.
40. Prieto, G. 2012. Pautas para el manejo del cultivo de Arveja. (en línea). Arroyo Seco, INTA. Consultado may. 2022. Disponible en

<http://inta.gob.ar/documentos/pautas-para-el-manejo-del-cultivo-de-arveja/>

41. Reeves, D.; Wood, C.; Touchton, J. 1993. Timing nitrogen application for corn in a winter legume conservation tillage system. *Agronomy Journal*. 85: 30 - 85.
42. Rosolem, C.; Pace, L.; Crusciol, C. 2004. Nitrogen management in maize cover crop rotations. *Plant and Soil*. 264: 261 - 271.
43. Rubio, M.; Lafourcade, H.; Elechosa, M. 1984. La mostaza blanca (*Sinapsis alba* L.), su importancia, cultivo y posibilidades en la Argentina. (en línea). *In: Jornadas Nacionales de actualización sobre recursos aromáticas y medicinales (9º., 1984, Necochea)*. Trabajos presentados. Buenos Aires, SAIPA. pp. 170 - 186. Consultado set. 2022. Disponible en <http://www.herbotecnia.com.ar/c-biblio009-20.htm>
44. Ruffo, M.; Parsons, A. 2004. Cultivos de coberturas en sistemas agrícolas. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (IPNI)*. no. 21: 8 - 17.
45. Santi, A.; Amado, T.; Acosta, J. 2003. Adubação nitrogenada na aveia preta: Influência na produção de matéria seca e ciclagem de nutrientes sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 27: 1075 - 1083.
46. Sawchik, J. 2000. Algunos conceptos básicos para el manejo del riego. (en línea). *In: Jornada de cultivos de verano (2000, Colonia)*. Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 1 - 5 (Serie Actividades de Difusión no. 227). Consultado mar. 2022. Disponible en <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12279/1/UY.INIA.SAD.2000.n.227.p.1-6-Sawchik.pdf>
47. _____. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. (en línea). *In: Reunión técnica sobre siembra directa (2001, Canelones)*. Memorias. Montevideo, INIA. pp. 323 - 345. (PROCISUR Documentos). Consultado mar. 2022. Disponible en http://www.inia.org.uy/novedades/jorge_sawchik.pdf
48. Scianca, C.; Álvarez, C.; Barraco, M.; Perez, M.; Quiroga, A. 2007. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos: aporte de carbono y dinámica de malezas. *In: INTA. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas, AR. Memoria Técnica 2006-2007*. General Villegas. pp. 10 - 12.

49. Siri, G.; Ernst, O. 2011. Raigras como cultivo de cobertura: efecto del largo del período de barbecho sobre la disponibilidad de agua, el riesgo de erosión y el rendimiento de soja. Cangüé. no. 31: 18 - 27.
50. Treviño, J.; Caballero, R. 1973. Estudio comparado de los rendimientos, composición químico-bromatológica y digestibilidad de las especies *Vicia sativa* y *Vicia villosa*. (en línea). Revista Pastos. no. 2: 248 - 256. Consultado mar. 2022. Disponible en <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/520/523>
51. Voss, R.; Hanway, J.; Dumenil, L. 1970. Relationship between grain yield and leaf N, P and K, concentration for corn (*Zea mays* L.) to N, P and K fertilizer. Agronomy Journal. 62: 736 - 740.
52. Wander, M.; Traina, S. 1996. Organic fractions from organically and conventionally managed soils: I. Carbon and nitrogen distribution. Soil Science Society of America Journal. 60: 1081 - 1087.
53. Zanoniani, R.; Ducamp, F. 2000. Consideraciones a tener en cuenta en la elección de verdes de invierno. Cangüé. no. 18: 22 - 26.