

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LOS CULTIVOS COBERTURA Y LA FERTILIZACIÓN
NITROGENADA SOBRE EL RENDIMIENTO DEL MAÍZ

por

Joaquín BARBEROUSSE AGUIRRE

Ignacio SANGUINETTI YOUNG

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

MONTEVIDEO

URUGUAY

2020

Tesis aprobada por:

Director: -----

Ing. Agr. Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Nicolás Fassana

Fecha: 16 de junio de 2020

Autores: -----

Joaquín Barberousse Aguirre

Ignacio Sanguinetti Young

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a nuestras familias y amigos por el apoyo y respaldo constante a lo largo de la carrera.

A los Ingenieros Agrónomos Guillermo Siri y Oswaldo Ernst por la ayuda brindada durante la realización de esta tesis.

A la Licenciada Sully Toledo por la asistencia constante durante la investigación.

A el Ingeniero Agrónomo Mauricio Bustamante por su aporte en el trabajo de campo.

A la Facultad de Agronomía y a todos sus funcionarios por acompañarnos a recorrer este camino que hoy culmina, y del cual nos llevamos muchos recuerdos y amigos.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	2
2.1. GENERALIDADES DEL MAÍZ.....	2
2.2. CULTIVOS DE COBERTURA.....	3
2.2.1. <u>Efectos generales de la utilización de cultivos de cobertura invernal</u>	3
2.2.2. <u>Características de los cultivos de cobertura utilizados</u>	6
2.2.2.1. Gramíneas	6
2.2.2.2. Leguminosas.....	8
2.3. EL NITRÓGENO.....	9
2.3.1. <u>Dinámica del nitrógeno en el suelo</u>	9
2.3.2. <u>Efectos de utilización de leguminosa como cultivo de cobertura</u>	11
2.3.3. <u>Formas de cuantificar el N para la fertilización en maíz</u>	13
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	15
3.1. CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES.....	15
3.1.1. <u>Localización</u>	15
3.1.2. <u>Tipo de suelo e historia de chacra</u>	15
3.1.3. <u>Diseño experimental</u>	15
3.2. MANEJO Y DETERMINACIONES EN EL CULTIVO	

DE MAÍZ.....	16
3.2.1. <u>Siembra del cultivo</u>	16
3.2.2. <u>Determinaciones</u>	16
3.3. <u>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA</u>	16
3.3.1. Temperatura	16
4. <u>RESULTADOS</u>	19
4.1. <u>EXPERIMENTO 1</u>	19
4.1.1. <u>Cultivos de cobertura</u>	19
4.1.1.1. Producción de materia seca de las coberturas	19
4.1.2. <u>Cultivo de maíz</u>	20
4.1.2.1. En estadio V2.....	20
4.1.2.2. En estadio V6.....	20
4.1.2.3. En estadio R1.....	20
4.1.2.4. Humedad	24
4.1.2.5. Rendimiento en grano.....	24
4.1.2.6. Componentes de rendimiento.....	25
4.2. <u>EXPERIMENTO 2</u>	29
4.2.1. <u>Cultivos de cobertura</u>	29
4.2.1.1. Producción de materia seca de las coberturas.....	29
4.2.2. <u>Cultivo de maíz</u>	29
4.2.2.1. En estadio V2.....	29
4.2.2.2. En estadio V6.....	29
4.2.2.3. En estadio R1.....	29
4.2.2.4. Humedad	32
4.2.2.5. Rendimiento en grano.....	33
4.2.2.6. Componente de rendimiento.....	34
5. <u>DISCUSIÓN</u>	37

5.1. EXPERIMENTO 1.....	37
5.2. EXPERIMENTO 2.....	41
6. <u>CONCLUSIONES</u>	45
7. <u>RESUMEN</u>	46
8. <u>SUMMARY</u>	48
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	50

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Figura No.	Página
1. Temperaturas promedio mensuales registradas durante el experimento (2018-2019) comparadas con una serie histórica (1961-2000).....	17
2. Precipitaciones promedio mensuales durante el experimento en comparación con la serie histórica de datos de 1961-2000.....	17
3. Precipitaciones diarias en período crítico.....	18
4. Producción de materia seca (Mg ha^{-1}) según cultivo cobertura.....	19
5. Nitratos en suelo (N-NO_3) según cultivo cobertura.....	20
6. Índice área foliar según dosis de nitrógeno (Kg ha^{-1}).....	21
7. Dispersión del rendimiento (Kg ha^{-1}) en función del IAF.....	21
8. Índice verde según cultivo cobertura.....	22
9. Índice verde según dosis de nitrógeno (Kg ha^{-1}).....	23
10. Relación entre índice verde y rendimiento (Mg ha^{-1}).....	23
11. Rendimiento grano maíz (Mg ha^{-1}) según cultivo cobertura.....	25
12. Rendimiento grano maíz (Mg ha^{-1}) según dosis de N (Kg ha^{-1}).....	25
13. Espigas por plantas según cultivo cobertura.....	26
14. Espigas por planta según dosis de N (Kg ha^{-1}).....	26
15. Número de granos por espiga según cultivo cobertura.....	27
16. Número de granos por espiga según dosis de N (Kg ha^{-1}).....	27
17. Peso de mil granos (g) según cultivo cobertura.....	28
18. Peso de mil granos según dosis de N (Kg ha^{-1}).....	28
19. IAF según dosis de N (Kg ha^{-1}).....	30
20. Relación entre IAF y rendimiento (Mg ha^{-1}).....	30

21. Índice verde según cultivo cobertura.....	31
22. Índice verde según dosis de N (Kg ha ⁻¹).....	31
23. Relación entre IV y rendimiento (Mg ha ⁻¹).....	32
24. Rendimiento de grano de maíz (Mg ha ⁻¹) según cobertura.....	33
25. Rendimiento de grano de maíz (Mg ha ⁻¹) según fertilización.....	34
26. Número de espigas por planta según cultivo cobertura.....	34
27. Número de granos por espiga según cultivo cobertura.....	35
28. Granos por espiga según dosis de N (Kg ha ⁻¹).....	36

Tabla No.

1. Rendimiento de grano de maíz según cobertura y dosis de N (Kg ha ⁻¹).....	24
2. Rendimiento de grano de maíz según cobertura y dosis de N (Kg ha ⁻¹).....	33

1. INTRODUCCIÓN

En los actuales sistemas agrícolas nacionales es de vital importancia la sustentabilidad del sistema productivo en el tiempo. Esto se traduce a pérdidas de suelo por erosión por debajo de la tolerancia permitida. Para ello, una medida de manejo en agricultura son los cultivos de cobertura (CC), que proporcionan una protección de la erosión del suelo y mejora el balance de carbono debido a su aporte de biomasa vegetal. En esta línea, las coberturas son capaces de cubrir el suelo en épocas donde en caso de tener suelo descubierto, la erosión sería potencialmente mayor. En adición a esto, estos cultivos también son capaces de reciclar nutrientes e introducir rastrojo al sistema, mejorando la calidad química, física y biológica del suelo (Fernandes y Libardi, 2012).

Otro aspecto a destacar de la agricultura uruguaya actual es la gran importancia del factor rendimiento de los cultivos en la ecuación agronómica debido a los altos costos de producción y los bajos precios fijados por los mercados internacionales. Por ello, la fertilización nitrogenada, principalmente con urea, juega un rol preponderante en los cultivos. Particularmente en el caso del maíz el nitrógeno es el elemento más importante y más limitante en la producción (Ziech et al., 2016).

Sa Pereira (2014) establece que existen tres tipos de respuesta a la aplicación de nitrógeno (N) de los cultivos de cosecha en función de la inclusión de cultivos de cobertura. En primer término, en condiciones de N no limitante, el rendimiento sobre CC es menor que el testigo sin CC. En segundo lugar, existe respuesta positiva del cultivo a la fertilización cuando es establecido sobre CC, y en última instancia, además de una respuesta positiva a la fertilización, el rendimiento es superior que el testigo.

Con base en estos estudios, el objetivo fue evaluar el efecto de los cultivos de cobertura y la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de un maíz sembrado en un sistema de monocultivo.

Los objetivos específicos son en primer término evaluar el rendimiento y sus componentes en el cultivo de maíz, en segundo lugar, conocer el impacto de las coberturas en la dinámica del N y por último observar la respuesta y la eficiencia al agregado de N.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. GENERALIDADES DEL MAÍZ

Paiwal et al. (2001) definen al maíz como: *“Uno de los granos para alimento más antiguo que se conoce, perteneciente a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas y es la única especie del género Zea cultivada (...), la evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz fueron estimadas en más de 5 000 años de antigüedad”*.

Se trata de una planta muy eficiente a la hora de producir biomasa, principalmente debido a su metabolismo C4 (Taiz y Zeiger, citados por Azcón-Bieto y Talón, 2008). Del total de biomasa producida en maíz el 50% aproximadamente corresponde a los órganos reproductivos, lo que transforma a este cultivo en uno de los de mayor rendimiento en grano, siendo los ambientes con altas radiaciones y elevada amplitud térmica los que permiten obtener muy buenos potenciales (Andrade et al., 1996).

En términos de rendimientos existen grandes diferencias entre la producción bajo riego y en seco. Para el primer caso, el rendimiento promedio nacional del ejercicio 2018-2019 fue de 9.28 Mg ha⁻¹, mientras que en el mismo ejercicio en el caso de producción en seco el rendimiento promedio fue de 7.97 Mg ha⁻¹ (maíz de primera, MGAP. DIEA, 2019), con la particularidad de que fue un verano con altísimas lluvias.

En cuanto a la anatomía reproductiva, el maíz se caracteriza por ser una especie diclino monoica, con el órgano masculino (panoja) en posición apical y la espiga femenina en posición axilar (Poehlman y Sleper, 2003).

El desarrollo del cultivo se encuentra influido por el genotipo, así como también por variables ambientales como la temperatura y el fotoperíodo (Ellis et al., 1992).

En cuanto a la temperatura, la misma actúa durante todo el ciclo fenológico del maíz, afectando tanto el crecimiento como el desarrollo. Por encima de una temperatura base de 8-9°C para la mayoría de las etapas fenológicas, la tasa de desarrollo aumenta linealmente hasta los 30-34°C, decreciendo hasta la nulidad a los 40-44°C (Guevara, citado por Rameau y Van Den Dorpel, 2016). Para el crecimiento, el rango óptimo de temperaturas en el que se expresan las mayores tasas de fijación de asimilados, se ubica entre 24 y 30°C; sin embargo, altas temperaturas durante la noche favorecen la respiración, generando un acortamiento en el ciclo y un menor crecimiento por planta (Fassio et al., 1998).

Por otro lado, en relación al fotoperíodo el maíz se comporta como una especie cuantitativa de día corto. Es decir que el tiempo transcurrido hasta llegar a floración femenina (R1) se reduce con el acortamiento de los días por debajo de un umbral crítico de 12 a 13 hs (Ellis et al., 1992).

2.2. CULTIVOS DE COBERTURA

2.2.1. Efectos generales de la utilización de cultivos de cobertura invernal

Los cultivos de cobertura contribuyen a una serie de servicios de los ecosistemas tales como: fijación biológica del N, mejora estabilidad física e infiltración de agua, y controla la erosión y lixiviación debido a la acumulación de biomasa de dichos CC (Linsler et al., 2018), así como también aportan carbono al sistema. A diferencia de las pasturas, no son de renta directa y su ciclo productivo se ve limitado por los manejos del cultivo principal, dentro de un sistema de siembra de cultivos anuales (Reeves y Touchton, 1991). Los CC son sembrados entre dos cultivos de cosecha y no son incorporados al suelo (a diferencia de los abonos verdes), pastoreados (distinto a los verdes) o cosechados (Ruffo y Parsons, 2004).

El rastrojo de los CC queda en la superficie, y a medida que se va descomponiendo va liberando los nutrientes contenidos en la biomasa vegetal. Tradicionalmente, los CC han sido utilizados para el control de erosión, pero es innegable la capacidad de cumplir múltiples funciones, sumado a las mencionadas anteriormente, como la reducción de la compactación, control de malezas, entre otras (Ruffo y Parsons, 2004).

Balbinot Jr. et al. (2011) establecen que, si bien los CC pueden aumentar la MO de los suelos debido a una mayor producción de biomasa y su degradación, la rentabilidad económica no es inmediata, ya que la inversión puede retornar dentro del cultivo siguiente o incluso en años siguientes.

Siembras tempranas de estos cultivos generan mayor acumulación de biomasa reduciendo los riesgos de pérdidas por lixiviación de N, pero es probable que reduzca el rendimiento de maíz y que se afecte negativamente la descomposición de restos debido a una mayor relación C/N (Finney et al., 2017).

Existen numerosos mecanismos responsables del efecto de los CC sobre las poblaciones de malezas, entre los que se destacan la reducción en la intercepción de luz (efecto de sombreo), consumo de agua, competencia por nutrientes, cambios en la temperatura del suelo (Fisk et al., 2001).

En cuanto al control de malezas, Baigorria et al. (2011) establecen que la supresión de malezas aumenta al incrementar la producción de materia seca del CC, y a su vez el control de la maleza será consistente si el rastrojo del CC se encuentra uniformemente distribuido sobre la superficie del suelo. En adición

a esto, Scianca et al. (2011) comprobaron que al utilizar CC, el porcentaje de malezas disminuía, y esta disminución tenía una relación directa con la cantidad de rastrojo. En apoyo a esto, Fakhari et al. (2015) en un experimento realizado en Irán establecieron que el uso de cultivos de cobertura reduce en número y peso seco de malezas con respecto al barbecho limpio, fundamentalmente en otoño-invierno. Dolivajonic et al. (2016) encontraron que el número de malezas (especialmente de especies perennes problemáticas) disminuía considerablemente al utilizar CC, impactando directamente en el rendimiento del maíz.

Otro mecanismo de disminución de malezas por parte de los CC son los efectos alelopáticos, que pueden influir en la germinación de las semillas de maleza y/o inhibir el crecimiento de las mismas (Kunz et al., 2016). Además, estos efectos inhibitorios pueden influenciar, de diferentes maneras e intensidades en la cosecha de verano siguiente (Shah et al., 2016). Es importante destacar que se han documentado efectos negativos de los CC sobre rendimiento de cultivos subsiguientes, siendo parte de estos efectos, la liberación de sustancias alelopáticas (Marcillo y Miguez, 2017).

En el estudio realizado por Bacigaluppo et al. (2013), se evidenció un aumento de un 21% de C en la fracción gruesa de la materia orgánica por efecto de la inclusión de los cultivos de cobertura en la rotación.

Los CC pueden afectar la dinámica del agua en el suelo, a través de la reducción de la escorrentía, aumentos en la infiltración y reducción en la evaporación, por lo cual, de alguna manera, puede beneficiar el rendimiento de los cultivos (Siri y Ernst, 2012). En cuanto al control de la erosión y escorrentía, Omae y Nagumo (2016) establecieron que existieron reducciones entre un 67 y 99 % y un 85 y 93 % respectivamente, independientemente del cultivo de cobertura utilizado (*Avena sativa* y *Vicia villosa*).

Por su parte, 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 del uso del agua, que puede aumentar la disponibilidad para el cultivo agrícola siguiente (Bacigaluppo et al., 2013) En contrapartida, estos pueden reducir la cantidad de agua almacenada en el perfil del suelo, y, si las precipitaciones posteriores al secado no son suficientes para recargarlo, pueden afectar negativamente los rendimientos del cultivo de cosecha (Reicosky y Forcella, citados por Bacigaluppo et al., 2013).

En experimentos realizados por Siri y Ernst (2012) se obtuvieron resultados muy opuestos a los anteriormente mencionados. Según sus estudios, los CC redujeron en un 35 % la disponibilidad de agua en suelo. Además, en cuanto a $N-NO_3^-$ tanto a siembra como a V6, se obtuvieron valores 41 y 29 %

superiores respectivamente, en tratamientos de barbecho limpio. Estas mejores condiciones de suelo determinaron mayores rendimientos en barbecho limpio que en coberturas, tanto leguminosas como gramíneas. En apoyo a esto, Balbinot Jr et al. (2011) establecieron que las coberturas invernales no tuvieron efecto en el rendimiento de maíz y soja cultivados sucesivamente.

En esta misma línea, Cupina et al. (2017) demostraron que, al momento de siembra del maíz, los tratamientos con cultivos de cobertura tenían un contenido de agua significativamente inferior que el testigo, y dentro de ellos el de menor cantidad de agua fue el triticale.

Según Ruffo y Parsons (2004), es importante elegir el CC según el cultivo sucesor, y en esta línea los autores afirman que es más recomendable utilizar una leguminosa antes del maíz y una gramínea antes de la soja. La inclusión de leguminosa aporta C, genera cobertura, reduce el requerimiento de fertilizante nitrogenado e incrementa el rendimiento potencial del maíz, y en el caso de la gramínea invernal, es útil para absorber nitratos residuales, aportar C e incrementar la cobertura del suelo (Ruffo y Parsons, 2004).

Fakhari et al. (2015) establecieron que los rendimientos de forraje fresco de maíz en los tres cultivos de cobertura utilizados fueron superiores al tratamiento sin cultivo de cobertura, y dentro de los CC, las dos leguminosas utilizadas (vicia y trébol) fueron mayores que el centeno.

Janosevic et al. (2017) obtuvieron diferencias significativas en cuanto a rendimiento de maíz con diferentes coberturas y barbecho limpio. Los mayores rendimientos se obtuvieron con arveja y col, y los menores rendimientos en suelos desnudo.

Komainda et al. (2018) no encontraron diferencias significativas en rendimiento de maíz al comparar CC (raigrás y centeno) y barbecho limpio, fertilizando ambos tratamientos a igual dosis de N.

Cupina et al. (2017) posteriormente al análisis de datos de un experimento realizado en tres localidades diferentes de Serbia, dos años consecutivos, establecieron que los tratamientos con CC (triticale y arveja) obtuvieron estadísticamente menor rendimiento de maíz para ensilaje que el testigo. Este menor rendimiento encontrado podría ser explicado por una competencia de agua y de nutrientes (Kramberger et al., citados por Cupina et al., 2017).

Según Martínez-Feria et al. (2016) la reducción del rendimiento de maíz encontrada al utilizar *Lolium multiflorum* como cobertura puede ser debida a retrasos en la fecha de siembra, efectos alelopáticos y/o al estrés hídrico.

2.2.2. Características de los cultivos de cobertura utilizados

2.2.2.1. Gramíneas

Las gramíneas constituyen el volumen más importante de forraje, sin embargo, para que mantengan una alta producción es necesario disponer de altas cantidades de N a través de fertilizaciones nitrogenadas o siembras asociadas a leguminosas (Carámbula, 2010), siempre y cuando el suelo no tenga la capacidad de cubrir la demanda. En cuanto a las ventajas que tiene esta familia sobre las leguminosas se destacan la muy buena adaptabilidad a la mayoría de los suelos, presentan pocos ataques de plagas y enfermedades, alta persistencia de las pasturas, permiten control de malezas de hoja ancha fácilmente, entre otras (Carámbula, 2010).

Avena byzantina cv La Estanzuela 1095^a

Se trata de un cultivar de tipo amarillo y es el más difundido a lo largo de todo el país. Admite siembras en enero-febrero que aumentan la producción de biomasa en otoño ya que presenta buena tolerancia al estrés generado por las altas temperaturas, aunque esta práctica reduce la producción de fines de invierno y primavera (Ayala et al., 2010). Las siembras muy tempranas se realizan a altas densidades (100-120 kg/ha) y se adapta muy bien a suelos de texturas medias y pesadas, bien drenado.

Formoso (2011) afirma que existe una ventaja en la siembra en línea tanto en términos de producción, así como también de precocidad en la entrega del mismo.

Según Ayala et al. (2010) las plantas son muy macolladoras, de hojas finas, de color verde claro, y floración intermedia. En la etapa reproductiva las plantas son altas, de tallos finos susceptibles al vuelco. Presenta una aceptable resistencia a roya de la hoja y muy buena resistencia a roya del tallo en primavera, ha demostrado estabilidad en el transcurso de las décadas. Cuando los otoños son cálidos y húmedos puede presentar una alta incidencia de roya de la hoja que afecta la calidad del forraje.

Por su parte, Quiroga et al., citados por Ridley (2013), midieron producciones de avena de 3.50 a 5.50 Mg ha⁻¹ de materia seca (MS) en 131 días de ciclo en 30 de agosto (Prov. Bs. As.) y 1.10 a 1.40 Mg ha⁻¹ en 100 días de ciclo en Dorila (Prov. La Pampa).

Lolium multiflorum cv La Estanzuela 284

El raigrás La Estanzuela 284 es un material diploide, tipo westerwoldicum de alta adaptación en la región. Se trata de una variedad estrictamente anual la cual no tiene requerimientos de frío y por tanto casi todos los macollos florecen

independientemente de la época de siembra y mueren en el verano. Dicho material es de ciclo corto con muy buena producción de otoño-invierno, y se caracteriza por ser de fecha de siembra temprana (principios de marzo) y florecer entre el 25 de setiembre y el 5 de octubre (Ayala et al., 2010).

Por su floración temprana normalmente escapa a las infecciones de primavera de roya y son pocos los cultivares que lo superan en producción hasta mediados de invierno.

Según Carámbula (2010) es recomendable sembrarlo utilizando densidades de 15-20 kg/ha en siembra pura o 10-15 kg/ha en mezclas con avena en la fecha óptima ya mencionada para evitar que se acorte el ciclo productivo.

En experimentos realizados por Formoso (2011) se encontró que la producción de forraje de Estanzuela 284 sembrado en fechas tardías (mayo) es en el entorno de los 5.6 Mg ha⁻¹.

Triticale

El triticale es una gramínea anual invernal de la tribu Poáceae y es el primer cereal de valor comercial creado por el hombre. Es el resultado de la hibridación entre materiales de los géneros *Triticum* y *Secale*. La planta es rústica, tolera suelos con pH ácidos, incluso con Al intercambiable. Además, presenta rápido establecimiento, con gran vigor inicial, resistencia al vuelco y altísima producción de biomasa que comienza a notarse 60 días post siembra (Ayala et al., 2010).

Entre las variedades evaluadas en Uruguay, INIA Caracé fue seleccionada por su excelente producción invernal, buena sanidad, alta precocidad, buena adaptación a suelos arenosos ácidos, rusticidad al complejo de enfermedades foliares, ciclo muy corto y escaso macollaje (Zanoniani y Duncamp, 2000).

En cuanto a la siembra, Bologna (2014) recomienda que sea efectuada desde el 25 de febrero hasta el 25 de abril para aprovechar el potencial de producción otoño-invernal. Admite siembras hasta junio para ensilaje de planta entera. Por su parte recomienda una densidad mínima de siembra de 100 kg/ha y en el caso de ambientes húmedos, suelos fértiles o siembras tardías (fines de marzo a junio) la densidad se debe incrementar hasta 120 kg/ha.

Por su parte, Baigorria et al. (2013) destacan que el control de malezas que proporciona el residuo de triticale rolado redujo un 75 % las aplicaciones de herbicidas, resultando los márgenes brutos similares a un barbecho sin cultivo de cobertura.

En estudios publicados por Álvarez et al., citados por Ridley (2013) se obtuvieron en promedio de 3 zafras, entre 3.181 y 4.921 Mg ha⁻¹ de MS secando en macollaje y fines de encañazón respectivamente.

2.2.2.2. Leguminosas

Las leguminosas son muy utilizadas como CC debido a sus propiedades fijadoras de nitrógeno. Además, mejoran la estructura del suelo, particularmente en profundidad por ende mejor enraizamiento para el cultivo siguiente y aportan una masa importante de residuos particularmente fermentables y que activan la vida microbiana del suelo (Carámbula, 2010).

Pisum sativum

La arveja es una leguminosa de la familia de las Fabáceas, subfamilia Papilionoidea. Presenta respuesta fotoperiódica cuantitativa a días largos, y las variedades cultivadas tienen hábito de crecimiento indeterminado. La temperatura también juega un papel importante, ya que las etapas desde germinación están en función de la temperatura, debiendo acumular a la emergencia 120-166 °C (Tb=0), mientras que a floración entre 650 y 700 °C (Prieto, 2012).

La introducción de esta leguminosa en el país data del año 2007, siendo los materiales originarios de Canadá, y se utilizaron para rotaciones con soja (Bauza et al., 2013).

Las variedades de arveja cultivadas son de ciclo corto, sembrándose desde julio hasta mediados de agosto. Es importante señalar que se debe evitar siembras con pronósticos de lluvia o fríos excesivos debido a la gran sensibilidad, en etapas de germinación, a las bajas temperaturas (Prieto, 2012).

En cuanto a la estructura del cultivo, la densidad de siembra depende de la variedad y van desde 170 a 300 kg/ha con el objetivo de lograr un stand de plantas entre 80 y 100 pl/m². En la actualidad, existen experiencias exitosas de distancia entre hileras de 19, 21 y hasta 26 cm (Prieto, 2012). En condiciones normales de crecimiento y desarrollo la planta puede alcanzar los 50 cm de altura, y obtener rindes en grano de hasta 4.0 Mg ha⁻¹ (Prieto, 2012).

Ziech et al. (2016) concluyeron, luego de un experimento en Paraná (Brasil), que, utilizando arveja como cultivo antecesor al maíz, no existe efecto de la fertilización nitrogenada para la mayoría de los componentes del rendimiento.

Trifolium alexandrinum

El trébol alejandrino es una leguminosa anual, invernal, de ciclo muy largo erecto. Se adapta a zonas húmedas sin heladas severas, tolera condiciones

de anegamiento temporario, muy apto para coberturas de invierno y baja resiembra natural (Carámbula, 2010).

Tiene una buena adaptabilidad a distintos tipos de suelo, pero los más adecuados son aquellos de texturas medias y bien drenados, tolera bien suelos salinos y alcalinos (Ayala et al., 2010).

INIA Calipso fue obtenido a través de selección por rebrote, vigor, hojiosidad, y resistencia a enfermedades. Este cultivar es de muy buen rebrote y buena relación hoja/tallo (García, 2000).

Según Ayala et al. (2010) Calipso puede sembrarse desde principios de marzo hasta fines de agosto, pero las siembras tempranas en otoño son las que permiten explotar su potencial otoño invernal. Las densidades de siembra van de 15-18 kg/ha, sobre tierra preparada no hay diferencias entre siembras en líneas o al voleo y la semilla debe ser inoculadas con cepas específicas de rizobio (García, 2000).

Si bien la época de siembra, como se mencionó anteriormente es muy amplia, Carámbula (2010) establece que siembras tardías no son recomendables ya que, al aumentar los fríos, esta especie enlentece su crecimiento inicial y las plántulas sufren muy especialmente frente a la ocurrencia de heladas, desde coloraciones rojizas en hojas hasta muerte de plantas.

Según Ayala et al. (2010) la producción anual de trébol alejandrino es de 7.0 Mg ha⁻¹ año con un aporte del 66 % en primavera, y el restante 34 en invierno. En caso de inviernos muy fríos, con heladas severas, su producción cae radicalmente hasta 3.5 Mg ha⁻¹año, pero en condiciones favorables como primaveras con buena humedad y temperatura su producción de forraje puede superar las 12 Mg ha⁻¹año.

En cuanto a su capacidad de fijación de nitrógeno, el trébol alejandrino puede fijar entre 200 y 400 kgNha⁻¹año⁻¹. En Uruguay se estima que, en base a su excelente nodulación junto con su vigor y rendimiento de los cultivos, la fijación de nitrógeno estaría en el entorno de los 200 kgNha⁻¹año⁻¹ (Ayala et al., 2010).

2.3. EL NITRÓGENO

2.3.1. Dinámica del nitrógeno en el suelo en relación a CC

La materia orgánica (MO) es un componente clave de los suelos por su influencia en propiedades físicas, químicas y biológicas que afectan la productividad de los cultivos (Sawchik, 2001). La biomasa microbiana del suelo constituye la parte viva de la MO y es la encargada de asimilar el N proveniente de la mineralización, amonios o nitratos y transformarlo en compuestos orgánicos a través de la inmovilización, los cuales pueden volver a ser mineralizados

posteriormente. Este continuo pasaje de N orgánico a mineral es conocido como MIT y juega un rol fundamental en el reciclaje de nutrientes (Sawchik, 2001).

La inclusión de CC provoca mejoras en las condiciones del suelo, tanto a corto, mediano, como largo plazo (Sparks, 2003). Aspectos como control de malezas y mejora de actividades biológicas son visualizados a corto plazo, mientras que aumentos en contenido de carbono orgánico del suelo (COS) y propiedades asociadas pueden llevar más tiempo (Baigorria y Cazorla, 2016). En base a estas afirmaciones, Baigorria y Cazorla (2016) realizaron un experimento para conocer el efecto de CC sobre las reservas de COS y su fracción lábil en la región pampeana. Los resultados arrojaron que los cultivos de cobertura aumentaron los contenidos de COS principalmente en la profundidad de 0-5 cm. También se observaron incrementos en carbono orgánico particulado (COP) para la misma profundidad. Esto concuerda con lo expuesto por Dube et al. (2012) los cuales expresan que los CC son los principales aportadores de materia orgánica particulada. En adición a esto, la infiltración acumulada fue mayor en los tratamientos con CC en todas las localidades.

Otras prácticas de manejo tales como riego, laboreo y fertilización nitrogenada regulan la actividad microbiana, impactando finalmente en el balance de carbono del suelo (Wang et al., 2015).

En cuanto a la descomposición de los residuos de los cultivos de cobertura, Santi et al. (2003) afirman que los procesos de descomposición son gobernados por factores bióticos y abióticos. Dentro de ellos, la relación C/N juega un rol importante en la descomposición e inmovilización/mineralización del nitrógeno. Rastrojos con relación C/N en torno a 25 causan equilibrio en estos procesos, mientras que por debajo de este valor promueven la mineralización, y por encima inmovilización (Aita, 1997).

En apoyo a esto, Omae y Nagumo (2016) compararon dos cultivos de cobertura con distinta relación C/N, y encontraron que en el caso de *Vicia villosa* la mineralización de los restos era significativamente más rápida que en *Avena strigosa*, explicado principalmente por una menor relación C/N.

En los casos de utilización de gramíneas como coberturas, debido a la calidad de los residuos incorporados, la ocurrencia de inmovilización de N es probable (Sawchik, 2001).

La temperatura es otro factor que afecta los procesos de descomposición y mineralización ya que el aumento de temperaturas causa incrementos en la tasa de descomposición del rastrojo y también aumenta la velocidad de mineralización del nitrógeno orgánico del suelo (Sawchik, 2001).

Es importante manejar el período de barbecho previo al cultivo de maíz, ya que en caso de que los cultivos de cobertura sean de baja calidad (alta relación C/N), los tiempos deberán ser mayores que en casos alta calidad. Unido a esto, Ernst, citado por Sawchik (2001), obtuvo mayor disponibilidad de N mineral como nitrato a la siembra con barbechos de mayor duración. En cambio, cuando el antecesor fue una pastura de buena calidad, en tiempos cortos de barbecho se alcanzaron valores de nitratos aceptables para los cultivos de verano, pero la diferencia fue que en barbechos largos se logró una mayor acumulación de agua (Sawchik, 2001).

Según Santi et al. (2003) el uso de avena negra como cultivo de cobertura podría causar problemas en la nutrición y el rendimiento del maíz posterior, debido a que esta gramínea tiene alta relación C/N (32-48), por lo que el proceso de descomposición está afectado por la disponibilidad de N, pudiendo haber inmovilización temporaria de este nutriente en suelo. Un mecanismo para alterar esta relación puede ser la fertilización nitrogenada de la avena, logrando mayores flujos de N al sistema (Sá, citado por Santi et al., 2003).

En contraposición a esto, el uso de una leguminosa como arveja, a causa de su alta tasa de descomposición y capacidad de fijar N₂ atmosférico por FBN, es capaz de aportar cantidades significativas de N al cultivo de maíz siguiente, llegando en algunos casos a producciones similares que con fertilizaciones nitrogenadas (Giacomini et al., 2004).

2.3.2. Efectos de utilización de leguminosa como cultivo de cobertura

Los cultivos de cobertura son la herramienta ideal a la hora de buscar un sistema de producción sustentable, por el simple hecho de mejorar el aporte de biomasa vegetal, en relación a un barbecho químico, mejorando así el balance de C. A su vez, ellos mismos implican un aumento en los rendimientos del maíz (Ruffo y Parsons, 2004).

Según Ruffo y Parsons (2004) además de generar cobertura y aportar carbono, la utilización de una leguminosa como cultivo de cobertura implica una reducción en los requerimientos de fertilizante nitrogenado. Con respecto a esto, Griffin et al. (2000) establecieron que es posible suministrar todo el nitrógeno necesario para más de 20 Mg ha⁻¹ de grano de maíz dulce utilizando como CC a *Vicia Villosa*. En apoyo a esto, Ziech et al. (2016) afirman que es posible incluso suprimir la fertilización nitrogenada en sistemas de leguminosa/maíz.

En apoyo a esto, Ernst (2006) concluyó, tras un experimento evaluando efecto de CC y fertilización nitrogenada sobre maíz sembrado sin laboreo, que el crecimiento, absorción de N y rendimiento de maíz fue incrementado por la siembra de una leguminosa anual como CC durante el invierno previo.

Balbinot Jr. et al. (2011) luego de un ensayo realizado en Santa Catarina (Brasil) concluyeron que no existieron diferencias significativas en rendimiento de maíz entre CC con y sin fertilización. Establecen que probablemente el N absorbido por el maíz fue suministrado por FBN.

Se han observado dos tipos de respuesta en los rendimientos de maíz a la hora de comparar el efecto de una leguminosa de cobertura antecesor contra un barbecho invernal. En la primera se ha demostrado que el simple hecho de tener una leguminosa de cobertura implica una mejora en los rendimientos, lo cual puede ser igualado solamente con dosis de fertilizante que maximicen el rendimiento. Por otra parte, se ha probado que el efecto de la fertilización en la maximización de los rendimientos no es suficiente para igualar el efecto del cultivo de cobertura, por el denominado "efecto de rotación". Las causas de este efecto se atribuyen a la conservación del agua, control de malezas, mejora en propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y reducción de la presión de patógenos (Ruffo y Parsons, 2004).

La capacidad potencial de fijación de nitrógeno de las leguminosas presenta un amplio rango que va desde 50 kg ha⁻¹año⁻¹ en el caso de la judía, hasta valores de 250 kg ha⁻¹año⁻¹ en el caso de la alfalfa (Fernández-Pascual et al., 2002).

En estudios realizados por Ernst (2006), donde utilizó como CC *Trifolium alexandrinum* entre dos cultivos de maíz, se determinó que el crecimiento y el rendimiento en MS y grano de maíz sobre CC fue significativamente superior que sobre barbecho en los testigos sin agregado de fertilizante a la siembra. En este estudio también se refleja que la concentración de N-NO₃⁻ en suelo hasta V6 es menor en CC, explicado por una mayor extracción por parte del cultivo, reflejado en mayores producciones de materia seca.

En el experimento anteriormente mencionado, Ernst (2006) concluyó que el agregado de N a la siembra eliminó las diferencias entre cultivo de cobertura y barbecho limpio (BL), aunque el máximo rendimiento en grano se obtuvo con 40 kg ha⁻¹ de N sobre CC, y la respuesta fue lineal hasta los 60 kg ha⁻¹ en BL.

Omae y Nagumo (2016) establecieron que la vicia mostró mayor eficacia que la *Avena strigosa* para aumentar la biomasa y el rendimiento de maíz debido a una mayor rapidez en la mineralización de los residuos contribuyendo al crecimiento del cultivo.

Ziech et al. (2016) en un experimento para evaluar la interacción de distintos cultivos de cobertura y la fertilización nitrogenada sobre los componentes de rendimiento de maíz establecieron que, en ausencia de fertilización nitrogenada, los cultivos de maíz proveniente de CC de leguminosa obtuvieron mayores números de grano por espiga que los provenientes de

gramíneas, pero esta diferencia desaparece cuando se fertiliza con 180 kg N ha^{-1} . En cuanto al peso de grano, no se encontraron diferencias significativas entre coberturas de leguminosa y gramínea, pero al fertilizar con 180 kg N ha^{-1} el peso de grano aumentó 12.4 %.

En contraposición a esto, Muzangwa et al. (2015) determinaron, luego de analizar una serie de mezclas de distintas proporciones de *Vicia dasycarpa* y *Avena strigosa*, los mayores rendimientos de maíz no se obtuvieron con 100 % vicia, si no que la combinación que maximizó los rendimientos fue 70% avena y 30 % vicia.

2.3.3. Formas de cuantificar el N para la fertilización en maíz

Bordoli (1999) establece que la forma, fuente y momento de aplicación de fertilizante es importante para aumentar la eficiencia debido al incremento en la probabilidad de pérdida de eficiencia por inmovilización de fertilizantes en superficie, volatilización de NH_3 y lixiviación de NO_3^- .

Según Sawchik (2001) el indicador más utilizado para conocer la probabilidad de respuesta al agregado de N es la concentración de nitratos en el suelo en determinado momento, ya que demuestra el balance de inmovilización-mineralización que está ocurriendo en el campo. Una limitante que tiene este indicador es su gran variabilidad en el corto plazo gracias a condiciones ambientales y al agregado de residuos.

Existen otros indicadores de disponibilidad de nitrógeno que pueden complementar el análisis de nitratos del suelo. Carriquiry et al., citados por Sawchik (2001) evaluaron 3 indicadores biológicos de disponibilidad de nitrógeno: a) incubación aeróbica a 15° C de 28 días, b) incubación aeróbica a 30° C de 28 días y c) incubación anaeróbica a 40° C durante siete días. Los resultados demostraron que a medida que el porcentaje del tiempo total de rotación bajo pasturas aumentaba, aumentaba también el potencial de mineralización del nitrógeno. A su vez, encontraron que el porcentaje de N mineralizado disminuía con la reducción del tiempo bajo pasturas, demostrando un pool más lábil de N al incluir pasturas en los sistemas.

La dosis de fertilizante N a agregar debe calcularse en base a la diferencia entre lo requerido por el cultivo y lo suministrado por el suelo, es decir, lo agregado es un complemento de lo que aporta el suelo (Bordoli, 1999). En base a esto, el autor mencionado establece que, luego de conversaciones personales con Perdomo, los niveles críticos para maíz serían 18-25 ppm de N-NO_3 en V6 con un equivalente fertilizante de 2.5 kg ha^{-1} .

Como hipótesis biológicas se plantean, en primer caso, que el aporte de N desde el suelo a un cultivo de maíz sembrado sin labranza luego de un

CC de leguminosa es superior al aportado luego del barbecho invernal, y este supera el aporte luego de CC gramínea. En segundo lugar, y debido lo anteriormente expuesto, este aporte diferencial desde el suelo determina menor respuesta a la fertilización nitrogenada del maíz cuando es sembrado luego de un CC invernal de leguminosas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS EXPERIMENTALES

3.1.1. Localización

El experimento tuvo lugar en el departamento de Paysandú, específicamente en la Estación Experimental Mario A Cassinoni ubicada en la ruta 3 km 363, a 10 km al Sur de la capital departamental.

3.1.2. Tipo de suelo e historia de chacra

Según Altamirano et al. (1976), la chacra se encuentra en la Unidad San Miguel, con suelos dominantes del tipo Brunosol Éutrico Típico con 4.3 % MO y 12 ppm de fósforo (Bray 1). Se ubica dentro del grupo CONEAT 10.9 con un índice de productividad de 150.

El trabajo de campo se realizó desde octubre 2018 a abril 2019. Cabe mencionar que los CC se sembraron en abril 2018 y el inicio del barbecho químico (glifosato) fue a mediados de setiembre de ese año. Este cultivo de maíz fue el décimo segundo año de realización de este ensayo, en donde se realiza un sistema de rotación de agricultura continua, a través de la utilización de siembra directa, para obtener un cultivo renta por año.

3.1.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un diseño en bloques completos al azar en parcelas divididas, siendo la parcela mayor el cultivo de cobertura, y la parcela menor la fertilización. Se realizaron al menos 3 repeticiones por tratamiento, utilizando como unidad experimental una subparcela de 50 m² (20*2.5 m).

El modelo estadístico utilizado para ambos experimentos fue el siguiente: $Y_{ijk} = \mu + \gamma_k + \tau_i + (\gamma\tau)_{ki} + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$, siendo Y_{ijk} las observaciones de la unidad experimental, μ la media general, γ_k el efecto de los bloques, τ_i el efecto de los cultivos cobertura $(\gamma\tau)_{ki}$ el error de la parcela grande (CC), β_j el efecto de la fertilización nitrogenada $(\tau\beta)_{ij}$ el efecto de interacción CC x fertilización nitrogenada y ε_{ijk} el error de la subparcela (fertilización nitrogenada). Este modelo cumple, para la condición de parcela grande, que los errores son variables aleatorias independientes, idénticas, con distribución normal, con media 0 y varianza de error de la parcela grande. Para la condición de parcela chica, cumple con los requisitos de que los errores son variables aleatorias independientes, idénticas, con distribución normal, con media 0 y varianza de error de la subparcela.

Debido a que se utilizaron una combinación de cultivos de coberturas y dosis de nitrógeno diferencial entre estos, la información fue analizada como dos experimentos, siendo parte de las coberturas y de las dosis utilizadas en ambos experimentos.

En el experimento I se utilizaron 6 tratamientos CC (incluye el testigo sin cultivo cobertura y dos dosis de nitrógeno a V6 del maíz (0 y 50 kg N ha⁻¹). Las coberturas utilizadas fueron tres gramíneas (*Avena bizantina*, *Lolium multiflorum* y *Triticale*) y dos leguminosas (*Trifolium alexandrinum*, *Pisum sativum*), siendo el testigo tecnológico el sin CC.

Para el experimento II se utilizaron 3 tratamientos de CC (no incluye el testigo sin CC) y tres dosis de nitrógeno a V6 del maíz (0, 50 y 100 kg N ha⁻¹). Las coberturas utilizadas fueron una gramínea (*Avena bizantina*) y dos leguminosas (*Trifolium alexandrinum* y *Pisum sativum*).

3.2. MANEJO Y DETERMINACIONES EN EL CULTIVO DE MAÍZ

3.2.1. Siembra del cultivo

La siembra del maíz fue realizada el 16 de octubre de 2018 utilizando un híbrido DS 507PW, con una sembradora de siembra directa Semeato SH 11 de doble disco desfasado de 5 líneas distanciadas 0.5 m. ente sí y a una densidad de siembra de 4.0 semillas/metro lineal, buscando una población objetivo de 7.5 plantas m⁻². El día de la siembra se hizo una aplicación de glifosato para hacer un control de malezas y se fertilizó con 100 kg ha⁻¹ de 18/46.

3.2.2. Determinaciones

Se realizaron muestras compuestas de suelo con el objetivo de conocer la concentración de nitratos en suelo. Para ello se recolectaron 8 submuestras por parcela con un calador a 20 cm de profundidad y luego se colocaron en una bolsa para su posterior secado en estufa a 60 °C durante 48 horas. Luego fueron molidas y analizadas para determinar cantidad de NO₃⁻. Estas actividades se realizaron el 3 de diciembre, 48 días post siembra.

En el estado V6, el 20 de diciembre, se fertilizó manualmente con Urea sólida a dos dosis: 109 y 217 kg ha⁻¹ (50 N, 100 N respectivamente). Para conocer la implantación, se realizó un conteo de número de plantas emergidas en dos surcos, en 10 metros lineales. La intención era hacer muestreo de suelo para en análisis de nitratos en esta etapa fenológica, pero no se pudo llevar a cabo debido a las fuertes lluvias previas.

En floración, el 12 de febrero se estimó el índice de área foliar (IAF) utilizando el ceptómetro y el índice verde a través del Spad.

El primero de abril se realizó la cosecha manual de las mazorcas encontradas en un surco en 8 metros lineales y al mismo tiempo se contaba número de plantas. Luego de ello se desgranaron las mazorcas, se realizaron 3 pesadas de 100 granos por subparcela para conocer el peso promedio de mil granos, se estimó la humedad con el medidor de humedad Tesma Plus y se pesaron todos los granos cosechados por unidad para conocer el rendimiento obtenido.

3.3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

3.3.1. Temperatura

A continuación, se muestra las temperaturas mensuales durante el experimento (2018-2019), en comparación con el promedio histórico desde 1961 hasta 2000 de la central meteorológica de Paysandú.

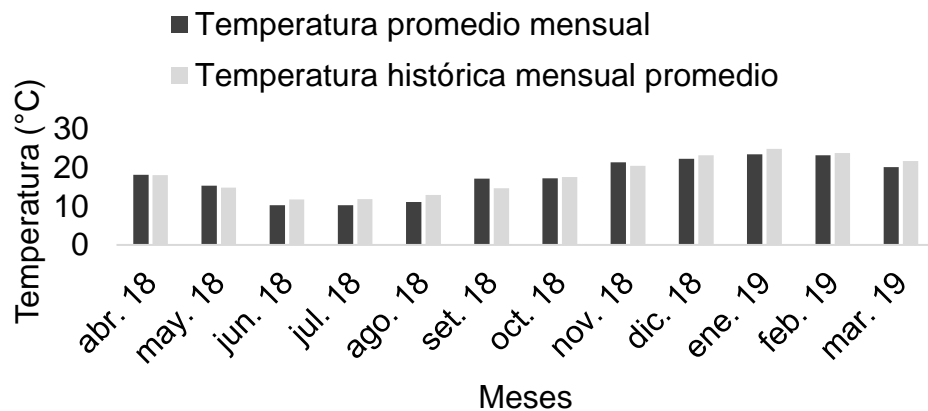


Figura 1. Temperaturas promedio mensuales registradas durante el experimento (2018-2019), comparadas con una serie histórica (1961-2000)

En cuanto a las mismas en el período de coberturas, las temperaturas estuvieron por debajo en casi todos los meses a excepción de mayo y setiembre, con 0.5 y 2.5 °C de superioridad con respecto al histórico, respectivamente.

3.3.2. Precipitaciones

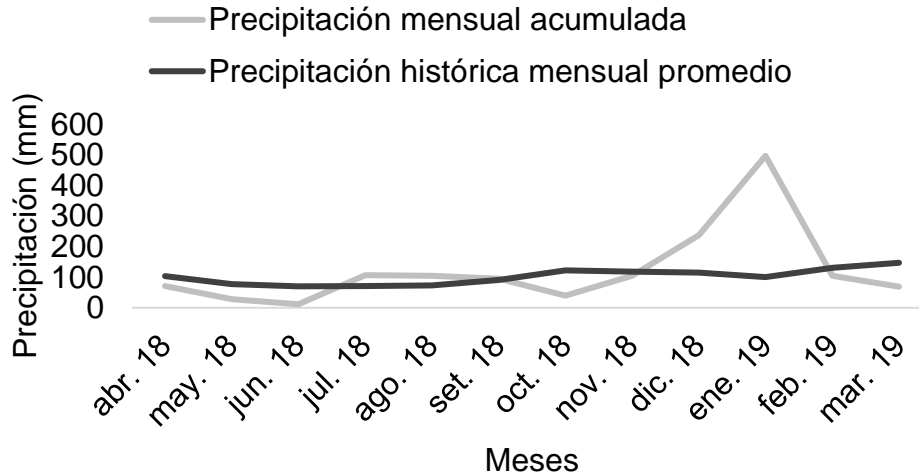


Figura 2. Precipitaciones promedio mensuales durante el experimento en comparación con la serie histórica de datos de 1961-2000

Como se observa en la figura, es muy importante la diferencia en precipitaciones entre el año analizado y el histórico en el mes de enero (casi 400 mm de diferencia). Posteriormente, las precipitaciones estuvieron por debajo del promedio en los meses siguientes. En cuanto al barbecho (setiembre-octubre) las precipitaciones también estuvieron por debajo del histórico, lo que podría haber generado una recarga deficiente de agua. En los meses de cobertura, a excepción de mayo y junio, las precipitaciones mensuales estuvieron por encima de la serie analizada.

Al centrar el análisis en el período crítico del maíz (10 días pre y 10 días post floración) se observa que las precipitaciones en este período fueron extremadamente bajas como se presenta a continuación.

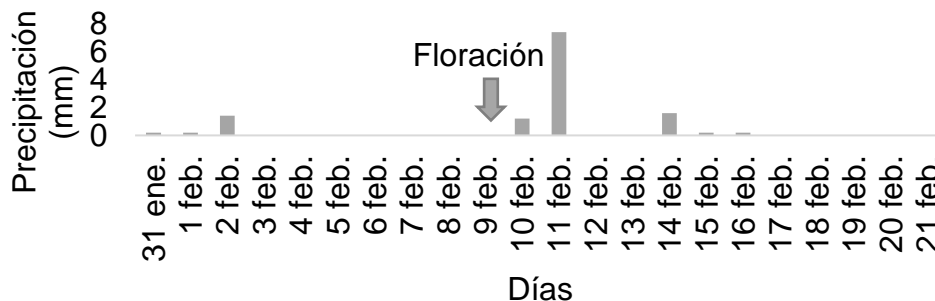


Figura 3. Precipitaciones diarias en período crítico

4. RESULTADOS

4.1. EXPERIMENTO 1

4.1.1. Cultivos de cobertura

4.1.1.1. Producción de materia seca de las coberturas

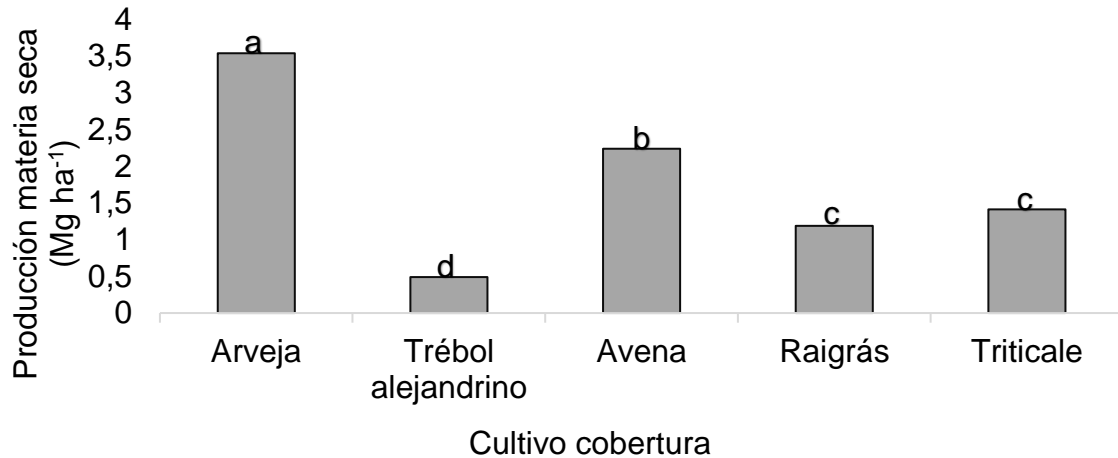


Figura 4. Producción de materia seca (Mg ha⁻¹) según cultivo cobertura

La arveja fue la cobertura de mayor producción de materia seca, diferenciándose significativamente de las demás (3.538 Mg ha⁻¹). Posteriormente aparece la avena, con 2.238 Mg ha⁻¹, seguida de raigrás y triticale (sin diferencias entre ellos) y por último el trébol alejandrino con 0.490 Mg ha⁻¹.

4.1.2. Cultivo de maíz

4.1.2.1. En estadio V2

Nitratos en suelo

El barbecho limpio fue el que demostró mayores niveles de nitratos en suelo (8.2 ppm N-NO₃⁻) diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. Posteriormente aparecen sin diferencias significativas entre ellos la arveja, el trébol alejandrino, el triticale y la avena. Esta última tampoco presenta diferencias significativas con el raigrás.

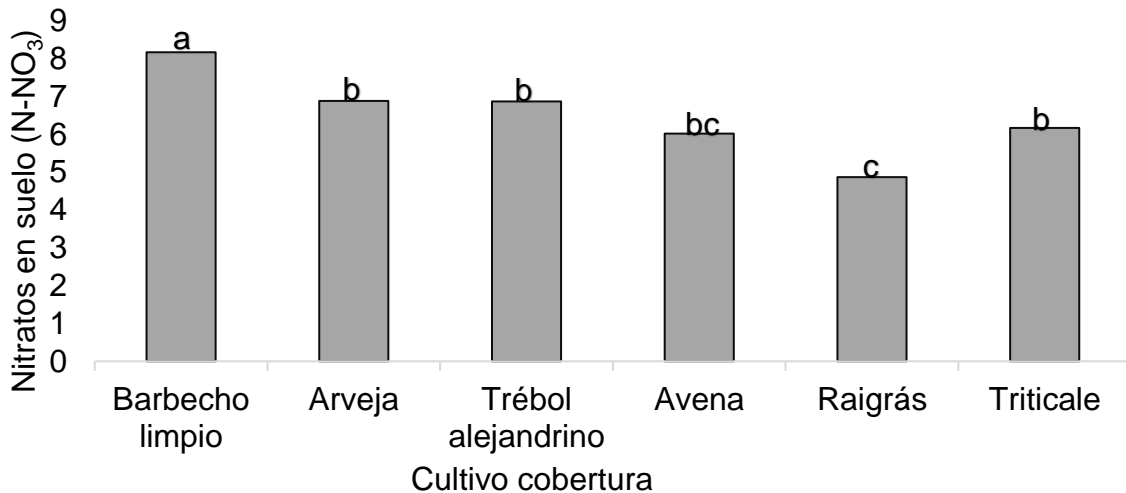


Figura 5. Nitratos en suelo (N-NO₃⁻) según cultivo cobertura

4.1.2.2. En estadio V6

Número de plantas

En cuanto al número de plantas, no se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos analizados, ya sea entre las distintas coberturas, así como la fertilización o no. El promedio de plantas alcanzadas en el experimento fue 10.4 pl/m², cuando el objetivo era 75000 pl/ha.

4.1.2.3. En estadio R1

Índice de área foliar (IAF)

No se encontraron diferencias significativas en el IAF en cuanto a coberturas y su interacción con la fertilización, pero si se encontraron diferencias según dosis de nitrógeno aplicado.

Como se observa a continuación, fertilizaciones nitrogenadas a razón de 50 unidades de nitrógeno por hectárea obtuvieron mayores valores de IAF (2,77 vs. 2,23).

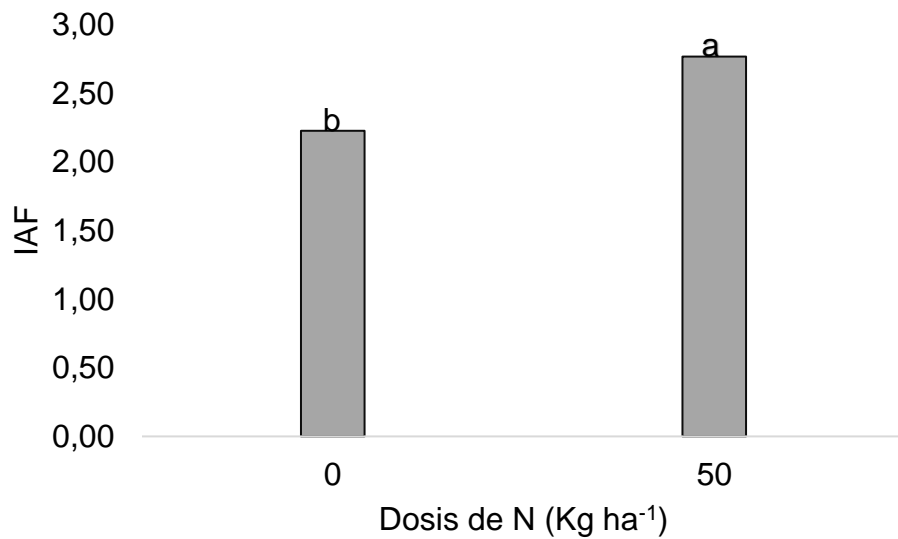


Figura 6. IAF según dosis de N (Kg ha⁻¹)

A continuación, se muestra un gráfico de dispersión del rendimiento en función del IAF.

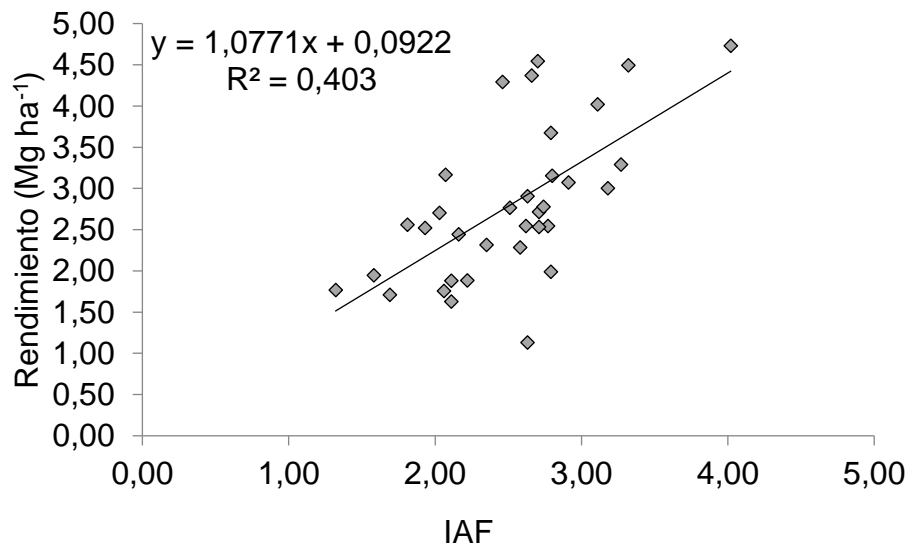


Figura 7. Dispersión del rendimiento (Kg ha⁻¹) en función del IAF

Se observa que existe una relación positiva, es decir, a medida que aumenta el IAF, aumenta el rendimiento. Cabe destacar que el coeficiente de determinación es de 40%, por lo que la proporción de variación del rendimiento explicada por el IAF es medio.

Índice verde (IV)

Se encontraron diferencias significativas en el índice verde medido en el maíz tanto para coberturas como para fertilización nitrogenada, pero no así para la interacción.

Como se observa en la gráfica siguiente, el maíz sembrado luego de trébol alejandrino fue el que obtuvo mayor índice (23,7), diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. Las gramíneas fueron los tratamientos que obtuvieron menor IV, sin diferenciarse significativamente entre ellas. En caso de avena (18,55), tampoco existieron diferencias significativas con barbecho limpio (21,03) y arveja (20,04).

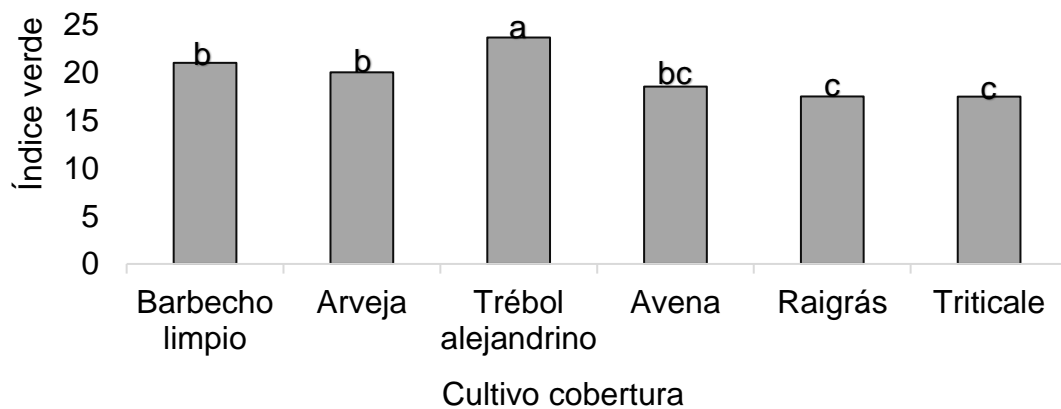


Figura 8. Índice verde según cultivo cobertura

En cuanto a la fertilización nitrogenada, las variaciones entre las medias analizadas fueron superiores, encontrándose diferencias significativas entre ambas dosis de fertilización como se muestra a continuación.

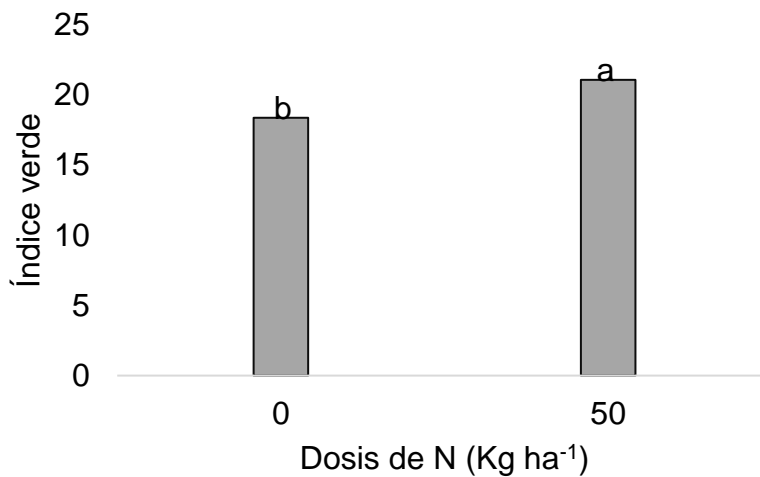


Figura 9. Índice verde según dosis de N (Kg ha⁻¹)

Fertilizaciones nitrogenadas a razón de 50 UN/ha obtuvieron valores de IV de 21,07 mientras que los tratamientos sin fertilizar 18,37.

A continuación, se muestra un gráfico de dispersión del rendimiento en función del IV

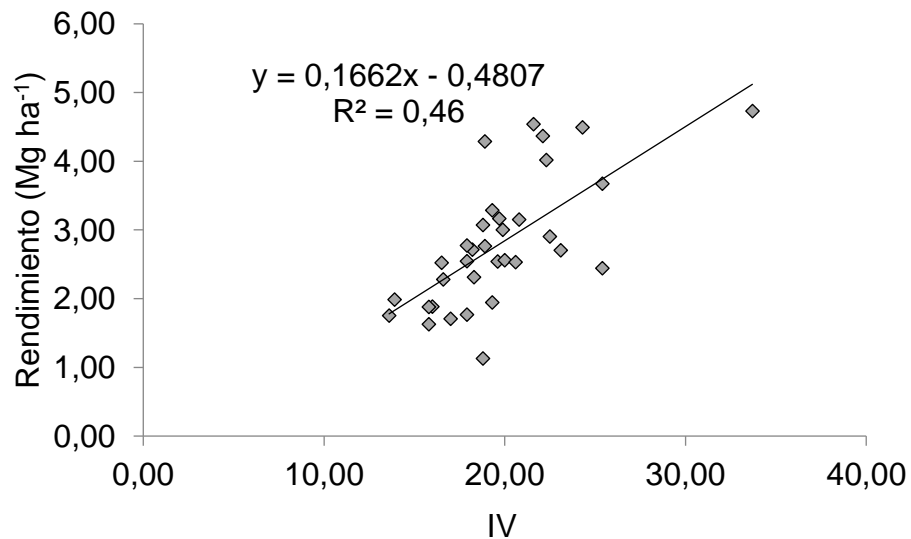


Figura 10. Dispersión del rendimiento (Kg ha⁻¹) en función del IV

Existe una relación positiva en donde mayores niveles de índice verde generan mayores rendimientos de grano. Es importante destacar que el coeficiente de variación es 46 %, es decir, la variabilidad en rendimiento es “medianamente” explicada por el IV.

4.1.2.4. Humedad

En cuanto a la humedad a cosecha, se encontraron diferencias significativas para coberturas y nitrógeno. En el caso de las coberturas, el raigrás fue el que demostró mayor humedad en grano (29.5%), seguido de trébol alejandrino, arveja, avena y triticales sin diferencias entre ellos, y por último barbecho limpio (25.7%). En cuanto a la fertilización, aplicaciones nitrogenadas disminuyeron la humedad a cosecha (27.9% a 27.0%).

4.1.2.5. Rendimiento en grano

Tabla 1. Rendimiento de grano de maíz según cobertura y dosis de N (Kg ha⁻¹)

Cobertura	Rendimiento		Media
	0	50	
	-----Mg ha ⁻¹ -----		
Barbecho limpio	2.16	3.54	2.85
Arveja	2.86	3.60	3.23
Trébol alejandrino	3.45	4.43	3.94
Avena	2.02	3.07	2.55
Raigrás	1.99	2.59	2.29
Triticale	1.77	2.36	2.06
Media	2.38	3.26	
DMS (cob)	0.61		
DMS (n)		0.32	

El mayor rendimiento en maíz fue obtenido sobre trébol alejandrino diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. En segundo lugar, otra leguminosa como arveja, sin demostrar diferencias significativas con barbecho, pero sí con las demás coberturas. El barbecho limpio no se diferencia significativamente ni de avena ni raigrás, pero sí del triticales. Es importante destacar que las tres gramíneas utilizadas como cultivo de cobertura no presentaron diferencias significativas entre sí.

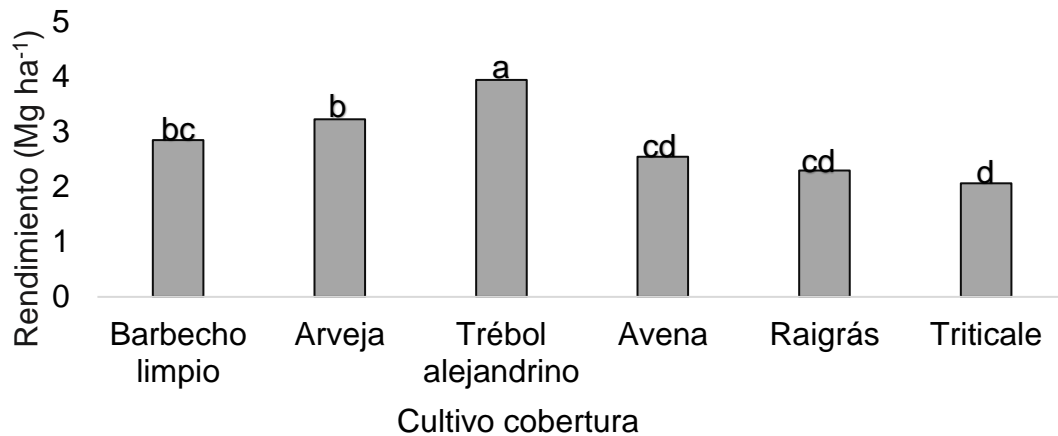


Figura 11. Rendimiento grano maíz (Mg ha⁻¹) según cultivo cobertura

En cuanto a la fertilización, es importante destacar que como se muestra a continuación, dosis de 50 UN ha⁻¹ determinaron rendimientos superiores que sin fertilizar independientemente del cultivo de cobertura.

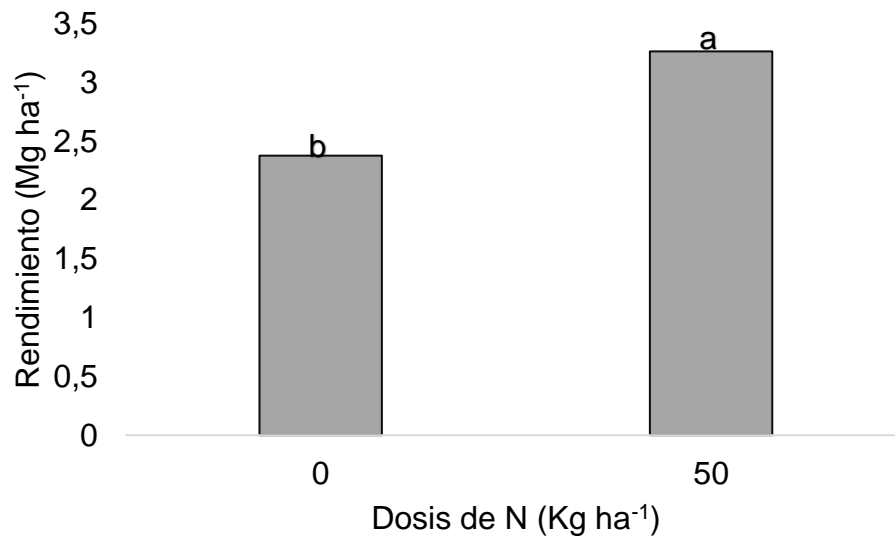


Figura 12. Rendimiento grano maíz (Mg ha⁻¹) según dosis de N (Kg ha⁻¹)

4.1.2.6. Componentes de rendimiento

Espigas por planta

En la siguiente figura se muestra como fue la tendencia en las espigas por planta según coberturas.

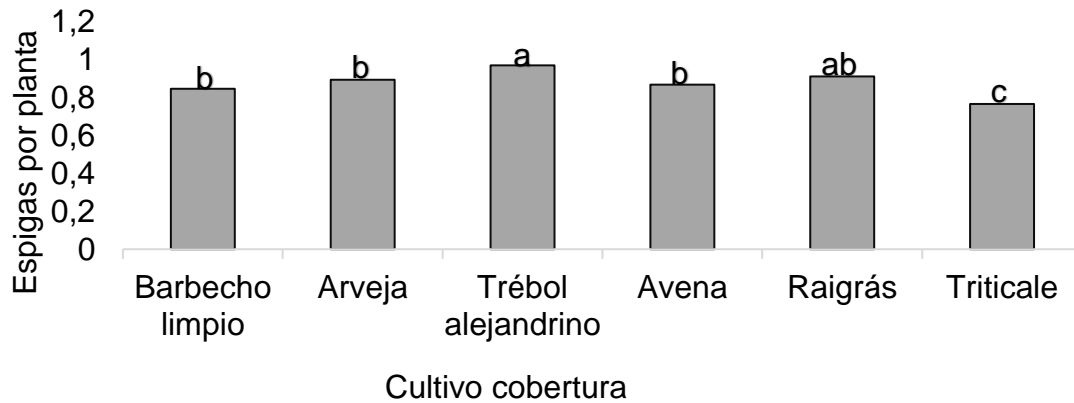


Figura 13. Espigas por plantas según cultivo cobertura

El maíz con trébol alejandrino como cultivo de cobertura obtuvo el mayor número de espigas por planta (0,97), pero sin diferencias significativas con raigrás (0,91). El triticale fue el tratamiento que obtuvo menores espigas por planta (0,76).

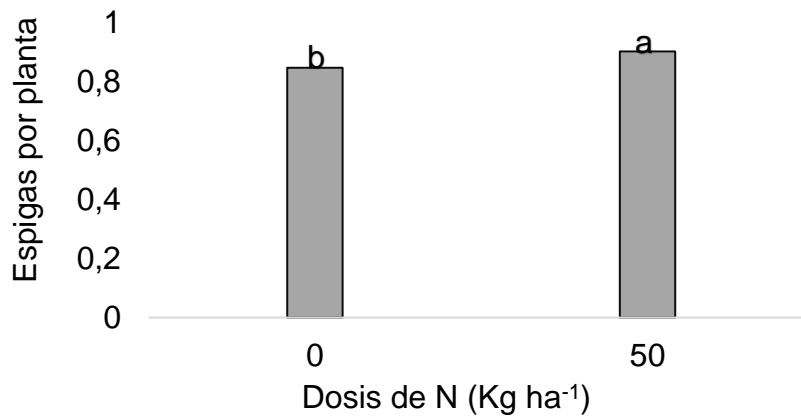


Figura 14. Espigas por planta según dosis de N (Kg ha⁻¹)

En cuanto a la fertilización, como se observa a continuación, la fertilización nitrogenada con 50 UN/ha presenta mayor número de espigas por planta (0.90) que sin fertilizar (0.84).

Granos por espiga

A continuación, se muestran los resultados de número de granos por espiga según cultivo de cobertura.

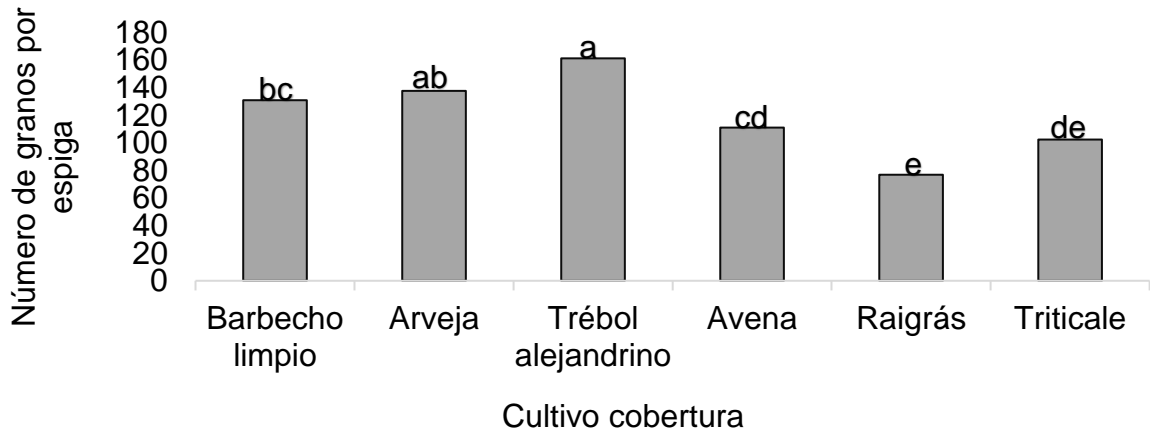


Figura 15. Número de granos por espiga según cultivo cobertura

Como se observa en la figura anterior, el maíz con trébol alejandrino como antecesor mostró mayor número de granos por espiga (162 gran/esp), sin diferenciarse significativamente de la arveja (138 gran/esp), pero sí de los demás tratamientos. El raigrás fue el tratamiento que obtuvo menores números de granos por espiga (77 gran/esp) sin diferenciarse significativamente de triticale (102 gran/esp).

La fertilización nitrogenada (141 gran/esp) presentó valores superiores en número de granos con respecto a las situaciones sin fertilizar (99 gran/esp).

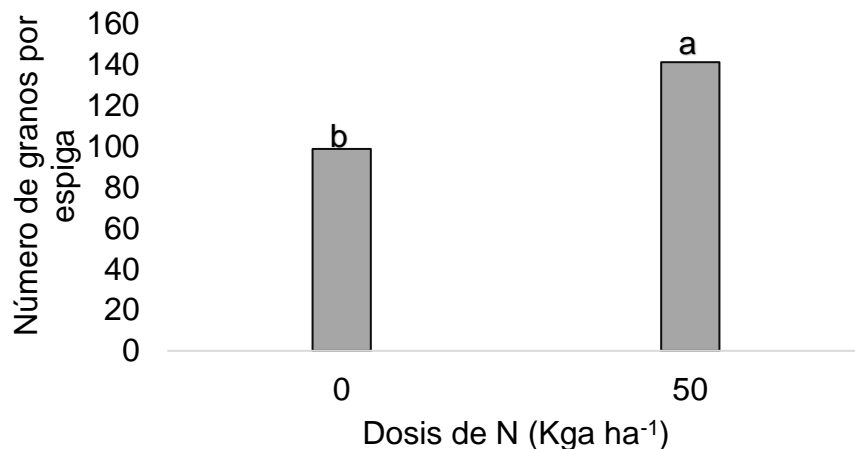


Figura 16. Número de granos por espiga según dosis de N (Kg ha⁻¹)

Peso de mil granos

El maíz cuyo cultivo de cobertura fue raigrás fue el que obtuvo mayor peso de mil granos (306,5 g), diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. El trébol alejandrino fue el tratamiento que obtuvo menor peso de mil granos (247 g), sin diferenciarse significativamente de barbecho limpio (244 g) y triticale (259 g).

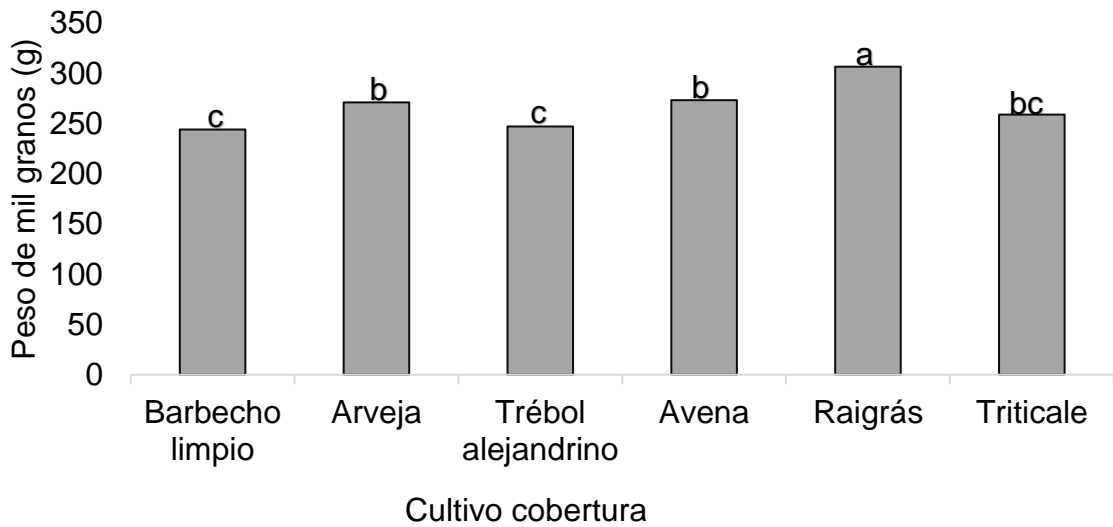


Figura 17. Peso de mil granos (g) según cultivo cobertura

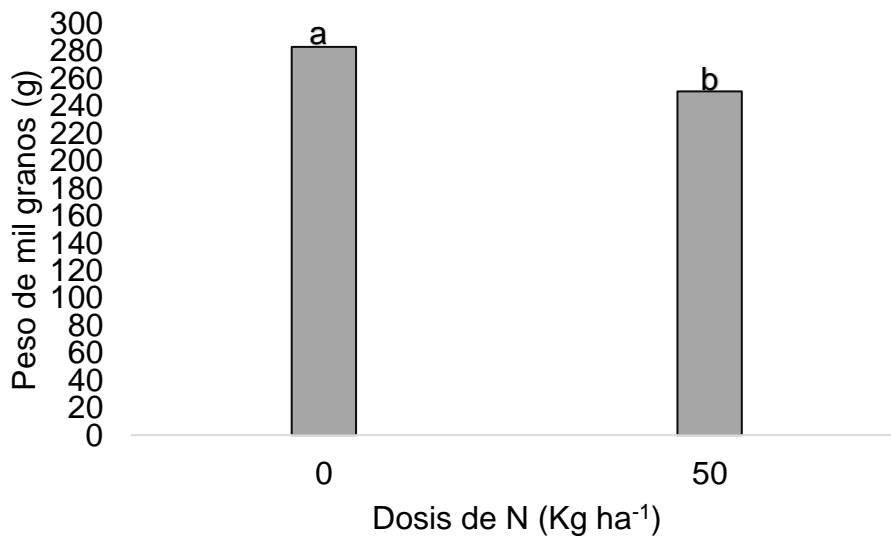


Figura 18. Peso de mil granos según dosis de N (Kg ha⁻¹)

Con fertilizaciones nitrogenadas de 50 UN/ha se obtuvo un peso de mil granos promedio de 251 gramos, mientras que los tratamientos sin fertilizar aumentaron el peso de granos significativamente (283 g).

4.2. EXPERIMENTO 2

4.2.1. Cultivos de cobertura

4.2.1.1. Producción de materia seca de las coberturas

Los resultados de producción de materia seca ya fueron presentados anteriormente (figura 4), demostrando la superioridad de la arveja frente a las demás coberturas analizadas, y de la avena sobre el trébol alejandrino.

4.2.2. Cultivo de maíz

4.2.2.1. En estadio V2

Nitratos en suelo

De igual forma que producción de materia seca, los resultados de nitratos en suelo fueron presentados con anterioridad en la figura 5. Se observa que no existen diferencias significativas entre los tratamientos analizados en este experimento.

4.2.2.2. En estadio V6

Número de plantas

Del mismo modo que en el experimento 1, las medias de los tratamientos no mostraron diferencias.

4.2.2.3. En estadio R1

Índice de área foliar (IAF)

No se encontraron diferencias significativas en el índice de área foliar según coberturas, pero sí según dosis de fertilizante aplicado

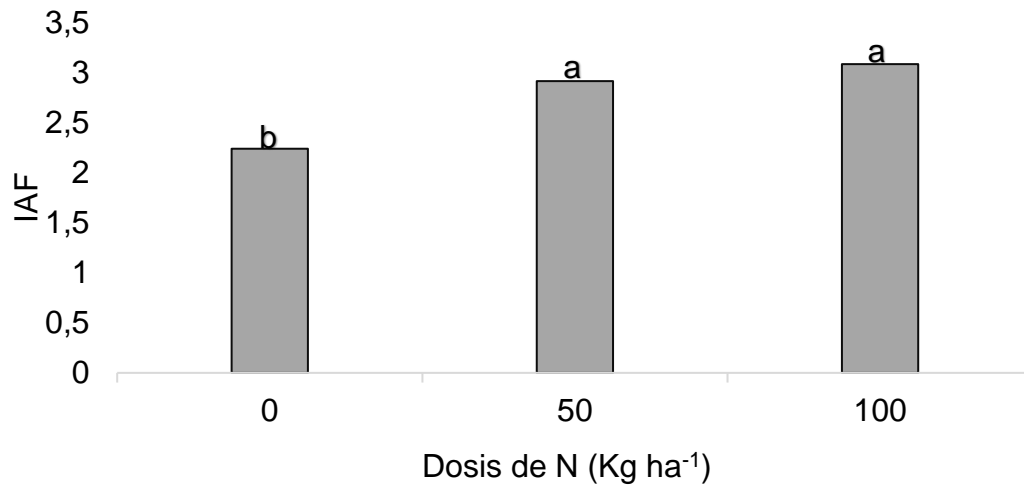


Figura 19. IAF según dosis de N (Kg ha⁻¹)

Como se observa en la figura anterior, las fertilizaciones nitrogenadas demostraron diferencias significativas con respecto a las situaciones sin fertilizar (2.24), pero no se detectaron diferencias significativas entre 50 UN ha⁻¹ (2.9) y 100 UN ha⁻¹ (3.1).

A continuación, se muestra un gráfico de dispersión de rendimiento en función del IAF

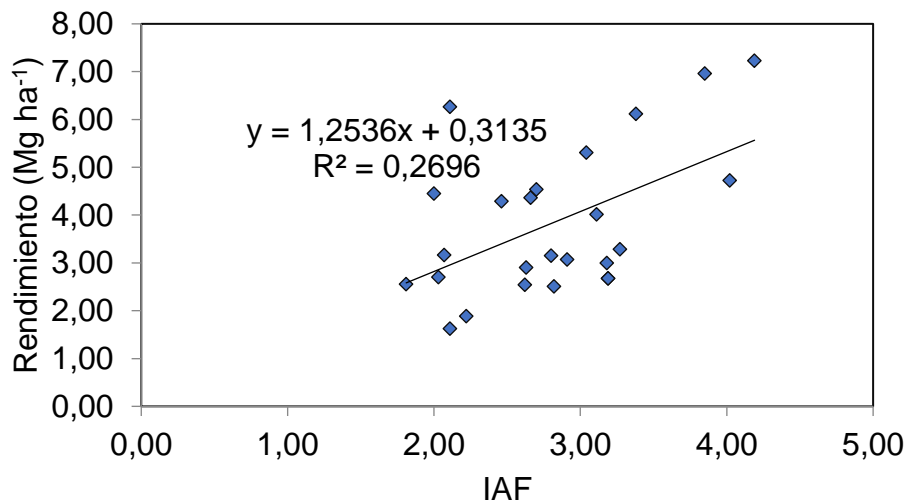


Figura 20. Dispersión del rendimiento (Kg ha⁻¹) en función del IAF

Se observa una relación positiva; al aumentar el IAF aumenta el rendimiento. Cabe destacar que el coeficiente de determinación es bajo (26%),

por lo que variaciones en el rendimiento no son bien explicadas por variaciones en el IAF.

Índice verde (IV)

Con respecto al Índice verde, se encontraron diferencias significativas tanto para coberturas como para dosis de fertilización, pero no así en la interacción entre ambos.

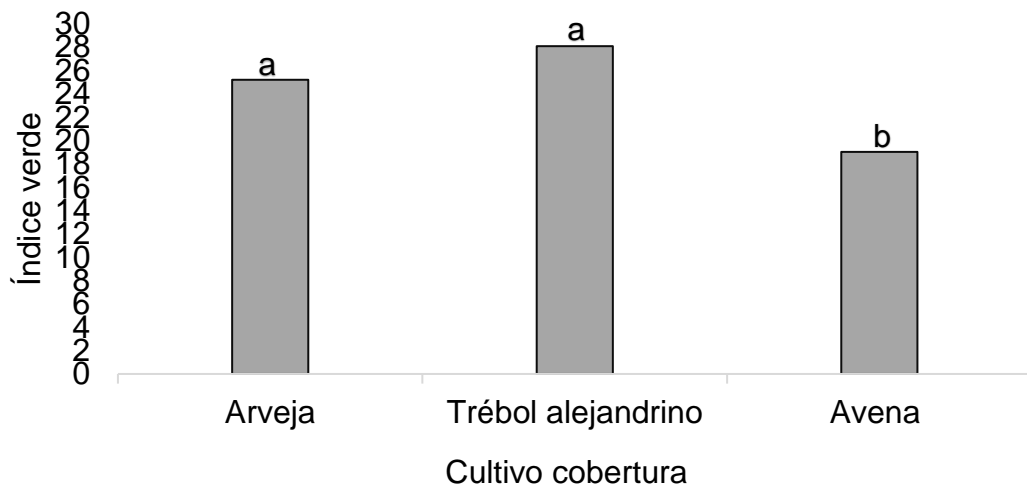


Figura 21. Índice verde según cultivo cobertura

Como se observa en la figura anterior, las leguminosas no se diferenciaron significativamente entre ellas (25.2 y 28.0), pero si ambas con respecto a la avena (19.02).

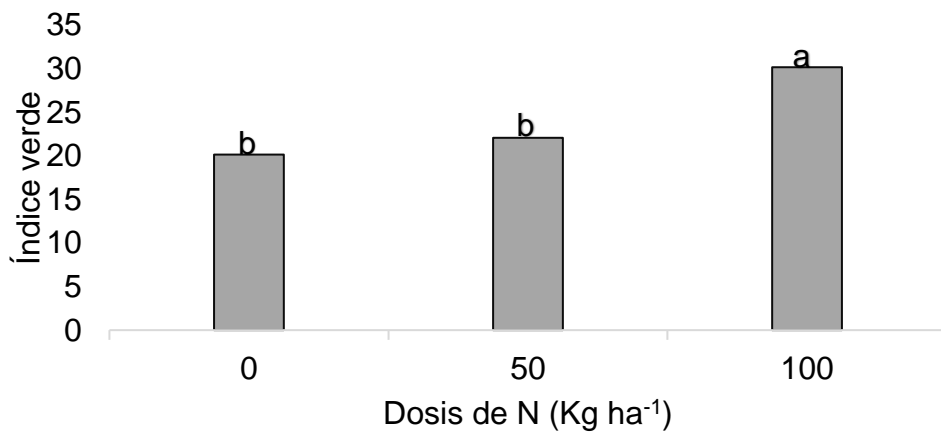


Figura 22. Índice verde según dosis de N (Kg ha⁻¹)

En caso de la fertilización nitrogenada, como se muestra a continuación, dosis de 100 UN ha⁻¹ lograron mayor índice verde (30.1) diferenciándose significativamente de las demás dosis analizadas.

A continuación, se presenta un gráfico de dispersión de rendimiento en función de IV.

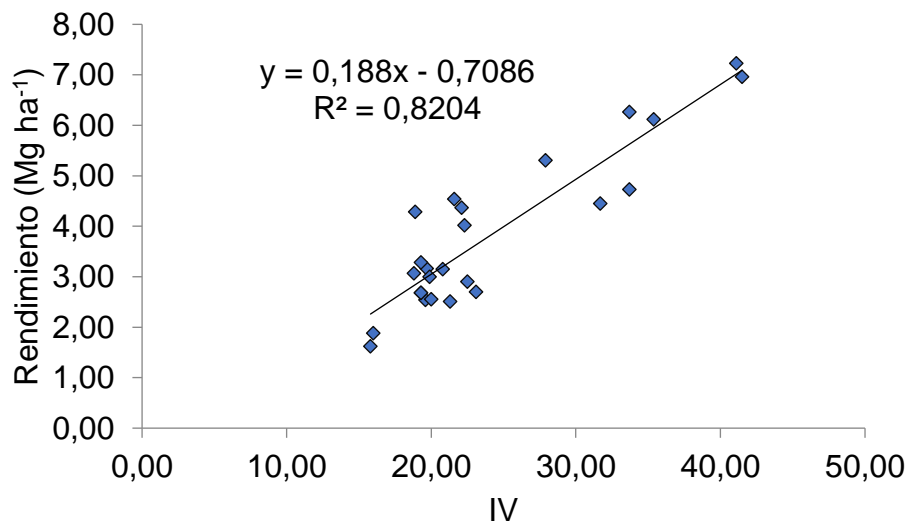


Figura 23. Dispersión del rendimiento (Kg ha⁻¹) en función del IV

Existe una relación positiva entre IV y rendimiento, ya que a medida que aumenta el índice, también lo hace el rendimiento en grano. Es importante destacar que el coeficiente de determinación es alto (82%), es decir que la variación en rendimiento es muy bien explicada por la variación en el IV.

4.2.2.4. Humedad

No existieron diferencias significativas en cuanto a humedad a cosecha para cobertura, ni tampoco para dosis de nitrógeno aplicada. La humedad promedio a cosecha fue de 27.2%.

4.2.2.5 Rendimiento en grano

Tabla 2. Rendimiento de grano de maíz según cobertura y dosis de N (Kg ha^{-1})

Cobertura	Rendimiento			Media
	0	50	100	
	----- Mg ha^{-1} -----			
Arveja	2.85	3.60	5.67	4.04
Trébol alejandrino	3.45	4.43	6.45	4.78
Avena	2.02	3.07	2.62	2.57
Media	2.78	3.70	4.91	
DMS (cob)	0.68			
DMS (n)		0.54		
DMS (cob x n)			0.94	

Con respecto a las coberturas, el maíz con trébol alejandrino como cultivo antecesor fue el que obtuvo mayores rindes, diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. En segundo lugar, se ubicó la arveja y por último la avena.

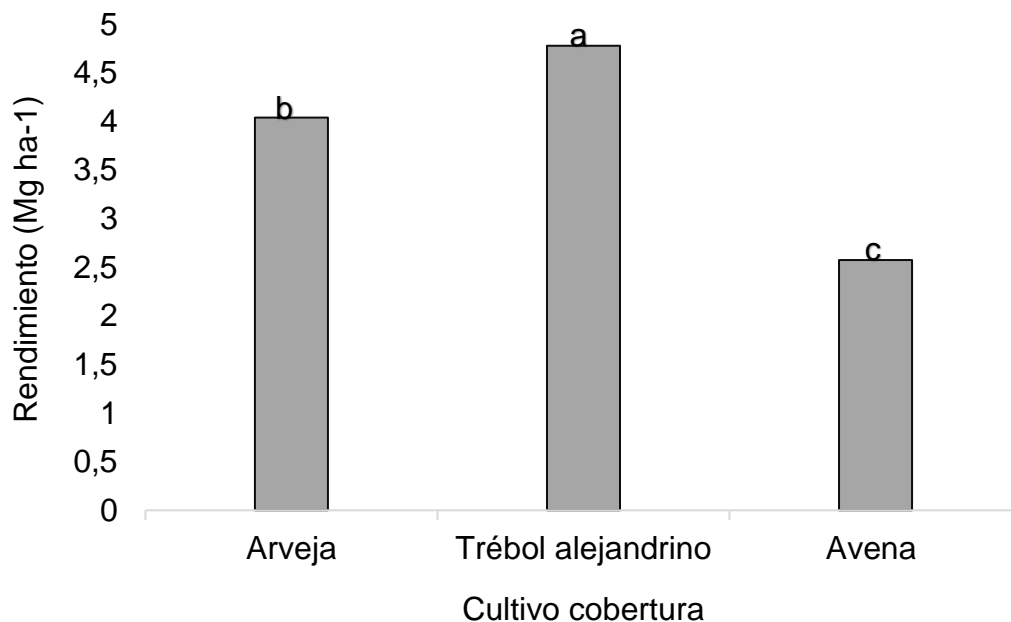


Figura 24. Rendimiento de grano de maíz (Mg ha^{-1}) según cobertura

En cuanto a la variación del rendimiento con respecto a las dosis de fertilizante aplicada, se observa que los tratamientos fertilizados con 100 UN/ha fueron los que lograron mayor rendimiento promedio, diferenciándose significativamente de las otras dos dosis evaluadas.

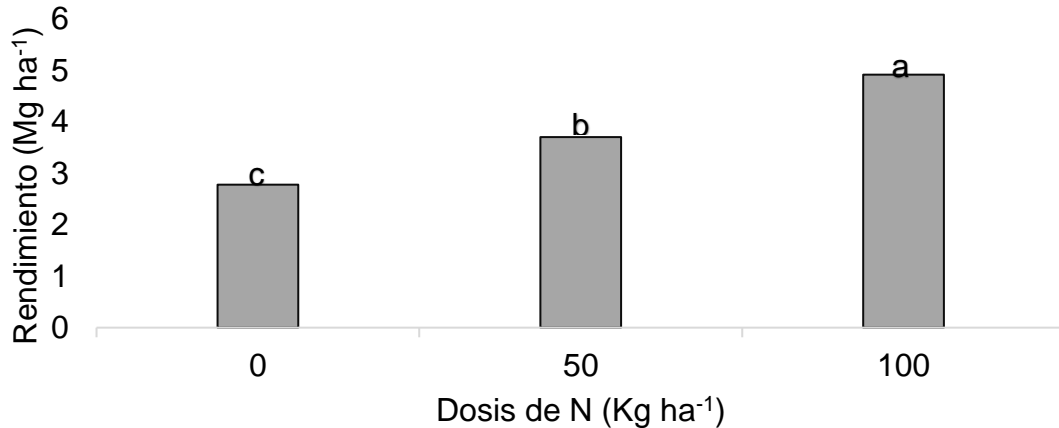


Figura 25. Rendimiento de grano de maíz (Mg ha⁻¹) según fertilización

4.2.2.6. Componente de rendimiento

Espigas por planta

Se encontraron diferencias significativas en las distintas coberturas analizadas, pero no así para las dosis de nitrógeno aplicadas. El maíz proveniente de las leguminosas obtuvo mayor número de espigas por plantas, diferenciándose significativamente de la avena, pero no entre ellos. No se hallaron diferencias significativas del efecto fertilización en dicha variable.

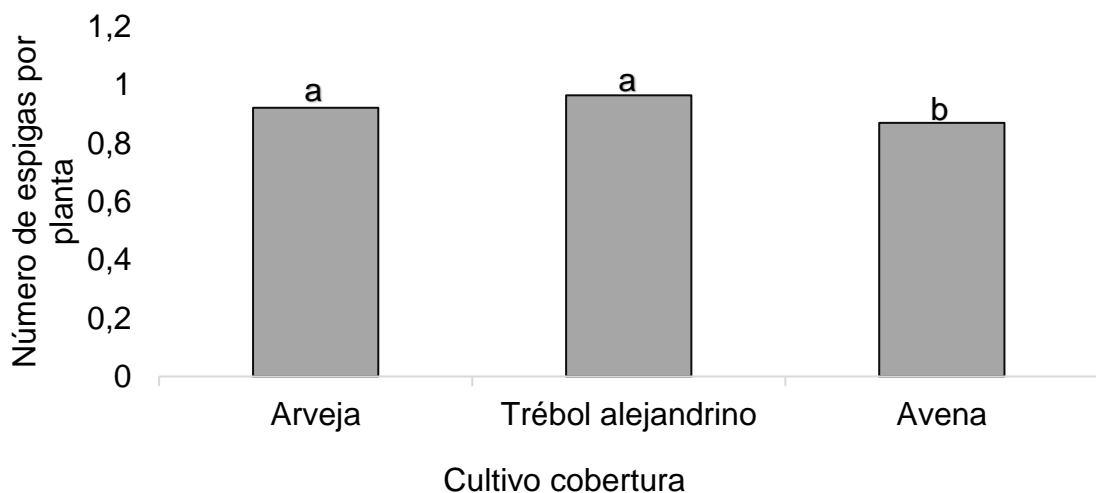


Figura 26. Número de espigas por planta según cultivo cobertura

Granos por espiga

Se encontraron diferencias significativas tanto para coberturas como para dosis de nitrógeno aplicada. Los tratamientos con leguminosas fueron los que obtuvieron mayor número de granos por espiga (162 granos/espiga en caso de arveja, y 190 granos/espiga en trébol alejandrino) sin diferenciarse significativamente entre ellos, pero sí con la avena (110 granos/espiga).

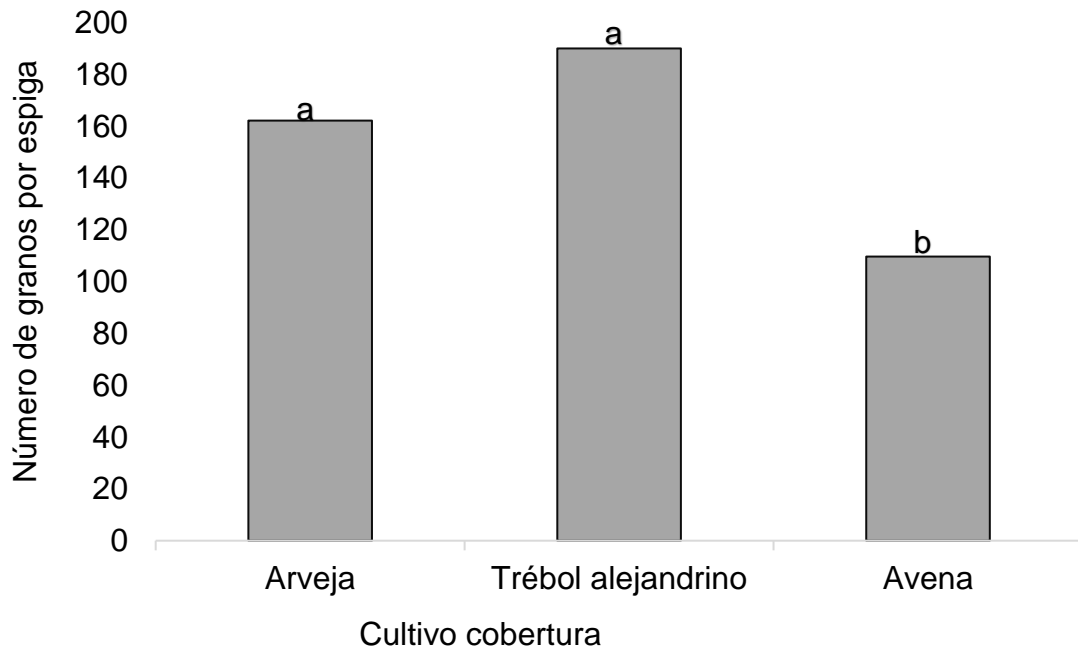


Figura 27. Granos por espiga según cultivo cobertura

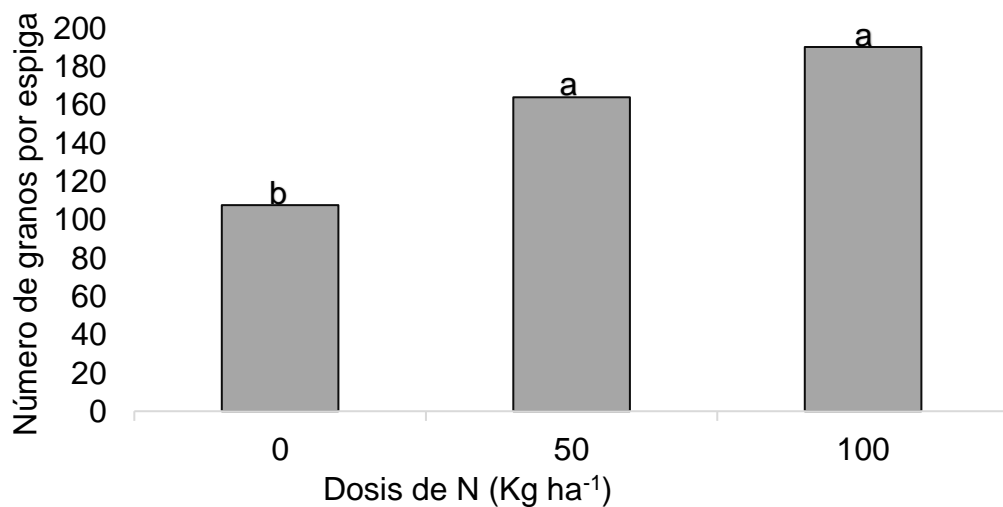


Figura 28. Número de granos por espiga según dosis N (Kg ha⁻¹)

Con respecto a la fertilización, no se encontraron diferencias significativas entre las dosis 50 UN ha⁻¹ (164 granos/espiga) y 100 UN ha⁻¹ (190 granos/espiga), pero sí comparando las situaciones sin fertilizar (108 granos/espiga).

Peso de mil granos

No se encontraron diferencias significativas al analizar los cultivos de cobertura, las dosis de fertilización, y la interacción de ambos. El valor promedio del experimento fue 263 gramos.

5. DISCUSIÓN

5.1. EXPERIMENTO 1

Se puede apreciar como existe una gran variabilidad dentro de la producción de MS de los distintos cultivos de cobertura, algunos dentro de sus rangos normales mientras que otros se encuentran fuertemente alejados de su potencial.

El cultivo de mayor producción fue la arveja, la cual alcanzó una muy buena producción de MS considerando su potencial ya que en Uruguay se siembran cultivares de ciclo corto. Son ideales para alcanzar una buena producción en poco tiempo dado que no es el cultivo de rentabilidad económica y el tiempo para desarrollarse se ve acotado por los manejos a realizar para él maíz.

En el caso de las gramíneas, si bien su potencial es bastante superior, se debe tener en cuenta la gran dependencia que tienen las mismas de la disponibilidad de N del sistema. En función de ello se puede decir que se alcanza una buena producción, ya que se trata de un sistema en el cual se repite la siembra de maíz con el mismo cultivo de cobertura, y solamente el primero recibe fertilización nitrogenada. Por su parte, al igual que para el resto de las coberturas, la producción se encuentra restringida por los tiempos del maíz y se aprecia que la producción de la avena superó la del raigrás, posiblemente explicado ya que la primera es más precoz en términos de producción mientras que el raigrás es más primaveral.

Es realmente llamativa la baja producción alcanzada por el trébol alejandrino, ya que se encuentre fuertemente por debajo de su potencial. En esta oportunidad se desconoce el motivo por el cual la cobertura rindió tan poco (por debajo de los $0.50 \text{ MgMS ha}^{-1}$) cuando su potencial es de 7.0 MgMS ha^{-1} .

El barbecho limpio fue el tratamiento que presentó mayores valores de nitrato en suelo en V2. Si bien se compara con leguminosas que fijan nitrógeno, no se debe olvidar que, desde la cosecha de un maíz hasta la siembra del próximo, debido a la mineralización, el nitrógeno fue acumulándose en forma de nitrato en el suelo y dado que no hubo ningún cultivo creciendo, en la medida que se daba la descomposición del rastrojo del maíz, se incrementaba el nitrato en suelo. Esta variable fue medida en las primeras etapas del cultivo de maíz, cuando la demanda aún era baja. Si bien la descomposición y mineralización se da cuando el resto de los cultivos cobertura se encuentran creciendo, ellos mismos utilizan este nitrato por lo cual para que quede disponible para el maíz se debe esperar a que estos se mineralicen, y es por ello que los valores de

nitrato a V2 son menores cuando un cultivo de cobertura fue instalado, tal como fue demostrado por Siri y Ernst (2012).

Por su parte, si bien era esperable una diferencia mayor en los niveles de nitrato en suelo de los experimentos provenientes de leguminosas sobre las gramíneas, estos únicamente tienen diferencias significativas sobre el raigrás, el cual evidenció el más bajo nivel de nitrato en suelo de las coberturas.

Tal y como fue mencionado en la revisión bibliográfica, la fijación de nitrógeno por parte de las leguminosas contiene una estrecha relación con la producción de MS. Sin embargo, los resultados arrojaron que, si bien la producción de MS del trébol fue realmente pobre, ello no se vio reflejado en los niveles de nitratos en suelo. Ello puede ser explicado por las constantes repeticiones de este experimento en los sucesivos años (12), los cuales ayudaron a mimetizar la baja fijación de este año en particular con el nitrógeno acumulado de años anteriores.

En base a lo observado, no se encontraron diferencias significativas en el número de plantas de maíz por metro cuadrado proveniente de las distintas coberturas, así como también del barbecho limpio. Esto se corresponde con el estudio realizado por Fabiani et al. (2017) en el cual no se encontraron diferencias en los valores de implantación de maíz proveniente de coberturas de raigrás y avena.

Tal como se puede observar en los resultados, no se evidenciaron diferencias significativas en IAF en función de la implementación de las distintas coberturas y su interacción con la fertilización nitrogenada, tal como fue probado por Bratschi y López (2012), con la salvedad de que a diferencia de estos autores, sí se encontraron diferencias de IAF cuando el cultivo fue fertilizado. En el experimento realizado por Aguilar Carpio et al. (2015), se demostró que la dosis de fertilización repercute directamente aumentando los valores de IAF de maíz presentando diferencias significativas con respecto al testigo sin fertilizar, lo cual se ajusta a los resultados del presente estudio.

Al comparar con los resultados obtenidos por Ferraris y Couretot (2010) se encontraron similitudes del efecto positivo de la dosis de fertilización nitrogenada sobre el índice verde y este último sobre el rendimiento.

En cuanto a las coberturas, si bien la producción de materia seca del trébol alejandrino fue baja, este trabajo está enmarcado en un experimento con más de 10 años de antigüedad, lo que genera que, por más que el año en particular en términos de producción de MS fue malo, el contenido de nitrato en suelo en la parcela correspondiente a esta cobertura es alto, generando la posibilidad de obtener alto IV (indicador de % nitrógeno en planta).

Tal como ya fue mencionado en los resultados del experimento, en función de la fertilización nitrogenada y las distintas coberturas, se produjeron diferencias significativas en términos de humedad en grano para ambas variables, pero no así para la interacción entre ellas. Dichos resultados van de la mano con el experimento realizado por Barrios y Basso (2017), en el cual encontraron una marcada diferencia en los niveles de humedad de los tratamientos con aplicación de fertilizante nitrogenado, con respecto al testigo sin fertilización el cual presentaba mayores niveles de humedad. En otras palabras, el maíz fertilizado llega con menores niveles de humedad en grano al momento de la cosecha.

Uno de los efectos que puede tener la fertilización es incrementar el rendimiento en grano lo que aumenta la materia seca y disminuye la proporción de humedad, tal como fue demostrado por Tosquy y Castañón (1998) fertilizando un cultivo de maíz en dicho caso con P_2O_5 .

En primer término, es importante resaltar que los rendimientos obtenidos en el ensayo son sensiblemente inferiores al promedio nacional. Si bien el verano fue llovedor (figura 2), en el momento en el cual el agua se hace más indispensable para el maíz como lo es el período crítico, las precipitaciones diarias en dicho período (figura 3) fueron excesivamente escasas. Dicho déficit manifestó su impacto en el rendimiento en grano.

Otro factor que incidió directamente en el rendimiento fue el número de plantas, ya que en el experimento actual se obtuvieron poblaciones promedio por encima de las 100.000 plantas/ha, cuando lo recomendado según Fassio et al. (2018) para condiciones de secano es 60.000-65.000.

Como se observa en la figura 11, el trébol alejandrino fue el tratamiento que obtuvo mayor rendimiento. Dichos resultados se corresponden con los estudios realizados por Ernst (2006) en donde los cultivos de cobertura con leguminosa obtuvieron mayores rindes en el cultivo de maíz. El motivo de esta superioridad puede ser explicado ya que la leguminosa posee la capacidad de fijar nitrógeno biológicamente y aportarlo al suelo. Esto, sumado a su baja relación C/N hace que su mineralización sea más rápida y por ello el nitrógeno queda rápidamente disponible para la planta. Las gramíneas, al tener una mayor relación C/N en sus restos, en casos de bajo contenido de nitrógeno en suelo es probable que produzca inmovilización, causando de esta forma menores rendimientos en el cultivo siguiente, como lo demuestran Omae y Nagumo (2016).

Dentro de la revisión bibliográfica fueron enumerados los grandes beneficios de la utilización de cultivos cobertura dentro de un sistema de monocultivo de maíz, por sobre un barbecho limpio. Según los resultados del presente experimento no se encontraron diferencias significativas en los

rendimientos de maíz proveniente de barbecho limpio en comparación con los de raigrás, al igual que el estudio realizado por Komainda et al. (2018). Estos autores atribuyen las disminuciones de rendimiento proveniente de este cultivo de cobertura a efectos alelopáticos y/o estrés hídrico.

Por su parte, Cupina et al. (2017) demostraron diferencias significativas inferiores del rendimiento del maíz proveniente de cultivos cobertura de triticale y arveja con respecto al barbecho limpio, lo cual en este experimento únicamente se cumplió en el caso del triticale, ya que para el caso de arveja no se presentaron diferencias con el testigo, tal como fue evidenciado en el experimento de Dolijanovic et al. (2016).

La disminución del rendimiento causado por el triticale puede verse explicado por una menor calidad de residuos incorporados al suelo provocando posibles problemas de inmovilización de acuerdo con lo expuesto por Sawchik (2001).

En cuanto a la avena, no se encontraron diferencias significativas al compararla con el testigo, de igual forma que lo establecido por Dolivajonic et al. (2016). Esto puede verse explicado, por un lado, debido a la baja tasa de descomposición de los residuos de la avena, y por el otro, por el bajo suministro de nutrientes proveniente del cultivo de maíz antecesor acentuado por múltiples pérdidas invernales.

Fertilizaciones nitrogenadas aumentan los rendimientos del maíz independientemente de la cobertura invernal utilizada como se observó anteriormente, lo cual coincide con el estudio de Ziech et al. (2016).

En el experimento realizado por Cervantes et al. (2013), concluyeron que la respuesta en términos de cantidad de mazorcas/planta a la fertilización nitrogenada depende del material utilizado. Ello fue concluido ya que realizaron pruebas con distintos híbridos, en los cuales unos respondían de forma positiva a la fertilización mientras que otros no evidenciaron respuesta. En el presente experimento aumentó significativamente la cantidad de mazorcas/planta cuando fueron fertilizadas las parcelas, a diferencia de los tratamientos sin fertilización.

Los granos por espiga son en primer lugar afectado por la deficiencia de agua, y posteriormente por estrés nutricional entre otros (Fassio et al., 1998). Esto se vio demostrado en la baja producción de grano de todos los tratamientos por la deficiencia hídrica en el período crítico del cultivo. Los mayores números de grano por espiga fueron evidenciados en los tratamientos provenientes de leguminosas, tal como lo demostró Ziech et al. (2016). Esta diferencia puede ser explicada por el aporte de nitrógeno proveniente de la fijación biológica llevada a cabo por esta familia.

La fertilización nitrogenada aumentó el número de granos, tal como lo demostraron Bratschi y López (2012), explicado por un mayor suministro de nutrientes, promoviendo una mejor fecundación de óvulos.

A diferencia del estudio realizado por Bratschi y López (2012), se encontraron diferencias significativas en el peso de mil granos por efecto de las distintas coberturas. Considerando que la producción de granos proveniente de la cobertura de raigrás fue la menor, se puede explicar un mayor peso de mil granos por una relación fuente/fosa más favorable. Dichos resultados por su parte sí concuerdan con el estudio realizado por Bazán et al. (2017), en el cual se obtuvieron diferencias significativas para este parámetro en función de la utilización de distintas coberturas (vicia y triticales).

En discrepancia con estudios de Ziech et al. (2016), el peso de mil granos se vio perjudicado en función de la fertilización posiblemente porque ésta promueve el aumento en el número de granos, afectando la relación fuente/fosa.

5.2. EXPERIMENTO 2

De la misma forma que fue destacado en el primer experimento, se debe recordar que en este año en particular y para el cultivo de trébol alejandrino, la producción de MS de dicha cobertura por algún motivo en particular fue extremadamente baja, ya que no llegó a los $0.50 \text{ MgMs ha}^{-1}$. Por su parte, la producción de arveja es hasta 7 veces mayor ($3.54 \text{ MgMs ha}^{-1}$), cuando normalmente alcanza valores similares. En el caso de la avena, se logró un rendimiento normal de $2.24 \text{ MgMs ha}^{-1}$, teniendo en cuenta que los tiempos de producción de la misa se ven acotados por las necesidades de manejo del maíz, el cultivo de renta.

A diferencia de los resultados presentados por Smith et al. (1987), quienes establecieron que la cantidad de nitrógeno fijado se encuentra directamente relacionado con la producción de MS de la cobertura, en una proporción en torno a 30 kg de N por cada ton de MS de cobertura, en el presente experimento se observa como en la figura 5 no se presentan diferencias significativas en cuanto a los valores de nitrato en suelo, mientras que en la figura 4 se aprecia la gran diferencia en términos de producción de MS para ambas leguminosas. Es decir, no concuerdan los resultados obtenidos por Smith et al. (1987) con lo evidenciado en el presente experimento, en donde la fijación de N no presenta relación alguna con la producción de MS. No se debe olvidar que se trata de un experimento con un historial de más de 10 años, lo cual puede mitigar la baja producción obtenida de las coberturas y su consecuente descomposición y aporte de N.

Si bien los distintos experimentos no presentaron diferencias en cuanto a esta variable, no es un detalle menor recalcar que el número de plantas logrado

fue muy alto, ya que se esperaba una población de 7.5 plantas/m², y finalmente se logró un valor de 10.5 plantas/m² debido a una excelente implantación. Ello tiene una repercusión importante en términos de rendimiento, ya que un alto número de plantas en el caso de maíz, en condiciones subóptimas (déficit hídrico en período crítico), a diferencia de otras especies que tienen la capacidad de compensar, tiene un efecto negativo por competencia entre las plantas.

Únicamente se evidenciaron diferencias significativas en el caso de la respuesta positiva del IAF ante la fertilización, ya que no hubo diferencia tanto entre los distintos niveles de fertilización (50 y 100), como de esta medición ante el efecto de las 3 coberturas. Estos resultados se correlacionan con el estudio realizado por Uhart (2004), en el cual logró evidencias de que existe una respuesta positiva del IAF a la fertilización, con la salvedad de que en dicho estudio lograron diferencias significativas entre los distintos grados de fertilización, mientras que en el presente experimento no existieron diferencias entre las fertilizaciones a 50 y 100.

Por su parte, el hecho de no encontrar diferencias significativas de dicha variable con respecto a los efectos de las coberturas, concuerda con el estudio de Bratshi y López (2012).

Dado que hubo diferencia tanto para la fertilización nitrogenada como para la cobertura, se puede explicar el aumento de dicho componente en función del N del sistema. En otras palabras, el índice verde se vio incrementado en la medida que el tratamiento fue fertilizado, así como también en el caso de las coberturas de las leguminosas (aumentan el N por fijación biológica) por sobre la gramínea (avena). El nitrógeno es un componente de la clorofila mientras que esta última es la responsable del color verde de las plantas, por ello a mayor N, mayor cantidad de clorofila y con ello un mayor índice verde.

Ante los distintos niveles de fertilización, si bien la dosis mínima incrementa levemente el IV sobre el testigo sin fertilizar, no es una diferencia significativa como si lo es en el caso de la fertilización mayor (100 unidades de N), esta última ajustándose al estudio realizado por Ferraris y Couretot (2009) donde a mayor fertilización, mayor índice verde.

Por el contrario del experimento 1, en el presente informe no fueron evidenciadas diferencias significativas en términos de humedad en grano para tanto los distintos niveles de fertilización, así como también las distintas coberturas ni la interacción entre ellos. De esta forma se contradice lo expuesto por Barrios y Basso (2017), con respecto al efecto de la fertilización nitrogenada y su impacto en disminuir la humedad del grano.

De la misma forma que fue hecha la salvedad para el experimento 1, se debe tener en cuenta que el rendimiento se vio fuertemente condicionado por dos

factores. En primer lugar, si bien se trató de un verano con abundante lluvia, esta no coincidió con el período crítico del cultivo en el cual se determina la cantidad de granos y el peso de los mismos, en condiciones de deficiencia hídrica y alta tasa de desarrollo en función de las altas temperaturas. Sumado a ello y acentuando el problema, la implantación fue muy buena por ello la cantidad de plantas por m² fue muy alta para las precarias condiciones de determinación del rendimiento, generando una alta competencia y perjudicando el rinde.

Dicho componente presenta una clara respuesta tanto a la fertilización nitrogenada, así como también a las distintas coberturas en términos de rendimiento.

Por un lado, se aprecia una clara diferencia en cuanto a los rendimientos de las parcelas provenientes de la cobertura de leguminosa (trébol alejandrino y arveja), por sobre la de la gramínea (avena). Ello no solamente puede deberse al incremento en los niveles de nitrógeno del suelo (si bien no hay diferencia significativa hay una clara tendencia a favor de las leguminosas), sino también al efecto que tiene la descomposición de cada una de las coberturas. Por un lado, las leguminosas de menor relación C/N de fácil degradación, y por otro la gramínea de alta relación C/N que ante bajos niveles de nitrógeno puede llegar a incurrir en el proceso de inmovilización y condicionar el nitrógeno a absorber por la planta, tal como lo expresaron en su estudio Omae y Nagumo (2016). Los resultados obtenidos en cuanto a efecto de coberturas van de la mano con el estudio realizado por Ernst (2006), en el cual concluye el efecto positivo en términos de rendimiento a causa de la utilización de una leguminosa anual como cultivo de cobertura.

Por su parte, los resultados obtenidos en función de la respuesta positiva al incremento en la dosis de fertilizante nitrogenado, coinciden con el estudio realizado por Masino et al. (2010), en el cual se demuestra la respuesta positiva del rendimiento en función del agregado de nitrógeno, hasta las 120 unidades del mismo. Es decir, dicho cultivo presenta una respuesta positiva del agregado de nitrógeno hasta los 120 Kg, tal cual se evidenció en la diferencia en rendimientos del presente experimento entre las dosis de 0,50 y 100 presentados en la figura 25.

Espigas por planta

Tal como fue expuesto en los resultados, el número de espigas por plantas se vio incrementado en las parcelas provenientes de coberturas de leguminosa (dentro de las cuales no hubo diferencia) por sobre la avena. Por otro lado, no hubo efecto de las distintas dosis de fertilización sobre la cantidad de mazorcas/planta.

En cuanto a la fertilización, los resultados concuerdan con los expuesto por Cervantes et al. (2013), donde probaron que el efecto de la fertilización en la cantidad de mazorcas/planta depende del material utilizado. Realizaron pruebas con ciertos híbridos los cuales respondían de forma positiva ante la fertilización, mientras que otros híbridos no demostraban respuesta, tal como se da en el presente experimento.

Los granos por espiga demostraron una respuesta positiva a la fertilización, con diferencia significativa de ambos experimentos con respecto al testigo sin fertilizar, pero no entre ellos. Ello puede verse explicado, según Barrios y Basso (2018), debido a que deficiencias de nitrógeno puede resultar en un menor crecimiento celular, así como también en una menor producción de proteínas, repercutiendo en granos con menor materia seca y por ende menos pesados, correspondiéndose con el presente estudio.

Para la variable peso de mil granos, no se presentaron diferencias significativas en términos de distintas dosis de fertilización, así como tampoco del uso de distintas coberturas y la interacción entre ambas. Dichos resultados conciden con el experimento realizado por Brastchi y López (2012), en los cuales se analizó el PMG en función de las distintas coberturas dentro de las cuales se incluyen las tres del presente experimento.

Por su parte, los resultados obtenidos en el presente experimento no concuerdan con el ensayo realizado por Sotomayor et al. (2017), en el cual concluyeron que el maíz respondió de forma positiva a las fertilizaciones nitrogenadas, en la medida que se aumentó la dosis del mismo.

6. CONCLUSIONES

En primer lugar, se evidenció un efecto directo de los cultivos de cobertura sobre el rendimiento del maíz, así como también por parte de la fertilización nitrogenada y la interacción entre ellos.

En cuanto a las coberturas, el trébol alejandrino fue el más destacado como cultivo antecesor, logrando una media de rendimiento del cultivo de maíz de 3.94 Mg ha^{-1} y 4.78 Mg ha^{-1} para experimentos 1 y 2 respectivamente. En contraposición a ello, el triticale fue el cultivo de cobertura de peor performance, evidenciando rendimientos de 2.06 Mg ha^{-1} , prácticamente la mitad del rinde del mejor.

En líneas generales las leguminosas presentaron una superioridad sobre las gramíneas, mientras que el barbecho limpio tuvo una performance intermedia, sin diferenciarse tanto de la arveja como de la avena y el raigrás.

Con respecto a la fertilización nitrogenada, el agregado de N aumentó significativamente el rendimiento de maíz en ambos experimentos, aun evidenciando diferencias en rendimiento al aumentar la dosis aplicada.

Para el experimento 1, la fertilización nitrogenada a razón de 50 UN ha^{-1} para la media de los 6 tratamientos, implicó un aumento de rendimiento de 27%. En cuanto al experimento 2, la fertilización nitrogenada de 100 UN ha^{-1} para la media de los 3 cultivos de cobertura, mostró un incremento de 44% de rendimiento con respecto al testigo sin fertilizar, y un 25% con respecto a 50 UN ha^{-1} .

Por su parte, no existió interacción de cobertura por fertilización nitrogenada dentro del experimento 1, lo cual si fue corroborado en la variable rendimiento del experimento 2. En dicho caso, el tratamiento que demostró el mayor rendimiento fue de trébol alejandrino y la arveja, ambos con fertilizaciones nitrogenadas a razón de 100 UN ha^{-1} .

7. RESUMEN

La agricultura ha sido un gran impulsor de la economía del país en los últimos años, pero en conjunto con ella vino el fuerte aumento en los costos de la producción. Estos últimos desafían continuamente las mejoras tecnológicas para que, junto con el aumento de los rindes, obtener una producción rentable, lo cual implica aumentar la presión sobre el sistema suelo. Sin embargo, se ha tomado conciencia de que la agricultura continua no es viable a largo plazo dado que el futuro se encuentra fuertemente condicionado debido a la alta extracción y modificación de los suelos que tienen dichos sistemas. En base a ello es que debe ser incluido en la ecuación de producción la sustentabilidad del sistema, mejorando constantemente las tecnologías, pero sin desmerecer la importancia que tiene la conservación del suelo. A partir de ello es que surgen distintas investigaciones y aquí una de ellas, evaluar la posibilidad de incluir dentro de la rotación la implantación de coberturas, las cuales en si no serán el cultivo de renta, pero aportarán al sistema desde el punto de vista de la sustentabilidad. Por otro lado, también se evaluó el efecto que tiene la fertilización nitrogenada en dichos sistemas. Varios son los autores que han estudiado el efecto positivo de las coberturas para introducirlos en la rotación de cultivos, argumentando desde la mayor fijación de carbono, evitar el suelo desnudo y con ello la erosión, disminuir la amplitud térmica del suelo, mejorar la estructura del mismo, reciclaje de nutrientes, entre otras. En el presente experimento se evaluó el efecto de las distintas coberturas invernales, así como también la respuesta a la fertilización nitrogenada en el rinde de un sistema de monocultivo de maíz. La investigación estuvo situada en la Estación Experimental Mario A Cassinoni, departamento de Paysandú sobre un Brunosol Éútrico Típico. El diseño experimental utilizado fue un diseño en bloques completos al azar en parcelas divididas, siendo la parcela mayor el cultivo de cobertura, y la parcela menor la fertilización. Se realizaron al menos tres repeticiones por tratamiento, siendo la unidad experimental la subparcela de 50 m². Debido a que se utilizaron una combinación de cultivos de coberturas y dosis de nitrógeno diferencial entre estos, la información fue analizada como dos experimentos, siendo parte de las coberturas y de las dosis utilizadas en ambos experimentos. Las coberturas utilizadas fueron tres gramíneas (avena, raigrás y triticale), dos leguminosas (trébol alejandrino y arveja), en contraste con un barbecho limpio. Por su parte, en el primer experimento se contrastó la ausencia de fertilización (0 N), contra una fertilización con 50 unidades de N. Para el segundo experimento a dichas dosis fue agregada una nueva dosis de 100 unidades de N. La siembra del cultivo de maíz fue realizada el 16 de octubre de 2018 y 48 días posterior a la misma, en V2 se realizó un muestro de suelo con el objetivo de evaluar los distintos niveles de NO₃⁻ en función de las distintas coberturas. En V6 se concretó la fertilización nitrogenada,

así como también se determinó la implantación del cultivo. En floración se procedió a determinar el IAF de los experimentos, así como también el índice verde de cada parcela y, finalmente el 1 de abril, se cosechó de forma manual el cultivo y se determinó la humedad del mismo, así como el peso de 1000 granos, la cantidad de mazorcas por planta y se determinó el rendimiento por área. En términos generales, hubo un efecto significativo tanto por la implementación de las distintas coberturas, así como también la fertilización nitrogenada. Si bien a lo largo del experimento se evaluó como repercutió cada variable en los distintos componentes del rendimiento, en grandes rasgos fueron las leguminosas las coberturas que resultaron en mayores rendimientos de maíz, en gran parte explicado por el aumento del N en el sistema, y los más bajos rendimientos para el caso de las gramíneas, dejando de esta forma el barbecho químico con resultados intermedios. Si bien cuando se analiza la gráfica de nitratos en suelo a V2 hay una diferencia superior en el caso del tratamiento proveniente del barbecho químico, es importante recordar que no fue posible realizar el mismo muestreo en V6 debido a un exceso de lluvias, donde dicha diferencia sería menor o incluso a favor de las leguminosas como se ha evidenciado en otros experimentos, por el simple hecho de la descomposición de las coberturas. Dicha descomposición depende del material y de la relación C/N del mismo, así como la existencia del mismo en el suelo, pero se va dando paulatinamente y a su vez van aumentando las necesidades del cultivo. Por otra parte, a lo largo de todos los experimentos se evidenció el resultado positivo de la fertilización nitrogenada, tanto en las distintas coberturas, así como también la respuesta ante las distintas dosis.

Palabras clave: Maíz; Cultivo cobertura; Fertilización nitrogenada.

8. SUMMARY

Agriculture has played a key role in boosting the country's economy in recent years. Nevertheless, there has been a sharp increase in production costs at the same time. This cost increase challenges the technological improvements and led to increasing the pressure on the soil system in order to get higher results with a view to reaching a profitable production. However, it has become aware that continuous agriculture is not viable in the long term since the future is strongly conditioned due to the high extraction and modification of the soil. Taking this statement into account, it is paramount to include the sustainability of the system in the production equation, keeping enhancing the technological part, but without detracting from the importance of soil conservation. As a consequence, different investigations arise, of which one of them is the possibility of including coverage implantation within the rotation, which it will not be a source of income itself but will contribute to the system when it comes to sustainability. On the other hand, the effect of nitrogen fertilization on these systems was also evaluated. Several authors have studied the positive effect of cover crops by introducing them into crop rotation, arguing from greater carbon fixation, avoiding bare soil and thus erosion, decreasing the thermal amplitude of the soil, improving the structure of himself, nutrient recycling, among others. In the present experiment, the effect of the different winter covers has been evaluated, as well as the response to nitrogen fertilization in the yield of a monoculture maize system. The research was located at the Mario A. Cassinoni Experimental Station, Paysandú department on a Typical Eutric Brunosol. The experimental design used was a randomized complete block design in divided plots, the largest plot being the cover crop, and the smallest plot the fertilization. At least 3 repetitions per treatment were performed, with the experimental unit being the 50 m² subplot. Due to a combination of cover cultures and differential nitrogen doses were used between them, the information was analyzed as two experiments, being part of the covers and doses used in both experiments. The cover crops used were 3 kinds of grass (oats, ryegrass, and triticale), 2 legumes (alexandrine clover and pea), in contrast to a clean fallow. For the first experiment, the absence of fertilization (0 N) was contrasted against fertilization with 50 units of N. For the second experiment, a new dose of 100 units of N was added to said doses. The sowing of the corn crop was carried out on October 16th, 2018, and 48 days after it, a V2 soil sample was carried out with the aim of evaluating the different levels of NO₃⁻ based on the different coverings. Nitrogen fertilization was carried out in V6, as well as the implantation of the culture was determined. In the flowering process, the IAF of the experiments was determined, as well as the green index of each plot. Finally, on April 1st. the crop was manually harvested determining the humidity, weight of 1000 grains, the

number of ears per plant and the yield per area. In general terms, there was a significant effect both due to the implementation of the different cover crops and nitrogen fertilization. Although throughout the experiment the variability of how each variable affected the components of the yield was evaluated. Broadly speaking, the legumes the coverings resulted in higher corn yields, largely explained by the increase of N in the system, the lowest yields in the case of grasses, leaving the chemical fallow with intermediate results. Although when it comes to analyzing the graph of nitrates in the soil at V2 there is a higher difference in the case of treatment from chemical fallow, it is crucial to take into account that it was not possible to carry out the same sampling in V6 due to excessive rainfall, in which that difference it would be less or even in favor of legumes as it has been evidenced in other experiments, mainly to the simple fact of the decomposition of the covers. On the one hand, decomposition depends on the material and the C / N ratio, as well as previously existing of the same in the soil. However, it occurs gradually and in turn the needs of the crop increase. On the other hand, throughout all the experiments, the positive result of nitrogen fertilization was evidenced, both in the different covers, as well as the response to the different doses.

Keywords: Corn; Cover crop; Nitrogen fertilization.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Aita, C. 1997. Dinâmica do nitrogênio no solo durante a decomposição de plantas de cobertura: efeito sobre a disponibilidade de nitrogênio para a cultura em sucessão. In: Fries, M. R.; Dalmolin, R. S. D. eds. Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto. Santa Maria, Pallotti. pp. 76-111.
2. Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, S.; Otegui, M. 1996. Eco fisiología del cultivo de maíz. San Luis, Dekalb. 292 p.
3. Ayala, W.; Bemhaja, M.; Cotro, N.; Docanto, J.; García, J.; Olmos, F.; Real, D.; Rebuffo, M.; Reyno, R.; Rossi, C.; Silva, J. 2010. Forrajeras: catálogo de cultivares 2010. Montevideo, INIA. 131 p. (Otros Documentos no. 38).
4. Azcón-Bieto, J.; Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª. ed. Barcelona, McGraw-Hill. pp. 232-238
5. Bacigaluppo, S.; Bordero, M.; Salvagiotti, F.; Vernizzi, A. 2013. Cambios en el corto plazo en distintas fracciones de la materia orgánica en respuesta a la inclusión de cultivos de cobertura en secuencias basadas en soja. In: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. eds. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. La Pampa, INTA. pp. 88-91.
6. Baigorria, T.; Cazorla, C. 2010. Antecesoros de maíz: ¿barbecho o cultivos de cobertura? (en línea). Marcos Juárez, Argentina, INTA. 7 p. Consultado may. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-antecesoros_de_maz.pdf
7. _____.; 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). Marcos Juárez, Argentina, INTA. 12 p. Consultado may. 2019. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/bases-para-el-manejo-de-vicia-como-antecesor-del-cultivo-de-maiz/>

8. _____.; Bainotti, C.; Cazorla, C.; Donaire, G.; Kloster, A. 2013. Triticale un cultivo invernal plástico y multifuncional. Anuario Planteos Ganaderos en Siembra Directa AAPSD 2013:50-56.
9. Balbinot jr, A.; Veiga, M.; Moraes, A.; Pelissari, A.; Mafra, A.; Picolla, C. 2011. Winter pasture and cover crops and their effects on soil and summer grain crops. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 46(10):1357-1363.
10. Barrios, M.; Basso, C. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. Bioagro. 30(1):39-48.
11. Bassegio, D.; Werncek, I.; Ferreira-Santos, R.; Melegari, S.; Perreira, P.; Tomassoni, F.; Secco, D.; Pires, E. 2013. Nitrogen fertilization for summer corn in succession to cover crops under direct drilling system in western Paraná-Brazil. African Journal of Agricultural Research. 8:1859-1863
12. Bauzá, R.; Capra, G.; Bratschi, C. 2012. Evaluación de la arveja forrajera como alimento para cerdos de engorde. Agrociencia (Uruguay). 17(2):91-98.
13. Bazán, C.; Cotorás, D. 2017. Componentes del rendimiento y eficiencia del uso del agua en maíz implantado sobre cultivos de cobertura. Tesis Téc. Agrop. Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 18 p.
14. Bemhaja, M. 1996. INIA Carace Triticale. Montevideo, INIA. 11 p. (Serie Técnica no. 77).
15. Bologna, J. 2014. Claves para el manejo de triticale. Triticale espinillo. (en línea). Marcos Juárez, Argentina, INTA. 1 p. Consultado may. 2019. Disponible en <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/claves-manejo-triticale-t30683.htm>
16. Bordoli, J. 1999. Dinámica de nutrientes y fertilización en siembra directa. In: Díaz Rosello, R. coord. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 289-297.
17. Carámbula, M. 2010. Pasturas y forrajes: potenciales y alternativas para producir forraje. Montevideo, Hemisferio Sur. t. 1, 357 p.

18. Cervantes, F.; Covarrubias, J.; Rangel, J. A.; Terron, A.; Mendoza, M.; Preciado, R. 2013. Densidad de población y fertilización nitrogenada en la producción de semilla híbrida de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 24:101-110.
19. Cupina, B.; Vujic, S.; Kristic, D.; Radanovic, Z.; Cabilovski, R.; Manojlovic, M.; Latkovic, D. 2017. Winter cover crops as green manure in a temperate region: the effect on nitrogen budget and yield of silage maize. *Crop & Pasture Science*. 68:1060-1069.
20. Díaz Roselló, R. 1992. Evolución del nitrógeno total en rotaciones con pasturas. *Revista INIA. Investigaciones Agronómicas*. no. 1:27-35.
21. Dolivanovic, Z.; Simic, M.; Momirovic, N.; Moravceivc, D.; Janosevic, B. 2016. The effects of different cover crops on grain yield of popcorn. *Serbia*. 46:129-133.
22. Dube, E.; Chiduza, C.; Muchaonyerwa, P. 2012. Conservation agriculture effects on soil organic matter on a Haplic Cambisol after four years of maize–oat and maize–grazing vetch rotations in South Africa. *Soil and Tillage Research*. 123:21-28.
23. Ellis, R. H.; Summerfield, R. J.; Edmeades, G. O.; Roberts, E. H. 1992. Photoperiod, temperature, and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. *Crop Science*. 32(5):1225-1232.
24. 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.
25. _____; Siri Prieto, G. 2012. Effect of legume or grass cover crops and nitrogen application rate on soil properties and corn productivity. *Agrociencia (Uruguay)*. 16(3):294-301
26. Fabiani, M.; Bianco, L.; Da costa, P. 2017. Differential influence of shoot extracts of winter cover crops on seed germination of corn, soybean and indicator plants. *Communications in Plant Sciences*. 7(12):44-48.

27. Fakhari, R.; Khanzade, H.; Mammadova, R.; Tobeh, A.; Moharramnezhad, S. 2015. Effects of interseeding cover crops and split nitrogen application on weed suppression in forage maize. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*. 14:278-285.
28. Fassio, A.; Carriquiry, A. I.; Tojo, C.; Romero, R. 1998. Maíz: aspectos sobre fenología. Montevideo, INIA. 51 p. (Serie Técnica no. 101).
29. Fernandes, F.; Libardi P. 2012. Distribuição do nitrogênio do sulfato de amônio (15n) no sistema solo-planta, em uma sucessão de culturas, sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira Ciencia do Solo*. 36:885-893.
30. Fernández-Pascual, M.; De María, N.; De Felipe, M. 2002. Fijación biológica del nitrógeno: factores limitantes. *In*: Valladares, F. ed. *Ciencia y medio ambiente*. Madrid, CSIC. pp. 195-202.
31. Finney, D.; Murrel, E.; White, C.; Baraibar, B.; Barberchek, M.; Bradley, B.; Cornelisse, S.; Hunter, M.; Kaye, J.; Mortensen, D.; Mullen, C.; Schipanski, M. 2017. Ecosystem services and disservices are bundled in simple and diverse cover cropping systems. *Agricultural and Environmental Letters*. 2(1):1-5.
32. Fisk, J.; Hesterman, O.; Shrestha, A.; Kells, J. J.; Harwood, R. R.; Squire, J. M.; Sheaffe, C. C. 2001. Weed Suppression by Annual Legume Cover Crops in No-Tillage Corn. *Agronomy Journal*. 93:319-325.
33. Formoso, F. 2011. Verdeos de invierno. *Revista INIA*. no. 24:23:27.
34. Frazão, J.; Da silva, A.; Da silva, V.; Oliveira, V.; Correa, R. 2014. Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 18(12):1262-1267.
35. Garay, J.; Colazo, J. El cultivo de maíz en San Luis. 2015. INTA. San Luis. Información técnica no. 188:7-13.
36. García, J. 2000. INIA Calipso nuevo cultivar de trébol alejandrino. Montevideo, INIA. 9 p. (Boletín de Divulgación no. 70).

37. Giacomini, S.; Aita, C.; Chiapinotto, I.; Hübner, A.; Marques, M.; Cadore, F. 2004. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto. Nitrogênio acumulado pelo milho e produtividade de grãos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 28:751-762.
38. Griffin, T.; Liebman, M.; Jemison, J. 2000. Cover crops for sweet corn production in a short-season environment. *Agronomy Journal*. 92:144-151.
39. Janosevic, B.; Dolijanovic, Z.; Dragicevic, V.; Simic, M.; Dodevska, M.; Djordjevic, S.; Moravcevic, D.J.; Miodragovic, R. 2017. Cover crop effects on the fate of N in sweet maize (*Zea mays* L. *Saccharata* sturt.) Production in a semiarid region. *International Journal of Plant Production*. 11(2):285-294.
40. Komainda, M.; Taube, F.; Klub, C.; Herrmann, A. 2018. Effects of catch crops on silage maize (*Zea mays*): yield, nitrogen uptake efficiency and losses. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 110(1):51-69.
41. Kunz, C.; Weber, J.; Gerhards, R. 2016. Comparison of different mechanical weed control strategies in sugar beets. In: German Conference on Weed Biology and Weed Control (27th, 2016, Stuttgart). Proceedings. Quedlinburg, Germany, Julius Kühn-Institut. pp. 446-452.
42. Lai, R.; Arca, P.; Lagomarsino, A.; Cappai, C.; Seddaiu, G.; Demurtas, C.; Roggero, P. 2017. Manure fertilization increases soil respiration and creates a negative carbon budget in a mediterranean maize (*Zea mays* L.) -based cropping system. *Catena*. 151:202-212.
43. Linsler, D.; Nüsse, A.; Buchen, C.; Helfrich, M.; Piepho, H-P.; Ludwig, B. 2018. Effects of chemical and physical grassland renovation on the temporal dynamics of organic carbon stocks and water-stable aggregate distribution in a sandy temperate grassland soil. *Soil Use and Management*. 34(4):490-499.
44. Marcillo, G.; Miguez, F. 2017. Corn yield response to winter cover crops: an updated meta-analysis. *Journal of Soil and Water Conservation*. 72(3):226-239.

45. Martinez-Feria, R. A.; Dietzel, R.; Liebman, M.; Helmers, M. J.; Archontoulis. 2016. Rye cover crop effects on maize: a system-level analysis. *Field Crops Research*. 196:145-159.
46. Masino, A.; Madoery, O.; Conde, B.; Montechiari, A. 2010. Respuesta del cultivo de maíz a dosis crecientes de nitrógeno. (en línea). Corral de Bustos, Argentina, INTA. 7 p. Consultado may. 2019. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-respuesta_del_cultivo_de_maz_a_dosis_crecientes_de_ni.pdf
47. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY.) 2019. Encuesta agrícola invierno 2019. Montevideo. pp. 1-11.
48. Muzangwa, L.; Chiduzza, C.; Muchaonyerwa, P. 2015. Bicultures of oat (*Avena sativa*) and grazing vetch (*Vicia dasycarpa*) regulate residue decomposition, nitrogen and phosphorus dynamics, and weed suppression in maize. *International Journal of Agriculture & Biology*. 17(3):475-482.
49. Omae, H.; Nagumo, F. 2016. Effects of oat (*avena sativa*) and hairy vetch (*vicia villosa*) cover crops on nitrate leaching, soil water, and maize yield in subtropical islands in japan. *Journal of Agricultural Science*. 8:1-44.
50. Paiwal, R.; Granados, G.; Lafitte, R.; Violic, A. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Roma, FAO. pp. 117-122 (Colección FAO. Producción y Protección Vegetal no. 28).
51. Poehlman, J. M.; Sleper, D. A. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. 2ª. ed. México, Limusa/Noriega. 511 p.
52. Prieto, G. 2012. Pautas para el manejo del cultivo de arveja. (en línea). Arroyo Seco, Argentina, INTA. 7 p. Consultado may. 2019. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/pautas-para-el-manejo-del-cultivo-de-arveja/>
53. Rameau, D.; Van den Dorpel, M. 2016. Respuesta del maíz a la población y a dos dosis de nitrógeno en condiciones de riego. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 79 p.

54. Reeves, D. W.; Touchton, J. T. 1991. Influence of fall tillage and cover crops on soil water and nitrogen use efficiency of corn grown on a Coastal Plain soil. In: International Conference Cover Crops for Clean Water (no. ordinal, 1991, Jackson, TN). Proceedings. Ankeny, IA, Soil and Water Conservation Society. pp. 76-77.
55. Ridley, N. 2013. Cultivos de cobertura en el sur de Santa Fé: Efectos sobre la eficiencia de barbecho y la porosidad del suelo. In: Álvarez, C.; Quiroga, A.; Santos, D.; Bodrero, M. eds. Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. La Pampa, INTA. pp. 7-15.
56. Ruffo, M.; Parsons, A. 2004. Cultivos de coberturas en sistemas agrícolas. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no. 21:8-17.
57. 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.
58. Sa Pereira, E.; Galantini, J.; Quiroga, A.; Landriscini, M. 2014. Efecto de los cultivos de cobertura otoño invernales, sobre el rendimiento y acumulación de n en maíz en el sudoeste bonaerense. Ciencia del Suelo. 32:219-231.
59. Sawchik, J. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. (en línea). In: Díaz Rosselló, R. coord. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, PROCISUR. pp. 323-345. Consultado may. 2019. Disponible en http://www.inia.org.uy/novedades/jorge_sawchik.pdf
60. Scianca, C.; Barraco, M.; Pérez, M.; Lardone, A. 2011. Cultivos de cobertura en sistemas orgánicos: producción de materia seca e impacto sobre algunas propiedades edáficas y población de malezas. INTA. General Villegas. Memoria técnica 2010-2011:38-46.
61. _____; Barraco, M.; Pérez, M.; Lardone, A. 2012. Cultivo de cobertura y maíz tardío en sistemas de producción orgánica. INTA. General Villegas. Memoria técnica 2011-2012:83-87.

62. Shah, A. N.; Iqbal, J.; Ullah, A.; Yang, G.; Yousaf, M.; Fahad, S.; Tanveer, M.; Hassan, W.; Tung, S.; Wang, L.; Khan, A.; Wu, Y. 2016. Allelopathic potential of oil seed crops in production of crops: a review. *Environmental Science and Pollution Research International*. 23:14854-14867.
63. Sotomayor, R.; Chura, J.; Calderón, C.; Sevilla, R.; Blas, R. 2016. Fuentes y dosis de nitrógeno en la productividad del maíz amarillo duro bajo dos sistemas de siembra. *Anales Científicos*. 78:232-240.
64. Sparks, D. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones. *Advances in Agronomy*. 79:228-292.
65. Tosquy, H.; Castañon, G. 1998. Respuesta de fertilización y densidad de siembra de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 9(2):113-118.
66. Wang, H.; Richardson, C.; Ho, M. 2015. Dual controls on carbon loss during drought in peatlands. *Nature Climate Changes*. 5:584-587.
67. Zanoniani, R.; Ducamp, F. 2000. Consideraciones a tener en cuenta en la elección de verdes de invierno. *Cangüé*. no. 18:22-26.
68. Ziech, A.; Conceição, P.; Heberle, C.; Cassol, C.; Balim, N. 2016. Productividade e componentes de rendimento de milho em função de plantas de cobertura e doses de nitrogênio. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*. 15(2):195-201.