



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

*Final presentado para optar al Grado de*

*Ingeniero Agrónomo*

**Modalidad: proyecto**

**“EFECTOS HÍDRICOS Y NUTRICIONALES DE LA VICIA  
(*Vicia sativa* L.) COMO ANTECESOR DEL CULTIVO DE MAÍZ  
(*Zea mays* L.)”**

**Alumno**

**Gatto, Juan Carlos**

**32.777.201**

**Director: Ing. Agr. Dr. Gabriel P. Espósito**

**Co-director: Ing. Agr. Guillermo R. Balboa**

**Río Cuarto - Córdoba**

**Noviembre de 2015**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

## Facultad de Agronomía y Veterinaria

### CERTIFICADO DE APROBACIÓN

**Título del Trabajo Final: “Efectos hídricos y nutricionales de la vicia (*Vicia sativa* L.) como antecesor del cultivo de maíz (*Zea mays* L.)”**

**Autor: Juan Carlos Gatto**

**DNI: 32.777.201**

**Director: Ing. Agr. Dr. Gabriel Pablo Espósito**

**Codirector: Ing. Agr. Guillermo Raúl Balboa**

**Aprobado y corregido de acuerdo a las sugerencias del Jurado Evaluador:**

**Ing. Agr. Morla Federico**

\_\_\_\_\_

**Ing. Agr. Cerliani Cecilia**

\_\_\_\_\_

**Ing. Agr. Dr. Espósito Gabriel Pablo**

\_\_\_\_\_

**Fecha de presentación: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_**

**Aprobado por Secretaría Académica: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_**

---

**Secretario Académico**  
**Facultad de Agronomía y Veterinaria**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, hermanos y a mi novia por su apoyo incondicional en cada momento y por su significativo aporte en mi formación personal y profesional.

A mi hermano e Ingeniero Agrónomo Mario Gatto, por alentarme a seguir adelante en cada momento y por ser copartícipe en parte de este trabajo.

A la empresa Gatto Hnos. S.R.L. por facilitarme los recursos para realizar el presente trabajo.

A la Cátedra de Producción de Cereales de la Facultad de Agronomía y Veterinaria por posibilitarme la realización del Trabajo Final y su apoyo incondicional frente a cada necesidad al respecto.

Al Ingeniero Gabriel Espósito, por prestarme parte de su tiempo y estar en cada momento que lo necesité.

A la Cátedra de Suelo-Planta de la Facultad de Agronomía y Veterinaria por prestarme su laboratorio, elementos de trabajo y parte de su tiempo para realizar los análisis de suelo determinados.

A mis amigos, compañeros de estudio y a todas las personas que hicieron posible alcanzar este objetivo tan importante en mi vida.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto.

## ÍNDICE GENERAL

### ÍNDICES

Índice de textos.....	IV
Índice de tablas.....	VII
Índice de figuras.....	VII
Índice de abreviaturas.....	IX
<b>I. RESUMEN.....</b>	<b>XII</b>
<b>II. SUMMARY.....</b>	<b>XIII</b>
<b>III. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>IV. a. HIPÓTESIS.....</b>	<b>20</b>
<b>IV. b. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>20</b>
<b>IV. c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>20</b>
<b>V. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
<b>V. a. Caracterización del sitio.....</b>	<b>21</b>
<b>V. a. 1. Clima.....</b>	<b>21</b>
<b>V. a. 2. Suelo.....</b>	<b>23</b>
<b>V. a. 3. Fisiografía.....</b>	<b>23</b>
<b>V. a. 4. Vegetación.....</b>	<b>24</b>
<b>V. b. Condiciones experimentales.....</b>	<b>25</b>
<b>V. c. Determinaciones realizadas.....</b>	<b>27</b>
<b>V. c. 1. Análisis de suelo.....</b>	<b>27</b>
<b>V. c. 2. Humedad edáfica.....</b>	<b>27</b>

V. c. 3. Balance hídrico.....	27
V. c. 4. Uso consuntivo del agua.....	29
V. c. 5. Materia seca y tasa de crecimiento del cultivo de cobertura.....	29
V. c. 6. Contenido de nitrógeno en planta de vicia.....	29
V. c. 7. Balance de nitrógeno.....	30
V. c. 8. Muestreo de materia seca de rastrojo.....	30
V. c. 9. Estimación del rendimiento del cultivo de maíz.....	30
V. c. 10. Determinación de la dosis óptima económica de nitrógeno.....	31
V. c. 11. Eficiencia del uso del agua.....	33
V. c. 12. Costo hídrico.....	33
V. d. Análisis de resultados.....	34
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
VI. a. Lámina de agua disponible.....	35
VI. b. Balance hídrico.....	36
VI. c. Uso consuntivo, eficiencia en el uso del agua y costo hídrico de la vicia...	37
VI. d. Análisis de materia orgánica.....	38
VI. e. Análisis de nitrógeno proveniente del suelo.....	40
VI. f. Contenido de nitrógeno en vicia y su aporte al suelo.....	42
VI. g. Balance de nitrógeno.....	43
VI. h. Análisis de fósforo.....	44
VI. i. Producción de biomasa de vicia y su tasa de crecimiento.....	45
VI. j. Materia seca de rastrojo.....	46

<b>VI. k. Rendimiento</b> .....	48
<b>VI. l. Determinación de la dosis óptima económica de nitrógeno</b> .....	50
<b>VII. CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	53
<b>IX. ANEXOS</b> .....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** Uso consuntivo (UC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y costo hídrico (CH) de la vicia. Campaña 2011. (pág. 37)

**Tabla 2.** Cantidad de nitrógeno disponible ( $N-NO_3^-$  ( $kg\ ha^{-1}$ )) en suelo, medidos sobre los tratamientos, testigo (Te) y vicia y sobre las diferentes dosis de fertilización nitrogenada ( $kg\ de\ N\ ha^{-1}$ ). (pág. 41)

**Tabla 3.** Porcentaje de proteína bruta (PB), porcentaje de nitrógeno (N) y producción de materia seca (MS) de vicia al final del período del cultivo de cobertura (CC) y su aporte de nitrógeno (N) al suelo. Campaña 2011. (pág. 42)

**Tabla 4.** Balance de nitrógeno ( $N-NO_3^-$ ,  $kg\ ha^{-1}$ ) sobre cultivo de cobertura (CC) y testigo (Te). (pág. 43)

**Tabla 5.** Rendimiento de maíz ( $qq\ ha^{-1}$ ), sobre los diferentes tratamientos, testigo (Te) y vicia, y sobre las diferentes dosis de fertilización nitrogenada ( $kg\ de\ N\ ha^{-1}$ ). (pág. 48)

**Tabla 6.** Eficiencia del uso del agua (EUA) del cultivo de maíz. Campaña 2011-2012. (pág. 49)

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** Precipitación y temperatura media mensual, período 1995-2012 y precipitación campaña 2011-2012, para la localidad de Monte Buey, Córdoba. (pág. 21)

**Figura 2.** Análisis del balance hídrico climático de la región de Marcos Juárez. Córdoba. Argentina. (ETP: Evapotranspiración potencial- ETR: Evapotranspiración real). (pág. 22)

**Figura 3.** Evolución de la lámina de agua disponible (LAD), en el cultivo de cobertura, el testigo y hasta comienzo del estado reproductivo del maíz. (pág. 35)

**Figura 4.** Evolución de evapotranspiración (ET) del cultivo de maíz, para el tratamiento testigo (Te) y con vicia. (pág. 36)

**Figura 5.** Nitrógeno de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) aportado por la mineralización de la materia orgánica (MO), durante la siembra de vicia, la siembra de maíz y la cosecha de maíz. Campaña 2011-2012. (pág. 39)

**Figura 6.** Nitrógeno de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) aportado por el suelo. Campaña 2011-2012. (pág. 40)

**Figura 7.** Fósforo (P) contenido por el suelo. Campaña 2011-2012. (pág. 44)

**Figura 8.** Acumulación de biomasa (MS) y tasa de crecimiento del cultivo de cobertura (TCC). (pág. 45)

**Figura 9.** Evolución de la materia seca (MS) del rastrojo antes de la siembra de maíz. (pág. 46)

**Figura 10.** Determinación de la dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN), sobre vicia y testigo (Te) en las diferentes dosis de fertilización nitrogenada. (pág. 50)

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

$\Delta$ Alm	Variación de almacenaje
ANAVA	Análisis de la Varianza ( <i>Analysis of Variance</i> )
AU	Agua útil
C	Carbono
°C	Grado Centígrado
Ca	Calcio
CC	Cultivo de cobertura
cc	Capacidad de campo
CH	Costo hídrico
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CRA	Capacidad de retención de agua
D	Drenaje
DAP	Densidad aparente
DEH	Distancia entre hileras
DMS	Diferencia mínima significativa
DOEN	Dosis optima económica de nitrógeno
DS	Densidad de siembra
EEA	Estación Experimental Agropecuaria
Es	Evaporación del agua del suelo
Esc	Escurrimiento
ET	Evapotranspiración
<i>et al.</i>	Y otros
ETP	Evapotranspiración potencial
ETR	Evapotranspiración real
EUA	Eficiencia del uso del agua
FBN	Fijación biológica del nitrógeno
FS	Fecha de siembra

Ha	Hectárea
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
K	Potasio
Kg	Kilogramo
Km	Kilometro
L	Litro
LAD	Lámina de agua disponible
LC	Labranza convencional
m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
mm	Milímetro
MO	Materia orgánica
MS	Materia seca
N	Nitrógeno
<sup>15</sup> N	Isótopo estable y no radiactivo del nitrógeno
N <sub>2</sub>	Nitrógeno molecular
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amonio
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrato
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Nitrito
N <sub>2</sub> O	Óxido de nitrógeno
Nf	Napa freática
Nt	Nitrógeno total
P	Fósforo
PB	Proteína bruta
Pl	Plantas
PMP	Punto de marchitez permanente
Pp	Precipitaciones
ppm	Partes por millón
qq	Quintal
R	Riego

S	Azufre
SD	Siembra directa
T	Transpiración
T °C	Temperatura en grados centígrados
TCC	Tasa de crecimiento del cultivo
Te	Testigo
Tn	Tonelada
UC	Uso consuntivo
USD	Dólar moneda
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i> (Departamento de Agricultura de EEUU)
VS	<i>Vicia sativa</i>
VV	<i>Vicia villosa</i>
\$	Peso moneda
%	Por ciento

## I. RESUMEN

### “EFECTOS HÍDRICOS Y NUTRICIONALES DE LA VICIA (*Vicia sativa* L.) COMO ANTECESOR DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)”

En las últimas décadas, las explotaciones agropecuarias se transformaron casi exclusivamente en sistemas agrícolas, con predominio del monocultivo de soja. Como resultado de este cambio, se produjeron pérdidas de la calidad de los suelos, por erosión y disminución en el contenido de materia orgánica (MO). Una alternativa agronómica como posible solución a estos problemas es la inclusión de cultivos de cobertura (CC) que logran intensificar la rotación, incrementando la cantidad de cultivos por unidad de tiempo, aprovechando los beneficios de su utilización y mejorando la eficiencia de los sistemas agrícolas actuales. El siguiente trabajo tuvo como objetivo determinar el efecto del cultivo de *Vicia sativa* (VS) como CC sobre el balance hídrico, el aporte de nitrógeno (N) y la respuesta en producción de grano del cultivo de maíz en la rotación. Para ello se realizó un ensayo al sur de Monte Buey (Córdoba), en el cual se evaluó el rendimiento del cultivo de maíz, creciendo sobre rastrojo del CC (VS) y sobre rastrojo de soja (testigo). Además, se fertilizó con N, aplicando cuatro dosis diferentes de fertilizante nitrogenado (urea), tanto en el tratamiento Te, como sobre el CC. VS produjo 4157 kg de MS ha<sup>-1</sup>, un UC de 264,4 mm, una EUA de 21 kg de MS mm<sup>-1</sup> y un CH de 83,38 mm. La ET total del maíz fue de 466 y 411,6 mm para los tratamientos Te y CC respectivamente, con una EUA de 20 kg de MS mm<sup>-1</sup> sobre Te y 17 kg de MS mm<sup>-1</sup> sobre CC y con un rendimiento promedio de 7003 kg ha<sup>-1</sup> en CC y de 9290 kg ha<sup>-1</sup> en Te. Por su parte, las DOEN tanto sobre CC como en Te dieron 0, no habiendo respuesta a la fertilización nitrogenada que maximice la renta del cultivo. Por lo tanto, los resultados obtenidos indicaron que, dadas las condiciones climáticas del ensayo durante la campaña 2011-2012, la inclusión de VS no fue tan efectiva como se esperaba, ya que no se obtuvo respuesta significativa en el rendimiento del cultivo de maíz.

**Palabras claves:** cultivo de cobertura – dinámica del agua – nitrógeno – rendimiento – maíz

## II. SUMMARY

### "WATER AND NUTRITIONAL EFFECTS OF VICIA (*Vicia sativa* L.) AS PREDECESSOR OF CORN CROPS (*Zea mays* L.)"

Agriculture in Argentina is an activity of great magnitude in economic terms and the extension of cultivated areas, with a predominance of soybean monoculture. As a result of frequent tillage, it has produced a loss of soil quality, mainly due to soil erosion and a decrease in soil organic matter (OM). An agronomic alternative is the inclusion of cover crops (CC) which intensify rotation, thereby increasing the number of crops per time unit, and improving the efficiency of current agricultural systems. This research work aimed to study the effect of *Vicia sativa* (VS) as a CC on the water balance, the contribution of nitrogen (N) and the average yield of grain production in the rotation. For this purpose, a test was conducted in a town located in the south of Monte Buey (Córdoba), in which it was assessed the corn crop yield, growing on CC (VS) and soybean stover (control, C). Additionally, it was fertilized with N, using four different doses of nitrogen fertilizer (urea), in the both treatments, control and CC. The VS produced 4157 kg of DM ha<sup>-1</sup>, a CU of 264.4 mm, a WUE of 21 kg of DM mm<sup>-1</sup> and a WC of 83.38 mm. The total ET of the maize was 466 and 411.6 mm for the C and CC treatment respectively, with a WUE of 20 kg DM mm<sup>-1</sup> in the C treatment and 17 kg of DM mm<sup>-1</sup> in the CC, and an average yield of 7003 kg ha<sup>-1</sup> in the CC and 9290 kg ha<sup>-1</sup> in the C treatment. As regards the EONDS, the result was 0 in both treatments, showing no response to the nitrogen fertilization aimed at maximizing the crop income. Therefore the test results indicated that given the conditions under which the test was performed during the season 2011-2012, the VS treatment was not as effective as expected because of no significant response was obtained in the corn crop yield.

**Keywords:** cover crop – water dynamics – nitrogen – yield – maize

### III. INTRODUCCIÓN

La agricultura en Argentina es una actividad muy importante en términos económicos y extensión de áreas cultivadas. La principal zona agrícola comprende la Pampa Húmeda y se extiende a la zona semiárida central donde las precipitaciones son más escasas y la estacionalidad climática es más marcada (Abril *et al.*, 2005).

Tradicionalmente, los campos se dedicaban a ganadería y agricultura de manera rotativa, lo que favorecía el mantenimiento de la fertilidad edáfica. Sin embargo, en las últimas décadas, las explotaciones se transformaron casi exclusivamente en sistemas agrícolas. Como resultado de este cambio, se produjeron pérdidas de la calidad de los suelos, principalmente por erosión y disminución en el contenido de materia orgánica (MO), a causa de los laboreos frecuentes (Díaz-Zorita *et al.*, 2004).

La actividad agrícola en la región pampeana, orientada fundamentalmente a la producción de soja, maíz, trigo y girasol, fue experimentado transformaciones a partir de la década del noventa, no solo en cuanto a su expansión en superficie, sino también a través de un aumento de su productividad, debido a un mayor uso de tecnologías (Álvarez *et al.*, 2006), como ser la siembra directa (SD), la que condujo a una falta de perturbación del suelo y un aumento de la cobertura superficial, lo cual influye en los procesos de descomposición de los residuos de cosecha, principalmente los relacionados con la acumulación de carbono (C) orgánico y la disponibilidad de nutrientes. Debido a que los procesos de descomposición son llevados a cabo por microorganismos edáficos, las propiedades biológicas del suelo también resultan fundamentales para el entendimiento de las modificaciones que se producen a causa de la deposición superficial de los residuos de cosecha (Abril *et al.*, 2005).

El proceso de descomposición de los residuos depende del ambiente químico generado por el residuo y de su interacción con los microorganismos del suelo. Los factores del suelo que controlan el proceso son: humedad, temperatura, pH, aireación y disponibilidad de nutrientes. Entre los factores del residuo encontramos: composición química, relación carbono/nitrógeno (C/N), contenido de lignina y tamaño de las partículas del residuo, así como la forma de contacto con el suelo y la microflora natural (Richmond y Rillo, 2010). En cuanto al N, si la cantidad de este, presente en la descomposición de residuos orgánicos es mayor que la requerida por los microorganismos, existirá una mineralización neta con liberación de N inorgánico. Por su parte si la cantidad de N en el residuo es igual a la cantidad requerida, no habrá mineralización neta. Si, por el contrario, la cantidad de N presente en el residuo es menor que la requerida por la biomasa microbiana, será inmovilizado como N inorgánico adicional, el que luego se obtendrá a partir del suelo para completar el proceso de descomposición (Cabrera, 2007).

La disponibilidad de nutrientes durante el ciclo de un cultivo, principalmente de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Azufre (S) y Potasio (K), afecta los procesos que regulan el crecimiento, la generación del rendimiento y la calidad de los cultivos de granos. En lo que respecta al maíz, los requerimientos nutricionales del cultivo son: 22 kg de N; 4 kg de P; 19 kg de K y 5 kg de S absorbidos, por tonelada (Tn) de grano producido (Capurro *et al.*, 2010).

Por su parte el cultivo de soja aporta un rastrojo rico en N que se descompone rápidamente, dejando escasa cobertura sobre la superficie del suelo. Debido a esta misma causa, la incorporación de MO es muy baja, con lo que la estructura del suelo tiende a volverse inestable y a densificarse. Por ende, el monocultivo de soja no puede contrarrestar la densificación estructural porque el sistema de raíces genera menor cantidad de bioporos y agregados que las raíces de las gramíneas, tales como el maíz, el sorgo y el trigo (Bacigaluppo *et al.*, 2009).

Una alternativa agronómica para incrementar el aporte de residuos ricos en nutrientes en sistemas de agricultura continua con alta participación de soja, es la incorporación de cultivos de cobertura (CC). Los mismos son establecidos entre dos cultivos de verano y no son pastoreados, incorporados, ni cosechados. Los residuos de los CC quedan en superficie protegiendo al suelo y liberando nutrientes como resultado de procesos de degradación de la biomasa aérea y radical de los mismos (Álvarez *et al.*, 2006).

Estos cultivos cumplen con diversas funciones, entre ellas, protección física del suelo a la radiación solar, viento y lluvia, control de malezas, mayor aporte de C orgánico, captura de nutrientes móviles (N y S) a través de su biomasa, aumento de la eficiencia en el uso del agua (EUA), depresión de napas freáticas (Nf) y control de plagas y enfermedades (Baigorria *et al.*, 2009).

La posibilidad de elegir CC de diferentes familias permite analizar, que cantidad y calidad de residuos van a influir en la velocidad de descomposición de los mismos. Se sabe que en rastrojos con alta relación C/N, el N es liberado más lentamente que el C, lo que produce un aumento en la concentración de N del residuo a medida que avanza el proceso. El caso contrario ocurre cuando la relación C/N es baja. El ciclo, los flujos y las tasas de renovación del N están regulados por la actividad y el número de la microbiota del suelo (Boccolini *et al.*, 2010).

En zonas templadas, las especies más utilizadas como CC pertenecen principalmente a las familias de las gramíneas y las leguminosas. Las gramíneas más utilizadas son: centeno (*Secale cereale*), trigo (*Triticum aestivum*), cebada (*Hordeum vulgare*), avena (*Avena sativa*), triticale (*X triticosecale*) y raigrás anual (*Lolium multiflorum*). El centeno es la gramínea más tolerante al frío y al estrés hídrico y produce un abundante volumen de residuo que se descompone más lentamente que el de otras gramíneas de invierno. Las leguminosas mejor adaptadas como CC son las vicias (*Vicia villosa*, VV, y *Vicia sativa*, VS) y los tréboles, trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol de olor (*Melilotus* sp.), trébol de Alejandría (*Trifolium alexandrinum*) y trébol

encarnado (*Trifolium incarnatum*). *Vicia sativa* es la leguminosa más resistente al frío mientras que *Trifolium incarnatum* acumula N más rápidamente que VS y tolera mejor los suelos moderadamente ácidos. Ambas especies acumulan la mayor parte de la biomasa y N entre 2 a 3 semanas previas a la floración (Ruffo y Parsons, 2004).

Un parámetro muy importante que se modifica en presencia de un CC es la EUA. En años con precipitaciones normales durante barbechos largos y en suelos de baja capacidad de retención de agua (CRA), las precipitaciones exceden durante este barbecho a la CRA y consecuentemente una parte sustancial de la misma se pierde infiltrándose en profundidad. No obstante, se reconoce que el consumo hídrico de los CC durante el invierno podría evitar esta pérdida y lograr almacenar más agua en el perfil del suelo (Álvarez *et al.*, 2006). Sin embargo se debe tener en cuenta que hay antecedentes que demuestran lo contrario, generando un costo hídrico (CH) para el cultivo de verano (Fernández *et al.*, 2007).

Otra de las utilidades de los CC, es la depresión de la napa freática en aquellos suelos donde la presencia de la misma está muy cercana a la superficie. Los CC mejoran esta situación consumiendo agua en los primeros centímetros del perfil optimizando la transitabilidad de los suelos en períodos húmedos (Álvarez y Scianca, 2006).

En cuanto a la producción de materia seca (MS), los CC proveen de sustratos a los microorganismos que intervienen en el ciclo del N (ver Figura 1 del anexo IX. I), los cuales lo toman en su biomasa, de este modo reducen su disponibilidad para la siembra de cultivos estivales; no obstante, el N no queda expuesto a la lixiviación ante la ocurrencia de lluvias intensas. Finalmente, la descomposición y posterior mineralización de los residuos de CC, regulada por la actividad y número de la microbiota del suelo, entrega el N durante el ciclo de los cultivos estivales (Abril, 2002).

Por este motivo, en la actualidad existen excelentes razones para aumentar la producción de vicia como fijadora de N en simbiosis con *Rhizobium*, ya que la rotación con este tipo de CC proporciona N a los cultivos de cereales. Esto sumado a una reducción de la erosión, una mejora en la estructura del suelo, los ciclos de nutrientes, los procesos microbiológicos y reducción de las contaminaciones, hacen de esta práctica un manejo sustentable (Acero de Mesa, 1997). Por lo que en las secuencias de cultivos con una importante participación de gramíneas como sorgo y maíz, resulta de interés la incorporación de leguminosas anuales como CC. Hay evidencias de que a largo plazo, el aporte de N por fijación biológica podría reducir la cantidad de fertilizante nitrogenado a aplicar para el cultivo sucesor (Carof *et al.*, 2007).

En Argentina, principalmente en la Pampa Húmeda, como se mencionó anteriormente se utilizan como CC dos especies pertenecientes al género vicia (VV y VS). Las funciones más importante que estas especies cumplen como CC en sistemas de SD, son: a) fijación biológica de nitrógeno (FBN) (el cual puede ser utilizado por el cultivo siguiente en la rotación), b) control de malezas invernales-estivales, las primeras por competencia y las segundas por el

residuo dejado en superficie, c) reducción de la erosión del suelo, ya que lo protegen del impacto de las gotas de lluvia, generando un menor escurrimiento superficial, en tanto que las raíces generan canales que mejoran la infiltración, d) optimización de la EUA, a través de la reducción de las pérdidas del sistema, comparándolo con el barbecho convencional (Baigorria *et al.*, 2011).

Debido a lo explicado anteriormente, los CC presentan un gran potencial para incrementar o mantener los rendimientos del cultivo de maíz (Míguez *et al.*, 2009). A pesar de ello, pueden tener efectos adversos con un manejo inadecuado. La inclusión de estos cultivos agrega una variable más a considerar, e implica costos adicionales (semilla, siembra y fertilización). Para la adopción de un CC se deben conocer aspectos técnicos tales como: la especie a utilizar, la fecha de siembra (FS), el distanciamiento entre hileras (DEH), el momento y forma de secado (mecánico o químico) y el consumo de agua por parte de los cultivos. Las prácticas de manejo deben concentrarse en establecer FS y culminación de los CC para adecuar de esta forma la producción de biomasa, el reciclado de nutrientes y la competencia con malezas, manteniendo al mismo tiempo un balance favorable de agua en el suelo (Bollero, 2005).

La FS en vicia es uno de los factores que determina su potencial productivo, mencionándose en diversos ensayos FS que van desde fines de verano hasta mediados de invierno, con producciones de MS que varían entre 500 y 8000 kg ha<sup>-1</sup> (Vanzolini *et al.*, 2009). Ensayos realizados en la EEA INTA Marcos Juárez, recomiendan la siembra durante el otoño (meses de marzo, abril o mayo), es decir, no son convenientes las siembras durante el invierno. En el otoño sembrar más temprano (marzo) permitiría alargar la estación de crecimiento del cultivo.

Por su parte la densidad de siembra (DS) tiene gran incidencia en los costos de implantación y en la producción de MS. Algunos trabajos señalan a las DS de 20-30 plantas m<sup>-2</sup> como bajas, 40-50 como medias y 120-160 como altas. Estudios realizados en Marcos Juárez recomiendan DS entre 30 y 40 plantas m<sup>-2</sup> (Baigorria *et al.*, 2011).

Recientemente se demostró que estas dos prácticas de manejo no muestran diferencias en el porcentaje de N total (Nt) contenido en la biomasa aérea de los CC, variando entre 2,21 y 2,48%, por lo que el Nt incorporado por la biomasa aérea varió entre 142 y 186 kg de N ha<sup>-1</sup> (Barraco *et al.*, 2012).

Un tema importante a tener en cuenta cuando se realizan CC, es la manera en que se va a interrumpir el crecimiento del cultivo. Una de las formas más utilizadas en los sistemas de agricultura bajo SD, es mediante el uso de herbicidas no selectivos. Ésta, tiene la característica de ofrecer mayor agilidad, ya que permite optimizar la logística y el tiempo, se pueden realizar gran cantidad de hectáreas en poco tiempo y pueden ser aplicados en diferentes estadios fenológicos de la vicia. Esta especie es tolerante a dosis normales de glifosato (Rodríguez,

2005). Ensayos realizados en la zona de Marcos Juárez, mostraron resultados muy satisfactorios, con tratamientos como glifosato (66,2%) combinado con 0,1 l ha<sup>-1</sup> de dicamba (Aimetta *et al.*, 2012). Las aplicaciones de dicamba pueden ocasionar problemas de deriva, dependiendo en la época en que se hagan, en especial durante los meses de octubre y noviembre, pudiendo afectar lotes vecinos que tengan sembrado el cultivo de soja o algún otro que no sea una gramínea.

Otro de los métodos para controlar los CC, es mediante el control mecánico, que a diferencia del control químico, solo puede realizarse en una etapa de crecimiento determinado del cultivo, debido a que puede haber rebrotes y el control resultar inadecuado. Para vicia se determinó que el momento fenológico en que se logran controles superiores al 80%, es a partir del 60% de floración (Baigorria *et al.*, 2011). Ensayos realizados en la EEA INTA Marcos Juárez, utilizando un rolo triturador de rastrojo al cual se le retiraron las cuchillas de corte, mostraron que luego del rolado se encontraron pequeños rebrotes que no ejercieron competencia sobre el maíz que se sembró posteriormente (Aimetta *et al.*, 2012).

En relación al aporte de N por la vicia, estudios llevados a cabo durante dos años en Brasil, en suelo Acrisol arenoso<sup>1</sup>, con temperatura media anual de 18°C y precipitación media anual de 1686 mm, han demostrado que la liberación de N desde residuos de vicia fue rápida, con una liberación de aproximadamente el 90% del total de N dentro de las primeras cuatro semanas después del secado del CC. La recuperación por parte del maíz del N procedente de la vicia en ensayos con este cultivo marcado con <sup>15</sup>N, fue baja, con un promedio de 12,3% en la etapa de emisión de estigmas, lo cual pudo deberse a un pobre sincronismo entre la rápida liberación de N por parte de la vicia, debido al clima tropical que caracteriza al sur de Brasil, y la baja demanda de N por parte del maíz en las primeras etapas de crecimiento. Aunque la vicia no fue la principal fuente de nutrición nitrogenada de maíz, el rendimiento del cultivo alcanzó 8200 kg ha<sup>-1</sup>, sin fertilización mineral. Hubo una aparente sinergia entre la aplicación de residuos de vicia y la aplicación de N de 60 kg ha<sup>-1</sup>, lo que confirma los beneficios de la combinación de N orgánico e inorgánico (De Almeida Acosta *et al.*, 2011).

Ensayos realizados en Uruguay por Crozier *et al.*, (1998), reportaron valores promedios de recuperación de N marcado proveniente del residuo de leguminosas, por un cultivo de maíz, de alrededor del 21%. Este estudio señala que la recuperación fue más alta en un suelo con bajos tenores de Nt, y menores contenidos de C y N en la biomasa microbiana.

---

<sup>1</sup> Los Acrisoles son suelos fuertemente lavados o lixiviados, de color rojo o fuertemente amarillo, que se forman mayoritariamente, aunque no exclusivamente, sobre rocas o materiales parentales ácidos. Su perfil se encuentra constituido esencialmente por horizonte de acumulación de arcilla (Bt), baja capacidad de intercambio catiónico y baja saturación de bases. Sobre el último, suele aparecer un horizonte lavado o albizo (E), bajo el superficial, usualmente, ócrico (A). Los dos últimos resultan ser muy comunes, si no han sido previamente degradados o truncados por la erosión (WRS, 1998).

Según Folguera *et al.*, (2008) para la zona de Zavalla (Santa Fe), aproximadamente un 40% del N proveniente de la vicia estaría disponible para el cultivo de maíz inmediatamente posterior; disminuyendo la necesidad de aporte de N vía fertilizantes, en al menos un 50%, sin resentir la producción potencial del maíz.

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

En resumen, la eficiencia de uso del N fijado por un CC de leguminosa, depende de la sincronización entre el momento del aporte del nutriente, el manejo de la fertilización nitrogenada y la demanda del cultivo anual (Ernst, 2003). Es necesario ajustar la tecnología aplicada a cada sistema frente a distintas condiciones de sitio (clima, suelo, manejo), e incorporarla a los planteos de agricultura y ganadería de precisión, por la contribución que los mismos pueden realizar a la EUA y de nutrientes, control de los procesos de degradación y sustentabilidad de los sistemas de producción (Quiroga *et al.*, 2008).

Un aspecto importante a tener en cuenta, es medir en qué cantidad es necesaria la fertilización con N en maíces tardíos. Según estudios realizados, la necesidad del nutriente en estos maíces es menor que en los sembrados en fechas tempranas. Esto podría deberse al aporte adicional de N por mineralización durante los meses de verano, concluyendo que el pool orgánico de los suelos puede aportar hasta el 60% de los requerimientos de este nutriente, siendo la mineralización desde el humus el aporte principal (Álvarez *et al.*, 2002).

Cabe aclarar que es muy importante inocular las semillas de vicia ya que la FBN tiene un papel muy importante sobre la producción, porque supone el ingreso más importante de N sobre el ecosistema terrestre. Por lo tanto, este proceso resulta fundamental en la nutrición y crecimiento de las plantas (Acero de Mesa, 1997).

Por todo lo mencionado previamente, las leguminosas como CC aparecen como una alternativa tecnológica, equilibrando el balance de C en el suelo y aportando una mejora significativa a sus propiedades físicas y su fertilidad. Estos cultivos se instalan con el objetivo de mantener cobertura e incorporar C al suelo, fijar N atmosférico (N<sub>2</sub>) por los microorganismos e incorporarlo al suelo vía descomposición de residuos aéreos y subterráneos, evitar la pérdida de nutrientes móviles y mejorar la EUA.

#### **IV. a. HIPÓTESIS**

- ❖ La incorporación de vicia como cultivo de cobertura mejora la eficiencia de uso de agua del cultivo sucesor, aumentando el rendimiento de grano en maíz, sembrado en una fecha tardía sin la necesidad de fertilizar con nitrógeno.

#### **IV. b. OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Determinar el efecto del cultivo de vicia como cobertura sobre la producción del maíz siguiente, tanto en la eficiencia del uso del agua (EUA), como en sus requerimientos de fertilización nitrogenada.

#### **IV. c. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Evaluar la producción de materia seca de vicia como cultivo de cobertura.
- ❖ Evaluar el efecto del cultivo de cobertura, en el balance hídrico del cultivo de maíz.
- ❖ Determinar la dosis óptima económica de nitrógeno (DOEN) con y sin vicia.

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

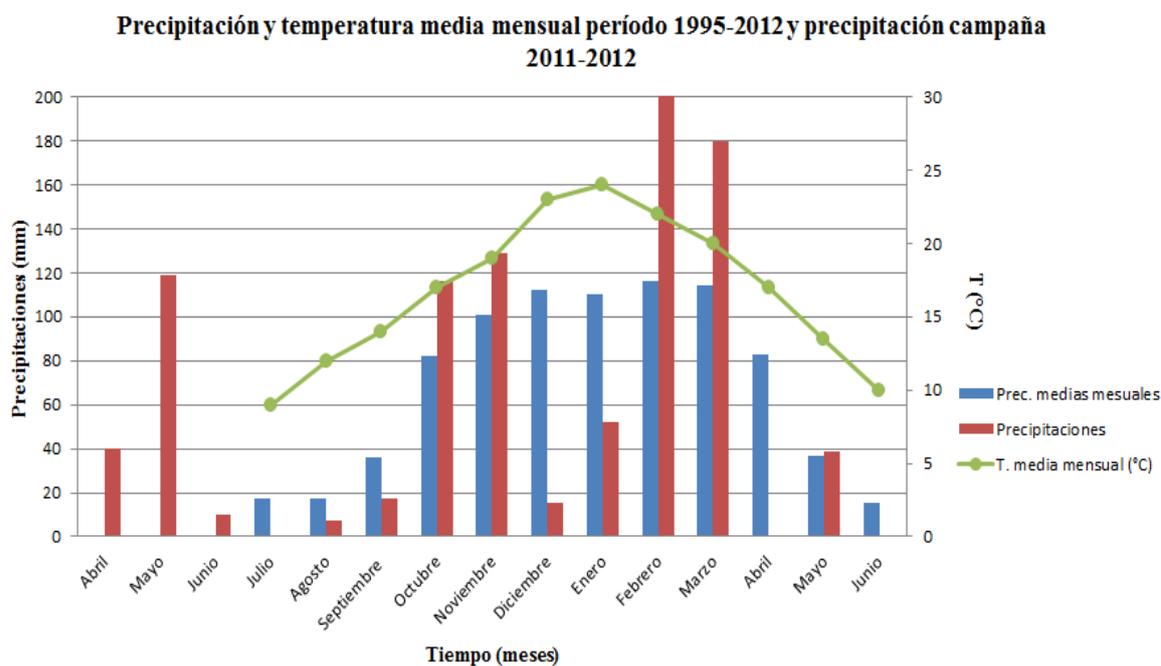
### V. a. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

#### V. a. 1. CLIMA

La región de Marcos Juárez presenta un régimen térmico mesotermal, con temperaturas medias máximas en el mes de enero de 24,3°C, con una máxima absoluta de 42°C y la temperatura media mínima que se da en el mes de julio posee un valor térmico de 9,5°C, con una mínima absoluta de -10,2°C. Dichos valores térmicos y la amplitud anual (14,8°C), son características de una zona con clima templado.

La acumulación de grados-días como expresión de las disponibilidades calóricas para el crecimiento vegetal, alcanza a 2520 grados-días.

Las heladas ocurren todos los años, con fecha media de ocurrencia el 24 de mayo, para las primeras heladas y el 10 de Septiembre para las últimas heladas. El período libre de heladas es de 256 días (INTA y Córdoba Ambiente, 2006).

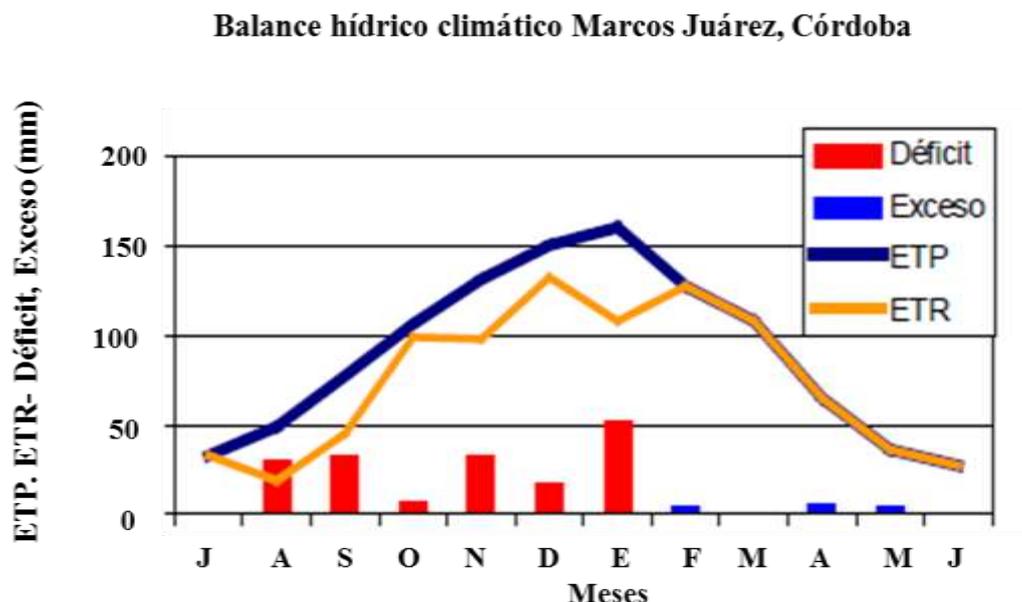


**Figura 1.** Precipitación y temperatura media mensual, período 1995-2012 y precipitación campaña 2011-2012, para la localidad de Monte Buey, Córdoba (INTA y Córdoba Ambiente, 2006).

Las precipitaciones marcan un clima húmedo. El balance hídrico, es el resultado de la relación entre los ingresos y egresos de agua y de vapor que influyen notablemente el crecimiento de los cultivos, pasturas, árboles, etc. En la región de Marcos Juárez existe un cierto grado de déficit hídrico durante los meses de noviembre, diciembre y enero en mayor medida.

Durante los meses de febrero a mayo se observan excesos o equilibrios hídricos entre marzo y junio (Figura 2).

Los porcentajes de distribución por estación de la lluvia, son los siguientes: verano (DEF): 42%, otoño (MAM): 25%, invierno (JJA): 6%, primavera (SON): 27%. Esta distribución pluviométrica es característica de una región monzónica (INTA y Córdoba Ambiente, 2006).



**Figura 2.** Análisis del balance hídrico climático de la región de Marcos Juárez. Córdoba. Argentina. (ETP: Evapotranspiración potencial- ETR: Evapotranspiración real) (INTA y Córdoba Ambiente, 2006).

La precipitación media anual normal de los últimos 22 años es de 900 mm, con valores extremos mínimos de 588 mm en el año 1995 y valores extremos máximos de 1475 mm en el año 1992 (www.tutiempo.net, 2014).

Cabe aclarar que la campaña 2011-2012 estuvo afectada por el fenómeno de “La Niña”, provocando una disminución de las lluvias caídas en los meses de noviembre hasta marzo en las regiones del Chaco, la Mesopotamia y la región Pampeana. La primavera de 2011 pareció confirmar esta hipótesis. Hacia fines de 2011, la mayoría del área agrícola nacional llegó a un estado de sequía general que puso al sistema productivo agrario al borde del desastre. En enero de 2012 se observó el inicio de una serie de precipitaciones que se continuaron a lo largo de febrero, proveyendo cantidades significativas de humedad a los cultivos y pasturas (Bolsa de Cereales, 2012).

## **V. a. 2. SUELO**

El lote del ensayo se ubica en la Pampa Ondulada, terraza alta del Carcarañá.

El suelo es un Argiudol típico, oscuro, profundo y bien drenado, desarrollado sobre un sedimento loésico de textura franco limosa, con una amplia aptitud para cultivos, forrajes y pasturas, aunque presentan una ligera limitación climática (INTA, 1978).

La capa arable, hasta a una profundidad de 20 o 30 cm (horizonte A) es de color pardo grisáceo muy oscuro, de textura franco limosa y con una estructura en bloques y granular. En la base de este horizonte es muy común la presencia de un piso de arado. Hacia abajo, pasa gradualmente a otro horizonte más arcilloso (horizonte Bt) que se extiende aproximadamente desde 26 a 30 cm hasta más o menos los 66 cm. Su color es pardo a pardo oscuro, su estructura es prismática y presenta abundante barnices en las caras de los agregados.

La transición entre el Bt y el loess del substrato (horizonte C) es muy gradual. Éste último se encuentra a una profundidad promedio de 95 cm a 1 m; es un material franco limoso, suelto y con calcáreo tanto diseminado en la masa como en concreciones a partir de 1,40 a 1,50 m. (Ver anexo IX. II) (INTA, 1978).

Limitantes:

- Drenaje imperfecto; el suelo permanece mojado por importantes lapsos de tiempo.
- Salinidad fuerte.
- Sodicidad leve; leve degradación física de los suelos; los cultivos se ven poco afectados.
- Erosión hídrica grave; imprescindibles prácticas permanentes de control.
- Alta susceptibilidad a la erosión hídrica.

## **V. a. 3. FISIOGRAFÍA**

Según la carta de suelos de la provincia de Córdoba, la zona pertenece al ambiente geomorfológico, Pampa Ondulada; ésta ocupa un sector en el centro este de la provincia, limitado al oeste por la Pampa Loésica Plana y prolongándose hasta las provincias de Buenos Aires y Santa Fe. Comprende lomas ligeras a moderadamente onduladas, con pendientes que oscilan entre el 0,5 y 3%. Tiene un drenaje natural libre y los suelos se han desarrollado sobre sedimentos eólicos franco limosos, siendo los más productivos de la provincia (INTA y Córdoba Ambiente, 2006). En este sector, actúa predominantemente un solo tipo de dinámica: el escurrimiento superficial (Esc); el cual en las lomas alargadas y planas es débil o moderado, en cambio aumenta en las pendientes hacia el Río Carcarañá y sus terrazas, donde es alto, con débil

a moderada erosión hídrica; y en algunos lugares el escurrimiento es crítico, con graves problemas de erosión y donde se observan los típicos surcos y cárcavas profundas (INTA, 1978).

#### **V. a. 4. VEGETACIÓN**

La región en estudio se ubica en la Estepa Pampeana, distrito sub-chaqueño, cuyo límite sur sería el Río Carcarañá (INTA, 1978).

La “Provincia del Espinal” rodea en forma de arco a la “Provincia Pampeana”, es por ello que se observan ejemplares de especies arbóreas de tipo xerófilo, del “Distrito del Algarrobo” introducidos dentro del área más húmeda de la “Provincia Pampeana” (Cabrera, 1953). Debe remarcarse que se trata de una región profundamente alterada por el hombre, particularmente desde que la colonización agrícola tomó impulso en la última década del siglo pasado. En la actualidad es casi imposible hallar comunidades vegetales intactas: el desmonte, el fuego y el arado han alterado irreversiblemente la vegetación nativa, aún en campos de inferior calidad, que son los menos modificados, como así también el área vecina a vías férreas (INTA, 1978).

## V. b. CONDICIONES EXPERIMENTALES

El ensayo se realizó en el establecimiento “La Virginia” (33°02′30,70″S - 62°23′59,55″O) ubicado a 17 km al sur de la localidad de Monte Buey, en la provincia de Córdoba (ver Imágenes 1 y 2 del Anexo IX. V - Imagen GeoINTA,).

Durante la campaña agrícola 2011-2012, en un lote cuyo cultivo antecesor fue soja, el 05/05/11 se realizó una pulverización, aplicando una dosis de 1,5 l ha<sup>-1</sup> de Glifosato, como tratamiento de pre-siembra del CC. La siembra se realizó bajo el sistema de SD el 06/06/11, con una densidad de 38 granos m<sup>-2</sup> y una DEH de 52 cm, empleándose VS como CC. Las semillas fueron inoculadas con *Ryleghum* de Rizobacter<sup>2</sup>, y se realizó una fertilización con el método al voleo, de fosfato monoamónico (N-P-K: 11-52-0) a razón de 100 kg ha<sup>-1</sup>.

El 16/07/11 se evaluó la población de plantas emergidas, encontrándose 27 plantas de las 38 semillas sembradas, lo cual indico una eficiencia de logro del 71,05%.

En el presente ensayo se establecieron dos factores principales: uno con VS como CC y otro sobre rastrojo de soja como testigo (Te), cada uno abarcó aproximadamente 1 ha. El 10/08/11, se realizó una fertilización con el método al voleo, de sulfato de calcio (N-P-K-Ca-S: 1,6-14-7-23-40) con una dosis de 200 kg ha<sup>-1</sup>, en ambos sectores del lote.

Por su parte la supresión del crecimiento del CC se realizó tanto por el método mecánico como por el método químico. El primero se realizó el 16/11/11, triturando la vicia mediante la utilización de una herramienta “doble acción” con sus discos rectos, para que solo triture la vicia y no la entierre ni rote la tierra. El 23/11/11 se realizó una pulverización con Glifosato a razón de 3 l ha<sup>-1</sup>, Atrazina, 2 kg ha<sup>-1</sup>, Metalocloro, 1 l ha<sup>-1</sup> y Lambdacialotrina, 0,03 kg ha<sup>-1</sup>. Los criterios que se siguieron para realizar la supresión del CC, fueron por un lado, el de optimizar la producción de MS analizando el crecimiento y desarrollo del CC frente a las condiciones ambientales imperantes; y por el otro, que el cultivo estuviera en el 60% de floración, ya que es cuando mejor control se puede efectuar (Baigorria *et al.*, 2011).

Posteriormente, se implantó el cultivo de maíz el 03/12/11 en ambos factores, tanto en el sembrado con vicia como en el que no; con una densidad de 85000 pl ha<sup>-1</sup> a 52 cm entre hileras. El híbrido implantado fue NK 880 TD Max; el mismo fue fertilizado con 100 kg ha<sup>-1</sup> de súper fosfato simple de calcio (N-P-K-Ca-S: 0-20-0-20-12).

Cada tratamiento se subdividió en parcelas, las cuales se refertilizaron con 0, 60, 120 y 180 kg N ha<sup>-1</sup> con urea (N-P-K: 46-0-0) incorporada en el entresurco, en el estado ontogénico de 6 hojas completamente desplegadas del maíz (V6); realizándose el 30/12/11.

---

<sup>2</sup> *Ryleghum* combina un inoculante en base a cepas de *Rhizobium leguminosarum* biovar vicia y un terapéutico de semilla (Fludioxonil) que permiten potenciar la nutrición del cultivo y preservar la sanidad de las semillas (<http://www.rizobacter.com/>).

Finalmente, el 04/07/12 se realizó la cosecha del cultivo de maíz, utilizando máquina cosechadora y tolva autodescargable con balanza incorporada, para medir el rendimiento del cultivo.

Para el ensayo en general se empleó un diseño completamente aleatorizado, con un arreglo espacial en parcelas divididas, siendo el CC el factor principal y las dosis de N el factor secundario. Se realizaron 3 repeticiones espaciales por dosis aplicada de N. Cada parcela abarcó una superficie de 0,108 ha (160 m de largo x 13 surcos a 0,52 m de ancho).

En el mismo establecimiento se contó con pluviómetro que sirvió para llevar los registros de mm de precipitaciones sucedidos en el campo durante el tiempo que duró el trabajo experimental.

## **V. c. DETERMINACIONES REALIZADAS**

### **V. c. 1. ANÁLISIS DE SUELO**

El análisis de suelo consistió de tomar muestras con barreno al azar en el lote, siendo éstas de 1 m de profundidad.

Se analizó contenido de nutrientes al inicio y final del ciclo de la vicia, y al inicio, en V6 y al final del ciclo del maíz, alcanzando los 0-20 cm para P, 0-20 y 20-40 cm para MO y 0-20, 20-40 y 40-60 cm para  $N-NO_3^-$ , completando al metro de profundidad para la determinación de humedad edáfica.

### **V. c. 2. HUMEDAD EDÁFICA**

Se realizaron los muestreos cada 30 días durante todo el ciclo del CC, el Te y el cultivo siguiente (maíz), se tomaron muestras de suelo hasta 1 m de profundidad con barreno (las muestras fueron aleatorias en el lote). Cada muestra fue colocada en bandeja de aluminio, pesada y llevada a estufa (80 °C hasta peso constante). Con la diferencia de peso de la muestra húmeda y la muestra seca se obtuvo la humedad gravimétrica (expresada en %). Esta humedad gravimétrica se transformó a volumétrica por medio de la densidad aparente del suelo (DAP) y a partir de esta última se calculó la lámina de agua en el perfil (mm de agua); con los datos de punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (cc), se determinó agua útil (AU).

La DAP se determinó a campo, mediante el método del cilindro (ver anexo IX. III. 1). En tanto que los parámetros hidrofísicos de cc y PMP fueron calculados en laboratorio, por el método de las constantes hídricas (ver anexo IX. III. 2).

Las determinaciones de humedad edáfica se midieron solamente en el factor cobertura y no en las diferentes dosis de fertilizante

### **V. c. 3. BALANCE HÍDRICO**

El balance de agua de un suelo donde crece un cultivo resulta de las diferencias entre los ingresos y los egresos o pérdidas de agua al sistema. El agua que ingresa puede provenir de las precipitaciones (Pp), el riego (R), la napa freática (Nf) y por Esc, desde las áreas más elevadas.

Los egresos se producen por la evaporación del agua desde la superficie del suelo (Es), la transpiración del cultivo (T), la escorrentía hacia áreas más bajas y el drenaje (D) por debajo de la zona explorada por las raíces. Si los ingresos superan a los egresos, toda o parte del agua excedente puede acumularse en el perfil del suelo explorado por el cultivo, generando una variación de almacenaje ( $\Delta Alm$ ) positiva. En caso contrario, la  $\Delta Alm$  será negativa.

La T es el término del balance de agua que está directamente ligado con la fotosíntesis, y por consiguiente, con el crecimiento del cultivo (Dardanelli *et al.* 2003). El cálculo de consumo de agua por etapas y total fue realizado mediante el método planteado por Marcos (2000), de acuerdo a la Ecuación 1.

$$ET \text{ (mm)} = Pp \text{ (mm)} - Esc \text{ (mm)} \pm \Delta \text{ Humedad} - \text{Drenaje}$$

(Ecuación 1)

Donde:

Pp: se registraron diariamente, mediante pluviómetro ubicado en el sitio experimental.

Esc: se determinaron a través de la curva número del U.S. Soil Conservation Service que calcula el escurrimiento de una lluvia de 24 hs a partir de un umbral crítico de escurrimiento (Po) definido por el tipo de suelo y condición de superficie del mismo (USDA, 1968). De acuerdo a la Ecuación 2:

$$Esc = (Pt - Po)^2 / Pt + 4Po$$

(Ecuación 2)

Donde:

Esc = escurrimiento (mm)

Pt = precipitación en 24 horas (mm),

Po = umbral crítico de escurrimiento (mm)

$E = 0$  si  $Pt \leq Po$

$E \neq 0$  si  $Pt > Po$

$\Delta$  Humedad: Los valores de humedad volumétrica fueron transformados en láminas de agua por capa y considerando que:

$$\Delta \text{ Humedad (mm)} = \text{humedad inicial (mm)} - \text{humedad final (mm)}$$

Siendo, humedad final e inicial la lámina de agua en cada determinación.

Drenaje: por información previa y sólo por el análisis del balance hídrico se despreciará su importancia (Espósito, 2002).

#### **V. c. 4. USO CONSUNTIVO DEL AGUA**

Se calculó mediante la suma del contenido hídrico del suelo al momento de la siembra y las precipitaciones ocurridas durante el ciclo de la vicia, a la cual se le restó el contenido hídrico del suelo al momento de finalizar el ciclo del CC (Ecuación 3).

$$UC \text{ (mm)} = AA_{Ic} - AA_{Fc} + PPc \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

AA<sub>Ic</sub>: agua acumulada en el suelo al inicio del período de crecimiento del CC en un m de perfil

AA<sub>Fc</sub>: agua acumulada en el suelo al final del período de crecimiento del CC en un m de perfil (momento de secado del CC)

PPc: Precipitación acumulada en el período de crecimiento del CC

#### **V. c. 5. MATERIA SECA Y TASA DE CRECIMIENTO DEL CULTIVO DE COBERTURA**

Luego de la siembra del CC y hasta la finalización de su ciclo se determinó mediante corte y extracción de biomasa, la producción de MS acumulada a intervalos de 30 días. Para ello se tomaron 10 muestras al azar de 0,25 m<sup>2</sup>, determinando el estado fenológico y la curva de crecimiento. Las muestras se llevaron a estufa (65 °C hasta peso constante) y a partir de este valor se calculó la producción de MS en kg ha<sup>-1</sup>.

Empleando cada una de las mediciones en función del tiempo, se construyó la función logística, que describe al cultivo a través de su tasa de crecimiento (TCC). A partir de ella se obtuvo la curva de acumulación de biomasa en función del tiempo, la cual permitió asociar el momento de finalización del crecimiento del CC mediante control químico con biomasa acumulada hasta dicho momento.

#### **V. c. 6. CONTENIDO DE NITRÓGENO EN PLANTA DE VICIA**

El muestreo se realizó al final del ciclo del CC, tomando muestras al azar de biomasa aérea de 1m<sup>2</sup>. Las mismas se llevaron a estufa (55 °C hasta peso constante). A partir de este valor se obtuvo la producción de MS en kg de MS ha<sup>-1</sup>. Luego en el laboratorio se determinó el contenido de N en planta (método micro Kjeldahl) y por medio de éste se calculó la acumulación de N ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea producida por vicia.

## V. c. 7. BALANCE DE NITRÓGENO

El balance de N consiste en la cuantificación de las entradas y salidas del nutriente del sistema suelo-planta, de tal modo de lograr una variación neta del contenido del nutriente igual a 0, como un criterio básico de sustentabilidad. En este caso, el valor de los kg de N absorbidos por el cultivo tiene que ser similar al disponible en el suelo (Álvarez, 2006).

El balance de N se estimó de acuerdo a la Ecuación 4:

$$(N\text{-NO}_3^- + N\text{-NO}_3^- \text{ de MO} + N \text{ de vicia}) - (22 \text{ kg de N} \times T_n \text{ de grano producido}) \approx 0 \text{ (kg N ha}^{-1}\text{)}$$

(Ecuación 4)

Donde:

Entradas: N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a la siembra, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> aportado por la MO y N aportado por la vicia.

Salida: N absorbido por el cultivo.

22 Kg de N es la cantidad necesaria para producir 1 Tn de grano de maíz (Capurro *et al.*, 2010).

## V. c. 8. MUESTREO DE MATERIA SECA DE RASTROJO

Se realizaron cada 30 días muestreos de MS de rastrojo a partir de la fecha de siembra de vicia (06/06/11) y hasta el inicio del ciclo del cultivo de maíz (03/12/11). Se recolectaron 3 muestras de rastrojo (residuos de cosecha del cultivo anterior) en una superficie de 0,25 m<sup>2</sup>. Estas muestras fueron llevadas a estufa (80 °C hasta peso constante) y a partir de este valor se obtuvieron los kg de MS ha<sup>-1</sup> de rastrojo.

## V. c. 9. ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAÍZ

El rendimiento fue estimado mediante cosecha mecánica del 100% de las parcelas, cosechado a una humedad de grano de 14,5%, utilizando balanza en el acoplado auto-descargable.

## V. c. 10. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO

Esta determinación se hizo para estimar la cantidad de insumo (fertilizante nitrogenado, en este caso urea) que maximiza la renta del cultivo de maíz. Para ésto se tuvo en cuenta la potencialidad del cultivo y la relación de precios: precio del N sobre precio del maíz.

La relación de precios entre el N y el grano de maíz se calculó de acuerdo a la Ecuación 5:

$$Relacion\ de\ precio = \frac{Precio\ N\ \left(\frac{\$}{kg}\right) + CA}{Precio\ bruto\ grano\ \left(\frac{\$}{kg}\right) - gastos}$$

(Ecuación 5)

Donde:

CA: Costo de aplicación.

A su vez, el precio del N depende del precio del fertilizante y de su concentración de N, como se observa en la Ecuación 6:

$$Precio\ del\ N\ \left(\frac{\$}{kg}\right) = \frac{Precio\ fertilizante\ \left(\frac{\$}{kg}\right)}{kg\ N/kg\ fertilizante}$$

(Ecuación 6)

En el cálculo de la relación de precios para los diferentes insumos, productos, gastos y servicios, se consideraron los del mes de febrero del año 2015, siendo estos los siguientes: urea granulada: 597 USD Tn<sup>-1</sup>, precio del maíz: 8,77 USD qq<sup>-1</sup>, gastos de comercialización: comisión: 2% - flete: 220 \$ Tn<sup>-1</sup> (desde la localidad de Monte Buey (Córdoba) hasta el puerto de la ciudad de Rosario (Santa Fe)), costos de aplicación de la urea (250 \$ ha<sup>-1</sup>). Todos estos precios llevan IVA incluido y teniendo en cuenta un dólar que cotiza a \$8,66 (Enlacesalagro.com, 2015).

La dosis óptima económica de N (DOEN) es aquel nivel de N por encima del cual mayores aplicaciones de N no redundarán en un beneficio económico (Salvagiotti *et al.*, 2011). La forma más común de estimar la DOEN es mediante el ajuste de respuesta entre dosis de N y rendimiento, para posteriormente utilizar la primera derivada de esa función, para calcular la respuesta económica en cada nivel de N aplicado (De wit, 1992). La misma se define como se muestra en la Ecuación 7:

$$Y = a + b N + c N^2$$

$$\text{Beneficio} = \text{Ingresos} - \text{Costos}$$

$$\text{Ingresos} = P_M \times \text{Rendimiento}^M$$

$$\text{Costos} = P_N \times \text{Dosis}_N$$

$$\text{Beneficio} = [P_M (a + b N + c N^2)] - P_N \times \text{Dosis}_N$$

$$\text{Beneficio maximo} = \frac{\text{Derivada beneficio}}{\text{Derivada Nitrogeno}}$$

$$0 = \frac{\text{Derivada beneficio}}{\text{Derivada Nitrogeno}}$$

$$0 = [P_M (b + 2c N)] - P_N$$

$$\frac{P_N}{P_M} = b + 2c N$$

$$2c N = \frac{P_N}{P_M} - b$$

$$DOEN = \frac{\frac{P_N}{P_M} - b}{2c}$$

(Ecuación 7)

Donde:

Y: rendimiento en grano expresado al 14% de humedad (kg ha<sup>-1</sup>)

N: nitrógeno (kg ha<sup>-1</sup>)

a: ordenada al origen

b: coeficiente lineal

c: coeficiente cuadrático

P<sub>N</sub>: precio del nitrógeno

P<sub>M</sub>: precio del maíz.

Según la hipótesis planteada, se pueden obtener los siguientes resultados:

- La función de producción de maíz dependiente del N es igual sobre vicia que sobre rastrojo; entonces a, b y c serán igual tanto en vicia como en rastrojo.
- La  $DOEN_{\text{rastrajo}}$  sea mayor a la  $DOEN_{\text{vicia}}$ ; si la  $DOEN_{\text{vicia}}$  fuera igual a 0.

### V. c. 11. EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA

La EUA es un indicador de la utilización del recurso bajo determinados sistemas de manejo y de la sostenibilidad de esos sistemas (Eiza *et al.*, 2005).

Por ello se evaluó la EUA del CC (VS), de acuerdo a la Ecuación 8:

$$EUA_{MS} = \frac{MS \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{ET} \quad (\text{Ecuación 8})$$

También se determinó la EUA del cultivo de maíz, tanto para el que se encontró sobre vicia, como el que se encontró sobre rastrojo. Se define en la Ecuación 9:

$$EUA_{Grano} = \frac{\text{Produccion de grano} \left(\frac{\text{kg}}{\text{ha}}\right)}{ET} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde:

MS: producción de materia seca del período de crecimiento

ET: evapotranspiración en el período del cultivo, tanto en el de cobertura como en el maíz

### V. c. 12. COSTO HÍDRICO

Se estimó como la diferencia entre el AU del Te y el AU al momento de secado del CC (Fernández y Quiroga, 2009). (Ecuación 10):

$$CH \text{ (mm)} = Lb - Lcc \quad (\text{Ecuación 10})$$

Dónde:

Lb: lámina de AU en Te al momento del secado del CC en un m de perfil

Lcc: lámina de AU en el CC al momento de secado del mismo en un m de perfil

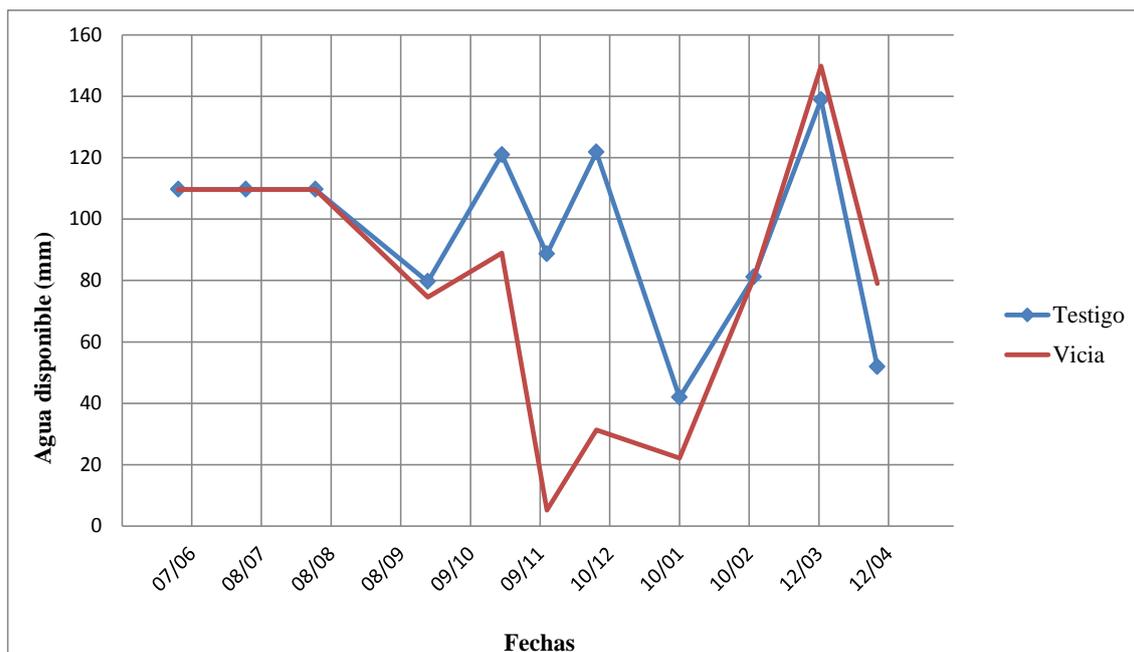
## **V. d. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Los resultados fueron analizados mediante ANAVA, análisis de regresión y test de separación de medias (DMS, Fisher), por medio del software estadístico INFOSTAT versión 2011(Di Rienzo *et al.*, 2011).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### VI. a. LÁMINA DE AGUA DISPONIBLE

En la Figura 3 se detallan las láminas de agua disponible (LAD) medias durante el ciclo de la vicia sobre ambos tratamientos: con cultivo de cobertura (CC) y tratamiento testigo (Te), para la campaña agrícola 2011-2012.



**Figura 3.** Evolución de la lámina de agua disponible (LAD), en el cultivo de cobertura, el testigo y hasta comienzo del estado reproductivo del maíz.

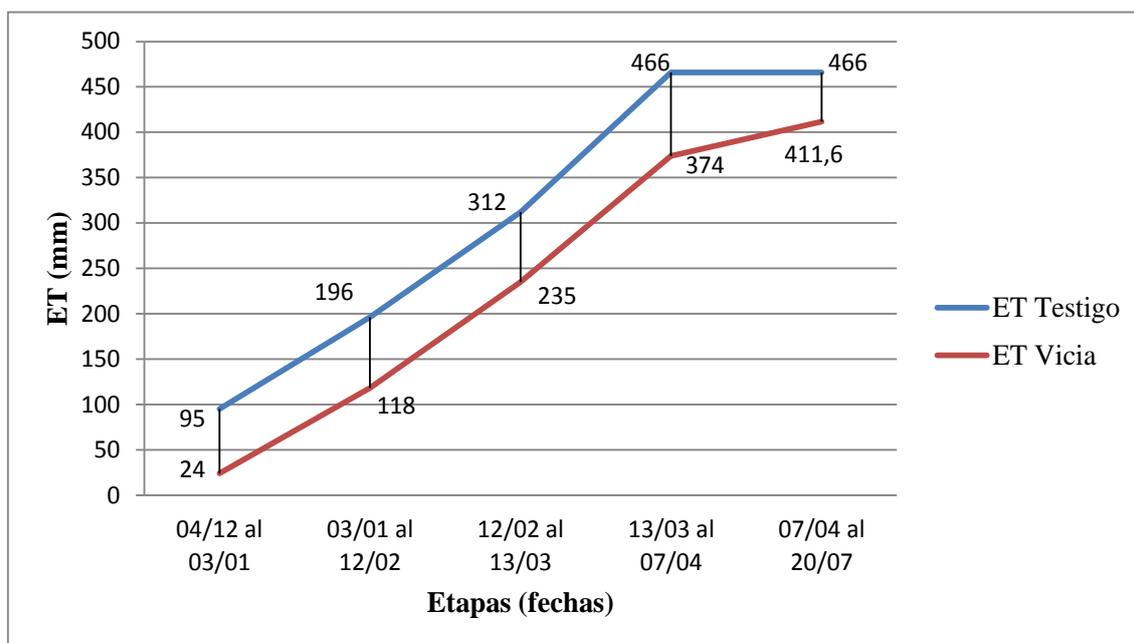
Los resultados muestran que durante todo el ciclo de la vicia, el contenido hídrico del suelo para este tratamiento fue inferior al tratamiento Te, representando un CH por su inclusión en la rotación. Por otro lado, al considerar el momento de secado del CC (16/11/11) y hasta la siembra del cultivo de maíz tardío (03/12/11), es posible observar que aunque las precipitaciones del mes de noviembre (122 mm) fueron mayores al promedio de la región para ese mes (Figura 1), el AU en la siembra de maíz, fue aproximadamente 90 mm inferior al Te (Figura 3), remarcando el gran consumo de agua por parte de la vicia. En el mes de enero se puede observar que habiendo tenido precipitaciones de apenas 55 mm (Figura 1), el AU medida sobre vicia se equiparó respecto al Te, siendo éste superior en apenas 20 mm (Figura 3).

Es importante destacar, que desde la siembra de vicia (junio), hasta el mes de septiembre, prácticamente no hubo diferencias importantes de AU en ambos tratamientos. A partir de octubre en donde la vicia tuvo un aumento de la TCC muy abrupto (Figura 8), se comienza a

evidenciar las diferencias en AU a favor del tratamiento Te, ampliándose en el mes de noviembre, cuando la vicia obtiene su mayor producción de MS y con esto, su mayor consumo de agua. Esto se condice con los estudios llevados a cabo por Baigorria y Cazorla, (2010) y por Fernández *et al.* (2007), los cuales observaron, que la disponibilidad de agua a la siembra en Argiudoles típicos y en Hapludoles típicos de la región semiárida pampeana, se vio afectada por los CC. Coincidiendo con éstos autores, en el presente trabajo la disminución en el contenido de humedad del tratamiento con vicia respecto al barbecho es el CH del CC (Fernández y Quiroga, 2009).

## VI. b. BALANCE HÍDRICO

La Figura 4 detalla la curva de evapotranspiración (ET) acumulada dentro del ciclo del cultivo de maíz con fecha de siembra tardía, para la campaña 2011-2012.



**Figura 4.** Evolución de evapotranspiración (ET) del cultivo de maíz, para el tratamiento testigo y con vicia.

La evolución de la dinámica de la ET acumulada del cultivo de maíz, durante todo el período (siembra- cosecha de maíz) indica que la ET fue mayor en Te respecto de CC, con un crecimiento lineal de la ET, hasta llegar a amesetarse al final del ciclo del cultivo de cosecha.

Autores como Lu *et al.* (2000), mencionan que la Es, que es una parte de la ET, puede ser reducida con coberturas vivas como CC que reasignan el agua potencialmente evaporable al flujo transpiratorio de las plantas. Sin embargo, en este caso las condiciones climatológicas fueron contrarias a las esperadas, lo que condujo a que el CC produjera un gran CH (Tabla 1).

Por tal motivo la ET se condice con el rendimiento del cultivo sobre Te, el cual fue mayor (Tabla 5), al igual que la EUA (Tabla 6).

Un parámetro importante que se puede relacionar con el mayor crecimiento del maíz en el tratamiento Te, es el aumento del flujo transpiratorio. Este se relaciona directamente con la fijación de CO<sub>2</sub> y por consiguiente, más agua transpirada, más de CO<sub>2</sub> puede fijar (Dardanelli *et al.*, 2003). Los resultados presentados en la Figura 4 sugieren la posibilidad de que el mayor crecimiento alcanzado sobre Te, se deba al mayor consumo de agua por parte del maíz cosechado sobre este tratamiento.

Respecto a Es, también se pueden destacar los aportes realizados por Stipesevic y Kladvko (2005), que observaron que las rotaciones con CC fueron más eficientes en conservar el agua edáfica superficial, debido a la reducción de la Es durante el crecimiento del cultivo posterior. Otros autores como Carfagno *et al.* (2012) y Dardanelli *et al.* (2003), asumen que en condiciones de secano, se deben maximizar las ganancias y minimizar las pérdidas del balance hídrico, por lo cual, es necesario maximizar la retención de agua del suelo, ajustar la duración del barbecho, conocer la profundidad de las raíces y minimizar las pérdidas por Esc y por Es, logrando esto con la utilización de CC. Estos efectos favorables, no se observaron como resultado de este trabajo, debido a las bajas precipitaciones registradas durante el crecimiento del CC, lo cual no le permitió crecer y desarrollarse de la mejor manera.

#### **VI. c. USO CONSUNTIVO, EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA Y COSTO HÍDRICO DE LA VICIA**

En la Tabla 1 se presentan los principales parámetros medidos y utilizados para el cálculo del uso consuntivo (UC), eficiencia de agua útil (EAU) y costo hídrico (CH) de la vicia.

**Tabla 1.** Uso consuntivo (UC), eficiencia en el uso del agua (EUA) y costo hídrico (CH) de la vicia. Campaña 2011.

<b>Campaña</b>	<b>UC (mm)</b>	<b>EUA (kg de MS mm<sup>-1</sup>)</b>	<b>CH (mm)</b>
2011	264,4	21	83,38

Algunos de los datos utilizados para calcular estos parámetros, se presentan en la Tabla 1 del anexo IX. IV.

Se puede observar valores de UC de 264,4 mm y una EUA de 21 kg de MS mm<sup>-1</sup>. Investigadores como Rillo *et al.* (2012) obtuvieron para fechas de secado de vicia en el mes de noviembre un UC de 279 mm y una EUA de 18 kg de MS mm<sup>-1</sup>. Por su parte Baigorria y Cazorla, (2010) mostraron valores de UC en VS de 297 mm y de EUA de 24 kg de MS mm<sup>-1</sup>.

Otro parámetro que se muestra en la Tabla 1 es el CH, el cual se estima como la diferencia entre el AU del Te y el AU al momento de secado del CC, siendo este de 83,38 mm. Baigorria y Cazorla (2010) reportaron valores de entre 40 y 100 mm dependiendo de las precipitaciones de cada año sobre un Argiudol típico en la EEA INTA Marcos Juárez. El CH en 2009 fue muy superior al del 2008, año con menores precipitaciones (Baigorria y Cazorla, 2010). El CH es de importancia, ya que la inclusión de VS podría interferir en la normal oferta de agua para el cultivo sucesor (Duarte, 2002), como ocurrió en este trabajo.

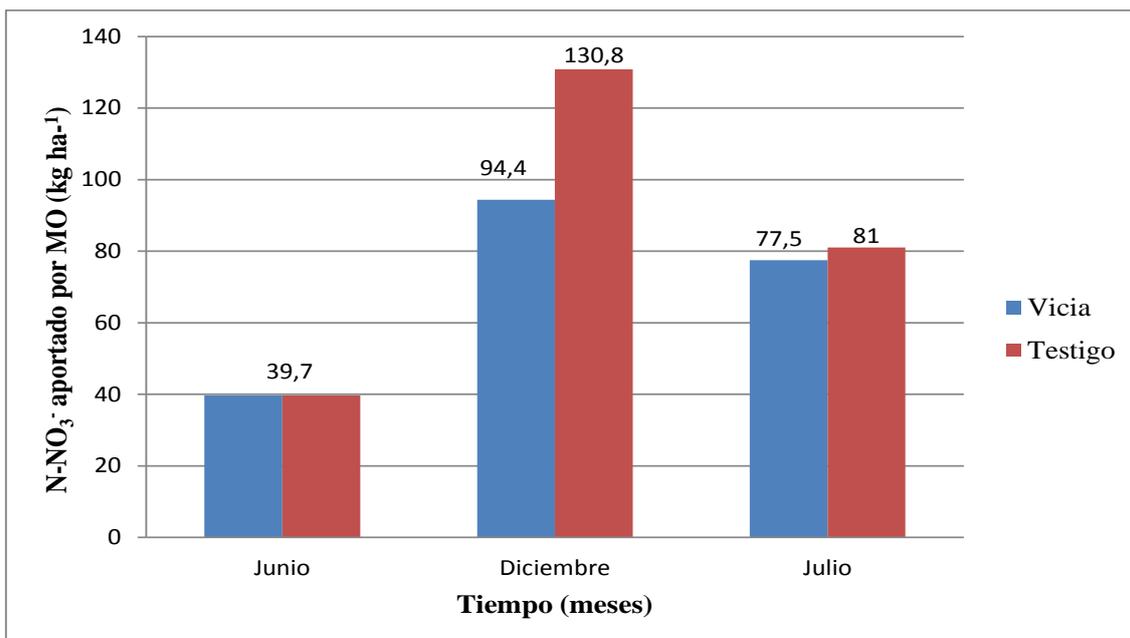
Estos parámetros al tener en cuenta las precipitaciones, varían ampliamente según la campaña, el sitio y el ciclo de crecimiento del CC, por ende, en la medida en que las condiciones ambientales sean favorables para la producción de MS, la EUA se verá favorecida, pudiendo mejorar el UC y disminuir el CH por parte del CC.

#### **VI. d. ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA**

En la Figura 5 se muestran los aportes de Nitrógeno de nitrato ( $N-NO_3^-$ ) realizados por la materia orgánica (MO), en la siembra de vicia, la siembra de maíz y la cosecha de maíz, para la campaña 2011-2012.

Para el presente trabajo, el % de N en la MO fue calculado como el 5% y su coeficiente de mineralización fue del 1%, para la fecha en que fue sembrada la vicia (junio). Mientras que se utilizó 1,69% y 2,46% sobre tratamiento vicia y rastrojo respectivamente, para los muestreos de diciembre y julio. Esto fue deducido en base a trabajos realizados por Espósito *et al.* (2006), quienes señalaron que la tasa de mineralización está en función del contenido hídrico del suelo, el cual varía independientemente del contenido de MO.

Los porcentajes de MO determinados en este trabajo para llegar al resultado final de  $N-NO_3^-$  aportados al suelo, se observan en la Figura 2 del anexo IX. I.



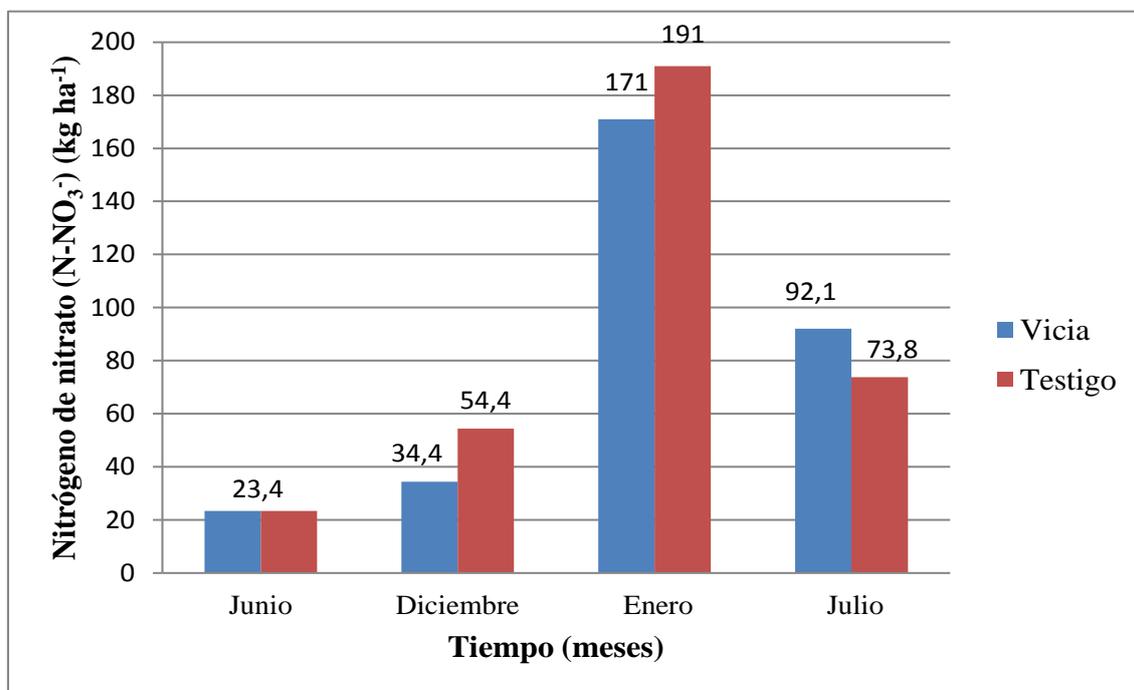
**Figura 5.** Nitrógeno de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) aportado por la mineralización de la materia orgánica (MO), durante la siembra de vicia, la siembra de maíz y la cosecha de maíz. Campaña 2011-2012.

La figura anterior muestra que en el mes de diciembre, una vez secada la vicia, el  $\text{N-NO}_3^-$  aportado por la mineralización, fue mayor sobre el Te. En cambio a cosecha del maíz, se ve un resultado muy similar en cuanto a los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  aportado, no habiendo diferencias entre ambos tratamientos. El resultado arrojado en el mes de diciembre, se podría explicar por medio del trabajo realizado por Espósito *et al.* (2006), en el cual señalan que la tasa de mineralización está en base al contenido hídrico, por ende, como se visualiza en la Figura 3, el AU en el estado de V6 del maíz (enero) es mayor sobre rastrojo (Te) que sobre vicia.

Diversos estudios explican que los productos de la degradación de la lignina y compuestos nitrogenados son los mayores contribuyentes de la MO humificada y estable del suelo. La entrada de rastrojos con alta concentración de lignina y la adición de N puede ser una opción de manejo que conduzca al incremento de C del suelo (Morón, 2001). También es importante conocer que durante los primeros 15 días, ocurre un rápido incremento del N mineral cuando el material a descomponer tiene baja relación C/N, debido a la remoción de compuestos solubles como proteínas, carbohidratos y compuestos orgánicos simples. Después de los 20 días, la liberación del N disminuye, al quedar los compuestos más resistentes (Verbene *et al.*, 1990).

## VI. e. ANÁLISIS DE NITRÓGENO PROVENIENTE DEL SUELO

En la Figura 6 se observa el Nitrógeno de nitratos ( $\text{N-NO}_3^-$ ) disponible en el suelo, en las diferentes mediciones realizadas desde la siembra de vicia, hasta la cosecha de maíz. Tanto en el sector que contenía vicia, como en el que había rastrojo, para la campaña 2011-2012.



**Figura 6.** Nitrógeno de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) aportado por el suelo. Campaña 2011-2012.

Los resultados muestran que al momento de la siembra del maíz (03/12/11), el N mineral es superior en la parcela Te. Ésto pudo deberse a que el rastrojo de soja al tener baja relación C/N, sufrió una importante descomposición, como muestra la Figura 9, (Gliessman, 2002). En cambio, en el tratamiento con vicia y al haber pasado poco tiempo desde su secado, no ha podido liberar N, al contrario, el CC en SD produce una inmovilización de N (Varco *et al.*, 1993). El N inmovilizado puede luego ser mineralizado (Jarvis *et al.*, 1996). Trabajos presentados por Galarza *et al.* (2010) también obtuvieron resultados semejantes en cuanto a disponibilidad de N a la siembra del cultivo siguiente, encontrándose 20  $\text{kg de N ha}^{-1}$  y 55  $\text{kg de N ha}^{-1}$  en tratamientos sobre VS y Te respectivamente.

A través de la producción de MS, los CC proveen de sustrato a los microorganismos que intervienen en el ciclo de N, toman  $\text{N-NO}_3^-$  y lo incorporan en su biomasa. De este modo, se reduce la disponibilidad de N a la siembra de los cultivos estivales y no queda expuesto a lixiviación ante la ocurrencia de lluvias intensas. Finalmente, la descomposición y posterior mineralización de los residuos de CC, regulada por la actividad y número de la biota del suelo, entrega el N durante el ciclo de los cultivos estivales (Abril, 2002).

Para el mes de enero se ve un gran aumento del nutriente en ambos tratamientos, debido a que en el estado ontogénico de 6 hojas completamente desplegadas del maíz (V6, 30/12/11), se realizó fertilización con urea incorporada con cuatro dosis diferentes en cada uno: 0, 130, 261 y 391 kg de urea ha<sup>-1</sup>, promediando 195,5 kg de urea ha<sup>-1</sup>, sin modificar la diferencia de N a favor de la parcela Te.

Para la cosecha del cultivo de maíz (04/07/12), los niveles de N bajaron con respecto al mes de enero, pudiendo deberse a la absorción de N por parte del cultivo de maíz. En cuanto a los diferentes tratamientos, la relación se dio a la inversa, quedando mayor cantidad de N mineral en el sector que contenía al CC. Por su parte, el aumento de N en la parcela que tenía vicia, pudo deberse a que el CC durante los meses de mayor calor, como lo son diciembre, enero y febrero, haya sufrido una descomposición tal, que pasó a formar parte de residuos mineralizados.

Por su parte, en la Tabla 2 se presenta el contenido de N (kg ha<sup>-1</sup>) en el suelo, según las distintas dosis de fertilizante aplicadas sobre los dos sectores: vicia y Te, a la fecha de cosecha del cultivo estival, en la campaña 2011-2012.

**Tabla 2.** Cantidad de nitrógeno disponible (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (kg ha<sup>-1</sup>)) en suelo, medidos sobre los tratamientos, testigo y vicia y sobre las diferentes dosis de fertilización nitrogenada (kg de N ha<sup>-1</sup>).

DOSIS DE N	Kg de N ha-1		DMS	CV %	p-ANAVA
	TESTIGO	VICIA			
0	77,70 A	61,90 A	80,77921	51,05	0,6160
60	58,14 A	91,56 A	62,14017	36,62	0,2097
120	60,31 A	83,99 B	7,12695	4,36	0,0008
180	98,89 A	130,88 A	49,76979	19,11	0,1489

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; p-ANAVA: Valor de p obtenido para los test de ANAVA realizado para las comparaciones entre testigo y vicia, para cada nivel de fertilización nitrogenada. En filas, letras distintas indican diferencias significativas según DMS Fisher ( $p < 0,05$ ).

Se observa que los test de ANAVA no fueron significativos para tres de los cuatro tratamientos ( $p < 0,05$ ). Para estas dosis de fertilización, también se ve que sus coeficientes de variabilidad fueron elevados pudiendo haber impedido la detección de posibles diferencias entre los tratamientos aplicados, ya que al observar las medias, éstas muestran amplias diferencias. Sin embargo, la gran variabilidad de datos, dificulta la obtención de diferencias estadísticas significativas.

Para el tratamiento de 120 kg de N ha<sup>-1</sup> la diferencia de N en suelo entre Te y CC fue estadísticamente significativa, observándose el mayor nivel en vicia. Este resultado indica que la interacción vicia-fertilización puede tener efecto sinérgico. Resultados similares fueron observados por De Almeida Acosta *et al.* (2011), quienes observaron efectos sinérgicos entre vicia y la aplicación de 60 kg de N ha<sup>-1</sup>. Otros autores indicaron que VS a partir del estado de V6 en maíz, fue enriqueciendo el ambiente edáfico en N, en comparación con CC de gramíneas y el testigo (Restovich y Andriulo, 2010). Por su parte, Fernández *et al.* (2013) también demostraron que el rendimiento de maíz fue mayor cuando se realizó la fertilización combinada con N en el CC y en estado de V6, obteniéndose la mayor productividad de granos en el tratamiento.

#### VI. f. CONTENIDO DE NITRÓGENO EN VICIA Y SU APORTE AL SUELO

En la Tabla 3 se presentan las mediciones realizadas sobre el cultivo de cobertura (CC), para determinar el aporte de N (kg ha<sup>-1</sup>) realizado por el CC al suelo.

**Tabla 3.** Porcentaje de proteína bruta (PB), porcentaje de nitrógeno (N) y producción de materia seca (MS) de vicia al final del período del cultivo de cobertura (CC) y su aporte de nitrógeno (N) al suelo. Campaña 2011.

Campaña	% de PB en vicia	% de N en vicia	MS vicia (kg ha <sup>-1</sup> )	Aporte de N (kg ha <sup>-1</sup> )
2011-2012	17,62	2,82	4157,5	117,22

Se puede observar que el porcentaje de N en vicia fue de 2,82%, levemente superior al demostrado por trabajos realizados en la EEA INTA Marcos Juárez, donde los niveles de N en planta fueron de entre 2,21 y 2,48%. Éstos no variaron ni con la DS, ni con la FS y tampoco con el tipo de vicia, ya sea sativa o villosa (Barraco *et al.*, 2012). En cuanto a MS, se observó una producción baja (4157,5 kg ha<sup>-1</sup>), en comparación con los 8000 kg, que se pueden producir en la zona (Aimetta *et al.*, 2012). Por lo que el aporte de N al suelo por parte de la vicia fue de 117,22 kg ha<sup>-1</sup>, valor inferior a los 186 kg ha<sup>-1</sup>, que marcan ensayos en Marcos Juárez (Barraco *et al.*, 2012), ya que la cantidad de N fijado por una leguminosa en un determinado período, depende de su productividad, del contenido de N del forraje y de la proporción del N<sub>2</sub> que se obtuvo de la atmósfera por acción de la simbiosis (García *et al.*, 1994). En promedio, 70% del N acumulado en la parte aérea de las leguminosas proviene de la fijación simbiótica, y es posible encontrar hasta un 12% del total en la parte radicular (entre 8 y 23%). En todos los casos, la cantidad de N fijado aumenta con la cantidad de MS acumulada (Vaughan y Evanylo, 1998).

## VI. g. BALANCE DE NITRÓGENO

En la Tabla 4 se presenta el aporte total de Nitrógeno de nitratos ( $N-NO_3^-$ ) en  $kg\ ha^{-1}$  que se midió en el suelo tanto en el tratamiento que contenía vicia como en el testigo.

**Tabla 4.** Balance de nitrógeno ( $N-NO_3^-$ ,  $kg\ ha^{-1}$ ) sobre cultivo de cobertura (CC) y testigo (Te).

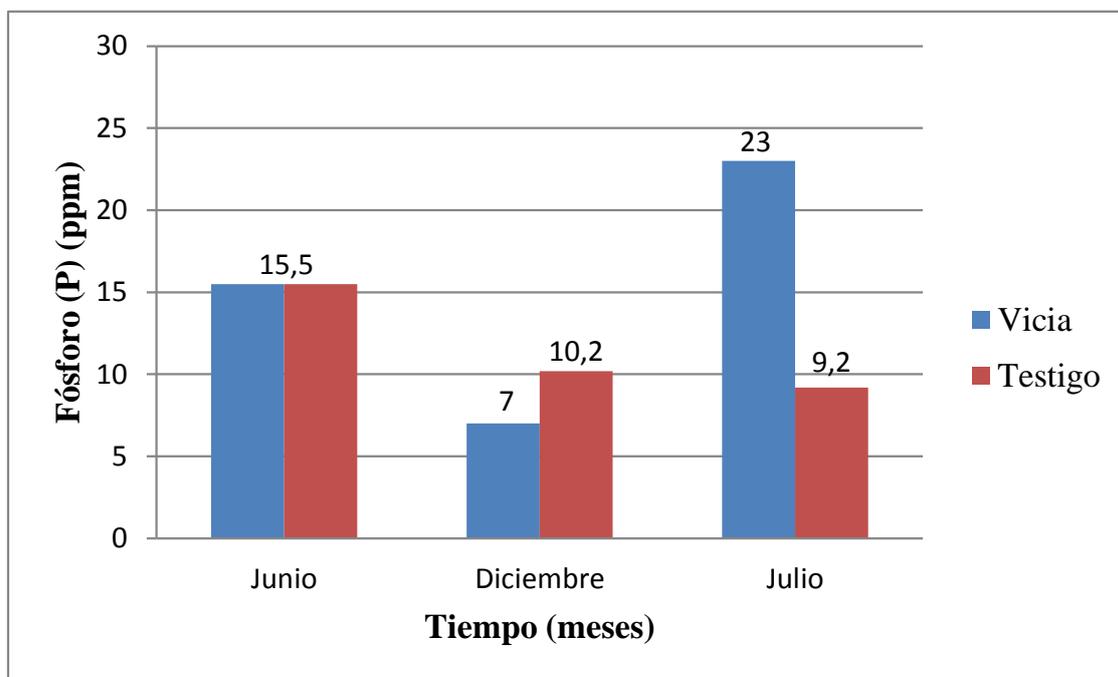
Campaña	Tipo de cobertura	$N-NO_3^-$ a la siembra	$N-NO_3^-$ aportado por la MO	N aportado por la vicia	Total ( $kg\ de\ N-NO_3^-\ ha^{-1}$ )
2011-2012	Vicia	34,4	94,4	24,6	154,3
	Testigo	54,4	130,8	0	185,2

Aquí se observa el balance de N en el suelo, teniendo en cuenta las variables:  $N-NO_3^-$  a la siembra,  $N-NO_3^-$  aportado por la MO y N aportado por la vicia, pero sin la variable fertilización nitrogenada. A esta sumatoria se le deben restar 22  $kg\ de\ N\ por\ Tn\ de\ grano^{-1}$  producida (Capurro *et al.*, 2010).

En cuanto al N proveniente de vicia (Tabla 3), se tomó en cuenta el 21% (Crozier *et al.*, 1998). Para el caso de  $N-NO_3^-$  aportado por la mineralización de la MO y  $N-NO_3^-$  aportados por el suelo, se tuvieron en cuenta los análisis realizados a la siembra del maíz (diciembre), presentados en las Figuras 5 y 6 respectivamente. Con respecto a lo mencionado anteriormente, en esta Tabla se puede observar que el maíz sembrado sobre Te absorbió más N que el maíz sembrado sobre vicia. Este resultado fue el esperado, ya que el cultivo de maíz rindió más sobre el Te (Tabla 5).

## VI. h. ANÁLISIS DE FÓSFORO

La Figura 7 presenta los diferentes niveles de Fósforo (P) en partes por millón (ppm), contenidos en el suelo en los distintos momentos de muestreo (junio, diciembre y julio), para la campaña 2011-2012.



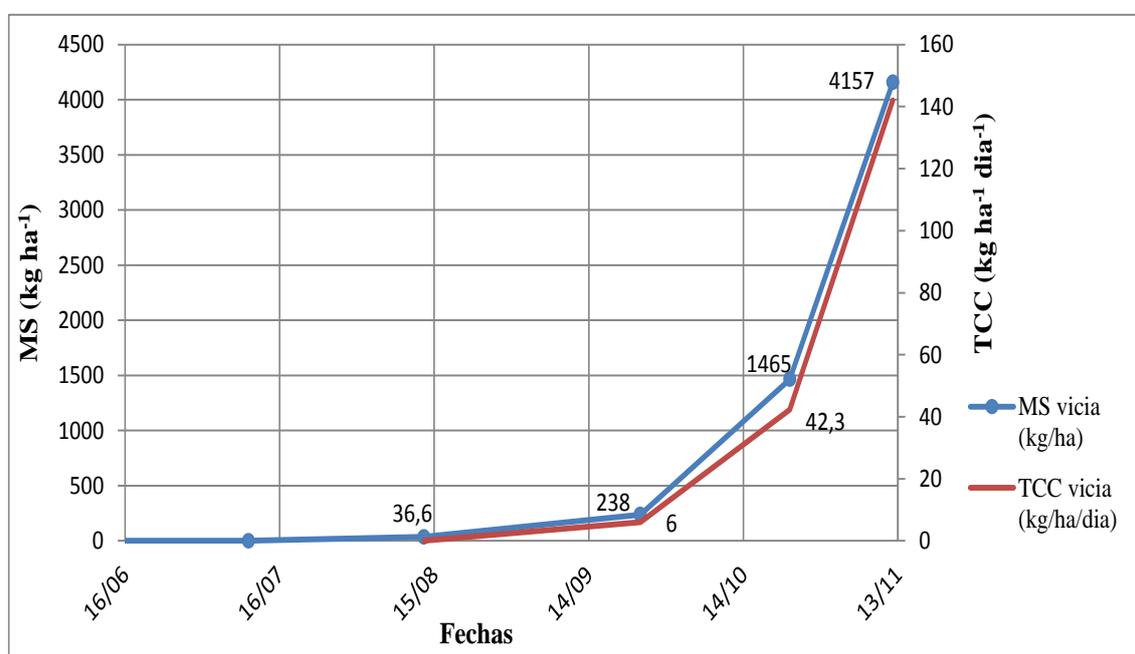
**Figura 7.** Fósforo (P) contenido por el suelo. Campaña 2011-2012.

En la figura se puede observar cómo en el mes de diciembre, a la siembra de maíz (03/12/2011), el contenido de P en el suelo fue levemente mayor sobre el tratamiento Te. En cambio, en el mes de julio, a la cosecha de maíz (04/07/2012), el P provisto sobre el tratamiento que contenía vicia, fue ampliamente superior al P contenido en los muestreos realizados sobre rastrojo (Te). En primer lugar la variación sufrida por el contenido de P en los muestreos tomados en los meses de diciembre y julio sobre el tratamiento vicia, se puede deber a la variabilidad temporal y espacial. Para la primera, García *et al.* (2014) explica que está directamente relacionada con la humedad y temperatura. En el caso de este trabajo se dio que al tener mayor tiempo de descomposición y gracias a las mayores temperaturas ocurridas durante los meses de diciembre, enero y febrero; y las precipitaciones desde diciembre a julio (Figura 1), pudo ayudar a retornar P al suelo, ya que después del N, el P es el nutriente más abundante contenido en el tejido microbiano (2% de su peso en seco) y el segundo en abundancia en la MO del suelo. A su vez, la MO fresca, puede tener un activo efecto sobre la descomposición del humus nativo con mineralización de P orgánico (Bernardo *et al.*, 2009). Estudios realizados por Calegari y Peñalva, (1994), indican que la vicia contiene 0,2% de P del total de su MS. Para el

caso de la variabilidad espacial, Alesso *et al.* (2012), realizaron distintos trabajos en Argiudoles típico de la Pampa ondulada bajo SD, hallando desde moderados a altos coeficiente de variabilidad en fertilización con P, yendo estos de 15 a 35% y pudiendo llegar a 150% de variabilidad.

## VI. i. PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE VICIA Y SU TASA DE CRECIMIENTO

En la Figura 8 se indica la producción de materia seca (MS) aérea acumulada de vicia y la tasa de crecimiento (TCC) en el transcurso de su ciclo durante la campaña 2011.



**Figura 8.** Acumulación de biomasa (MS) y tasa de crecimiento del cultivo de cobertura (TCC).

En la Figura, puede observarse como el cultivo de vicia tiene un lento crecimiento en los primeros meses después de sembrado (junio).

Por su parte las TCC medias, fueron de 6- 42,32- 141,7 kg de MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para las etapas generadas en los meses de septiembre, octubre y noviembre respectivamente. Mientras que la TCC promedio para todo el ciclo de VS fue de 63,2 kg de MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

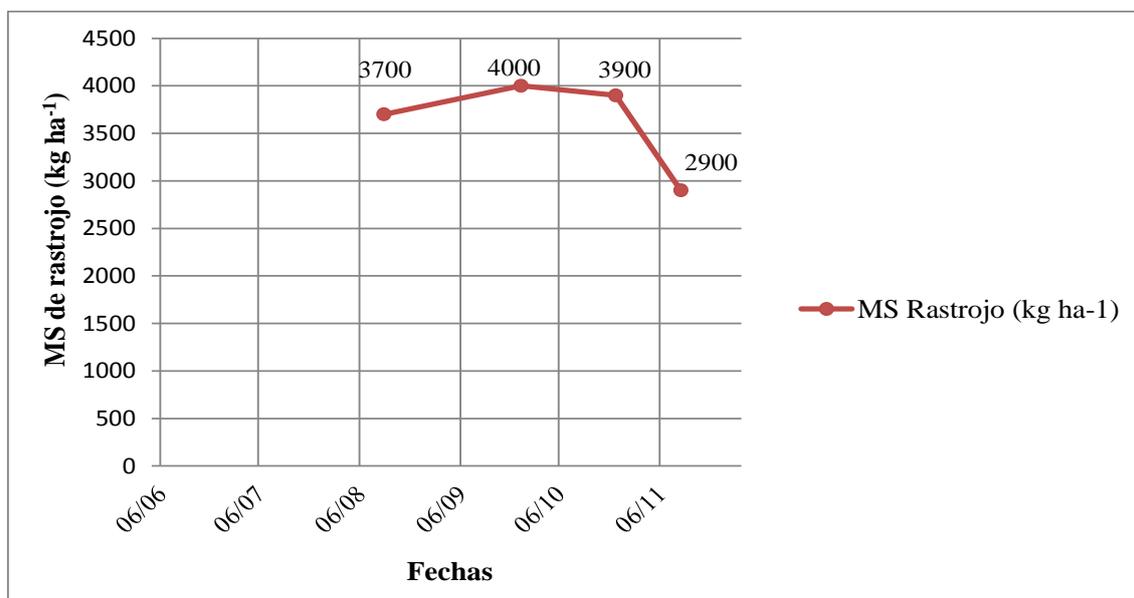
En cuanto a la producción de MS en VS, se han encontrado resultados variados, desde 500 a 8000 kg ha<sup>-1</sup> (Vanzolini *et al.*, 2009). Ensayos realizados en Marcos Juárez, en los años 2009 y 2010, han reportado resultados de 7500 y 5000 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Aimetta *et al.*, 2012). La principal diferencia encontrada con respecto al rendimiento de MS de la campaña 2011 (4157 kg ha<sup>-1</sup>), fueron las bajas precipitaciones ocurridas principalmente durante los primeros meses, después de la implantación del cultivo de VS (julio, agosto, septiembre),

mientras que como se puede ver en la Figura 1, en octubre y noviembre las lluvias fueron mayores en el año 2011 que en el promedio general, pero al encontrarse la vicia en el momento de mayor crecimiento, el agua sobrante no llegó a cubrir sus necesidades.

De lo dicho anteriormente, se destaca que la producción de MS y la TCC, se vieron claramente influenciadas por las precipitaciones (campana particular, registros mínimos de humedad) en combinación con la FS, que en su conjunto determinan la duración del cultivo (tiempo transcurrido entre la siembra y el momento de secado). Para este parámetro (FS), según Baigorria *et al.* (2011) es conveniente sembrar la vicia en los meses de otoño, principalmente marzo - abril, para así tener mayor tiempo de crecimiento y obtener mayor producción de MS. Esto se explicaría según el trabajo realizado por Rillo *et al.* (2012), quienes utilizaron como fecha de siembra de VS el 08/05/2008, siendo el 2008 un año similar en cuanto a precipitaciones al año en que se realizó este trabajo (2011). La vicia fue secada el 06/11/12 y se obtuvo un rendimiento en MS de 5743 kg ha<sup>-1</sup>, habiendo 1586 kg ha<sup>-1</sup> de diferencia a favor del trabajo realizado por Rillo *et al.* (2012), anticipándose en un mes la siembra de VS, con respecto al presente trabajo.

## VI. j. MATERIA SECA DE RASTROJO

En la Figura 9 se presenta la evolución de la curva de materia seca (MS) de rastrojo, durante el período de crecimiento del cultivo de cobertura (CC), para la campaña agrícola 2011.



**Figura 9.** Evolución de la materia seca (MS) del rastrojo antes de la siembra de maíz.

En la Figura 9 se puede observar, cómo el rastrojo del cultivo de soja se mantuvo constante hasta prácticamente el mes de noviembre, fecha en que fue secado el CC. Esto pudo

deberse a las bajas temperaturas de la zona hasta ese mes y a las bajas precipitaciones producidas durante la campaña 2011 (Figura 1), ya que, según Álvarez *et al.* (2008) y Vachon y Oelbermann, (2011), años con menores precipitaciones, tienen implicancia en menor descomposición del residuo del cultivo.

Estudios realizados en Marcos Juárez, por Galarza *et al.* (2010) indicaron que los restos de rastrojo de soja, en el mes que se comenzó la siembra del CC, fueron de 4080 kg ha<sup>-1</sup>, siendo semejantes a los encontrados en este estudio.

La importancia de evaluar la cantidad de rastrojo presente en un suelo, radica en que las tasas de descomposición determinan la permanencia de los residuos en el suelo y la cobertura del mismo. Estas tasas dependen de las condiciones edáfico-ambientales y las propiedades físico-químicas de los rastrojos (Scianca *et al.*, 2010).

Generalmente los residuos de las leguminosas se descomponen más rápido que los de las gramíneas, lo cual se debe a su mayor concentración de N, nutriente que actúa como regulador del proceso de degradación. Otra de las variaciones con respecto a la velocidad de descomposición, es que los rastrojos agrícolas dejados sobre la superficie del suelo se descomponen más lentamente que cuando son incorporados. Por último se debe destacar que los rastrojos de los cultivos, no sólo son una fuente de nutrientes para las plantas, sino que además, pueden actuar como destino del N edáfico disponible cuando se produce inmovilización del nutriente. Ésto determina que se haya detectado mayor inmovilización de N bajo SD que en situaciones de LC (Santanatoglia *et al.*, 1994).

## VI. k. RENDIMIENTO

En la Tabla 5 se detallan los rendimientos de maíz obtenidos en los diferentes tratamientos, para la campaña 2011-2012.

**Tabla 5.** Rendimiento de maíz (qq ha<sup>-1</sup>), sobre los diferentes tratamientos, testigo (Te) y vicia, con distintos niveles de fertilización nitrogenada (kg de N ha<sup>-1</sup>).

DOSIS DE N	RENDIMIENTO		DMS	CV %	p-ANAVA
	TESTIGO	VICIA			
0	88,47 B	68,16 A	15,86	8,94	0,0237
60	92,54 A	68 A	29,41	8,51	0,0696
120	96,76 B	71,3 A	22	6,09	0,0381
180	94 B	72,65 A	10,6	2,96	0,0131

DMS: diferencia mínima significativa; CV: coeficiente de variación; p-ANAVA: Valor de p obtenido para los test de ANAVA realizado para las comparaciones entre testigo y vicia, para cada nivel de fertilización nitrogenada. En filas, letras distintas indican diferencias significativas según DMS Fisher ( $p < 0,05$ ).

Para los rendimientos del maíz obtenidos sobre los tratamientos Te y vicia, y en los cuatro niveles de fertilización nitrogenada realizados independientemente, el ANAVA se hizo sobre cada nivel de fertilización aplicado, observándose que el rendimiento del maíz fue mayor siempre en el tratamiento Te, pero únicamente para el tratamiento con 60 kg de N ha<sup>-1</sup>, la diferencia entre vicia y Te no fue significativa.

Otros estudios realizados en el partido De 25 de Mayo en la provincia de Buenos Aires, indicaron que en el año 2008, con escasas precipitaciones y un secado tardío de VS (noviembre), el cultivo de maíz rindió más sobre el Te que sobre VS como CC (Rillo *et al.*, 2012). Por lo que en el presente trabajo la diferencia en rendimiento a favor del Te, puede explicarse debido al corto tiempo que hubo entre el secado de la vicia y la siembra de maíz, no permitiendo la recuperación de la humedad del perfil de suelo (AU). Ésto, sumado a las bajas precipitaciones producidas durante todo el ciclo del CC y la absorción de agua que éste produjo, causaron un CH de 83,38 mm (Tabla 1), con el agravante de que al momento de la siembra de maíz (diciembre), el AU sobre el Te fue de 121,74 mm y el AU sobre vicia fue de 31,31 mm (ver Tabla 1 del anexo IX. IV.), dificultando la implantación del cultivo de maíz sobre vicia. Autores como Andrade *et al.* (1996) sostienen que el agua disponible es generalmente, el

principal factor que limita el crecimiento y el rendimiento en condiciones extensivas. Ambos parámetros están estrechamente asociados con la T y la fijación del CO<sub>2</sub>. Debido a esto es importante que el cultivo pueda capturar la mayor parte posible del recurso agua, utilizar el recurso capturado de la forma más eficiente, intercambiarlo a nivel de estomas por el CO<sub>2</sub> destinado a producir fotoasimilados y convertir la mayor parte posible de los asimilados a órganos de cosecha (granos) (Dardanelli *et al.*, 2003).

Por otro lado en la Tabla 6 se muestran los resultados de EUA (kg de grano mm ET<sup>-1</sup>) del maíz cosechado sobre ambos tratamientos.

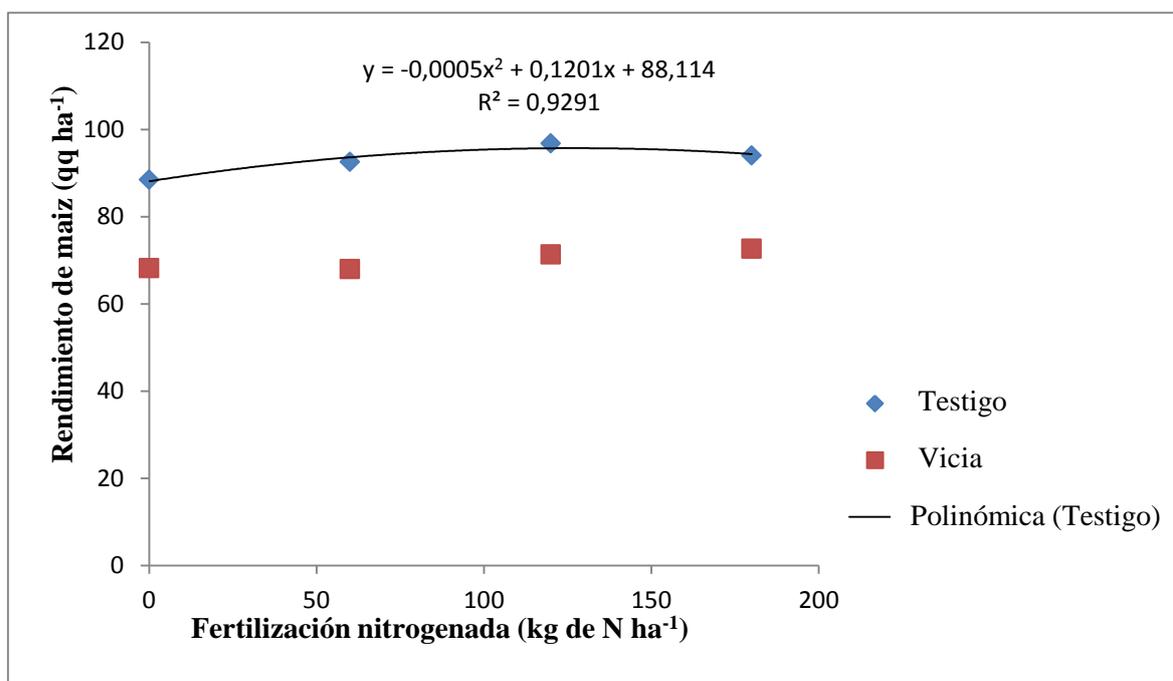
**Tabla 6.** Eficiencia del uso del agua (EUA) del cultivo de maíz. Campaña 2011-2012.

<b>Campaña</b>	<b>EUA en vicia (kg de Grano mm<sup>-1</sup>)</b>	<b>EUA en testigo (kg de Grano mm<sup>-1</sup>)</b>
2011-2012	17	20

En relación a lo explicado anteriormente, se aprecia que el maíz sembrado en el tratamiento Te tuvo una mayor EUA, lo cual se vio reflejado en su mayor rendimiento. Esto puede explicarse debido a que los efectos negativos de un alto CH por parte de un CC, disminuye la EUA del cultivo sucesor, con la consiguiente pérdida de potencial de rinde y de renta económica (Anselmi y Feresin, 2012).

## VI. 1. DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA ECONÓMICA DE NITRÓGENO

La Figura 10 presenta las curvas de respuestas del rendimiento para las distintas dosis de fertilización nitrogenada, tanto en los tratamientos sobre vicia como sobre testigo, para la campaña agrícola 2011-2012.



**Figura 10.** Rendimiento de maíz (qq ha<sup>-1</sup>) en función de las distintas dosis de fertilización nitrogenada (kg ha<sup>-1</sup>), para los distintos tratamientos con CC y Te.

Se observa que para el caso del maíz sembrado sobre vicia, la DOEN fue 0, ya que no hubo respuesta a la fertilización nitrogenada. La regresión polinómica de segundo orden no fue significativa. En cambio, para el caso del maíz cosechado sobre el Te, la regresión polinómica fue significativa, pero debido a los altos costos de la urea, sumado al bajo precio del maíz, el resultado terminó siendo negativo para la DOEN sobre el Te. La curva de regresión polinómica en vicia, se explica por un alto CH por parte del cultivo de VS (Tabla 1), sumado a la gran diferencia de AU en el momento de la siembra (diciembre) que hubo a favor del maíz sobre Te, comparándolo con el maíz sobre vicia (Figura 3).

En concordancia con el presente trabajo, investigaciones realizadas por Pantoja *et al.* (2010), en el estado de Iowa (Estados Unidos), quienes analizaron el efecto de la introducción de un CC antes de la siembra del cultivo estival (maíz) y su interacción con la fertilización nitrogenada, encontraron que la DOEN fue igual tanto para tratamientos con CC como para el Te, adjudicando este resultado a la baja producción de MS del CC, debido a las bajas

temperaturas y escasas precipitaciones primaverales. Cabe aclarar que en el presente trabajo, además de los problemas climáticos sufridos también existen los de tipo coyuntural, que son los debidos a la mala relación entre el precio de la urea y el bajo precio que sufre el maíz en este momento.

## VII. CONCLUSIONES

Para las condiciones generales del ensayo, la vicia como CC no generó beneficios ni en la dinámica del agua, ni en la incorporación de N atmosférico y tampoco en el rendimiento del maíz, rechazándose la hipótesis formulada. Lo mismo pasó con la producción de MS por parte de vicia, que fue una de las más bajas comparadas con otros autores. Cabe aclarar que las condiciones climáticas que se presentaron en el ensayo no fueron representativas de la media de la zona, por esto es importante que este tipo de investigación se realice de manera continua en años sucesivos, ya que se trata de un ambiente con potencial tanto en lo edafológico, como en lo climático.

Por otra parte, la inclusión de VS sembrada en una fecha media a tardía (junio), hizo que ésta se debiera secar a mediados de noviembre, y que el cultivo sucesor (maíz) se siembre en una fecha tardía (principios de diciembre), por lo que hubo un corto período de recarga de agua en el perfil de suelo; esto sumado a precipitaciones primaverales escasas, provocaron que el CC no pudiera alcanzar su mejor performance para la zona en cuestión, evidenciándose un menor rendimiento, un balance hídrico negativo, una menor lámina de agua acumulada en el perfil del suelo (AU) y en un bajo aporte y eficiencia en el uso del nitrógeno en los tratamientos con CC, no generándose mayores beneficios que en tratamiento Te, caso contrario, en este último el rendimiento a la cosecha del maíz fue mayor.

Es de destacar la importancia de este tipo de estudios en la región húmeda Pampeana, con el objetivo de mejorar los sistemas de cultivo a través de la diversificación y prácticas de manejo que contemplen conciencia ambiental en la utilización de los recursos suelo-agua-nitrógeno, por lo que ya se mencionó con anterioridad, es una zona con buena aptitud climatológica y en sitios con agua de Nf cercanas a la superficie aptas para agricultura.

Por último, queda abierto el interés y la necesidad de realizar otros estudios en detalle sobre los tiempos de cultivo (momento de siembra), tiempos de barbecho, mejoras en las condiciones de suelo sobre la dinámica del agua, del N, etc., que logren generar información de manera que resulte más predecible la inclusión de estas prácticas conservacionistas en los sistemas de producción actuales.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- ABRIL, A. 2002. La microbiología del suelo: Su relación con la agricultura sustentable. En: SARANDÓN, S. (Ed.) Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable. ECA, La Plata, Argentina, p: 153–173.
- ABRIL, A; p. SALAS; E. LOVERA; S. KOPP y N. CASADO-MURILLO. 2005. Efecto acumulativo de la siembra directa sobre algunas características del suelo en la región semiárida central de Argentina. Ci. suelo, v. 23 n°. 2. 2005.
- ACERO DE MESA, N. 1997. Estudio de las rizobacterias de *Vicia Villosa Roth*: optimización de la productividad por técnicas biológicas. Tesis de doctorado. Facultad de ciencias experimentales y técnicas. Universidad de San Pablo-ceu, San Pablo, Brasil. 316 p.
- AIMETTA, B; T. BAIGORRIA; D. GOMEZ; C. CAZORLA; A LARDONE; M. BOJANICH; A. BERTOLLA; M. CAGLIERO; D. VILCHEZ; D. RINAUDO y A. CANALE. 2012. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Actualización 2013. EEA INTA Anguil, Cap. 19. Págs.: 158-164.
- ALESSO, C.A; M.A. PILATTI; S. IMHOFF y M. GRILLI. 2012. Variabilidad espacial de atributos químicos y físicos en un suelo de la pampa llana santafesina. Ciencia del suelo. Argentina. P: 85-93.
- ALVAREZ, R; C. ALVAREZ; H.S. STEINBACH; J. M. SALAS y S. GRIGERA. 2002. Materia orgánica y fertilidad de los suelos en la pampa ondulada. En: Informaciones Agronómicas del Cono Sur 14: 10-13.
- ALVAREZ, C. y C. SCIANCA. 2006. Cultivos de cobertura en Molisoles de la región pampeana. Aporte de carbono e influencia sobre propiedades edáficas. EEA INTA General Villegas. Boletín para profesionales. Jornada profesional agrícola. 28 y 29 de septiembre de 2006.
- ALVAREZ, C; C. SCIANCA; M. BARRACO y M. DIAZ-ZORITA. 2006. Inclusión de cultivos de cobertura en rotaciones con base soja. En [www.inta.gov.ar/villegas/info/indices/tematica/suelos.htm](http://www.inta.gov.ar/villegas/info/indices/tematica/suelos.htm). Consultado: 15/05/11.
- ALVAREZ, C; R. ALVAREZ y A. SARQUIS. 2008. Residue decompositions and fate of Nitrogen-15 in a wheat crop under different previous crops tillage systems. Commun. Soil Sci. Plan. 39 (3-4) 574-586.
- ANDRADE F; A.G. CIRILO; S. UHART y M. OTEGUI. 1996. Ecofisiología del Cultivo de Maíz. Editorial La Barrosa EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds.). Dekalb Press. Buenos Aires, Argentina. pp. 292.

- ANSELMI H. Y P. FERESIN. 2012. Efecto de cultivos de cobertura sobre soja en un suelo de La Carlota. En: [http://inta.gob.ar/documentos/efecto de cultivos de cobertura sobre soja en un suelo de La Carlota-campaña 2011-2012](http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-cultivos-de-cobertura-sobre-soja-en-un-suelo-de-La-Carlota-campa%C3%B1a-2011-2012). Consultado: 23/10/14.
- BACIGALUPPO, S; M. BODRERO Y F. SALVAGIOTTI. 2009. Producción de soja en rotación vs monocultivo en suelos con historia agrícola prolongada. En: Para mejorar la producción 42. INTA EEA Oliveros. p: 53-55.
- BAIGORRIA, T; C. CAZORLA; A. LARDONE; M. BOJANICH; B. AIMETTA; D, VILCHES. 2009. Antecesor de maíz: barbecho o cultivos de cobertura? En: <http://inta.gob.ar/documentos/antecesor-de-maiz-bfbarbecho-o-cultivos-de-cobertura>. Consultado: 10/07/13.
- BAIGORRIA, T y C. CAZORLA. 2010. Eficiencia del uso del agua por especies utilizadas como cultivos de cobertura. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de Mayo al 4 de Junio del 2010.
- BAIGORRIA, T; D. GOMEZ; C. CAZORLA; A. LARDONE; M. BOJANICH; B. AIMETTA; D. BERTOLLA; M. CAGLIERO; D. VILCHES; D. RINAUDO; A. CANALE. 2011. Bases para el manejo de vicia como antecesor del cultivo de maíz. En: <http://inta.gob.ar/documentos/bases-para-el-manejo-de-vicia-como-antecesor-del-cultivo-de-maiz>. Consultado el: 03/07/2013.
- BARRACO, M; C. SCIANCA; A. LARDONE; C. ALVAREZ; M. DIAZ-ZORITA. 2012. Cereales de invierno como cultivos de cobertura en secuencias continuas de soja. INTA General Villegas. Memoria técnica 2011-2012.
- BERNARDO I; E. BONADEO; I. MORENO; M. BONGIOVANNI y R. MARZARI. 2009. Apoyo didáctico, Sistema Suelo Planta: Fosforo. Cátedra, Sistema Suelo-Planta. FAV-UNRC. Ediciones CEIA. Unidad 12- II. Pág. 162-175.
- BOCCOLINI, M., B. AIMETTA., C. LORENZON., C. CAZORLA., T. BAIGORRIA., B. CONDE., y V. FAGGIOLI. 2010. Resultados preliminares sobre el efecto de cultivos de cobertura y la fertilización en propiedades del suelo relacionadas al ciclo del nitrógeno. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, 31 de mayo al 4 de junio del 2010.
- BOLLERO, G. 2005. El uso ambiental de los cultivos de cobertura en el medio-oeste norteamericano. En: [www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/17/11AM17.htm](http://www.fcagr.unr.edu.ar/Extension/Agromensajes/17/11AM17.htm). Consultado: 20/05/11.
- BOLSA DE CEREALES. 2012. El agroclima evoluciona desde “la niña”, que afectó a la campaña 2011/2012, hacia un “el niño” que beneficiaría a la campaña 2012/2013, pero la campaña invernal 2012 podría ser seca y fría. Disponible en: [http://www.ggsa.com.ar/files/archivos/perspectiva\\_climaticas\\_2012-13.pdf](http://www.ggsa.com.ar/files/archivos/perspectiva_climaticas_2012-13.pdf). Consultado: 04/11/14.

- CABRERA, A.L. 1953. Esquema fitogeográfico de la república Argentina, revista del museo de La Plata, tomo VIII, La Plata.
- CABRERA M.L. 2007. Mineralización y nitrificación: procesos claves en el ciclo del nitrógeno. En: Informaciones Agronómicas del Cono Sur 34. IPNI Cono Sur-Fertilizar AC. Paysandú, Uruguay. p: 1-9.
- CALEGARI, A y M. PEÑALVA. 1994. Abonos verdes- importancia agroecológica y especies con potencial de uso en el Uruguay. Canelones, Uruguay, MGAP (JUNAGRA)- GTZ.
- CAPURRO, J., J. MONTI, M.J. DICKIE, Y M.C. GONZÁLEZ. 2010. Vicia y Fertilización Nitrogenada en Maíz. En: Para mejorar la producción 42. INTA EEA Oliveros. p: 49-52.
- CARFAGNO, T., M. J. EIZA, A. QUIROGA y F. BABINEC. 2012. Disponibilidad de agua en monocultivo de soja con cultivos de cobertura. Actas XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, del 16 al 20 de abril de 2012.
- CAROF, M; S. DE TOURDONNET; P. SAULAS; D. LE FLOCH y J. ROGER-ESTRADE, 2007. Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system (II): competition for light and nitrogen. *Agronomy for Sustainable Development* 27, p: 357-365.
- CROZIER, C.R; L.D. KING y R.J. VOLK. 1998. Tracing nitrogen movement in corn production systems in the North Carolina Piedmont: A nitrogen-15 study. *Agrom. J.* 90: 171-177.
- DARDANELLI, J., D. COLLINO., M.E. OTEGUI y V.O SADRAS. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: SATORRE, E., R. BENECH ARNOLD., G. SLAFER., E. de la FUENTE., D. MIRALLES., M. OTEGUI., R. SAVIN. *Producción De Granos*. Ed. FAUBA. Cap. 16. p. 377-440.
- DE ALMEIDA ACOSTA J.A; T.J. CARNEIRO AMADO; A. DE NEERGAARD; M. VINTHER; L. SOUZA DA SILVA; R. DA SILVEIRA NICOLOSO. 2011. Contribuição da ervilhaca marcada com  $^{15}N$  e da adubação nitrogenada na nutrição e produtividade do milho no sistema plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* vol.35 no.4 Viçosa July/Aug. 2011.
- DE WIT, CT. 1992. Resource use efficiency in agriculture. *Agricultural Systems* 40: 125-151.
- DÍAZ-ZORITA, M; M BARRACO y C ALVAREZ. 2004. Efectos de doce años de labranzas en un haplustol del noroeste de Buenos Aires, Argentina. *Ciencia del Suelo* 22: 11-18.
- DI RIENZO, J.A, F. CASANOVES., M.G. BALZARINI., L. GONZALES., M. TABLADA y C.W. ROBLEDO. 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. disponible en: <http://www.infostat.com.ar>
- DUARTE, G. 2002. Sistemas de Producción de girasol en la región húmeda argentina. En manual práctico para el cultivo de girasol. Editores Díaz-Zorita M. y Duarte G., 2002. Pp. 313

- EIZA, M.J; N. FIORITI; G. STUDERT y E. ECHEVERRIA. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efectos de los sistemas de cultivo y la fertilización nitrogenada. Ci. Suelo 23 (1):59-67.
- ENLACES AL AGRO.COM. Disponible en: <http://www.enlacesalagro.com/relaciones-insumo-producto/>. Consultado: 12/02/15.
- ERNST, O. 2003. Leguminosas como cultivo de cobertura. Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. Publicado en: informaciones agronómicas del cono sur, N° 21. Actualizado: marzo 2004.
- ESPOSITO, G. 2002. Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a distintos sistemas de labranza en cultivo de maíz. Tesis Magister en Producción Vegetal. FAV-UNRC, Río Cuarto, Argentina.
- ESPOSITO G; C. CASTILLO y R. BALBOA. 2006. Calibración y validación de un método de diagnóstico de fertilización nitrogenada en maíz para el sur de Córdoba (Argentina). RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, vol. 35, núm. 3, diciembre, 2006, pp. 45-63.
- FERNANDEZ, R., A. QUIROGA., F. ARENAS., C. ANTONINI y M. SACKS. 2007. Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. En: Manual de fertilidad y evaluación de suelos. EEA INTA Anguil. Publicación Técnica N° 71. Cap.5. p: 51-59.
- FERNÁNDEZ, R. Y A. QUIROGA. 2009. Cultivo de cobertura. Costo hídrico de su inclusión en sistemas mixtos. Jornadas nacionales sistemas productivos sustentables: fósforo, Nitrógeno y cultivos de cobertura. Bahía blanca, 10 y 11 de Agosto de 2009.
- FERNANDEZ, R; A. QUIROGA y E. NOELLEMAYER. 2013. Cultivo de cobertura como antecesor del cultivo de maíz en la Región Semiárida Pampeana. En: Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. EEA INTA Anguil, Cap. 19. Págs.: 117-127.
- FOLGUERA, J.A; J.C. ROMAGNOLI y S.N. LORENZATTI. 2008. Utilización de vicia como cultivo de cobertura y su aporte de nitrógeno al cultivo de maíz posterior en siembra directa. Grupo Romagnoli y AAPRESID. Programas de residencia de AAPRESID.
- GALARZA C; V. GUDELJ; P. VALLONE; O. GUDELJ; B. MASIERO. 2010. Efecto de la utilización de vicia como cobertura y de la fertilización nitrogenada sobre el cultivo de maíz. Trabajo presentado en el IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo. 17 al 19 de noviembre de 2010. Rosario - Santa Fe, Argentina.
- GARCIA, J.A; C. LABANDERA; D. PASTORINI y S. CURBELO. 1994. Fijación de nitrógeno por leguminosas en La Estanzuela. Memoria Técnica N° 51. p: 13-18.
- GARCIA, F.O; L.I. PICONE e I.A. CIAMPITTI. 2014. Fosforo. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. INTA-Ediciones. Buenos Aires, Argentina. 2<sup>da</sup> Edición. Cap.8. P: 210-242.

- GEOINTA. GEOINTA.INTA.GOV.AR/VISOR/. Consultado: 14/10/14.
- GLIESSMAN SR. 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, Costa Rica, pp. 359.
- HARRIS, G.H; O.B. GESTERMAN; E.A. PAUL; S.E. PETERS y R.R. HANKE. 1994. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long-term cropping systems experiment. *Agron. J.* 86: 910-915.
- INTA. 1978. Carta de suelos de la república Argentina. Hoja 3363-17 Marcos Juárez. Córdoba, Argentina.
- INTA y CORDOBA AMBIENTE. 2006. Recursos naturales de la provincia de Córdoba. Los suelos, Nivel de reconocimiento escala 1:50000, Córdoba, Argentina. P: 386-387.
- JARVIS, S.C; E.A. STOCKDALE; M.A. SHEPHERD y D.S. POWLSON. 1996. Nitrogen mineralization intemperate agricultural soils: processes and measurement. *Advances in agronomy.* 57: 187-235.
- KLUTE, A. and C. DIRKSEN 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: Klute A. (Ed.), *Methods of soil analysis*, 2nd ed. Agron 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp.:687-460-733.
- LU, Y.C., K.B. WATKINS., J.R. TEASDALE y A.A. ABDUL-BAKI. 2000. Cover crop in sustainable food production. *Food Rev. Int.* 16: 121-157.
- MARCOS, J. 2000. Simulation based assessment af alternative crop in the dryland Pacific Northwest. Thesis of Ph. D. in Soils. Washington State University. Department Crop and Soils Sciences. USA. 44 p.
- MIGUEZ, F., M. VILLAMIL, S. CRANDALL, M. RUFFO y G. BOLLERO. 2009. Los efectos de los cultivos de cobertura sobre los rendimientos de maíz. En: García F.O. e I.A. Ciampitti (Ed.). *Simposio Fertilidad 2009*. 12-13 de Mayo 2009. Rosario. Santa Fe. IPNI Cono Sur y Fertilizar AC.
- MORÓN, A. 2001. Nutrición vegetal: el rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. En: *Siembra Directa en el Cono Sur*. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Montevideo, Uruguay. 1<sup>ra</sup> Edición, cap.6. p: 387-401.
- PANTOJA, J.L; J.E. SAWYER and D.W. BARKER. 2010. Nitrogen fertilization requirement and corn-soybean productivity in a rye cover cropping system. *North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference*. Vol. 26. Des Moines, IA.
- PERDOMO C y M. BARBAZAN. 1999. *Nitrógeno*, Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, Código 501/200/99. 72 p.
- QUIROGA, A; R. FERNANDEZ.; I. FRASIER y C. SCIANCA. 2008. Cultivos de cobertura. Análisis de su inclusión en distintos sistemas de producción. EEA INTA Marcos Juárez. Jornada cultivos de cobertura. Agosto 2010.

- RESTOVICH, S.B. y A.E. ANDRIULO. 2010. Cultivos de cobertura como antecesores de maíz: dinámica de nitrógeno, agua y efecto sobre el rendimiento. Trabajo presentado en el IX Congreso Nacional de Maíz y Simposio Nacional de Sorgo. 17 al 19 de noviembre de 2010. Rosario, Pcia. Santa Fe, Argentina.
- RICHMOND, F y S.N. RILLO. 2010. El efecto del carbono en el suelo: más rastrojo, más carbono. Disponible en: <http://www.campoportunidades.com/noticias-id-161>. Consultado: 20/08/14.
- RILLO, S; C. ALVAREZ; R. BAGNATO y E. NOELLEMEYER. 2012. Efecto de vicia como cultivo de cobertura sobre la disponibilidad de nitrógeno y agua en maíz. Disponible en: [http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-vicia-como-cultivo-de-cobertura-sobre-la-disponibilidad-de-nitrogeno-y-agua-enmaiz/at\\_multi\\_download/file/Efecto de la vicia sobre la disponibilidad de nitr%C3%B3geno y agua en ma%C3%ADz.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/efecto-de-vicia-como-cultivo-de-cobertura-sobre-la-disponibilidad-de-nitrogeno-y-agua-enmaiz/at_multi_download/file/Efecto%20de%20la%20vicia%20sobre%20la%20disponibilidad%20de%20nitr%C3%B3geno%20y%20agua%20en%20ma%C3%ADz.pdf). Consultado: 09/06/2015.
- RIZOBACTER. 2015. Disponible en: <http://www.rizobacter.com/argentina/productos/packs/otros/rilegum-pack-202>. Consultado: 20/05/15.
- RODRIGUEZ, N. 2005. Detección de especies de malezas de difícil control (tolerantes o resistentes) en los sistemas de producción. En: Cultivos de Cosecha Gruesa. Actualización 2005, Publicación N° 61 EEA INTA Anguil, Cap. 17, pp 85-86.
- ROJAS, J.M. 2012. Densidad aparente. Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. Disponible en: [http://inta.gob.ar/documentos/densidad-aparente/at\\_multi\\_download/file/INTA-%20Densidad%20Aparente.pdf](http://inta.gob.ar/documentos/densidad-aparente/at_multi_download/file/INTA-%20Densidad%20Aparente.pdf). Consultado: 21/05/15.
- RUFFO, M. y A. PARSON. 2004. Cultivos de cobertura en sistemas agrícolas. Disponible en: [www.ipni.net/ppiweb/iaarg.../Cultivo+Cobertura-Matias+Ruffo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaarg.../Cultivo+Cobertura-Matias+Ruffo.pdf). Consultado: 25/05/11
- SALVAGIOTTI, F; J.M. CASTELLARÍN; F.J. FERRAGUTI y H.M. PEDROL. 2011. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz según potencial de producción y disponibilidad de nitrógeno en la región pampeana norte. Ci. Suelo v. 29. N°. 2. pp: 199-212.
- SANTANATOGLIA. O.J; R. ALVAREZ; N. BARBERO y M. RUSSO. 1994. Descomposición de la cobertura de rastrojo y evolución de su contenido de nitrógeno en el doble cultivo trigo-soja bajo siembra directa. Ciencia del Suelo 12: 63-67.
- SCIANCA, C; M. F. VARELA; M. A. TABOADA y G. RUBIO. 2010. Los cultivos de cobertura aceleran la descomposición de rastrojos de soja. En: memoria técnica 2011-2012. General Villegas: Ediciones INTA pp. 66-71.
- STIPESEVIC, B y E. J. KLADIVKO. 2005. Effects of winter wheat cover crop desiccation times on soil moisture, temperature and early maize growth. Plant Soil Environ. 51: 255-261

- TUTTIEMPO. 2014. Clima en Marcos Juárez Aerodrome. Disponible en: [http://www.tuttempo.net/clima/Marcos\\_Juarez\\_Aerodrome/874670.htm.1](http://www.tuttempo.net/clima/Marcos_Juarez_Aerodrome/874670.htm.1). Consultado: 06/10/14.
- U.S.D.A., S.C.S., 1968. A method for Estimating Volumen and Rate of runoff in Small Watershed. Scs-Tp-149. (Descripto en Schwab y col., 1992).
- VACHON K y M. OLBERNAMM. 2011. Crop residue input and descompositon in no-tillage small-grain fields. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 1817-1824.
- VANZOLINI JI; J. GALANTINI; R. AGAMENNONI y O. REINOSO. 2009. Momento de control de cultivos de cobertura de Vicia villosa roth y su efecto sobre la producción de biomasa. Jornadas Nacionales Sistemas Productivos Sustentables, Com. Química de Suelos. AACCS. Bahía Blanca, Bs.As. 2009.
- VARCO, J.J; W.W. FRIE; M.S. SMITH y C.T. MACKONW. 1993. Tillage effects on legume descompositon and tranformation of legume and fertilizer nitrogen-15. Soil Sci. Soc. Am. J. 57:750-756.
- VAUGHAN, J.D. y G.K. EVANYLO. 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time, and residue management. Agron. J. 90: 536-544.
- VERBENE, E.L.J; J. HASSINK; P. DE WILLIGEN; J. GROOT y J. VAN VEEN. 1990. Modelling organic matter dynamics in different soils. Netherlands journal of agricultura science 38: 221-238.
- WRS. WORLD REFERENCE FOR SOIL RESOURCES. 1998. 84 World Soil Resources Reports. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Consultado en: <http://www.fao.org/docrep/w8594e/w8594e00.HTM>, 01/11/14.

IX. ANEXO

IX. I. FIGURAS

IX. I. FIGURA 1

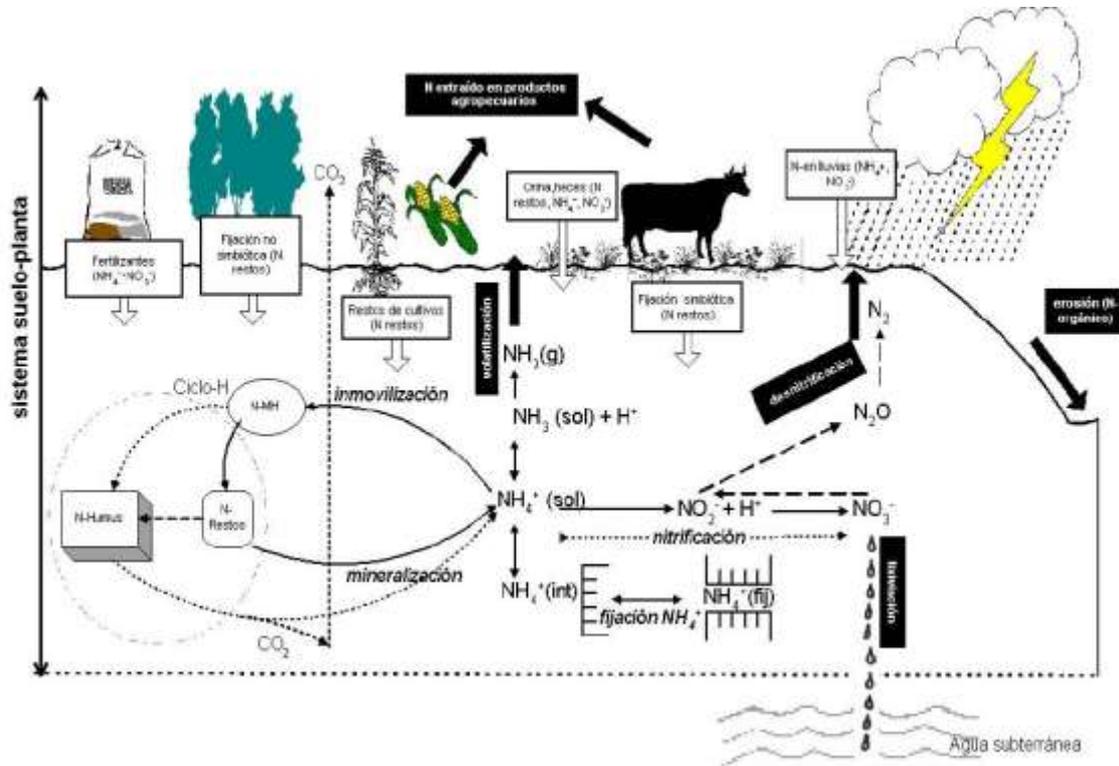


Figura 1. Ciclo del Nitrógeno (Perdomo y Barbazan, 1999).

IX. I. FIGURA 2

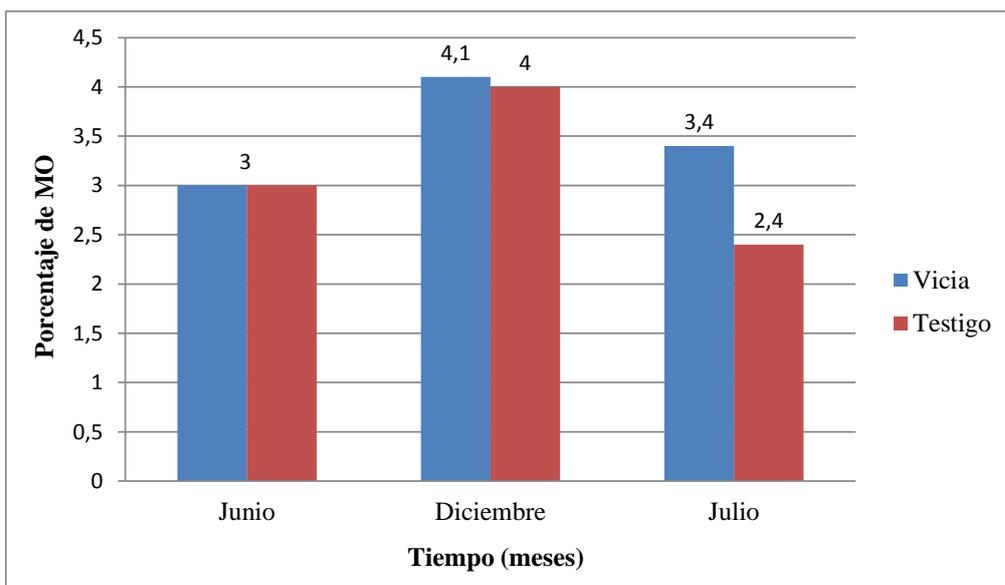


Figura 2. Porcentaje de materia orgánica (MO) contenida por el suelo, durante la siembra de vicia, la siembra de maíz y la cosecha de maíz. Campaña 2011-2012.

## IX. II. PERFIL DEL SUELO

La descripción del perfil del suelo se detalla a continuación (INTA, 1978).

Descripción de los horizontes:

- Ap. (0-19 cm): Color pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en húmedo; pardo grisáceo (10YR5/2) en seco; franco limoso, estructuras en bloque subangulares medios moderados y granular; friable en húmedo; límite inferior abrupto, suave. (Limo: 68,9%- Arcilla: 25,1%- Arena: 6%).
- BA (19-26 cm): Color pardo oscuro (10YR3/3) en húmedo; franco arcilloso limosa a franco limosa; estructura en bloques subangulares medios moderados; friables en húmedo; ligeramente plástico; ligeramente adhesivo; barnices (Clay skins) escasos finos; límite inferior claro, suave. (Limo: 60,3%- Arcilla: 27,1%- Arena: 12,6%).
- Bt1 (26-47 cm): Color pardo oscuro (7,5YR3/2) en húmedo; franco arcilloso limoso; estructura en prismas irregulares medios moderados rompen a bloques subangulares; friable en húmedo; plástico; adhesivo; barnices (Clay skins) abundantes medios; límite inferior claro, suave. (Limo: 58,4%- Arcilla: 34,5%- Arena: 7,1%).
- Bt2 (47-66 cm): Color pardo a pardo oscuro (7,5YR4/2) en húmedo; franco arcillo limoso; estructura en prismas irregulares medios moderados rompen a bloques subangulares; friable en húmedo; plástico; adhesivo; barnices (Clay skins) comunes medios; límite inferior gradual, suave. (Limo: 62,7%- Arcilla: 32,1%- Arena: 5,2%).
- BC (66-94 cm): Color pardo a pardo oscuro (7,5YR4/4) en húmedo; estructura en bloques subangulares medios y gruesos moderados; friable en húmedo; barnices (Clay skins) escasos y muy finos; límite inferior difuso. (Limo: 63,1%- Arcilla: 25,2- Arena: 0,6%).
- C (94-138 cm): color pardo a pardo oscuro (7,5YR4/4) en húmedo; franco limoso; masivo; muy friable en húmedo; escasos durinódulos; límite inferior abrupto. (Limo: 71,2%- Arcilla: 19,3%- Arena: 9,5%).
- Ck (138 cm a +): Color pardo (7,5YR5/4) en húmedo; franco limoso; masivo; muy friable en húmedo; abundantes cantidades de concreciones calcáreas y carbonatos libres en la masa. (Limo: 66,4%- Arcilla: 16,3%- Arena: 12,4%).

## **IX. III. METODOLOGÍAS PARA CÁLCULOS DE SUELO**

### **IX. III. 1. MÉTODO DEL CILINDRO**

El método del cilindro consistió en introducir un cilindro biselado de volumen conocido en el suelo, enrasando el suelo con los bordes, secar la muestra en estufa a 105° C hasta peso constante y obtener su valor, como se puede ver en la Ecuación 11 (Rojas, 2012).

$$\text{DAP (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{peso suelo seco (g)} \times 100}{\text{volumen del cilindro (cm}^{-3}\text{)}}$$

Ecuación 11

### **IX. III. 2. MÉTODO DE LAS CONSTANTES HÍDRICAS**

En cada capa de los perfiles culturales se cuantificó el contenido volumétrico de agua, a las succiones de -30 y -1500 Kpa con las celdas Tempe (modelo 1400 de *Soil Moisture Equipment Corp.* Santa Bárbara, California USA) con olla de presión.

Para estas determinaciones se recolectaron a campo, 3 muestras de suelo sin disturbar por horizonte genético de suelo con un muestreador de suelos, Cat. N° 200 de *Soil Moisture Equipment Corp.* Santa Bárbara, California USA, equipado con cilindros de bronce de 3 cm de alto y 5,715 cm de diámetro.

Estas muestras luego fueron saturadas en agua, mediante un equipo de saturación por vasos comunicantes desarrollado en el marco de esta tesis. El método de saturación consistió en colocar las muestras en un bastidor de madera a nivel, con suministro de agua mediante un recipiente plástico de nivel variable y carga constante (presión atmosférica) (Klute y Dirksen, 1986).

## IX. IV. TABLAS

### IX. IV. TABLA 1

En la Tabla 1 se muestran algunas de las mediciones realizadas durante el período del CC y durante la siembra del cultivo de maíz.

**Tabla 1.** Biomasa, Contenido de agua útil (AU) (100 cm) al inicio y final del cultivo de cobertura (CC), precipitaciones durante el cultivo de cobertura (CC), agua útil (AU) al momento de la siembra del maíz. Campaña 2011-2012.

<b>Biomasa del CC</b>	4157,5 kg ha <sup>-1</sup>
<b>Agua útil inicio</b>	109,62 mm
<b>Agua útil fin del CC</b>	5,22 mm
<b>Agua útil fin testigo</b>	88,61 mm
<b>Precipitaciones</b>	160 mm
<b>Agua útil siembra maíz en CC</b>	31,31 mm
<b>Agua útil siembra maíz en testigo</b>	121,74 mm

## IX. V. IMÁGENES



**Imagen 1:** Ubicación del Establecimiento “La Virginia”, al sur de la localidad de Monte Buey, Córdoba. Imagen satelital digital, GeoINTA, (Fecha 14/10/2014).



**Imagen 2:** Ubicación del ensayo. Establecimiento “La Virginia”, Monte Buey, Córdoba. Imagen satelital digital, GeoINTA, (Fecha 14/10/2014).



**Imagen 3:** Cultivo de *Vicia sativa* en estado vegetativo, pocos meses después de su siembra. Establecimiento “La Virginia”, Monte Buey, Córdoba.



**Imagen 4:** Cultivo de *Vicia sativa* en estado reproductivo, a poco de finalizar su ciclo. Establecimiento “La Virginia”, Monte Buey, Córdoba.



**Imagen 5:** Perfil del suelo, calicata. Establecimiento “La Virginia”, Monte Buey, Córdoba.



**Imagen 6:** Nodulación en vicia. Establecimiento “La Virginia”, Monte Buey, Córdoba.



**Imagen 7:** Supresión de malezas por parte de vicia. Establecimiento “La Virginia”, Monte Buey, Córdoba.