

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**PRODUCCIÓN DE DOS CULTIVOS ESTIVALES CONSECUTIVOS:  
MAÍZ-MAÍZ, MAÍZ-SORGO Y MAÍZ-SOJA**

**por**

**Juan Manuel ERNST ROMERO**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2017**

Tesis aprobada por:

Director: -----  
Ing. Agr. (Mag.) Osvaldo Pérez

-----  
Ing. Agr. Osvaldo Ernst

-----  
Ing. Agr. Alberto Fassio

Fecha: 7 de setiembre de 2017

Autor: -----  
Juan Manuel Ernst

## AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. (Mag.) Osvaldo Pérez por su gran dedicación, compromiso y permanente disposición durante toda la tesis.

Al Ing. Agr. Alberto Fassio y al Ing. Agr. Osvaldo Ernst por sus valiosos aportes de conocimiento y experiencia de trabajo.

A todos los funcionarios de INIA La Estanzuela que colaboraron con mucho entusiasmo en las diferentes etapas del desarrollo del trabajo

Al personal de Biblioteca por la gran ayuda en la búsqueda de información y corrección del documento.

Agradezco a mi familia y amigos por estar siempre.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	V
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	2
2.1. ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN.....	2
2.1.1. <u>Doble cultivo</u> .....	2
2.1.2. <u>Estación de crecimiento</u> .....	3
2.1.3. <u>Cultivos</u> .....	3
2.2. PRODUCTIVIDAD DE LOS RECURSOS.....	6
2.2.1. <u>Productividad</u> .....	6
2.2.2. <u>Uso del espacio y tiempo</u> .....	6
2.2.3. <u>Uso del agua y de la radiación</u> .....	7
2.2.4. <u>Uso de los nutrientes</u> .....	8
2.3. HIPÓTESIS.....	10
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	10
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.....	11
3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	11
3.3. MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	13
3.4. DETERMINACIONES REALIZADAS.....	14
3.5. ANÁLISIS DE DATOS.....	16
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> .....	17
5. <u>CONCLUSIONES</u> .....	35
6. <u>RESUMEN</u> .....	36
7. <u>SUMMARY</u> .....	36
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	38
9. <u>ANEXOS</u> .....	47

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Aplicaciones de fertilizantes.....	14
2. Láminas de riego aplicadas.....	14
3. Análisis de varianza del contenido en el suelo de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en tres fechas, según la siembra de dos cultivos estivales consecutivos.....	19
4. Análisis de varianza de la producción acumulada de materia seca, proteína cruda, energía bruta e indicadores productivos (LER y ATER de dos cultivos estivales consecutivos.....	26
5. Análisis de varianza de la producción de materia seca, proteína cruda y energía bruta de cultivos estivales de siembra tardía según el uso anterior del suelo.....	33
6. Diferencias entre tratamientos para la producción de materia seca y energía bruta de cultivos estivales de siembra tardía según el uso anterior del suelo.....	34
Figura No.	
1. Croquis del experimento.....	12
2. Precipitación efectiva y riego efectivo del periodo 2015-2016 y precipitación efectiva promedio histórica del período 1986-2015 en la localidad La Estanzuela, Colonia.....	17
3. Fenología de los cultivos de maíz, sorgo y soja según tratamientos, radiación solar por heliofanía diaria y temperatura media diaria.....	18
4. Contenido medio de nitrógeno en suelo según uso del suelo en primera época: barbecho 1 (B1), barbecho 2 (B2), maíz forraje (MzF) y maíz grano (MzG).....	20

5.	Contenido medio de nitrógeno en suelo según uso del suelo en primera época: barbecho 1 (B1), barbecho 2 (B2), maíz forraje (MzF) y maíz grano (MzG).....	22
6.	Contenido medio de fósforo en suelo según uso del suelo en segunda época: maíz, sorgo y soja. ....	23
7.	Contenido medio de nitrógeno en suelo según uso del suelo en segunda época: maíz, sorgo y soja. ....	24
8.	Contenido medio de potasio en suelo según uso del suelo en primera época: barbecho 1 (B1), barbecho 2 (B2), maíz forraje (MzF) y maíz grano (MzG).....	25
9.	Contenido medio de potasio en suelo según uso del suelo en segunda época: maíz, sorgo y soja.....	26
10.	Producción acumulada de materia seca de dos cultivos estivales consecutivos. ....	27
11.	Producción acumulada de proteína cruda de dos cultivos estivales consecutivos.....	29
12.	Producción acumulada de energía bruta de dos cultivos estivales consecutivos.....	30
13.	Indicador productivo LER de dos cultivos estivales consecutivos.....	32
14.	Indicador productivo ATER de dos cultivos estivales consecutivos.....	32

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura en Uruguay a lo largo de su historia se ha modificado según fueron cambiando los sistemas de producción, resultando en distintas formas de dar uso a los recursos en el tiempo y el espacio. Entre 1940 y 1970 el sistema predominante se basó en agricultura continua con laboreo, en las décadas de 1970 y 1980 se tendió a utilizar rotaciones de cultivos con pasturas, en este período el área de producción se redujo, se focalizó en los mejores suelos y se incrementaron los rendimientos (Ernst y Siri Prieto, 2011). Entre 1990 y 2002, la forma de producir fue como la anterior, pero sustituyendo el sistema de laboreo por el de siembra directa. A partir del último año, el esquema fue cambiando hacia la predominancia de una agricultura continua en proceso de expansión (Ernst y Siri Prieto, 2011). Paralelamente, ocurrió un proceso llamado “veranización de la agricultura”, por el cual para el año 2008 los cultivos de verano representaban el 70 % del área de siembra de secano (Arbeletche et al., 2010).

En los últimos tiempos el aumento de la producción agrícola de Uruguay se ha basado en la expansión en superficie, aunque presentando rendimientos relativamente estables (MGAP. DIEA, 2015). Por lo tanto, es esencial lograr mejores rendimientos asociados a una mejor eficiencia de uso de los recursos de modo de asegurar la viabilidad del sistema de producción (Sadras y Roget, 2004). En el mismo sentido, Ernst (2013) expresa que cuanto más agricultura se realice, la sostenibilidad del sistema de producción se torna más dependiente de los rendimientos logrados y de la intensidad de uso del suelo. En el contexto de seguridad alimentaria, Foley et al. (2011), Rosegrant et al. (2014) expresan que la agricultura en el mundo deberá aumentar su producción no en superficie, sino logrando mejores rendimientos por unidad de tiempo y espacio.

La siembra de más de un cultivo al año es una de las prácticas más comunes para incrementar la productividad del uso del suelo, habitualmente un cultivo de invierno seguido por uno de verano o viceversa. Otra alternativa para incrementar la productividad es la siembra de dos cultivos de verano consecutivos en la misma estación de crecimiento. La siembra de dos cultivos de verano consecutivos es una propuesta dirigida a sistemas de producción agrícola-lecheros o agrícola-ganaderos que cuenten con la posibilidad de aplicar riego, ya que la producción en secuencia de dos cultivos, para grano, grano húmedo y/o forraje, presenta una exigente demanda hídrica.

Los objetivos fueron estudiar la viabilidad biológica y tecnológica de sembrar dos cultivos estivales consecutivos en la misma estación de crecimiento y comparar la producción de los segundos cultivos con respecto a cultivos con igual manejo, pero sembrados de primera después de un barbecho.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN

#### 2.1.1. Doble cultivo

La alternativa de doble cultivo se enmarca dentro del concepto de cultivo múltiple secuencial realizado por Andrews y Kassam (1976), que comprende dos cultivos en una misma superficie y en una misma estación de crecimiento, donde el cultivo en secuencia es sembrado luego de la cosecha del primero. Se debe tener en cuenta que el primer cultivo puede perjudicar la producción del segundo, sea por el agotamiento de nutrientes o agua del suelo y/o por un incremento de la población de plagas y enfermedades (Andrews y Kassam, 1976). No obstante, la posibilidad de distribuir los costos sobre más de un cultivo, cambiando los flujos de dinero y reduciendo los riesgos de pérdidas totales de cosecha han sido estímulos para la realización de los cultivos múltiples (Hook y Gascho, 1988).

La ventaja del doble cultivo es maximizar el uso de los recursos, esto es incrementar la productividad del suelo, radiación y agua, debido a una mayor captura y/o un uso más eficiente (Maddonni y de la Fuente 2003, Caviglia et al. 2004).

Una de las formas del doble cultivo es el doble cultivo estival. La siembra de dos cultivos estivales consecutivos logra una complementariedad de tipo temporal en el uso de los recursos (suelo, radiación y agua), dado que cada cultivo de la secuencia los utiliza en momentos diferentes de la estación de crecimiento (Cirilo y Miranda, 2008).

Villar y Cencig (2010) presentan dos cuestiones claves que se deben tener en cuenta para la implementación de este sistema, que es la precocidad de los materiales y un manejo que se adapte a la duración de la estación. Asimismo, debe resolverse la situación hídrica desde el primer cultivo para asegurar una reserva mínima de agua en el perfil del suelo que permita el establecimiento del segundo cultivo. Debe tenerse en cuenta que el primer cultivo se sembrará muy temprano en la estación de crecimiento y que el segundo cultivo se sembrará muy tarde, teniendo ello consecuencias negativas en su crecimiento y desarrollo. En etapas iniciales se exponen a bajas temperaturas y heladas que podrían ocasionar severas pérdidas de plantas (Cirilo y Miranda, 2008). En siembras tardías los cultivos quedan expuestos a condiciones ambientales desfavorables, fundamentalmente por menor radiación y temperatura que afectan el llenado de grano. Al respecto, Hammer y Muchow (1994) determinaron que la duración del llenado de grano de maíz fue mayor en siembras tardías de febrero, por desplazar esta etapa a momentos de bajas temperaturas. No obstante, ello afecta la producción del cultivo ya que con temperaturas del aire menores a 15 °C el llenado de grano puede detenerse (Cheng, Xin, citados por Sun et al., 2007).



En el mundo son escasos los antecedentes de doble cultivo estival; sin embargo, en Argentina Miranda et al. (2008) demostraron la posibilidad de realizar la siembra consecutiva de maíz luego de un cultivo de soja. Tomando como un aspecto positivo combinar la incorporación de C al sistema que realiza el maíz y la mayor renta que representa el cultivo de soja.

En Uruguay, Vaz Martins y Fassio (2002) concluyeron que es posible la siembra del doble cultivo de maíz en el suroeste del país, pudiéndose reducir el perfil de riesgo económico del cultivo, maximizarse el rendimiento por superficie y optarse por diferentes destinos de producción dependiendo de las condiciones ambientales o de mercado.

### 2.1.2. Estación de crecimiento

La estación de crecimiento comprende el período en que es factible el crecimiento de los cultivos de interés. Uruguay se ubica en una región templada donde el factor temperatura se presenta como la primera limitante que restringe el periodo en que pueden realizarse los cultivos (UdelaR. FA, 2013). Por consiguiente, la probabilidad de ocurrencia de las primeras y últimas heladas del año, es una variable a tener en cuenta para definir la estación de crecimiento de los cultivos (Boshell, 1980). Según Burgos (1963), helada se define como la ocurrencia de temperaturas igual o menores a 0°C en abrigo meteorológico a 1,50 m de altura, lo que puede causar daño o muerte de plantas (Ventskevich, Vitkevich, citados por FAO, 2010).

Como expresa Caviglia (2009), llevar a cabo cultivos múltiples secuenciales está condicionado por la longitud de la estación de crecimiento. En Uruguay, para realizar dos cultivos de verano consecutivos la estación de crecimiento quedaría definida por el período libre de heladas, comprendido desde mediados de setiembre a principios de abril en el norte (Rivera) y de mediados de octubre a mediados de abril en el sur (Montevideo, De Mello, 2013).

### 2.1.3. Cultivos

Para la siembra de dos cultivos de verano consecutivos, se requiere que el primer cultivo presente ciclo corto y rápido desarrollo inicial, que permita soportar las condiciones de siembras tempranas y que a su vez, permita la siembra del segundo cultivo lo más temprano posible en la misma estación de crecimiento. En relación con lo anterior, cada especie tiene una temperatura base por encima de la cual ocurre el crecimiento vegetal, el que a su vez, también presenta una temperatura media óptima para su crecimiento y desarrollo.

De los cultivos de verano de tradicional uso en Uruguay, el girasol es el que tiene una menor temperatura base (5 °C) en la etapa siembra-emergencia, en etapas posteriores, el cultivo se desarrolla con temperaturas medias óptimas de 20 °C (Goyne y Schneiter 1988, Goyne et al. 1989). Considerando lo anterior, para Uruguay Fassio et al. (1997) plantean que la siembra de girasol es posible desde la segunda semana de agosto a mediados de diciembre. Le sigue el cultivo de maíz que presenta una temperatura base de 8 °C (Otegui et al., 1996) y temperaturas óptimas de desarrollo de entre 30 y 34 °C (Kiniry y Bonhomme, 1991). Su siembra es posible desde el mes de agosto, también para las condiciones de Uruguay (Fassio et al., 1998). En el caso de la soja, la temperatura base para la etapa siembra-emergencia se ubica entre 6 y 10 °C (Hesketh et al., 1973) y las óptimas para su desarrollo entre 20 y 26 °C (Salvagiotti, 2009). Es un cultivo que en Uruguay normalmente se siembra a partir de mediados de octubre, cuando las condiciones del suelo son más favorables para una rápida germinación, emergencia e implantación (Giménez y Restaino, 1994). Finalmente, el cultivo de sorgo tiene una temperatura base de 15 °C (Carrasco, 2004) y una temperatura óptima de desarrollo en panojado de 24 °C (Ernst, 2004). En Uruguay la siembra de sorgo se realiza desde principios de noviembre, cuando la temperatura del suelo se sitúa entre 18 y 21 °C (Ernst, 2004).

Teniendo en cuenta la temperatura base de cada cultivo, el sorgo es el menos adecuado para ubicarlo como primer cultivo de una secuencia de dos cultivos de verano. Ello debido a que con su siembra no solo se desaprovecharía la estación de crecimiento desde el comienzo, sino que también se retrasaría la siembra del segundo cultivo de la secuencia. Por otra parte, debe considerarse que el sorgo es un cultivo que permanece verde luego de la cosecha, por lo que la aplicación de control químico al rebrote sería necesaria para terminar con su crecimiento y preparar el suelo para el cultivo siguiente (Ernst, s.f.). Por lo tanto, dicha situación sumado al hecho de que el rastrojo de sorgo es de alto volumen y relación carbono/nitrógeno (C/N), postergaría aún más la implementación del segundo cultivo (Carrasco et al., 2011).

La soja es una buena opción como primer cultivo de la secuencia, aunque siembras previas a octubre podrían incrementar el riesgo de estrés por bajas temperaturas. Una mejor opción que la soja como primer cultivo es el maíz, ello porque al poder sembrarse más temprano puede aprovechar un mayor número de días de la estación de crecimiento. Esa ventaja del maíz se relaciona con que conserva el punto de crecimiento por debajo del suelo hasta el estadio V6 (elongación de entrenudos), a diferencia de girasol y soja que lo ubican por encima de la superficie (Fehr y Caviness 1977, Vanderlip 1993, Ritchie y Hanway 1997). Esta característica implica que la velocidad de aparición de hojas sea más afectada por el ambiente aéreo en soja y girasol y más afectada por el ambiente edáfico en maíz (Andrade et al., 1993). De este modo, un menor daño del punto de crecimiento por heladas, viento y granizo, hacen que el maíz sea el cultivo más apropiado para ser sembrado primero en la secuencia. Al respecto, Cirilo y Miranda (2008) expresan que la siembra del doble cultivo requiere cultivares de

maíz de ciclo muy corto que lleguen a madurez comercial a fin de diciembre o principios de enero; condición a su vez imprescindible para lograr sembrar el segundo cultivo a tiempo (Vaz Martins y Fassio, 2002). Finalmente, si bien el girasol es un cultivo que también podría ser utilizado como primer cultivo de la secuencia, en la actualidad es marginalmente sembrado en Uruguay con relación a cuestiones comerciales y pérdidas de rendimiento por daño de pájaros.

Se debe tener en cuenta que la realización del doble cultivo de verano implica que la siembra del segundo sea tarde en la estación de crecimiento. En siembras tardías los cultivos quedan expuestos a mayor temperatura en las primeras etapas vegetativas y si bien incrementan su tasa de desarrollo, hacia el periodo reproductivo quedan expuestos a temperaturas y radiaciones inferiores que determinan que la producción final de materia seca se vea reducida. Esa menor acumulación de grados día y radiación interceptada si bien se relaciona con una disminución de la producción de biomasa, no se relaciona con diferencias en la eficiencia de uso de esa radiación (Major et al. 1975, Goyne et al. 1989, Hammer y Muchow 1994, Qadir 2007).

El cultivo de soja sembrado tardíamente tiende a acortar notablemente el período de crecimiento reproductivo, mientras que el maíz tiende a mantenerlo o alargarlo; no obstante, en ambos cultivos el potencial de producción de materia seca disminuye. Esta situación puede explicarse porque el desarrollo reproductivo del maíz está controlado por la temperatura y en la soja está mayormente controlado por el fotoperiodo (Major et al. 1975, Weaver et al. 1991, Andrade y Cirilo 2000). El atraso en la fecha de siembra produce plantas más chicas de soja y plantas más grandes de maíz (Weaver et al. 1991, Almaguer et al. 2010). Estas diferencias se presentan porque en comparación con el cultivo de soja y hasta la floración, en el maíz es mayor el crecimiento con relación a su desarrollo (Andrade, 1995).

Las implicancias de siembras tardías también varían según las características del cultivar utilizado. Al respecto, Cirilo (2004) señala que desplazar la floración y el llenado de grano de maíz hacia momentos menos favorables de la estación de crecimiento, tiene un efecto más negativo cuanto mayor es el largo de ciclo del híbrido de maíz utilizado. Por otra parte, Setiyono et al. (2007) señalan que atrasos de la fecha de siembra en soja disminuyen la duración del ciclo y del número de nudos del tallo principal, siendo este efecto relativamente mayor cuanto mayor es el largo del ciclo del cultivar (Cregan y Hartwig 1984, Fassio et al. 2017).

Una consideración práctica a tener en cuenta, es que en siembras tardías hay mayor probabilidad de que la velocidad de secado del material a cosechar sea más lenta y a su vez, que ocurra una mayor incidencia de enfermedades (Andrade y Cirilo, 2000). En un relevamiento de datos de chacras en Uruguay, Pérez et al. (2013) determinaron que cultivos de soja sembrados tardíamente tuvieron mayor incidencia de enfermedades causadas por hongos. De la misma manera, siembras tardías de sorgo le predisponen a

Ergot, enfermedad causada por el hongo *Claviceps africana* (Bandyopadhyay et al., 1998).

## 2.2. PRODUCTIVIDAD DE LOS RECURSOS

### 2.2.1. Productividad

Varios autores concuerdan que a medida que se realiza más de un cultivo por año la productividad del uso de los recursos tiempo, espacio, agua, radiación y nutrientes aumenta (Caviglia 2004, Villar y Cencig 2010).

El principal indicador de productividad de los sistemas de producción es el rendimiento por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Otros indicadores a tener en cuenta son la producción de materia seca, proteína cruda y energía bruta por hectárea. La consideración de la proteína cruda por hectárea puede ser de utilidad para la valorización de las distintas especies vegetales. Respecto a energía bruta, Guzmán et al. (2014) expresan que es esencial considerarla para abordar el estudio de la eficiencia energética de los agro-ecosistemas. Por su parte, Bruuselma et al. (2008) proponen que deberían considerarse indicadores adicionales de productividad para todos los recursos y factores de producción, ello independientemente de la relación costos beneficios de los productos a cosechar.

Uno de esos indicadores es citado por Caviglia et al. (2013), quienes definen a la productividad del agua como el rendimiento en grano por unidad de agua disponible en un año, que a su vez surge del producto de la eficiencia de captura de agua disponible y de la eficiencia de uso del agua. La eficiencia de captura de agua disponible relaciona la suma de evapotranspiración de los cultivos (ETc) de una secuencia con el agua total disponible (lluvia y riego). Mientras que la eficiencia de uso del agua indica la relación entre la suma de los rendimientos de los cultivos que intervienen en una secuencia (grano o biomasa) y la ETc (Trenbath, 1986).

### 2.2.2. Uso del espacio y tiempo

En cultivos múltiples en secuencia es posible utilizar el indicador LER<sup>[1]</sup> (Land Equivalent Ratio por su sigla en inglés), el mismo sirve para comparar el rendimiento acumulado de los cultivos de la secuencia con el rendimiento de los mismos si se realizara un solo cultivo por estación. Por ejemplo, en el caso que se realicen dos cultivos en una estación, un LER igual a uno se alcanza si cada cultivo implicado en la combinación produce la mitad o entre ambos y en cualquier proporción, la misma cantidad que un cultivo sólo en la estación. Un resultado de LER mayor a la unidad significa que se precisaría menos espacio para la producción de la misma cantidad de

biomasa o grano en la secuencia de doble cultivo que si se realiza un cultivo individual (Hook y Gascho, 1988).

$$LER = (C1 + C2) / C_R \quad [1]$$

donde C1 es la producción del primer cultivo de la secuencia, C2 es el segundo cultivo de la secuencia, y C<sub>R</sub> representa la producción de un único cultivo de referencia en la misma estación de crecimiento.

Luego de exponer que los cultivos múltiples efectivamente aprovechan mejor la estación de crecimiento, Hiebsch y McCollum (1987) propusieron el indicador ATER<sup>[2]</sup> (Area Time Equivalent Ratio) para evaluar la productividad de intercultivos. El mismo considera el tiempo en que la tierra es ocupada por los cultivos y considera que éstos pueden liberar la chacra más tarde que un único cultivo. También debe considerarse que los cultivos múltiples podrían reducir las pérdidas de suelo por erosión, al éste ser protegido por un mayor tiempo de cobertura vegetal (Siddoway y Barnett, 1976). Coberturas de suelo de mayor volumen y ocupando el suelo por un mayor periodo de tiempo, reducen los valores de escurrimiento y la erosión del suelo (García Préchac, 1992).

$$ATER = T_R ((C1 + C2) / C_R) / (T1 + T2) \quad [2]$$

donde T<sub>R</sub> es la duración en días del cultivo de referencia, y T1 y T2 es la duración en días del primer y segundo cultivo de la secuencia, respectivamente.

### 2.2.3. Uso del agua y de la radiación

Como resultado del doble cultivo trigo-soja, Hook y Gascho (1988) obtuvieron respecto a un único cultivo de soja, una leve reducción de rendimiento en el segundo cultivo y una mayor eficiencia de uso del agua en base anual, ello debido a una mayor ventana de captura de recursos. Podría esperarse similar situación en el doble cultivo de verano, en los casos que el tiempo de área ocupada por cultivos dobles sea mayor que la de cultivos simples. Además, Hook y Gascho (1988) expresan que en cultivos bajo riego donde el mismo se efectúa hasta la cosecha, la reserva de agua en el suelo puede estar cercanamente llena. De este modo, un segundo cultivo puede utilizar esa agua almacenada aumentando así la eficiencia del uso del riego. Para ello es importante que no haya crecimiento vegetal entre los dos cultivos para que el rastreo cumpla su función de mantener la humedad del suelo para el siguiente cultivo (Unger, citado por Steiner 1986, Ernst et al. 2009).

Por otra parte, otro indicador que puede ser utilizado para estudiar la eficiencia de uso de los recursos es la productividad de la radiación, calculada como el producto entre la eficiencia de su captura (IPAR/PAR) y la eficiencia de su uso (RUE, Caviglia et al., 2013). La IPAR/PAR es el cociente entre la radiación fotosintéticamente activa interceptada (IPAR) por los cultivos y la radiación fotosintéticamente activa incidente (PAR). Por su parte, la RUE se calcula como el cociente entre el rendimiento de grano o de biomasa de los cultivos y la IPAR. Al respecto, estudiando rotaciones agrícolas de distinta intensidad (relación entre cantidad de cultivos en la rotación y la duración de la misma), Caviglia et al. (2013) obtuvieron que la productividad de la radiación aumentó proporcionalmente con la intensidad debido no a un aumento de RUE, sino a un incremento de la eficiencia de captura (IPAR/PAR), ello sobre todo cuando en las secuencias se incluyó al cultivo de maíz.

#### 2.2.4. Uso de los nutrientes

Mediante la alternativa de doble cultivo, se estaría afectando tanto la dinámica de los nutrientes como la eficiencia de uso de los mismos. Ello tanto por el cultivo de especies vegetales diferentes, como por los productos que son cosechados (forraje, grano húmedo o grano). Por tal motivo, es importante distinguir los términos absorción y extracción, el primero referido al total de nutrientes que el cultivo absorbe durante su ciclo de vida y el segundo, a la cantidad de nutrientes que son extraídos de la chacra con los órganos cosechables del cultivo (Ciampitti y García, 2007).

Con relación a la extracción de nutrientes y para llevar a cabo una agricultura productiva y sustentable, es necesario realizar un balance de nutrientes (García y González, 2010), entendido como la diferencia entre la cantidad de nutrientes que entran y salen de un sistema definido en el espacio y el tiempo (Ciampitti y García, 2008). Balances positivos pueden producir excesos de nutrientes en los suelos que llevan a la contaminación tanto del suelo, como del aire y el agua. En cambio, cuando son negativos, se reduce la fertilidad del suelo pudiendo afectar seriamente la producción, tanto del producto cosechado como del volumen del rastrojo dejado. Ulteriormente, situaciones con balance de nutrientes negativos impactan sobre el balance de C orgánico y en la protección del suelo contra los factores erosivos (García et al., 2013).

Según Ciampitti y García (2008), los nutrientes que no son absorbidos por los cultivos en su estación de crecimiento no necesariamente se pierden del sistema, sino que pueden ser utilizados por los cultivos que siguen en la rotación. En buena medida, el efecto residual de la aplicación de fertilizantes en exceso dependerá de la propia dinámica de los nutrientes en el suelo y en las plantas. La residualidad de las aplicaciones se da sobre todo con fósforo (P) y potasio (K), ambos nutrientes poco móviles, aunque también se ha observado con N y azufre (S), este último se inmoviliza

en la materia orgánica (MO) y se libera de forma gradual con el transcurso del tiempo (García y Sanjuan, 2013).

Siri y Ernst (2011) experimentaron que la duración del barbecho de raigrás y la relación C/N del rastrojo, afectan la disponibilidad de N para el cultivo posterior. Las formas de N inorgánico de gran movilidad como los nitratos, pueden desplazarse rápidamente desde el suelo a las napas freáticas, cursos de agua y/o ser transformados a formas gaseosas como el N<sub>2</sub>O, un gas de efecto invernadero (García y González, 2010).

Con el fin de satisfacer la demanda de alimentos para una población mundial en crecimiento, los sistemas agrícolas año tras año aumentan su producción, pero con ello también la extracción de nutrientes. Al ser la fertilización nitrogenada la principal fuente de entrada y salida de los sistemas agrícolas, resulta fundamental la maximización de la eficiencia de uso del N y su recuperación de la biomasa que queda en suelo durante la estación del cultivo (Cassman et al., 2002).

En ensayos de fertilización en doble cultivo trigo-soja sobre suelos molisoles del norte de la Pampa, Salvagiotti et al. (2005) concluyeron que tanto el P como el S residual que queda en la chacra luego del primer cultivo, pueden ser utilizados por el segundo cultivo de la secuencia logrando los mismos rindes y la misma eficiencia de uso que aplicándolos al momento de la siembra. Por otra parte, Vivas et al. (2006) observaron que luego de un cultivo de trigo, los cultivos de soja y maíz de segunda tuvieron respuesta residual al P y S.

Por su parte, el aporte de K desde el rastrojo al suelo está asociado al volumen de agua de ese suelo, esto porque el agua facilita su difusión desde los tejidos muertos a la superficie (Barbazán et al., 2011). Los mismos autores también observaron una liberación inicial relativa mayor de K en residuos de soja que en los de maíz, lo cual estaría explicado porque el maíz tiene una mayor proporción de tejidos capaces de retener el K durante un mayor periodo de tiempo.

Tanto la dinámica del N como la del S están fuertemente ligadas a la dinámica del C o de su equivalente estimado, es decir la MO (García y Sanjuan, 2013). La MO apenas representa una parte del suelo, entre 1 y 6 % del horizonte A, un rango que a su vez se reduce en profundidad. Aún así, la MO es un componente de real importancia, tanto que muchos estudios muestran que su contenido en el suelo afecta la capacidad de almacenamiento de agua útil; la estabilidad de los agregados; la capacidad de intercambio catiónico; y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, en especial el N (Romano y Roberto, 2007). Debe tenerse presente que las rotaciones de cultivos que afecten el balance de C del suelo afectarán también al balance de N, esto debido a que la relación C/N de la MO es relativamente estable (Cassman et al., 2002).

Finalmente, debe tenerse claro que el balance de nutrientes es un indicador importante para determinar sistemas de producción sustentables complementando el grupo de indicadores de eficiencia de uso de los nutrientes (García y González, 2013). Además, debe tenerse en cuenta que un incremento de la eficiencia de uso de los nutrientes implica también una mayor eficiencia global del sistema, promoviendo así no solo una mayor sustentabilidad sino también un mayor beneficio económico.

### 2.3. HIPÓTESIS

Partiendo de la base de que producir dos cultivos estivales consecutivos es posible, se plantearon tres hipótesis: 1) puede identificarse una o algunas secuencias de cultivos estivales y destinos de producción que presenten una significativa mayor producción durante la estación de crecimiento; 2) el segundo cultivo de la secuencia presenta restricciones de crecimiento respecto a un mismo cultivo, pero sembrado de primera después de un barbecho; y 3) esas restricciones serían significativamente diferentes según la combinación de cultivos de la secuencia.



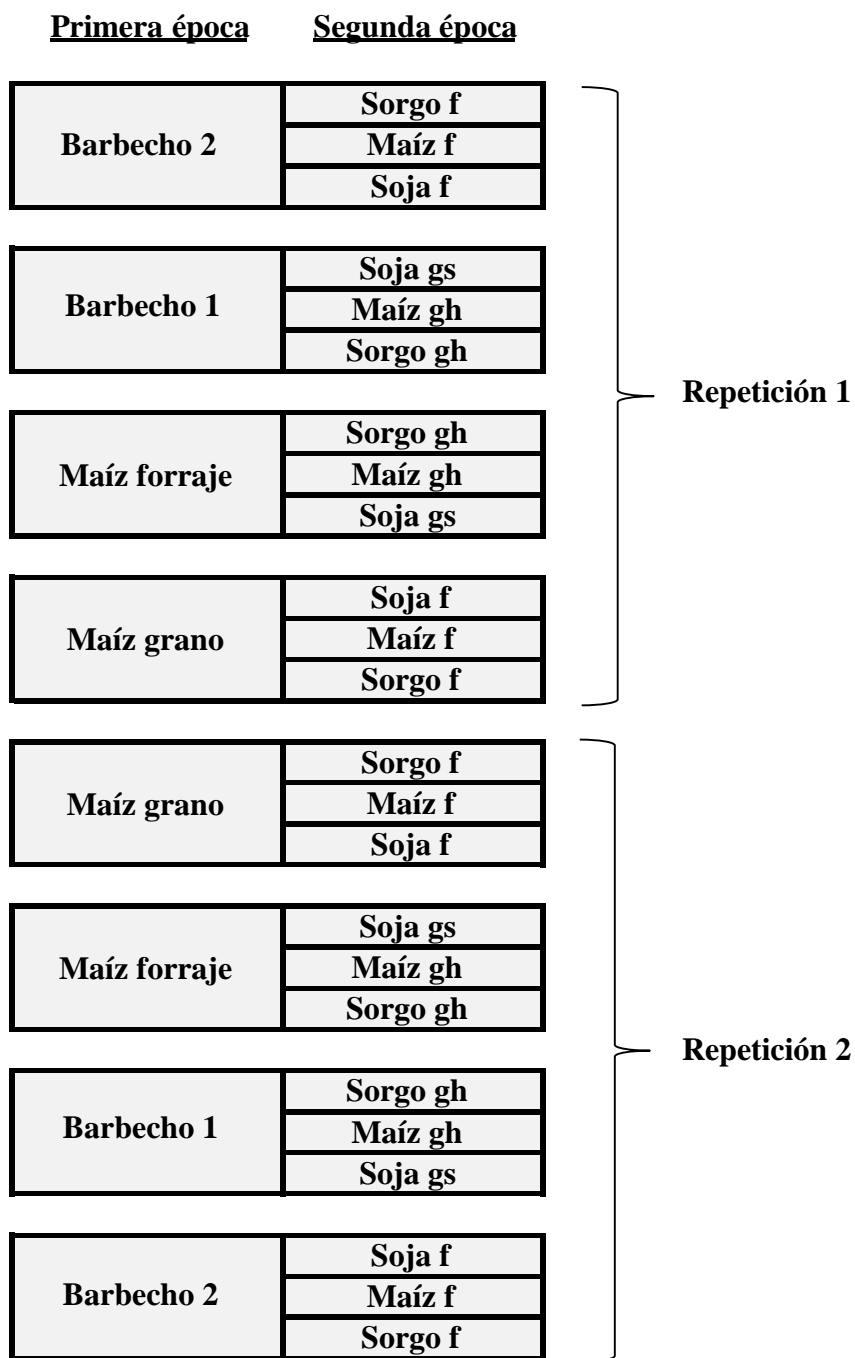
### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

El experimento se instaló después de un cultivo de avena para forraje el 7 de setiembre de 2015 en la Estación Experimental INIA La Estanzuela (34° 20' 45.74" S; 57° 42' 54.74" O). El mismo ocupó una superficie de 2727 m<sup>2</sup> sobre un suelo Brunosol Éútrico Típico del grupo de suelos CONEAT 10.6a desarrollado sobre basamento Cristalino, Unidad Ecilda Paullier-Las Brujas (Altamirano et al. 1976, MGAP. DGRN 1998, 2016).

#### 3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques completos al azar con dos repeticiones, asignando la parcela mayor al uso del suelo en primera época de siembra y la parcela menor a la ocupación del suelo en segunda época de siembra (Figura 1). La unidad experimental fue de 12 hileras de 40 m. de largo separadas a 0,4 m. El uso del suelo en fecha temprana de siembra fue barbecho 1 (B1), barbecho 2 (B2), maíz forraje (MzF) y maíz grano (MzG). Mientras que el uso del suelo en fecha tardía de siembra fue maíz (Mz), sorgo (Sg) y soja (Sj). De esta manera, los cultivos sembrados tardíamente fueron de primera o de segunda según si su antecesor fue barbecho prolongado de avena (B1 y B2) o maíz (MzF y MzG), respectivamente. Los cultivos tardíos después de B1 y MzF fueron sembrados el mismo día y posteriormente, el mismo criterio se utilizó con B2 y MzG. Por tanto, en el experimento se evaluaron un total de 12 tratamientos: MzF\_Mz, MzF\_Sg; MzF\_Sj; MzG\_Mz; MzG\_Sg; y MzG\_Sj, correspondientes a la siembra de dos cultivos de verano consecutivos y B1\_Mz; B1\_Sg; B1\_Sj; B2\_Mz; B2\_Sg; y B2\_Sj, correspondientes a cultivos de verano de primera sembrados tardíamente.



A la izquierda se presenta el uso del suelo en la primera época de siembra y a la derecha, la ocupación del suelo en la segunda época. Las letras f, gh y gs indican el destino de producción, forraje, grano húmedo y grano seco, respectivamente.

Figura 1. Croquis del experimento.

### 3.3. MANEJO DEL EXPERIMENTO

El barbecho previo a la instalación del experimento comenzó el 23 de julio con la aplicación de herbicidas (Anexo 1). La siembra de todos los cultivos se realizó en directa con sembradora experimental neumática. La mitad del experimento se sembró el 7 de setiembre utilizando el cultivar de maíz 39 B 77 (Pioneer Argentina), a razón de 100000 semillas  $\text{ha}^{-1}$  para lograr una población objetivo de 80000 pl  $\text{ha}^{-1}$ . La mitad de los tratamientos sembrados con maíz se cosecharon con destino a forraje el 7 de enero (R4-R5 según Ritchie y Hanway, 1997) y la otra mitad, se cosecharon como grano seco el 28 del mismo mes, con una humedad promedio de 16,6 %. La otra mitad del experimento quedó en barbecho hasta la siembra de segunda época (Figura 1).

La mitad de los tratamientos que quedaron en barbecho (B1) y los tratamientos donde se cosechó el maíz para forraje (MzF), fueron sembrados el 12 de enero con soja, maíz y sorgo (Figura 1). El cultivar de soja utilizado fue NS 4955 (Nidera Semillas) de grupo de madurez 4,9. El cultivo se sembró a razón de 353000 semillas  $\text{ha}^{-1}$  para una población objetivo de 300000 pl  $\text{ha}^{-1}$ . Por otra parte, para la segunda siembra de maíz se utilizó el cultivar P 1833 HR (Pioneer Argentina), mejor adaptado para siembras tardías. Fueron sembradas 100000 semillas  $\text{ha}^{-1}$  para una población objetivo de 85000 pl  $\text{ha}^{-1}$ . Con respecto al cultivo de sorgo, se utilizó el cultivar 8419 (Pioneer Overseas), sembrado con 323000 semillas  $\text{ha}^{-1}$  para una población objetivo de 265000 pl  $\text{ha}^{-1}$ .

Por otra parte, sobre el área donde se cosechó maíz para grano (MzG) y en el área restante en barbecho (B2), el 2 de febrero se sembraron los mismos cultivares de los cultivos de soja, maíz y sorgo utilizados en la siembra del 12 de enero (Figura 1). Las poblaciones objetivo fueron las mismas que las de la siembra del 12 de enero.

La fertilización se realizó de igual manera para todos los tratamientos tomando en cuenta para N, P y K, un criterio de suficiencia por el cultivo más exigente y los resultados de análisis de suelo de los contenidos de  $\text{N-NO}_3^-$ , P Bray I y K (Cuadro 1). Las muestras de suelo fueron tomadas a 0,20 m de profundidad el 3 de setiembre, 12 de enero, 23 de febrero y 14 de junio.

Para promover mayores rendimientos y reducir el riesgo de ocurrencia de déficit hídrico, sobre todo con los segundos cultivos, se realizaron riegos suplementarios a todos los tratamientos por igual mediante un ala de avance frontal. En el Cuadro 2 se presentan las láminas aplicadas.

Cuadro 1. Aplicaciones de fertilizantes.

Fecha	Producto	Dosis (kg ha <sup>-1</sup> )
7 de setiembre	Fosfato di-amónico (18-46/46-0)	200
13 de octubre	Urea (46-0-0)	150
24 de noviembre	Urea (46-0-0)	80
4 de febrero	Urea (46-0-0)	150
24 de febrero	Urea (46-0-0)	120
	Fosfato di-amónico (18-46/46-0)	90

Cuadro 2. Láminas de riego aplicadas.

Fecha	Riego (mm)
11 de diciembre	20
31 de diciembre	15
14 de enero	15
15 de enero	18
18 de enero	20
26 de enero	25
5 de febrero	15
9 de febrero	17
11 de febrero	15
12 de febrero	15
10 de marzo	15
Total:	190

Las aplicaciones de fitosanitarios se realizaron según las prácticas de manejo más habituales para cada cultivo (Anexos 1, 2, 3 y 4).

### 3.4. DETERMINACIONES REALIZADAS

Se realizó un seguimiento de la evolución del estado hídrico de las secuencias de los cultivos determinando mediante el método gravimétrico, el contenido de agua del suelo, la capacidad de campo (CC) y el contenido de agua disponible (AD) asumiendo que el suelo presenta un volumen potencial de 119 mm (Molfino 2009, García et al. 2016). También, se determinó por el método del cilindro la densidad aparente de los

horizontes A y B del suelo (Casanova, 2005), valores que ponderados se utilizaron para transformar los datos de humedad gravimétrica a humedad volumétrica. Además, a lo largo de la estación de crecimiento se llevó a cabo la estimación del contenido volumétrico de agua del suelo utilizando la técnica de TDR, del inglés Time Domain Reflectometry (Hydrosense II, Campbell Scientific Inc.). Los registros de TDR fueron ajustados con una ecuación lineal al agua disponible calculada por el método gravimétrico. Por otra parte, se realizaron balances hídricos para cada tratamiento (Anexos 5 y 6), utilizando datos en base diaria de precipitación y evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) de la estación meteorológica de INIA La Estanzuela (INIA. GRAS, 2016). Para estimar la  $ET_c$ , los valores de  $ET_0$  se multiplicaron por el coeficiente único de cada cultivo ( $k_c$ ) según su etapa de desarrollo (FAO, 2006).

Luego de la emergencia se determinó porcentaje de implantación para cada tratamiento mediante el conteo de plantas en tres hileras de 3 m cada una. También, se tomaron registros de la fecha de ocurrencia de las distintas etapas fenológicas, utilizando las escalas de Fehr y Caviness (1977), Vanderlip (1993), Ritchie y Hanway (1997), para los cultivos de soja, maíz y sorgo, respectivamente. A la cosecha, se determinó la producción de materia seca de biomasa aérea ( $kg\ ha^{-1}$ ) y el contenido (en %) de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra detergente neutro y ácido (FDA), lignina y cenizas. Cada cultivo se cosechó de forma manual tomando seis muestras de cada unidad experimental, en el maíz 4 m lineales por cada muestra y en el sorgo y la soja 3 m. El contenido de materia seca del material cosechado se determinó en estufa, dos muestras de dos plantas en el caso de maíz y sorgo, y dos muestras de cuatro plantas en el caso de soja. Los parámetros de calidad de forraje fueron determinados en el laboratorio de Nutrición Animal de INIA La Estanzuela.

Por otra parte, se calculó la energía bruta (EB) a partir de las fracciones ponderadas de PC ( $23,5\ kJ\ g^{-1}$ ), EE ( $39,5\ kJ\ g^{-1}$ ) y carbohidratos totales ( $39,5\ kJ\ g^{-1}$ ) según Flores y Rodríguez, citados por Guzmán et al. (2014). Los carbohidratos totales se estimaron por la diferencia con los porcentajes de las demás fracciones [ $100 - PC - EE - (FDN - lignina) - cenizas$ ]. Finalmente, se calcularon los indicadores LER y ATER (Hiebsch y Mccollum, 1987) utilizando como cultivo de referencia la materia seca promedio de biomasa aérea ( $21146\ kg\ ha^{-1}$ ) de un experimento<sup>1</sup> de maíz de primera con riego (150 mm), realizado el mismo año y localidad, sembrado el 13 de octubre de 2015 y cosechado el 29 de marzo.

---

<sup>1</sup> Armand Ugon, P.; Ferrari, G. 2017. Com. personal.

### 3.5. ANÁLISIS DE DATOS

Para el ajuste de las medias se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \beta_k + e(a)_{ik} + e(b)_{ijk}$$

donde  $\mu$  es la media poblacional,

$\alpha_i$  el efecto de la ocupación del suelo en primera época,

$\gamma_j$  el efecto de los cultivos de segunda época,

$(\alpha\gamma)_{ij}$  el efecto de la interacción,

$\beta_k$  el efecto de bloque,

$e(a)_{ik}$  la variación al azar entre las unidades experimentales dentro de  $\alpha_i$ , y

$e(b)_{ijk}$  la variación al azar entre las unidades experimentales.

Los datos se analizaron con el procedimiento estadístico PROC MIXED incluido en el programa SAS® versión 9.4. Las diferencias entre los efectos de tratamiento se identificaron por la diferencia mínima significativa (DMS) utilizando un P valor menor o igual a 0,05.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre diciembre y marzo el riego fue un componente importante en aumentar la oferta hídrica del suelo, particularmente en el mes de enero donde las precipitaciones registradas fueron apenas la mitad de la media histórica (Figura 2). En cambio, abril registró más del doble del volumen de la precipitación media histórica, promoviendo una situación de excesiva humedad que favoreció a enfermedades de soja y sorgo.

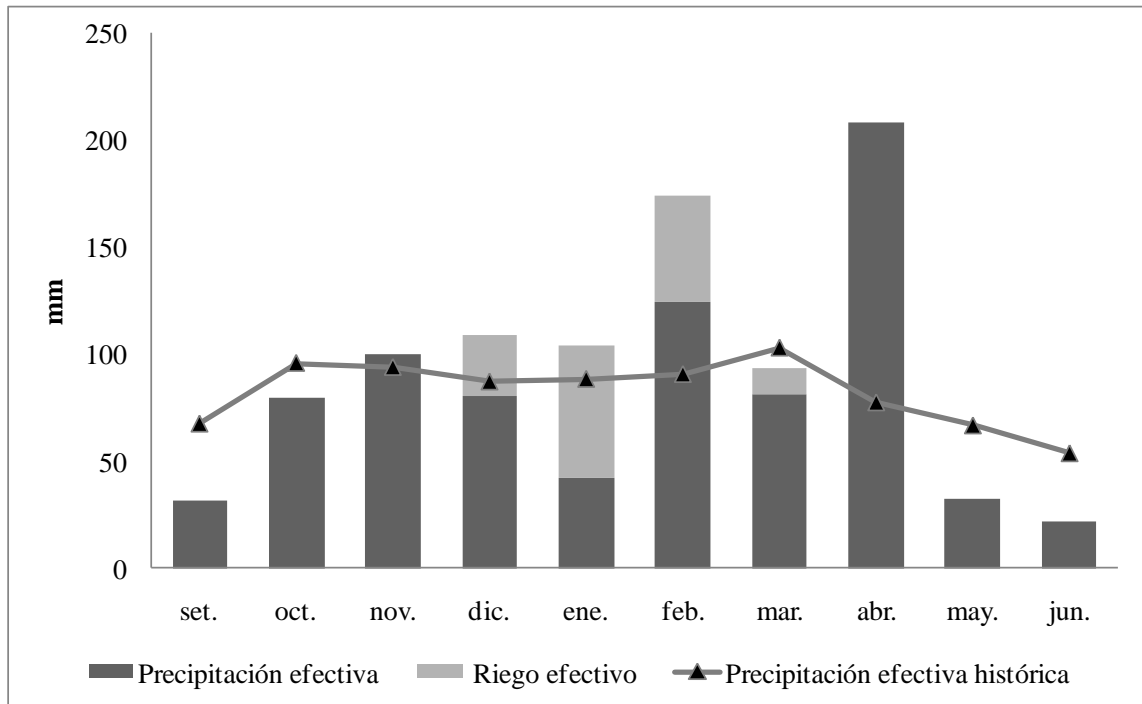


Figura 2. Precipitación efectiva y riego efectivo del periodo 2015-2016 y precipitación efectiva promedio histórica del periodo 1986-2015 en la localidad La Estanzuela, Colonia.

Los cultivos de segunda época que no tuvieron cultivo antecesor de verano (B1 y B2), tuvieron mayor disponibilidad de agua que los cultivos de segunda época que sí lo tuvieron (MzF y MzG, Anexos 5 y 6). En ambas situaciones la disponibilidad hídrica fue mayor en las etapas iniciales de los cultivos, pero esa disponibilidad se redujo con el aumento de la ETC y el desarrollo de los cultivos, pasando a depender mucho más de las precipitaciones y del aporte del agua de riego.

Los tratamientos con MzF en primera época de siembra dejaron menos agua disponible en el suelo que los con MzG (Anexos 5 y 6), ello a pesar de que los últimos

tratamientos fueron cosechados 21 días después que los con MzF (Figura 3). Las causas se relacionan con que los tratamientos con MzF se cosecharon en el estado de grano pastoso (R4), etapa reproductiva en que el maíz aún presenta su máximo kc (~ 1,2). A su vez, la cosecha ocurrió el 7 de enero, época del año en que la radiación y la ETc son mayores (Figura 3 y Anexo 5). En tanto, los tratamientos con MzG fueron cosechados el 28 de enero, momento de menor radiación y ETc y para cuando el maíz ya había alcanzado la madurez fisiológica (kc ~ 0,35, Figura 3 y Anexo 6).

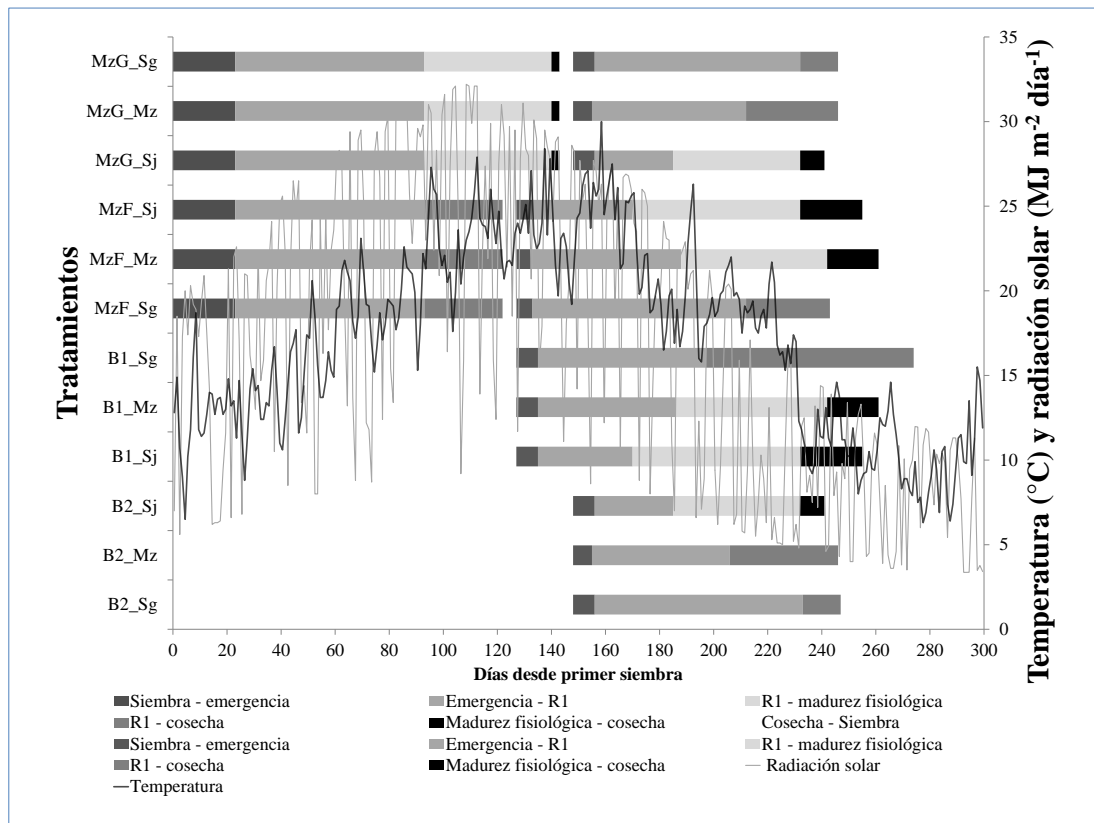


Figura 3. Fenología de los cultivos de maíz, sorgo y soja según tratamientos, radiación solar por heliofanía diaria y temperatura media diaria.

En base a FAO (2006), de los tres cultivos utilizados la soja es el que desde la siembra y hasta floración aumenta de forma más acelerada su ETc y mantiene su kc por mayor tiempo; luego le seguirían los cultivos de maíz y sorgo. En consecuencia, como lo indican los valores estimados de ETc y de balance hídrico (Anexos 5 y 6), el tratamiento MzF\_Sj habría sido el más comprometido de no haberse implementado el riego.



En la Figura 3 se puede observar cómo los cultivos de primera época captaron la mayor oferta de radiación de la estación de crecimiento, siendo los tratamientos con MzF los que tuvieron menor tiempo de captura (con respecto a los con MzG). No obstante, ese menor tiempo de captura de radiación de MzF fue aprovechado por los estadios iniciales de los cultivos de segunda época. Por su parte, los cultivos de segunda época que tuvieron como antecesor MzG o B2, principalmente soja, registraron un acortamiento de las etapas fenológicas.

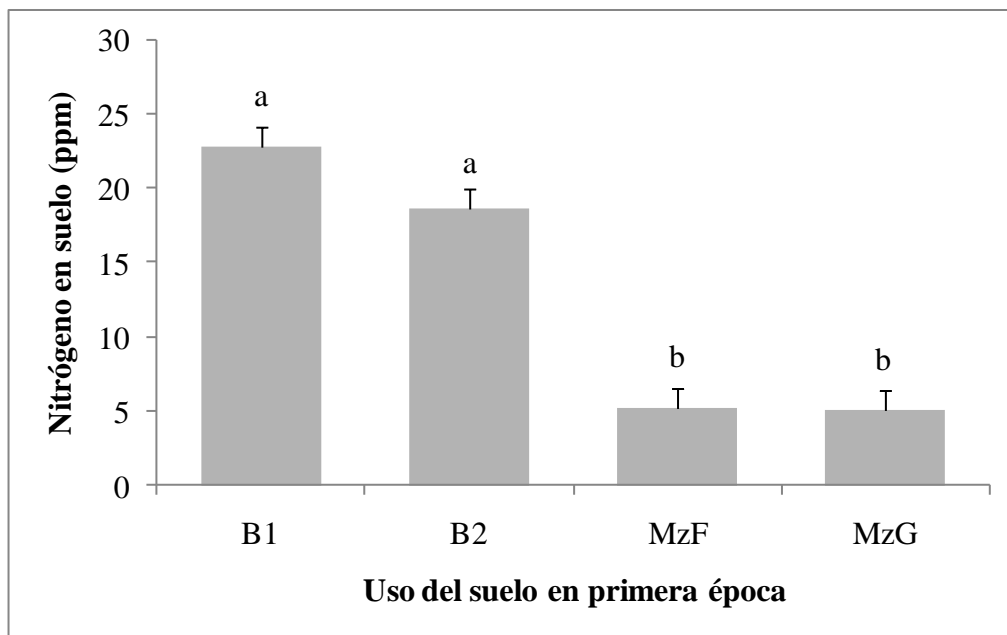
En cuanto a la implantación de los cultivos sembrados en segunda época de siembra no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la interacción entre primera × segunda épocas de siembra ( $P=0,1486$ , datos no mostrados). Esto significa que si bien las implantaciones fueron diferentes ( $P<0,0001$ ) entre los cultivos de segunda, esas diferencias no se debieron al uso del suelo en primera época de siembra.

El día 3 de setiembre, cuatro días antes de la siembra de los cultivos de época temprana, el suelo presentó 3,1 ppm de  $N-NO_3^-$ , 17,0 ppm de P y 0,62 meq  $100\text{ g}^{-1}$  de K. En el Cuadro 3 se presentan análisis de varianza (ANAVA) de N, P y K para tres fechas posteriores a la siembra y en el Anexo 7 se presentan todos los valores medios de N, P y K para cada tratamiento.

Cuadro 3. Análisis de varianza del contenido en el suelo de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en tres fechas, según la siembra de dos cultivos estivales consecutivos.

Fuente de variabilidad	g.l	Pr > F		
		N	P	K
12 de enero				
Repetición	1	0,3474	0,0932	0,4144
Primera	3	<b>0,0050</b>	0,0816	0,6032
23 de febrero				
Repetición	1	0,9243	<b>0,0065</b>	0,0709
Primera	3	<b>0,0157</b>	0,1099	0,3156
Segunda	2	0,5553	<b>0,0376</b>	0,4264
Primera × segunda	6	0,1228	0,1049	0,7784
14 de junio				
Repetición	1	0,4054	0,8833	0,2045
Primera	3	0,2877	0,3821	<b>0,0112</b>
Segunda	2	<b>0,0411</b>	0,3436	<b>0,0006</b>
Primera × segunda	6	0,8841	0,5703	0,0758

Los resultados del 12 de enero solo indican diferencias significativas en el contenido de N del suelo ( $P=0,0050$ , Cuadro 3). Como era esperable, los tratamientos que no tuvieron un primer cultivo sembrado (B1 y B2), registraron un mayor contenido de N en el suelo ( $P<0,05$ ) que los tratamientos que sí tuvieron maíz con destino a forraje o grano (MzF y MzG, Figura 4). Esas diferencias se explican por la absorción de N que realizó el primer cultivo de maíz y también, por la inmovilización de raíces muertas. Éste último proceso ocurre cuando el N orgánico descompuesto es insuficiente para mantener la relación C/N de la MO (Hadas et al., 1992). Por otra parte, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los contenidos de N de MzF y MzG ni tampoco entre los de B1 y B2 ( $P<0,05$ ). En el caso de maíz, ello puede explicarse porque entre la cosecha de MzF y la fecha del análisis de suelo solo se sucedieron seis días.



Los datos corresponden al muestreo realizado el 12 de enero de 2016. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P<0,05$ ) según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS). Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 4. Contenido medio de nitrógeno en suelo según uso del suelo en primera época: barbecho 1 (B1), barbecho 2 (B2), maíz forraje (MzF) y maíz grano (MzG).

Con respecto a P en suelo, el rango de medias del 12 de enero (34,0 a 45,9 ppm), fue muy superior al valor medio del análisis previo a la siembra (17,0 ppm); ello con relación a la aplicación de fertilizantes fosfatados. Similar explicación puede considerarse también con N, aunque las diferencias con la siembra (3,1 ppm) solo se observan en los tratamientos que no tuvieron un primer cultivo, B1 y B2 (Figura 4). En

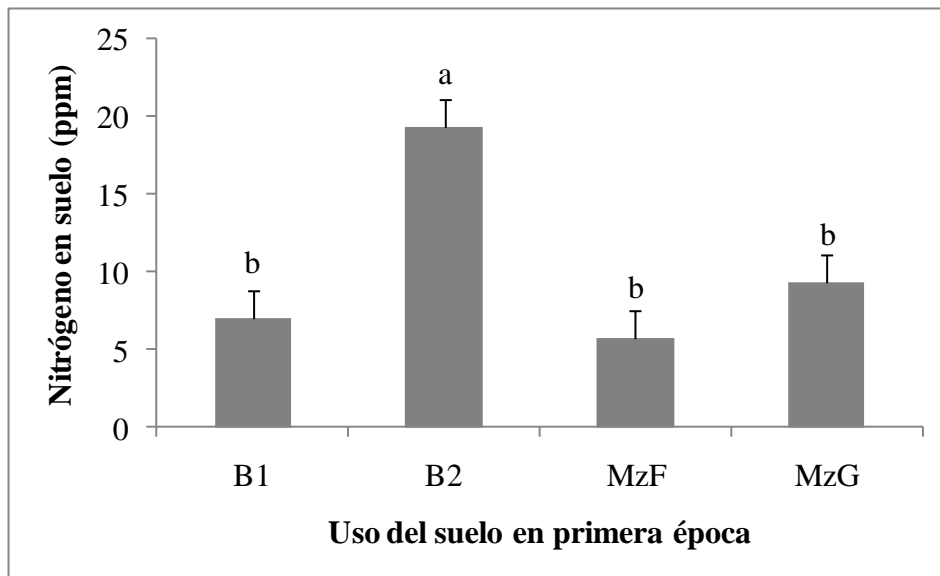
cambio, con relación a que no se aplicaron fertilizantes potásicos, el rango de medias de K del 12 de enero fue menor que el valor medio (Anexo 7).

Para los resultados del 23 de febrero, en el contenido de K del suelo no se observan diferencias significativas para ninguna fuente de variabilidad (Cuadro 3). Respecto a la variable N, el efecto del segundo cultivo y el efecto de la interacción entre el uso del suelo en primera y el segundo cultivo (primera  $\times$  segunda) tampoco son significativos. En cambio, se observan diferencias significativas según el uso del suelo en la primera fecha de siembra ( $P=0,0157$ ).

El efecto de B2 como primera muestra un mayor contenido de N con respecto a B1, MzF y MzG ( $P<0,05$ , Figura 5). Las diferencias entre B1 y B2 pueden explicarse porque los segundos cultivos después de B2, estuvieron extrayendo N por un menor periodo de tiempo antes del análisis del 23 de febrero (Figura 3). A su vez, los tratamientos con B2, como también los con MzG, desplazaron a los cultivos de segunda época a condiciones de menor radiación y temperatura durante el período reproductivo, lo que se relaciona con un menor potencial de rendimiento y una menor extracción de nutrientes (Rodríguez y Rodríguez, citados por Barra, 1999). Otro de los efectos que pudo aportar a las diferencias entre B1 y B2, es la mineralización de N del rastrojo de avena, teniendo en cuenta que B2 fue el efecto de tratamiento con mayor tiempo en barbecho y con mejores condiciones para la mineralización del rastrojo, esto último principalmente debido a mayores temperaturas (Kätterer et al., 1998).

Por otra parte, los tratamientos que como primera tuvieron B1, MzF o MzG, no muestran diferencias significativas ( $P<0,05$ , Figura 5). Ello indica que entre la siembra y el 23 de febrero los cultivos de segunda época sobre MzF y MzG habrían absorbido una menor cantidad de N que los cultivos de segunda época sobre B1, los cuales a la siembra tuvieron mayor disponibilidad de N ( $P<0,05$ ) y también de agua (Figura 4, Anexos 5 y 6).

Para la variable P, tanto el efecto del uso del suelo en primera fecha de siembra como el efecto de la interacción primera  $\times$  segunda, no son significativos (Cuadro 3). A diferencia de lo observado con N, los cultivos de segunda muestran un efecto significativo en el P del suelo ( $P=0,0376$ ).

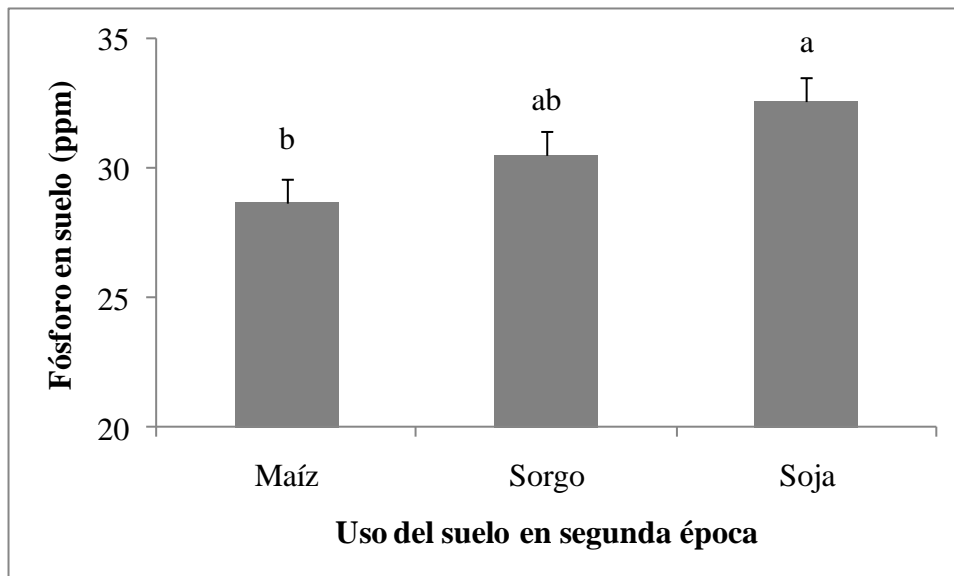


Los datos corresponden al muestreo realizado el 23 de febrero de 2016. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS). Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 5. Contenido medio de nitrógeno en suelo según uso del suelo en primera época: barbecho 1 (B1), barbecho 2 (B2), maíz forraje (MzF) y maíz grano (MzG).

En la Figura 6 se observa que el contenido de P en suelo fue superior en los tratamientos que tuvieron soja como cultivo de segunda época, aunque no se diferenció significativamente de los que tuvieron sorgo y a su vez, éstos últimos tampoco de los que tuvieron maíz ( $P < 0,05$ ). Ello dado que son especies diferentes y que al momento del muestreo de suelos se encontraban en distintas etapas fenológicas (Figura 3). Al respecto, Andrade et al. (2000) observaron que la absorción total de P en la biomasa aérea del cultivo de maíz en condiciones de riego y fertilización óptima, puede ser de  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  con tasas de absorción de  $0,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , mientras que en la soja puede ser de  $30 \text{ kg ha}^{-1}$  con tasas de absorción de  $0,37 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ . En el mismo sentido, Fribourg et al. (1976) no obtuvieron diferencias significativas en la extracción de P entre sorgo y maíz.

En el ANAVA del 14 de junio, fecha en que ya había culminado el experimento, se indica que para la variable N los efectos del uso del suelo en la primera época y en la interacción primera  $\times$  segunda no son significativos (Cuadro 3). Esta situación se podría explicar porque los cultivos de segunda época que no tuvieron antecesor, extrajeron más N por mayor disponibilidad en suelo, compensando la extracción que realizan aquellos cultivos que sí lo tuvieron. En cambio, en el análisis se indica que persisten diferencias significativas según el uso del suelo en la segunda época de siembra ( $P = 0,0411$ ).

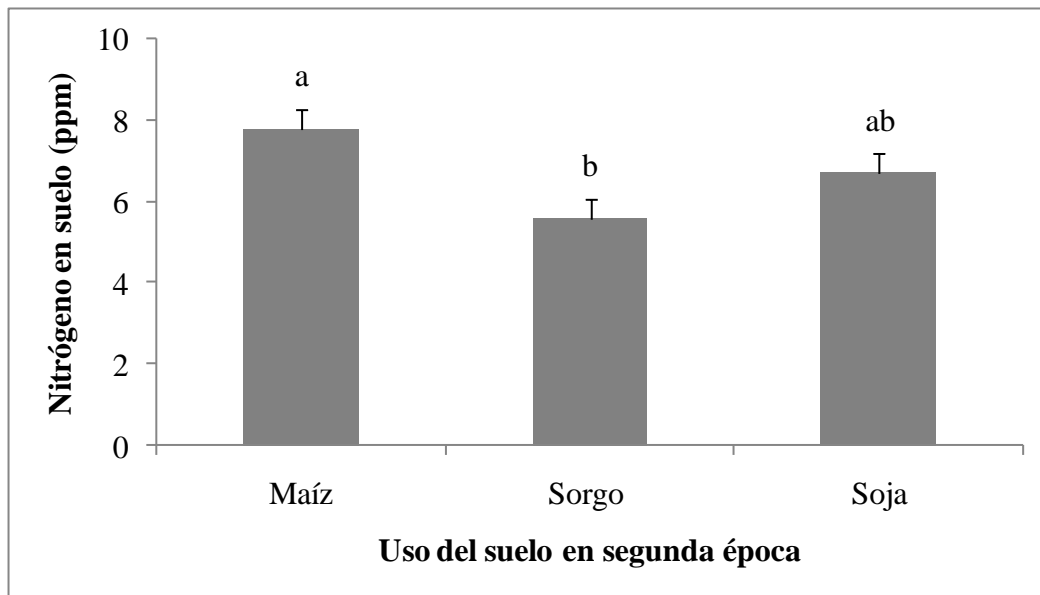


Los datos corresponden al muestreo realizado el 23 de febrero de 2016. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS). Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 6. Contenido medio de fósforo en suelo según uso del suelo en segunda época: maíz, sorgo y soja.

Considerando el N residual en el suelo, los tratamientos que tuvieron maíz como cultivo de segunda época habrían absorbido una menor cantidad de N que los tratamientos que tuvieron sorgo, pero no que los que tuvieron soja que a su vez tampoco se diferencian de los de sorgo ( $P < 0,05$ , Figura 7). Con relación a maíz y soja, Andrade et al. (2000) observaron que si bien la soja produce menos de la mitad de la biomasa aérea de maíz, a madurez puede acumular una cantidad de N similar ( $300 \text{ kg ha}^{-1}$ ). El menor contenido de N en suelo después de sorgo con relación al contenido residual de maíz ( $P < 0,05$ ), puede explicarse porque el sorgo extraería mayor cantidad de N por unidad de biomasa producida (Ciampitti et al., 2014).

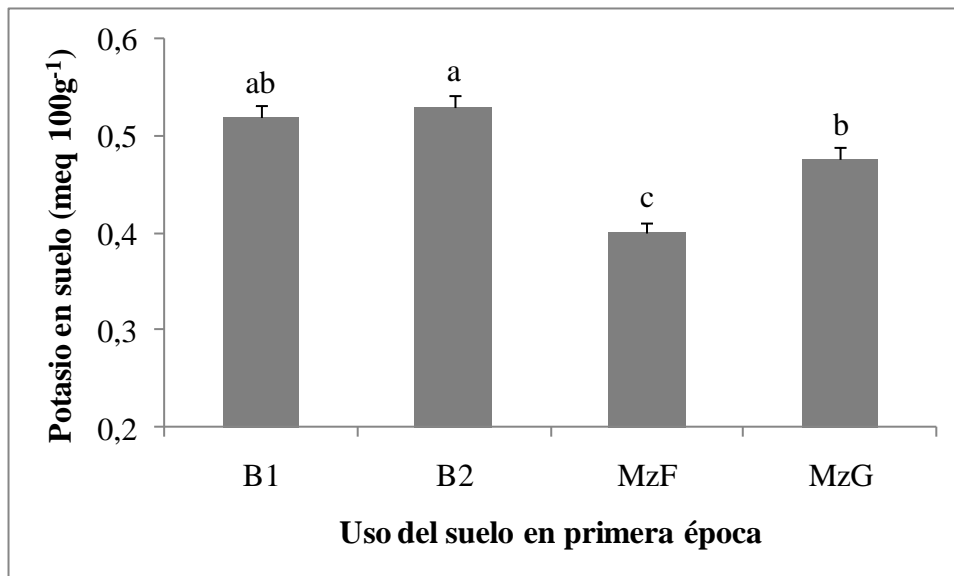
En el caso de P, no se observan diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variabilidad (Cuadro 3). Para la variable K el efecto de la interacción primera  $\times$  segunda tampoco es significativo. En cambio, se observan diferencias significativas de K según el uso del suelo en la primera y segunda fecha de siembra ( $P = 0,0112$ ;  $P = 0,0006$ , respectivamente).



Los datos corresponden al muestreo realizado el 14 de junio de 2016. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS). Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 7. Contenido medio de nitrógeno en suelo según uso del suelo en segunda época: maíz, sorgo y soja.

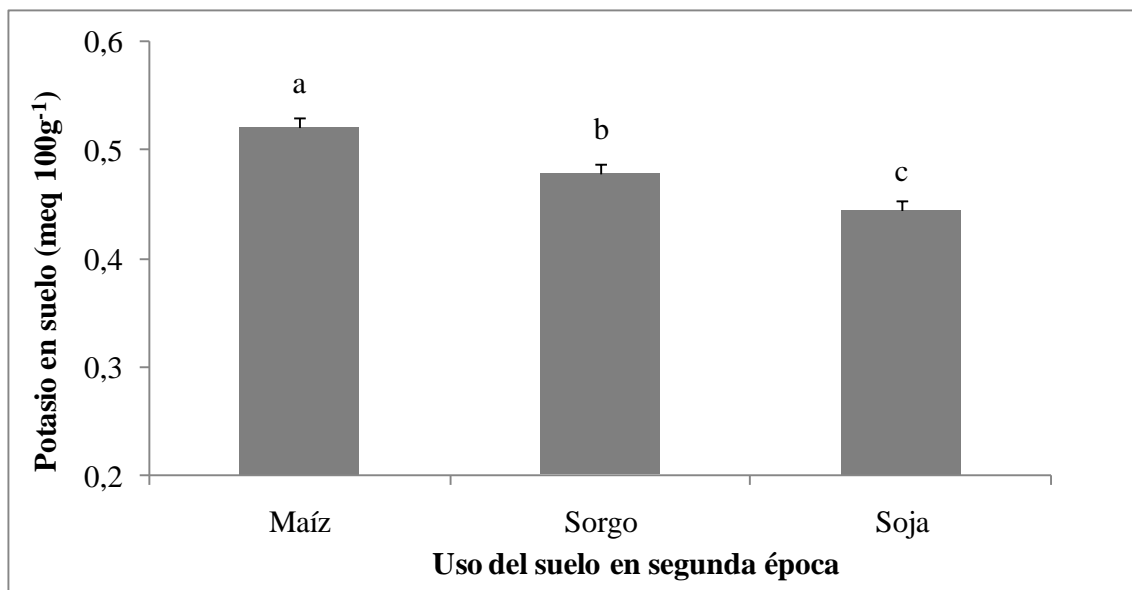
En la Figura 8 los tratamientos con B2 en primera época, presentaron al final del experimento un mayor contenido de K en suelo que los tratamientos con MzF y MzG ( $P < 0,05$ ), esto debido a que los primeros presentaron un solo cultivo en la estación. El contenido de K en suelo de B2 no se diferencia del de B1 ( $P < 0,05$ ), por lo que el largo de barbecho y la producción de los cultivos posteriores no incidieron en dicho parámetro. Por otra parte, las diferencias de K entre B1 y MzG no son significativas ( $P < 0,05$ ), pudiéndose explicar quizás porque B1 a diferencia de MzG, no presenta un primer cultivo y porque ubica más temprano la siembra del segundo cultivo, permitiéndole expresar así una extracción de K similar a la de con dos cultivos (MzG). Finalmente, se aprecia que los tratamientos con MzF son los que al final del experimento presentan menor K en suelo ( $P < 0,05$ ), ello relacionado con que representan la siembra de dos cultivos consecutivos y a que ubican al segundo en un ambiente de mayor potencial que los tratamientos con MzG.



Los datos corresponden al muestreo realizado el 14 de junio de 2016. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS). Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 8. Contenido medio de potasio en suelo según uso del suelo en primera época: barbecho 1 (B1), barbecho 2 (B2), maíz forraje (MzF) y maíz grano (MzG).

Los resultados de K en suelo de los efectos de segunda presentados en la Figura 9, pueden explicarse por la absorción diferenciada de cada cultivo, de acuerdo con las tablas IPNI (2016) los cultivos de soja, maíz y sorgo absorben 34, 16 y 18 kg de K cada 1000 kg de grano, respectivamente. A su vez, Fribourg et al. (1976) también concluyeron que la remoción de K por tonelada de silo fue mayor en sorgo que en maíz. Con respecto a soja, es uno de los cultivos que más K extrae con el grano y que menos devuelve al suelo (Arias y Battista, 2003).



Los datos corresponden al muestreo realizado el 14 de junio de 2016. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) según la prueba de la diferencia mínima significativa (DMS). Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 9. Contenido medio de potasio en suelo según uso del suelo en segunda época: maíz, sorgo y soja.

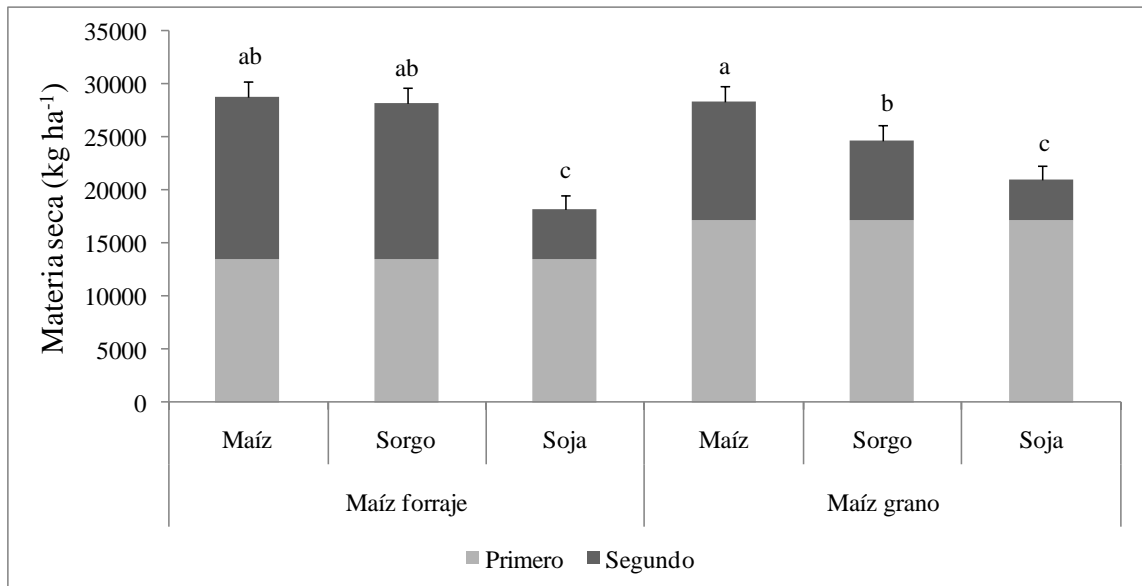
Para la producción acumulada de materia seca en la estación de crecimiento no se observan diferencias significativas en el efecto del primer cultivo (Cuadro 4). Sin embargo, se observan diferencias significativas en el efecto del segundo cultivo y en la interacción primera  $\times$  segunda ( $P < 0,0001$  y  $P = 0,0011$ , respectivamente). Todas las medias obtenidas del ANAVA del Cuadro 4 se muestran en el Anexo 8.

Cuadro 4. Análisis de varianza de la producción acumulada de materia seca, proteína cruda, energía bruta e indicadores productivos (LER y ATER) de dos cultivos estivales consecutivos.

Fuente de variabilidad	g.l	Pr > F				
		Materia seca	Proteína cruda	Energía bruta	LER	ATER
Repetición	1	0,7484	0,5567	0,7411	0,7484	0,7647
Primera	1	0,8653	0,4503	0,9485	0,8653	0,5725
Segunda	2	<b>&lt;0,0001</b>	0,3109	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Primera $\times$ segunda	2	<b>0,0011</b>	<b>0,0207</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0011</b>	<b>0,0039</b>



En la Figura 10 se presenta la producción acumulada de materia seca de los tratamientos de doble cultivo, donde se observa que cuando el segundo cultivo es tanto maíz, sorgo o soja, la producción acumulada entre MzF\_Mz vs. MzG\_Mz, MzF\_Sg vs. MzG\_Sg y MzF\_Sj vs. MzG\_Sj, no son significativamente diferentes ( $P < 0,05$ ). Por lo tanto, es posible inferir que el rendimiento que deja de producir un cultivo por ser cosechado más temprano (MzF), lo compensan los cultivos sembrados a continuación, con relación a la menor producción de los cultivos sembrados después de MzG. No obstante, debe tenerse en cuenta que los productos cosechados con los segundos cultivos de segunda época fueron distintos. Por ejemplo, el cultivo de maíz posterior a MzF fue cosechado el 25 de mayo en estado de madurez fisiológica (R6) como maíz grano húmedo, mientras que el cultivo de maíz posterior a MzG el 10 de mayo se cosechó en estado grano pastoso (R4).



El primer cultivo corresponde a maíz (forraje o grano) y el segundo a maíz, sorgo o soja. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias de tratamiento ( $Pr > |t|$ ) utilizando un p valor de 0,05. Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 10. Producción acumulada de materia seca de dos cultivos estivales consecutivos.

Los rendimientos de materia seca acumulada de las secuencias MzF\_Mz y MzG\_Mz fueron de 28859 y 28355 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 10). Dichos resultados concuerdan con los de dos experimentos de doble cultivo de maíz realizados en la misma localidad por Vaz Martins y Fassio (2002). Por otra parte, utilizando el programa de modelación Ceres-Maize (Crop Environment Resource Synthesis), Miranda y Cirilo (2008) simularon la siembra de un cultivo de maíz en seco el 30 de agosto,

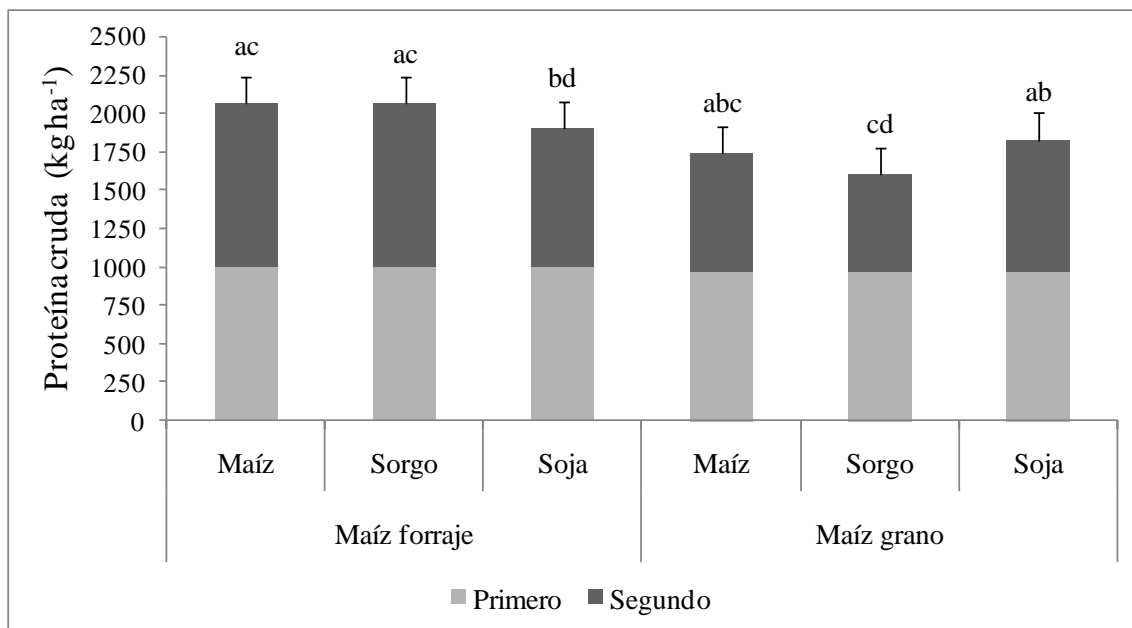
utilizando el cultivar de ciclo corto 39 R 52. Los autores simularon un rendimiento de 10000 kg ha<sup>-1</sup> de grano, un rendimiento muy similar al obtenido con el maíz del presente experimento sembrado el 7 de setiembre, 9290 kg ha<sup>-1</sup> (dato no mostrado).

Se observan diferencias significativas entre la siembra de MzG\_Mz y MzG\_Sg, (P<0,05), siendo superior al efecto de Sg en 2161 kg (Figura 10). Sin embargo, entre las producciones acumuladas de MzF\_Sg y MzF\_Mz, no se observan diferencias significativas (P<0,05). Por lo tanto, el maíz como segundo cultivo se afectaría menos que el sorgo cuanto más tardío se lo siembra. En siembras muy tardías las etapas fenológicas del sorgo se acortan, se demora el secado del grano promovido por la alta humedad del ambiente y se incrementa el ataque de hongos en la panoja, todo ello ocasionando pérdidas importantes en peso y calidad de grano (Ernst, 2004).

Por otra parte, las dos secuencias de doble cultivo donde se sembró soja, muestran la menor producción acumulada de materia seca (Figura 10). A su vez, entre ambas secuencias (MzF\_Sj y MzG\_Sj) no se observan diferencias significativas (P<0,05). La combinación MzG\_Sj tuvo un rendimiento en grano de 9290 kg ha<sup>-1</sup> y 1225 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que la combinación MzF\_Sj tuvo una producción de materia seca de 13519 kg ha<sup>-1</sup> de maíz (Figura 10) y 2221 kg ha<sup>-1</sup> de grano de Sj (dato no mostrado). Resultados obtenidos por Miranda y Cirilo (2008) con una secuencia de maíz-soja en un año caracterizado como húmedo, lograron rendimientos de grano de 9954 y 2547 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Por su parte, Enrico s.f con una secuencia de maíz-soja obtuvo un rendimiento de grano de 10950 kg ha<sup>-1</sup> y 1231 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

El cultivo de soja produce menor cantidad de biomasa que los cultivos de maíz y sorgo, debido a que presenta una menor eficiencia de conversión de radiación interceptada a biomasa (Faraldo et al., 2011). Asimismo, se necesita de 1,93 g de glucosa para producir 1g de grano de soja, mientras que el maíz precisa de 1,39 g (Andrade et al., 2000). Por lo tanto, resulta importante tener en cuenta otros términos de valoración productiva de los tratamientos que incluyen soja, como es la proteína cruda. Para la producción acumulada de proteína cruda en la estación de crecimiento no se observan diferencias significativas en el efecto del primer y segundo cultivo (Cuadro 4). Sin embargo, se observan diferencias significativas en el efecto de la interacción primera × segunda (P=0,0207).

También como con materia seca, entre las producciones acumuladas de proteína cruda de MzF y MzG, tanto con maíz, sorgo y soja como segundos cultivos, tampoco se identifican diferencias significativas (P<0,05, Figura 11). Por lo tanto, para esta variable también es posible inferir que el rendimiento de proteína cruda que deja de producir un cultivo por ser cosechado más temprano (MzF), es compensado por los cultivos sembrados a continuación, ello con relación a la menor producción de los cultivos sembrados después de MzG.



El primer cultivo corresponde a maíz (forraje o grano) y el segundo a maíz, sorgo o soja. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias de tratamiento ( $Pr > |t|$ ) utilizando un p valor de 0,05. Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 11. Producción acumulada de proteína cruda de dos cultivos estivales consecutivos.

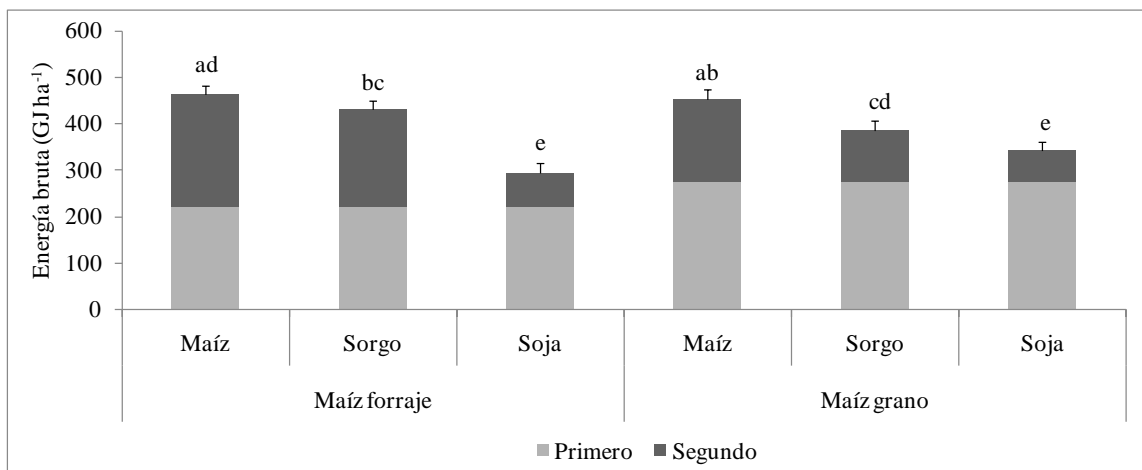
Además, en la producción de proteína cruda tampoco se observan diferencias significativas entre los tratamientos MzF\_Sg y MzF\_Mz ( $P < 0,05$ ). Por otra parte, ambos tratamientos muestran diferencias significativas con MzF\_Sj, 161 y 156 kg ha<sup>-1</sup> más de proteína cruda ( $P = 0,0454$  y  $P = 0,0499$ , respectivamente). No obstante, en términos relativos las diferencias en producción de proteína cruda son mucho menores que las de producción de materia seca (Figuras 10 y 11).

A diferencia de con la producción acumulada de materia seca, en que maíz supera a sorgo como segundo cultivo después de MzG, con la producción de proteína cruda no se observan diferencias significativas entre los tratamientos MzG\_Mz y MzG\_Sg ( $P < 0,05$ , Figura 11). Esto pudo haber sucedido por la diferente composición de las especies y también porque el sorgo habría realizado una mayor extracción de N por unidad de biomasa producida (Ciampitti et al., 2014). Cuando se compara el efecto del maíz vs. soja como segundo cultivo después de MzG, también sucede que la producción acumulada de proteína cruda de MzG\_Mz no difiere de la de MzG\_Sj ( $P = 0,1874$ ). En este caso se puede apreciar cómo el cultivo de soja se valoriza al tener en cuenta la producción de proteína cruda. Incluso, el efecto de la siembra de soja como segundo cultivo después de MzG fue superior al efecto del sorgo, siendo la producción

acumulada de proteína cruda de la secuencia MzG\_Sj superior en 225 kg ha<sup>-1</sup> que la de la secuencia MzG\_Sg (P=0,0159).

Para la producción acumulada de energía bruta en la estación de crecimiento no se observan diferencias significativas en el efecto del primer cultivo (Cuadro 4). Sin embargo, se observan diferencias significativas en el efecto del segundo cultivo y en la interacción primera × segunda (P<0,0001).

Del mismo modo que con materia seca y proteína (Figuras 10 y 11), entre las producciones acumuladas de energía bruta de MzF y MzG, tanto con maíz, sorgo y soja como segundos cultivos, no se identifican diferencias significativas (P<0,05, Figura 12). Por lo tanto, para esta variable también es posible inferir que el rendimiento de energía bruta que deja de producir un cultivo por ser cosechado más temprano (MzF), es compensado por los cultivos sembrados a continuación, ello con relación a la menor producción de los cultivos sembrados después de MzG.



El primer cultivo corresponde a maíz (forraje o grano) y el segundo a maíz, sorgo o soja. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias de tratamiento ( $Pr > |t|$ ) utilizando un p valor de 0,05. Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 12. Producción acumulada de energía bruta de dos cultivos estivales consecutivos.

A diferencia de con la producción acumulada de materia seca y proteína, entre las producciones de energía bruta de MzF\_Sg y MzF\_Mz sí se observan diferencias significativas, siendo la producción de MzF\_Mz 32 GJ ha<sup>-1</sup> mayor que con MzF\_Sg (P=0,0003, Figuras 10, 11 y 12). Sin embargo, también ocurre que ambos tratamientos muestran diferencias significativas con MzF\_Sj, 168 y 136 GJ ha<sup>-1</sup> más de energía bruta (P<0,0001). Además, en términos relativos las diferencias entre las producciones de

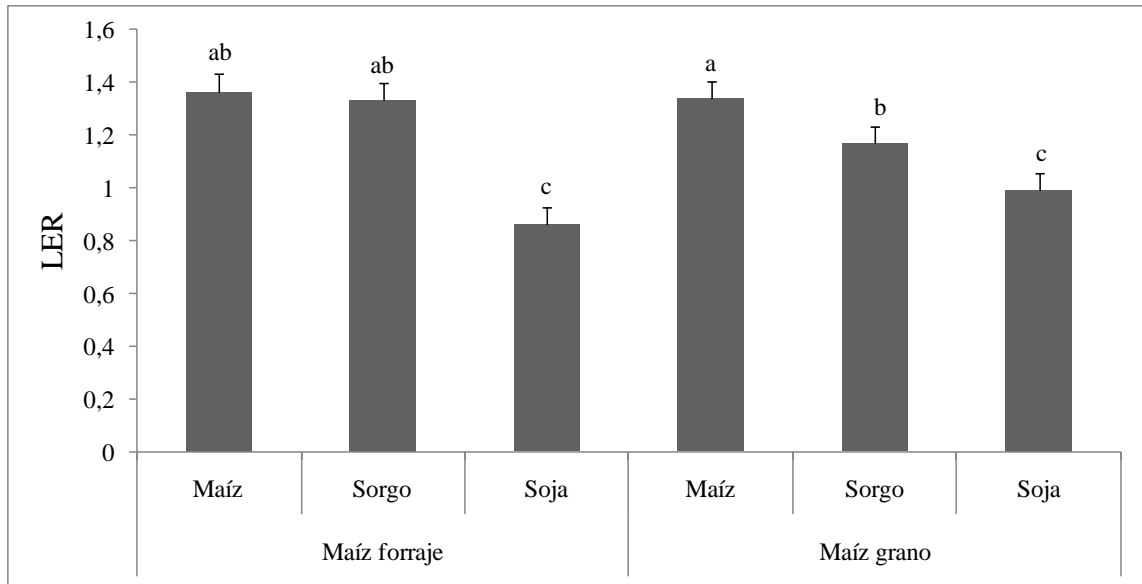
energía bruta, como entre las de materia seca, son mayores que entre las producciones de proteína cruda.

Como con la producción acumulada de materia seca, en que maíz supera a sorgo como segundo cultivo después de MzG, la producción acumulada de energía bruta de MzG\_Mz supera en 68 GJ ha<sup>-1</sup> a la de MzG\_Sg (P<0,0001, Figuras 10 y 12). Similarmente, los tratamientos con soja muestran la menor producción acumulada de energía bruta (P<0,05). Por lo tanto, de los tres cultivos el de soja es el que aporta menor producción, tanto de materia seca como de energía bruta (Figura 10 y 12). No obstante, en términos de producción de proteína el aporte de la soja valoriza la producción de las secuencias (Figura 11).

Para los indicadores LER y ATER no se observan diferencias significativas en el efecto del primer cultivo (Cuadro 4). Sin embargo, se observan diferencias significativas en el efecto del segundo cultivo (P<0,0001) y en la interacción primera × segunda (P=0,0011 y P=0,0039, respectivamente).

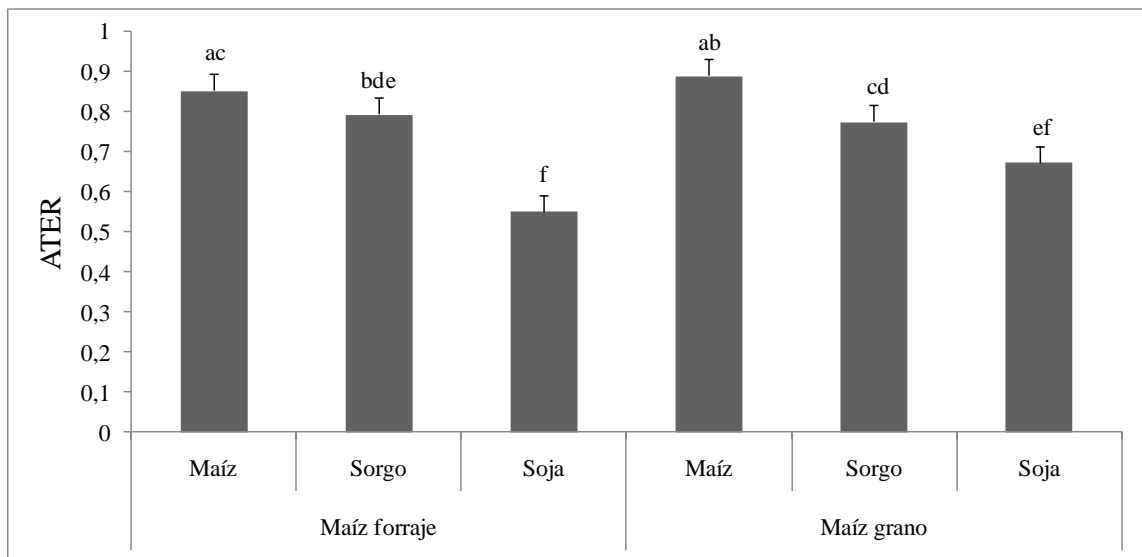
Como se observa en la Figura 13, las mejores combinaciones en cuanto al aprovechamiento de la superficie son MzG\_Mz, MzF\_Mz y MzF\_Sg, las dos últimas sin diferencias significativas con MzG\_Sg (P<0,05). Cabe destacar que todas las combinaciones de cultivos excepto las que presentan soja, resultan en LER mayores a la unidad de referencia (Figura 10). Por lo tanto, para las condiciones de cultivo del presente experimento, la producción de dos cultivos en la misma estación de crecimiento puede presentar un uso más eficiente de la superficie que un único cultivo<sup>1</sup>.

Con respecto al indicador ATER, en la Figura 14 se aprecia como todos los tratamientos presentan valores menores a la unidad, reafirmando lo reportado por Hiebsch y Mccollum (1987) con intercultivos. También se puede apreciar como soja presenta los valores inferiores de ATER (P<0,05), ello con relación a la menor producción de materia seca de esta especie leguminosa. Si bien dos cultivos estivales consecutivos utilizan mayor cantidad de días de la estación de crecimiento que un único cultivo, cubren el suelo al final de la estación de crecimiento cuando muchas veces ya se cosechó un cultivo de verano y aún no se ha sembrado uno de invierno.



El primer cultivo corresponde a maíz (forraje o grano) y el segundo a maíz, sorgo o soja. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias de tratamiento ( $Pr > |t|$ ) utilizando un p valor de 0,05. Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 13. Indicador productivo LER de dos cultivos estivales consecutivos.



El primer cultivo corresponde a maíz (forraje o grano) y el segundo a maíz, sorgo o soja. Letras diferentes indican diferencias significativas entre medias de tratamiento ( $Pr > |t|$ ) utilizando un p valor de 0,05. Las líneas sobre las barras indican ( $\pm$ ) el error estándar.

Figura 14. Indicador productivo ATER de dos cultivos estivales consecutivos.

En el Cuadro 5 se muestra que la producción de materia seca y energía bruta de los segundos cultivos, es afectada por el uso anterior del suelo ( $P=0,0041$  y  $P=0,0042$ , respectivamente). Como era de esperar al tratarse de especies diferentes, los cultivos sembrados en segunda época de siembra muestran diferencias significativas ( $P<0,0001$ ). Con respecto a la interacción primera  $\times$  segunda, también se observan diferencias significativas ( $P=0,0006$  y  $P=0,0020$ ), por lo que la producción de materia seca y energía bruta en sistemas de producción con doble cultivo estival sería diferente según la combinación de cultivos, teniendo unos cultivos más restricciones que otros según el uso del suelo anterior. Con respecto a la producción de proteína cruda se observa la misma tendencia, aunque tanto el efecto del uso del suelo en primera época de siembra como la interacción primera  $\times$  segunda no son estadísticamente significativos ( $P=0,0523$  y  $P=0,0608$ , respectivamente). Las diferentes significancias entre los valores estadísticos de las tres variables mencionadas podrían relacionarse con las diferentes absorciones de N que realizan los cultivos. En este sentido, los cultivos de soja y luego sorgo y maíz fueron los que presentaron una mayor concentración de N (datos no mostrados).

Cuadro 5. Análisis de varianza de la producción de materia seca, proteína cruda y energía bruta de cultivos estivales de siembra tardía según el uso anterior del suelo.

Fuente de variabilidad	g.l	Pr > F		
		Materia seca	Proteína cruda	Energía bruta
Repetición	1	0,4904	0,5981	0,3079
Primera	1	<b>0,0041</b>	0,0523	<b>0,0042</b>
Segunda	2	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0154</b>	<b>&lt;0,0001</b>
Primera $\times$ segunda	2	<b>0,0006</b>	0,0608	<b>0,0020</b>

En el Cuadro 6 se muestran contrastes con las diferencias de producción de materia seca y energía bruta de los segundos cultivos según el uso anterior del suelo. El maíz muestra ser el cultivo más sensible de los tres, presentando disminuciones similares para ambas variables. Cuando el antecesor fue MzF, las disminuciones con respecto a B1 de materia seca y energía bruta de maíz fueron 15,6 y 14,6 %, respectivamente. Mientras que cuando el antecesor fue MzG, las disminuciones con respecto a B2 fueron 24,7 y 23,9 %, respectivamente. También en ambas variables, los mayores porcentajes de disminución de maíz después de MzG se explican porque la siembra se desplazó hacia una época más tardía, donde los recursos son más limitantes que después de MzF, esto es mayormente por temperatura y radiación (Figura 3).

Cuadro 6. Diferencias entre tratamientos para la producción de materia seca y energía bruta de cultivos estivales de siembra tardía según el uso anterior del suelo.

Contraste	Materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Porcentaje de disminución	Pr >  t	Energía bruta (GJ ha <sup>-1</sup> )	Porcentaje de disminución	Pr >  t
MzF_Mz vs. B1_Mz	-2835	15,6	<b>0,0032</b>	-41	14,6	<b>0,0053</b>
MzF_Sg vs. B1_Sg	-689	4,5	0,3425	-10	4,5	0,3957
MzF_Sj vs. B1_Sj	-428	8,4	0,5486	-8	9,5	0,4959
MzG_Mz vs. B2_Mz	-3669	24,7	<b>0,0007</b>	-56	23,9	<b>0,0009</b>
MzG_Sg vs. B2_Sg	-2919	28,0	<b>0,0027</b>	-45	29,0	<b>0,0033</b>
MzG_Sj vs. B2_Sj	-223	5,5	0,7528	-3	3,8	0,8178

Entre los tratamientos MzF\_Sg y B1\_Sg no se identifican diferencias significativas en las producciones de materia seca y energía bruta, reflejando así cierta rusticidad del cultivo de sorgo (Cuadro 6). Sin embargo, en la fecha de siembra más tardía (MzG y B2), el sorgo fue más afectado en su producción de materia seca y energía bruta después de MzG que después de B2, observándose una disminución de 28,0 y 29,0 %, respectivamente. Ambas disminuciones, fueron mayores que las respectivas disminuciones con el cultivo de maíz (24,7 y 23,9 %, respectivamente). Los contrastes con las mayores diferencias entre épocas de siembra se observan en el cultivo de sorgo, tanto en rendimiento de materia seca (4,5 vs. 28,0 %) como en energía bruta (4,5 vs. 29,0 %). Ello se debe a que el sorgo es un cultivo subtropical cuya ventana de crecimiento es más acotada que en los otros dos cultivos y a que fue afectado por Ergot, enfermedad habitual en siembras tardías (Bandyopadhyay et al., 1998).

Contrario a maíz y sorgo, tanto en la materia seca como en la energía bruta del cultivo de soja, no se observan diferencias significativas según el uso anterior del suelo (Cuadro 6), destacándose así su rusticidad al adaptarse a dos usos previos del suelo (MzF y MzG). Lo anterior podría relacionarse con que la soja produce un menor volumen de biomasa y al hecho de que es un cultivo con plasticidad, en parte dada por su capacidad de ramificar y solapar sus etapas vegetativa y reproductiva (Bernard, 1972).



## 5. CONCLUSIONES

La realización de doble cultivo es posible, las secuencias con los cultivos maíz grano/maíz forraje, maíz forraje/maíz grano húmedo y maíz forraje/sorgo grano húmedo obtuvieron la mayor producción acumulada de materia seca de biomasa aérea. En el caso de las secuencias con sorgo, pero sobre todo con soja, las producciones se valorizan por sobre las de materia seca, cuando se toma en cuenta la producción acumulada de proteína cruda. En cuanto a la producción acumulada de energía bruta, las diferencias relativas entre tratamientos prácticamente no difieren de lo observado con la producción acumulada de materia seca.

Las combinaciones de doble cultivo de maíz/maíz y maíz/sorgo produjeron más materia seca que un único cultivo de maíz de primera bajo riego y sembrado en la misma localidad y año. El índice LER varió entre 0,86 y 1,36, indicando que la producción máxima obtenida con el doble cultivo equivaldría a la obtenida con un cultivo único en la estación de crecimiento, pero utilizando un 36 % menos de superficie. Además, el doble cultivo permite optar por diferentes destinos productivos (planta entera o grano) sin afectar dicha eficiencia. Por otra parte, si bien valores del índice ATER menores a uno indican que dos cultivos estivales consecutivos utilizaron más días de la estación de crecimiento, los últimos cultivos de la secuencia liberaron la superficie en un momento en que la siembra de un cultivo de invierno aún es posible.

El rendimiento que deja de producir un cultivo de maíz para grano por ser cosechado más temprano para forraje, fue compensado por la producción de los cultivos sembrados en fecha de siembra más temprana de los cultivos sembrados a continuación (maíz, sorgo y soja).

Los cultivos de maíz y sorgo presentaron menores producciones de materia seca y energía bruta cuando tuvieron un cultivo antecesor. Aunque en la primera fecha tardía de sorgo como segundo cultivo, no hubo diferencias significativas en ambas producciones con respecto a la producción después de un barbecho. En cambio, la soja no fue afectada cuando tuvo un cultivo antecesor, ello para dos épocas de siembra. Las disminuciones porcentuales de producción fueron mayores en la fecha más tardía de siembra, siendo el cultivo de sorgo el más afectado con relación a que es una especie sub tropical y que en Uruguay comúnmente es afectado por Ergot en siembras tardías.

La siembra de dos cultivos estivales consecutivos permite obtener mayor eficiencia en el uso de la superficie, combinar destinos productivos según lo demande el sistema de producción y aportar a su sustentabilidad por un mayor tiempo de cobertura y una mayor incorporación de carbono al suelo.

## 6. RESUMEN

En Uruguay, donde el aumento de la producción agrícola se ha basado mayormente en la expansión en superficie, el doble cultivo estival puede presentarse como una alternativa para la intensificación de uso del suelo. El objetivo fue evaluar la factibilidad de sembrar dos cultivos estivales consecutivos e identificar restricciones en el segundo cultivo respecto a una siembra de primera de fecha tardía. El experimento fue realizado en 2015-2016 en INIA La Estanzuela, Colonia. El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques completos al azar con dos repeticiones, donde el uso del suelo en la primera época de siembra representó a la parcela mayor y el uso del suelo en la segunda época de siembra representó a la parcela menor. En la primera época de siembra, el uso del suelo fue barbecho 1 (B1); barbecho 2 (B2); maíz forraje (MzF); y maíz grano (MzG), mientras que en la segunda época de siembra, el uso del suelo fue maíz (Mz); sorgo (Sg); y soja (Sj). De esta manera, los segundos cultivos de la secuencia fueron sembrados más temprano o tarde después de un barbecho de avena (B1 y B2) o después de maíz (MzF y MzG), respectivamente. Se realizó un balance hídrico y un análisis de nutrientes en suelo; se cuantificó la producción de materia seca, proteína cruda y energía bruta; y se calcularon dos indicadores de productividad de la tierra (LER y ATER). La mayor producción de materia seca acumulada ( $P < 0,05$ ) fue obtenida con MzF\_Mz ( $28859 \text{ kg ha}^{-1}$ ), MzG\_Mz ( $28355 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y MzF\_Sg ( $28214 \text{ kg ha}^{-1}$ ). La producción de energía bruta acumulada tuvo diferencias relativas entre tratamientos similares a las de la producción acumulada de materia seca. En cuanto a producción de proteína cruda se observó una valorización de las secuencias con soja, MzG\_Sj produjo  $225 \text{ kg ha}^{-1}$  más que MzG\_Sg ( $P = 0,0159$ ), cuando entre los mismos tratamientos no se observaron diferencias significativas en materia seca. Las restricciones de producción para los segundos cultivos de la secuencia fueron diferentes para las variables materia seca y energía bruta ( $P = 0,0006$  y  $P = 0,0020$ , respectivamente), pero no para proteína cruda ( $P = 0,0608$ ). Tanto en materia seca como en energía bruta, maíz presentó una menor producción cuando tuvo un cultivo antecesor de verano (MzF y MzG), mientras que sorgo presentó una menor producción solo cuando tuvo de antecesor a MzG. En cambio, en ambas variables la producción de soja después de maíz no fue significativamente diferente de la producción sin un cultivo antecesor (B1 y B2). Con la siembra de dos cultivos estivales consecutivos es posible producir una biomasa mayor que con un solo cultivo, utilizando la superficie de la tierra hasta con un 36 % más de eficiencia ( $LER = 1,36$ ). Si bien esta alternativa cubre el suelo un mayor periodo de la estación de crecimiento, permite la siembra de un cultivo de invierno y ofrece la posibilidad de optar por dos productos de cultivo diferentes.

Palabras clave: Doble cultivo estival; Uso del suelo; Intensificación agrícola; Producción; Maíz; Soja; Sorgo.

## 7. SUMMARY

In Uruguay, where the increase in agricultural production has been largely based on surface expansion, the double summer crop may be presented as an alternative for the intensification of land use. The objective was to evaluate the feasibility of sowing two consecutive summer crops and to identify restrictions in the second crop in relation to a first late sowing date. The experiment was carried out in 2015-2016 at INIA La Estanzuela, Colonia. The experiment was a split-plot randomized complete block design with two replications, where land use in the first planting season represented the main plot and land use in the second planting season represented the subplot. In the first planting season, land use was fallow 1 (B1); fallow 2 (B2); maize forage (MzF); and maize grain (MzG), whereas in the second planting season, land use was maize (Mz); sorghum (Sg); and soybean (Sj). Therefore, second crops of the sequence were planted after an oat fallow (B1 and B2) or after maize (MzF and MzG), respectively. A water balance and soil nutrient analysis were carried out; dry matter, crude protein and gross energy were determined; and two land productivity indicators were calculated (LER and ATER). The largest accumulated dry matter production ( $P < 0.05$ ) was obtained with MzF\_Mz (28859 kg ha<sup>-1</sup>), MzG\_Mz (28355 kg ha<sup>-1</sup>) and MzF\_Sg (28214 kg ha<sup>-1</sup>). The accumulated gross energy production had relative differences among treatments like those of accumulated dry matter production. Sequences with soybean are valorized when crude protein production is considered, MzG\_Sj produced 225 kg ha<sup>-1</sup> more than MzG\_Sg ( $P = 0.0159$ ), when between the same treatments no significant difference in dry matter was observed. Production restrictions for the second crops of the sequence significantly varied for dry matter and gross energy variables ( $P = 0.0006$  and  $P = 0.0020$ , respectively), but not for crude protein ( $P = 0.0608$ ). Both in dry matter and gross energy, maize showed a lower production when it had a previous summer crop (MzF and MzG), while sorghum showed a lower production only when MzG was the previous crop. Conversely, in both variables the soybean production after maize was not-significantly different from the production without a previous crop (B1 and B2). With planting two consecutive summer crops it is possible to produce a greater biomass than with a single crop, using the land surface up to 36 % more efficiency (LER=1,36). Even when this alternative covers the soil a longer period of the growing season, it allows planting a winter crop and offers the possibility of choosing two different crop products.

Keywords: Double summer crop; Land use; Agricultural intensification; Production; Maize; Soybean; Sorghum.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Allen, R. 2006. Evapotranspiración del cultivo; guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma, FAO. 298 p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje no. 56).
2. Altamirano, A.; Da Silva, H.; Durán, A.; Echeverría, A.; Panario, D.; Puentes, R. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay; clasificación de suelos. Montevideo, MAP. DSF. t.1, 96 p.
3. Andrade, F. H.; Aguirrezábal, L. A. N.; Rizzalli, R. H. 1993. Crecimiento y rendimiento comparados de maíz, girasol y soja. INTA. Boletín técnico no. 2707. 90 p.
4. \_\_\_\_\_. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*. 41(1): 1-12.
5. \_\_\_\_\_.; Cirilo, A. G. 2000. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja; fecha de siembra y rendimiento de los cultivos. Balcarce, Argentina, Editorial Médica Panamericana. 153 p.
6. Andrews, D. J.; Kassam, A. H. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world food supplies. *In*: Papendick, R. I.; Sanchez, P. A.; Triplett, G. B. eds. *Multiple cropping*. Madison, American Society of Agronomy/Crop Science Society of America/ Soil Science Society of America. pp. 1-10 (Special Publication no. 27).
7. Arbeletche, P.; Ernst, O.; Hoffman, E. 2010. La agricultura en Uruguay y su evolución. *In*: García Préchac, F. ed. *Intensificación agraria oportunidades y amenazas para un país productivo y natural*. Montevideo, Uruguay, CSIC. pp. 13-28.
8. Arias, N.; De Battista, J. J. 2003. Fertilización de soja en vertisoles. *In*: Jornada Nacional de Soja (2003, La Estanzuela). *Memorias*. Montevideo, INIA. pp. 77-82 (Actividades de Difusión no. 325).
9. Bandyopadhyay, R.; Frederickson, D. E.; McLaren, N. W.; Odvody, G. N.; Ryley, M. J. 1998. Ergot; a new disease threat to sorghum in the Americas and Australia. *Plant Disease*. 82 (4): 356-367.
10. Barbazán, M.; Fiorelli, M. J.; Rodríguez, J.; Del Pino, A.; Mazzili S.; Ernst, O. 2011. Liberación de potasio desde rastrojo de maíz y soja y variación en el suelo. *In*: Simposio Fertilidad (2011, Buenos Aires). *La nutrición de*

cultivos integrada al sistema de producción. Montevideo, Facultad de Agronomía. pp. 156-160.

11. Barra, J. D. E. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana*. 17(3): 209-219.
12. Bernard, R. L. 1972. Two genes affecting stem termination in soybeans. *Crop Science*. 12 (2): 235-239.
13. Borges, P.; Richart, F. 2001. Descomposición de rastrojos de trigo, soja y maíz sobre suelo en secuencia de cultivos sembrados sin laboreo con y sin rotación de pasturas. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 65 p.
14. Boshell, F. 1980. *Meteorología agrícola*. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 151 p.
15. Bruulsema, T.; Witt, C.; Garcia, F. O.; Li, S.; Rao, T. N.; Chen, F.; Ivanova, S. 2008. A global framework for fertilizer BMPs. (en línea). *Better Crops*. 92(2):13-15. Consultado 23 may. 2017. Disponible en [https://www.ipni.net/ppiweb/bcrops.nsf/\\$webindex/32746995888280468525744D000D77DF/\\$file/BC08-2p13.pdf](https://www.ipni.net/ppiweb/bcrops.nsf/$webindex/32746995888280468525744D000D77DF/$file/BC08-2p13.pdf)
16. Burgos, J. J. 1963. *Las heladas en la República Argentina*. Buenos Aires, Argentina, INTA. 123 p.
17. Cantú, M. A. A.; Méndez, C. A. R.; Del Bosque, L. Á. R. 2010. La fecha de siembra: una alternativa para incrementar la producción de maíz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, MX. Folleto Técnico no. 44. 40 p.
18. Carrasco, P. 2004. Aptitud climática de Uruguay para la producción de sorgo. In: Siri, G. ed. *Sorgo*. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 23-30.
19. Carrasco, N.; Zamora, M.; Melin, A. 2011. *Manual de sorgo*. Buenos Aires, Argentina, INTA. 112 p.
20. Casanova, E. F. 2005. *Introducción a las ciencias del suelo*. 2a. ed. Caracas, Venezuela, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. 482 p.

21. Cassman, K. G.; Dobermann, A.; Walters, D. T. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency and nitrogen management. *Ambio*. 31: 132-140.
22. Caviglia O.; Sadras, V.; Andrade, F. 2004. Intensification of agriculture in the southeastern Pampas I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Research*. 87 (2): 117-129.
23. \_\_\_\_\_. 2009. La contribución de los cultivos múltiples a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas; información técnica de cultivos de verano. INTA. Publicación no. 115. 47 p.
24. \_\_\_\_\_.; Sadras, V.; Andrade F. 2013. Modelling long-term effects of cropping intensification reveals increased water and radiation productivity in the south-eastern Pampas. *Field Crops Research*. 149: 300-311.
25. Ciampitti, I.; García, F. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. (en línea). *Informaciones Agronómicas*. no. 11: 13-16. Consultado 23 may. 2017. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/755CD604735F8F148525799500785A15/\\$FILE/IA33.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/755CD604735F8F148525799500785A15/$FILE/IA33.pdf)
26. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2008. Balance y eficiencia de uso de los nutrientes en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte A*. 4 (18): 22-28.
27. \_\_\_\_\_.; Balboa, G. R.; Mahama, G.; Prasad, P. V. 2014. Nitrogen use efficiency and related plant N mechanism in corn and sorghum. In: *Soil Science Society of America International Annual Meeting (2014, Long Beach, CA). Proceedings*. Long Beach, American Society of Agronomy/Crop Sciences Society of America. s.p.
28. Cirilo, A. 2004. Rendimiento del cultivo de maíz; manejo de la densidad y distancia entre surcos en maíz. Buenos Aires, Argentina, INTA Pergamino. 133 p.
29. \_\_\_\_\_.; Miranda, W. 2008. Posibilidades del doble cultivo maíz-soja de segunda en el norte de Buenos Aires. In: *Jornada de Actualización Técnica de Maíz (3<sup>a</sup>, 2011, Pergamino). Memorias*. Pergamino, INTA. pp. 35-40.
30. Cregan, P. B; Hartwig, E. E. 1984. Characterization of flowering response to photoperiod in diverse soybean genotypes. *Crop Science*. 24 (4): 659-662.

31. De Mello, S. 2013. Estudio climatológico y regionalización de heladas meteorológicas en Uruguay. Tesis Lic. en Ciencias de la Atmósfera. Montevideo, Uruguay. Facultad de Ciencias. 94 p.
32. Ernst, O. s.f. Uruguay. Sorgo granífero en sistemas de producción sin laboreo. s.n.t. 6 p.
33. \_\_\_\_\_. 2004. Implantación, población, distribución. In: Siri, G. ed. Sorgo. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. pp. 31-44.
34. \_\_\_\_\_.; Mazzilli, S.; Siri Prieto, G. 2009. Manejo de la reserva de agua del suelo para situaciones de estrés hídrico. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1°. 2009, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 33- 48.
35. \_\_\_\_\_.; Siri Prieto, G. 2011. La agricultura en Uruguay; su trayectoria y consecuencias. In: Simposio Nacional de Agricultura (2°. 2011, Paysandú, Uruguay). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 149-163.
36. \_\_\_\_\_. 2013. Denunciando el presente, imaginando el futuro. (en línea). Cangüé. no. 34: 2-11. Consultado 24 may. 2017. Disponible en [http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue034\\_ernst.pdf](http://www.eemac.edu.uy/cangue/joomdocs/cangue034_ernst.pdf)
37. Faraldo, M. L.; Vergara, G. T.; Casagrande, G. A.; Arnaiz, J. P.; Mirasson, H.; Ferrero, C. 2011. Efficiency of water and radiation use in maize, sunflower and soybean, in the oriental region of la pampa, Argentina. *Agronomía Tropical*. 61(1): 47-57.
38. Fassio, A.; Tojo, C.; Sawchik, J. 1997. Girasol; algunos factores para el logro de un mejor cultivo. Montevideo, INIA. 64 p. (Serie Técnica no. 92).
39. \_\_\_\_\_.; Carriquiry, A. I.; Tojo, C.; Romero, R. 1998. Maíz; aspectos sobre fenología. Montevideo, INIA. 51 p. (Serie Técnica no. 101).
40. \_\_\_\_\_.; Pérez, O.; Ibáñez, W.; Ceretta, S.; Rabaza, C.; Vergara, G. 2017. Soja; Adaptación de ciclos de madurez a diferentes épocas de siembra bajo condiciones de riego. *Revista INIA*. no. 48: 28-33.
41. Fehr, W. R.; Caviness, C. E. 1977. Stages of soybean development. Iowa State University. Special Report no. 80. 12 p.

42. Foley, J. A.; Ramankutty, N.; Brauman, K. A.; Cassidy, E. S.; Gerber, J. S.; Johnston, M.; Mueller, N. D.; O'connell, C.; Ray, D.K.; West, P.C.; Balzer, C.; Bennett, E. M.; Carpenter, S. R.; Hill, J.; Monfreda, C.; Polasky, S.; Rockström, J.; Sheehan, J.; Siebert, S.; Tilman, D.; Zaks, D. P. M. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. 478(7369): 337–342.
43. Fribourg, H. A.; Bryan, W. E.; Lessman, G. M.; Manning, D. M. 1976. Nutrient uptake by corn and grain sorghum silage as affected by soil type, planting date, and moisture regime. *Agronomy Journal*. 68(2): 260-263.
44. García, F.; González, M. F. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? *Informaciones Agronómicas*. no. 48: 1-5.
45. \_\_\_\_\_. 2013. La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes; ¿cómo estamos?. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. no. 9: 2-7.
46. García Petillo, M.; Puppo, L.; Hashashi, R.; Morales, P. 2016. Metodología para determinar los parámetros de un suelo a campo. Montevideo, Facultad de Agronomía. p. irr.
47. García Préchac, F. 1992. Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas. *Revista INIA*. no. 1:127-140.
48. Giménez, A.; Restaino, E. 1994. Girasol y soja; algunos aspectos tecnológicos de producción para el litoral oeste de Uruguay. Montevideo, INIA. 154 p. (Boletín de Divulgación no. 47).
49. Goyne, P. J.; Schneiter, A. A. 1988. Temperature and photoperiod interactions with the phenological development of sunflower. *Agronomy Journal*. 80: 777-784.
50. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; Cleary, K. C.; Creelman, R. A.; Stegmeier, W. D.; Wooding, F. J. 1989. Sunflower genotype response to photoperiod and temperature in field environments. *Agronomy Journal*. 81: 826-831.
51. Guzmán, G.; Aguilera, E.; Soto, D.; Cid, A.; Infante, J.; Ruiz, R. G.; de Molina, M. G. 2014. Methodology and conversion factors to estimate the net primary productivity of historical and contemporary agroecosystems. (en línea). Sevilla, SEHA. 68 p. Consultado 20 ago. 2017. Disponible en <https://ideas.repec.org/p/seh/wpaper/1407.html>



52. Hesketh, L. D.; Myhre, D. L.; Willey, C. R. 1973. Temperature control of time intervals between vegetative and reproductive events in soybean. *Crop Science*. 13: 250-254.
53. Hiebsch C. K.; Mccollum R. E. 1987. Area -x- time equivalency ratio; a method for evaluating the productivity of intercrops. *Agronomy Journal*. 79: 15-22.
54. Hook, J. E.; Gascho, G. J. 1988. Multiple cropping for efficient use of water and nitrogen. In: Hargrove, W. L. ed. *Cropping strategies for efficient use of water and nitrogen*. Madison, WI, ASA/CSSA/SSSA. pp. 7–20.
55. Hussain, T.; Pooni, H. S. 1997. Effect of sowing date on the performance of sunflower families under British conditions. *Helia*. 27 (20): 115-126.
56. IPNI (International Plant Nutritional Institute, AR). 2016. Planilla de cálculo para estimar requerimientos nutricionales de cultivos de cereales, oleaginosos, forrajeras e industriales. (en línea). Buenos Aires. s.p. Consultado 17 jun. 2017. Disponible en <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1024>
57. Kantolic, A. G.; Giménez, P. I.; De La Fuente, E. B. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. In: Satorre, E. ed. *Producción de granos; bases funcionales para su manejo*. Buenos Aires, Argentina, FAUBA. pp. 165- 201.
58. Kätterer, T.; Reichstein, M.; Andrén, O.; Lomander, A. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition; a critical review using literature data analyzed with different models. *Biology and Fertility of Soils*. 27(3): 258-262.
59. Kiniry, J. R.; Bonhomme, R. 1991. Predicting maize phenology. In: Hodge, T. ed. *Predicting crop phenology*. Boston, United States, CRC. pp. 115-131.
60. Maddonni, G. A.; De La Fuente, E. B. 2003. ¿Qué se entiende por estructura del cultivo? In: Satorre, E. ed. *Producción de granos; bases funcionales para su manejo*. Buenos Aires, Argentina, FAUBA. cap. 11, pp. 247-255.
61. Major, D. J.; Jhonson, D. R.; Tanner, J. W.; Anderson, I. C. 1975. Effects of daylength and temperatura on soybean development. *Crop Science*. 15: 174-179.

62. Martino, D. 1988. Manejo del suelo y del cultivo de girasol en Uruguay. In: Molestina, C. ed. Manejo del cultivo, control de plagas y enfermedades del girasol. Montevideo, Uruguay, IICA. pp. 55-65.
63. MGAP. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2015. Anuario estadístico agropecuario 2015. (en línea). Montevideo. 215 p. Consultado 21 jul. 2017. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/anuario2015.rar>
64. \_\_\_\_\_. DGRN (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales, UY). 1998. Carta de suelos Colonia y Soriano. (en línea). Montevideo, Uruguay. Escala 1:200.000. Color. Consultado 23 may. 2017. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1628\\_carta\\_de\\_reconocimiento\\_de\\_suelos\\_colonia\\_y\\_soriano\\_0.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1628_carta_de_reconocimiento_de_suelos_colonia_y_soriano_0.pdf)
65. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 2016. Descripción de grupos de suelos CONEAT. (en línea). Montevideo. p. irr. Consultado 23 may. 2017. Disponible en [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/descripcion\\_de\\_grupos\\_de\\_suelos\\_coneat.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/descripcion_de_grupos_de_suelos_coneat.pdf)
66. Miranda, W; Cirilo, A.; Otegui, M.; Mercau, J. 2008. Productividad de los recursos agua y radiación en la sucesión maíz-soja de segunda en el norte de Buenos Aires. In: Reunión Argentina de Fisiología Vegetal (13<sup>a</sup>., 2008, Rosario, Santa Fé). Resúmenes. Rosario, s.e. s.p.
67. Molfino, J. H. 2009. Estimación del agua potencialmente disponible en los grupos CONEAT. (en línea). Montevideo, INIA. s.p. Consultado 29 may. 2017. Disponible en [http://www.inia.org.uy/online/files/contenidos/link\\_28102009105045.pdf](http://www.inia.org.uy/online/files/contenidos/link_28102009105045.pdf)
68. Muchow, R. C. 1989. Comparative productivity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment. *Field Crops Research*. 20: 191-205.
69. Otegui, M. E.; Ruiz, R. A.; Petruzzi, D. 1996. Modeling hybrid and sowing date effects on potential grain yield of maize in a humid temperate region. *Field Crops Research*. 47 (2): 167-174.
70. Pérez, C. A.; Villar, H. A.; Palladino, M. C.; Hoffman, E. 2013. Enfermedades foliares en soja: comprendiendo su dinámica en las condiciones de Uruguay. In: Simposio Nacional de Agricultura (3<sup>o</sup>., Paysandú, Uruguay).

No se llega si no se sabe a dónde ir. Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 89-98.

71. Qadir, G.; Fayyaz-Ul-Hassan; Azim Malik, M. 2007. Growing degree days and yield relationship in sunflower (*Helianthus annuus* L.). International Journal of Agriculture and Biology. 4: 564-568.
72. Ritchie, W.; Hanway, J. 1997. How a corn plant develops. State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames. Iowa Special Reports. no.48. 21 p.
73. Rodríguez, S.; Rodríguez, J. J. 1993. La fertilización de los cultivos; un método racional. Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía. 291 p. (Colección Agricultura no. 4).
74. Romano, N.; Roberto, M. 2007. Contenido de fósforo extractable, pH y materia orgánica en los suelos del este de la provincia de La Pampa. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. no. 33: 1-6.
75. Rosegrant, M. W.; Tokgoz, S.; Bhandary, P. 2013. The new normal? a tighter global agricultural supply and demand relation and its implications for food security. American Journal of Agricultural Economics. 95 (2): 303–309.
76. Sadras, V. O.; Roget, D. 2004. Production and environmental aspects of cropping intensification in a semiarid environment of southeastern Australia. Agronomy Journal. 96 (1): 236-246.
77. Salvagiotti, F.; Gerster, G.; Bacigaluppo, S.; Castellarín, J.; Galarza, C.; González, N.; Vallote, P. 2005. Efectos residuales y directos de fósforo y azufre en el rendimiento de soja de segunda. Ciencia del Suelo. 22(2): 92-101.
78. \_\_\_\_\_. 2009. Manejo de soja de alta producción. Para Mejorar la Producción. no. 42:57-62
79. Setiyono, T. D.; Weiss, A.; Specht, J.; Bastidas, A. M.; Cassman, K. G.; Dobermann, A. 2007. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions. Field Crops Research. 100(2): 257-271.

80. Siddoway, F. H.; Barnett, A. P. 1976. Water and wind erosion control aspects of multiple cropping. In: Papendick, R. I. ed. Multiple cropping. Madison, WI, ASA/CSSA/SSSA. pp. 317-335.
81. Siri, G. 2004. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 96 p.
82. Siri Prieto, G.; Ernst, O. 2011. Raigrás como cultivo de cobertura; efecto del largo del período de barbecho sobre la disponibilidad de agua, el riesgo de erosión y el rendimiento de la soja. Cangüé. no. 31: 18-27.
83. Snyder, R. L.; de Melo Abreu, J. P.; Villar Mir, J. M. 2010. Protección contra las heladas; fundamentos, práctica y economía. Roma, FAO. v.1, 241 p. (Serie sobre el Medio Ambiente y la Gestión de los Recursos Naturales).
84. Sun, H.; Zhang, X.; Chen, S.; Pei, D.; Liu, C. 2007. Effects of harvest and sowing time on the performance of the rotation of winter wheat–summer maize in the North China Plain. *Industrial Crops and Products*. 25(3): 239-247.
85. Trenbath, B. R. 1986. Resource use by intercrops. In: Francis, C. A. ed. Multiple cropping systems. New York, United States, MPC. pp. 57–81.
86. UdelaR. FA (Universidad De La República. Facultad de Agronomía, UY). 2013. Curso práctico de agrometeorología. Montevideo, Facultad de Agronomía. 138 p.
87. Vanderlip, R. L. 1993. How a sorghum plant develops. Manhattan, Kansas State University. 20 p.
88. Vaz Martins, D.; Fassio, A. 2002. Doble cultivo de maíz para producción animal. *Revista del Plan Agropecuario*. no. 101: 19-23.
89. Villar, J.; Cencig, G. 2010. Secuencias agrícolas; recurso para mejorar el uso del agua y la productividad del suelo. *Información técnica cultivos de verano*. INTA Rafaela. Publicación no. 118: 24-35.
90. Vivas, H. S.; Albrecht, R.; Hotián, J. L.; Gastaldi, L.; De Irigoyen, C. B. 2003. Residualidad del fósforo y del azufre. Estrategia de fertilización en una secuencia de cultivos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*. no. 35: 11-16.

91. Weaver, D. B.; Akridge, R. L.; Thomas, C. A. 1991. Growth habit, planting date, and row spacing effects on late planted soybean. *Crop Science*. 31: 805-810.

## 9. ANEXOS

### Anexo 1. Aplicación de agroquímicos 1.

Aplicaciones a barbecho de siembra tardía 1					Aplicaciones a soja				
Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis	Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis
23-7	Herbicida	Roundup Full II	Glifosato	4,5 L ha <sup>-1</sup>	12-1	Inoculante	Nitronat	Bradyrhizobium elkanii Cepa U-1301 + U-1302	200 g 50 kg semilla <sup>-1</sup>
	Herbicida	2,4D	2,4D	1 L ha <sup>-1</sup>		Adherente	As Stick/Soja	Polímero adhesivo	5 g
	Coadyuvante	Agral 90	-	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>		Agua			400 cm <sup>3</sup> 17 kg semilla <sup>-1</sup>
23-11	Herbicida	Basta	Glufosinato de amonio	2 L ha <sup>-1</sup>	10-2	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>
	Coadyuvante	Agral 90	-	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>		Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
28-12	Herbicida	Basta	Glufosinato de amonio	3 L ha <sup>-1</sup>	15-2	Herbicida	Roundup Max	Glifosato	1,2 kg ha <sup>-1</sup>
	Coadyuvante	Agral 90	-	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	18-2	Insecticida	Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina -	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Alsystin	Triflumuron	100 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					17-2	Fungicida	Xantho	Pyraclostrobin + Epoxiconazole + Fluxapyroxad	0,8 L ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Voliam Targo	Clorantraniliprole + Abamectina	0,1 L ha <sup>-1</sup>
					29-3	Fungicida	Amistar Xtra	Azoxiestrobina + Ciproconazol	0,3 L ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina -	0,2 L ha-1
						Insecticida	Alsystin	Triflumuron	0,125 L ha-1
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha
								Aplicaciones a maíz	
					Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis
					12-1	Antidoto	Caxin	Fluxofenim	0,6 cm <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> de semilla
					13-1	Herbicida	Dual Gold	Alfa Metolaclor	2 L ha <sup>-1</sup>
						Herbicida	Roundup Full II	Glifosato	2 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	130 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					10-2	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					15-2	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					18-2	Insecticida	Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina -	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Alsystin	Triflumuron	100 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
								Aplicaciones a sorgo	
					Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis
					12-1	Antidoto	Caxin	Fluxofenim	0,6 cm <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> de semilla
					10-2	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					15-2	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					18-2	Insecticida	Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina -	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Alsystin	Triflumuron	100 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>

## Anexo 2. Aplicación de agroquímicos 2.

Aplicaciones a barbecho de siembra tardía 2					Aplicaciones a sorgo				
Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis	Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis
23-7	Herbicida	Roundup Full II	Glifosato	4,5 L ha <sup>-1</sup>	2-2	Antidoto	Caxin	Fluxofenim	0,6 cm <sup>3</sup> kg semilla <sup>-1</sup>
	Herbicida	2,4D	2,4D	1 L ha <sup>-1</sup>	3-2	Herbicida	Dual Gold	Alfa Metolaclor	3 L ha <sup>-1</sup>
	Coadyuvante	Agral 90	-	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>		Herbicida	Roundup Full II	Glifosato	2 L ha <sup>-1</sup>
23-11	Herbicida	Basta	Glufosinato de amonio	2 L ha <sup>-1</sup>		Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	130 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
	Coadyuvante	Agral 90	-	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	18-2	Insecticida	Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
28-12	Herbicida	Basta	Glufosinato de amonio	3 L ha <sup>-1</sup>		Insecticida	Alsystin	Triflumuron	100 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
	Coadyuvante	Agral 90	-	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>		Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					7-3	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Aplicaciones a maíz									
					Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis
					3-2	Herbicida	Dual Gold	Alfa Metolaclor	3 L ha <sup>-1</sup>
						Herbicida	Roundup Full II	Glifosato	2 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	130 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					18-2	Insecticida	Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina -	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Alsystin	Triflumuron	100 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					7-3	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Aplicaciones a soja									
					Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis
					2-2	Inoculante	Nitronat	Bradyrhizobium elkanii Cepa U-1301 + U-1302	200 g 50 kg semilla <sup>-1</sup>
						Adherente	As Stick/Soja	Polímero adhesivo	5 g
						Agua			400 cm <sup>3</sup> 17 kg semilla <sup>-1</sup>
					3-2	Herbicida	Dual Gold	Alfa Metolaclor	3 L ha <sup>-1</sup>
						Herbicida	Roundup Full II	Glifosato	2 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	130 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					10-2	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					18-2	Insecticida	Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina -	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Alsystin	Triflumuron	100 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
					17-3	Fungicida	Xantho	Pyraclostrobin + Epoxiconazole + Fluxapyroxad	0,8 L ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Voliam Targo	Clorantraniliprole + Abamectina	0,1 L ha <sup>-1</sup>
					29-3	Fungicida	Amistar Xtra	Azoxiostrobrina + Ciproconazol	0,3 L ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Engeo	Tiametoxan + Lambda cialotrina -	0,2 L ha <sup>-1</sup>
						Insecticida	Alsystin	Triflumuron	0,125 L ha <sup>-1</sup>
						Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	200 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>

Anexo 3. Aplicación de agroquímicos 3.

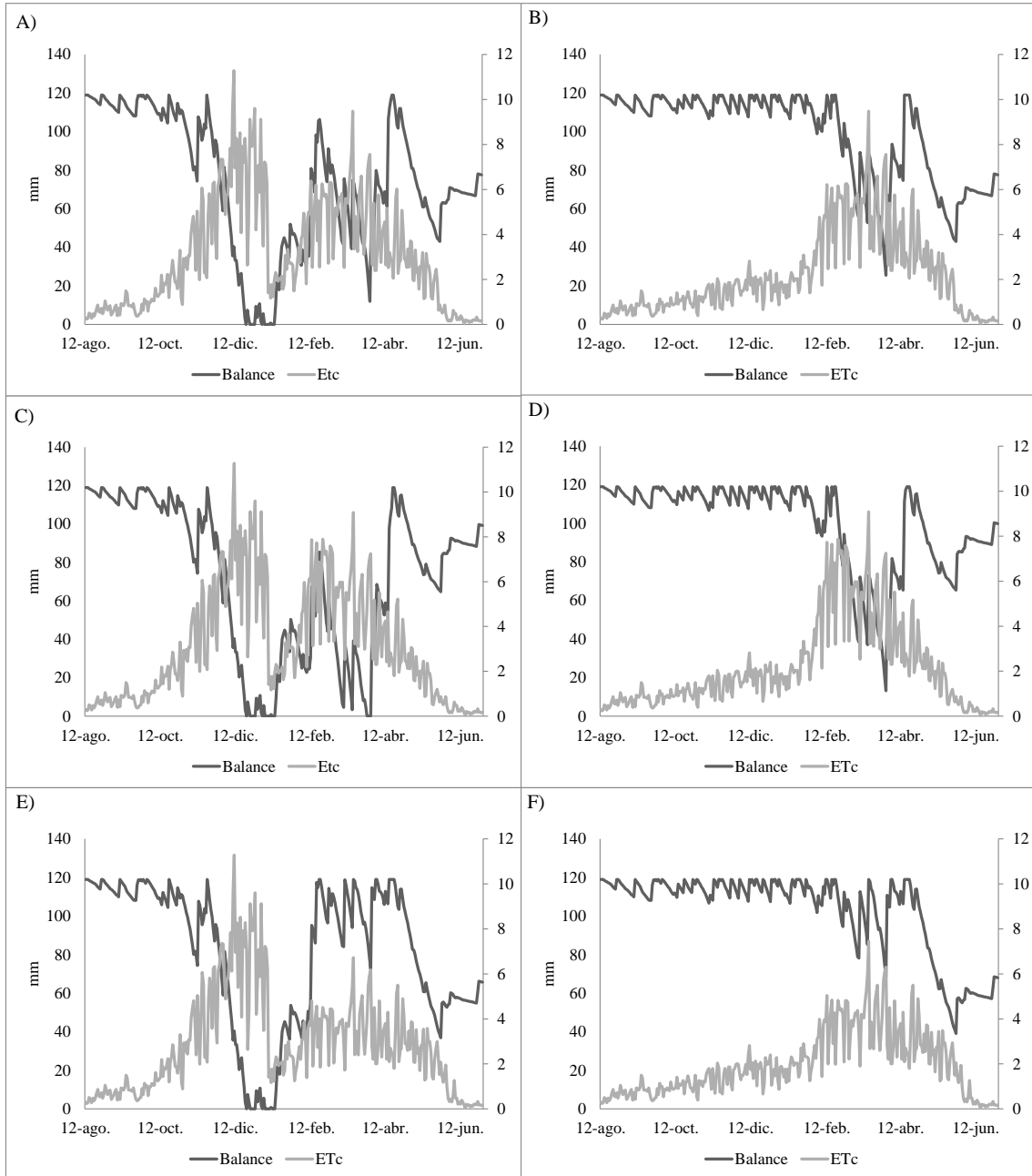
Aplicaciones de agroquímicos a maíz grano					A sorgo: ídem aplicacionesde anexo 2
Fecha	Tipo de producto	Producto	Principio activo	Dosis	A maíz: ídem aplicaciones de anexo 2
7-9	Herbicida	Dual Gold	Alfa Metolaclor	2 L ha <sup>-1</sup>	A soja: ídem aplicaciones de anexo 2
	Herbicida	Roundup Full II	Glifosato	3 L ha-1	
	Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	350 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	
16-11	Herbicida	Basta	Glufosinato de amonio	2 L ha-1	
	Insecticida	Lorsban	Clorpirifós	1 L ha <sup>-1</sup>	
	Coadyuvante	Agral 90	Concentrado de óxido de etileno nonilfenólico	150 cm <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	

Anexo 4. Aplicación de agroquímicos 4.

Aplicaciones a maíz forraje: Ídem aplicaciones a maíz con destino grano de anexo 3	A soja: ídem aplicaciones de anexo 2
	A maíz: ídem aplicaciones de anexo 2
	A sorgo: ídem aplicacionesde anexo 2



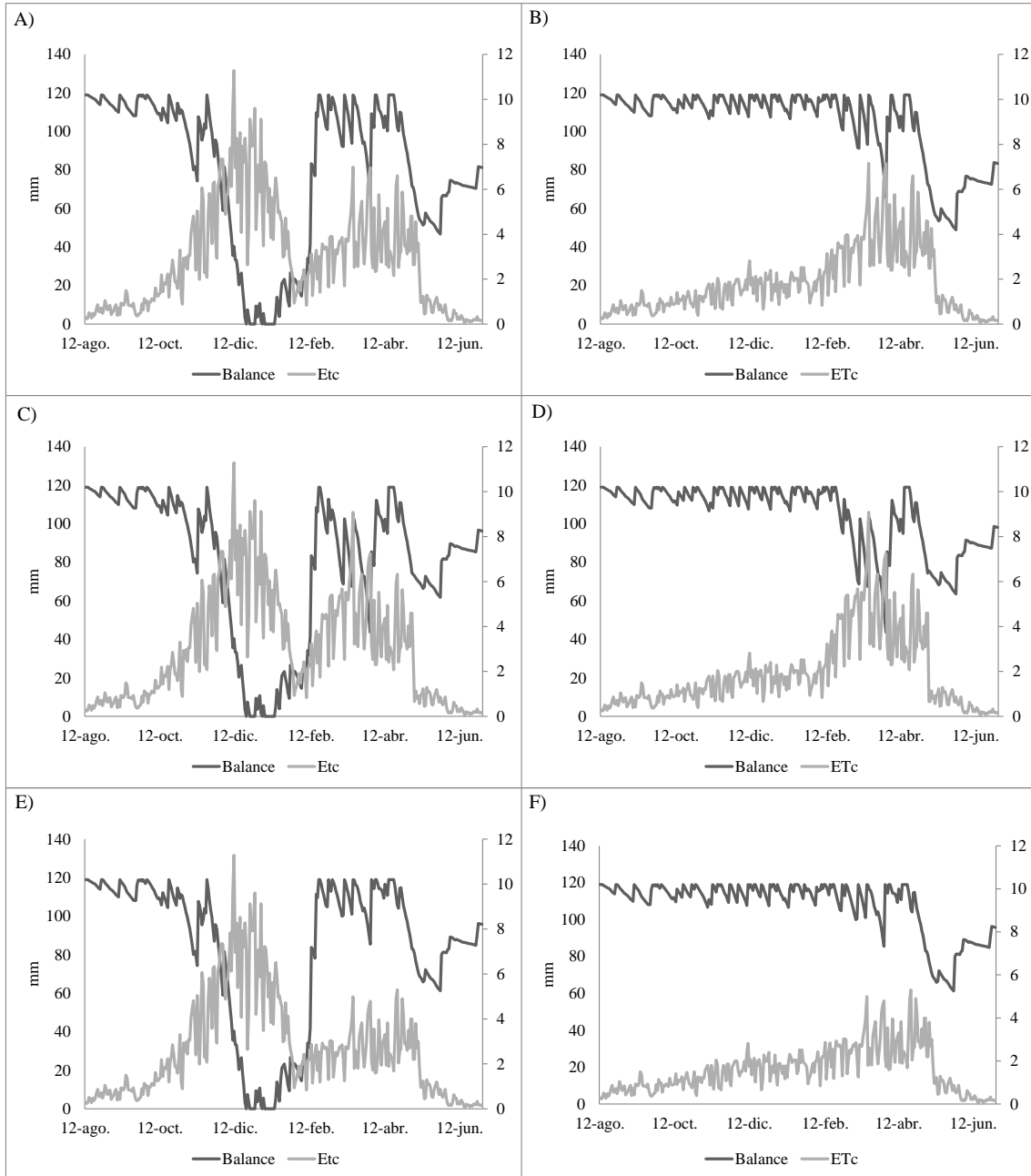
## Anexo 5.



Letras en mayúscula especifican el tratamiento: A) MzF\_Mz, B) B1\_Mz, C) MzF\_Sj, D) B1\_Sj, E) MzF\_Sg y F) B1\_Sg.

Evolución de balance hídrico y evapotranspiración del cultivo (ETc).

## Anexo 6.



Letras en mayúscula especifican el tratamiento: A) MzG\_Mz B) B2\_Mz C) MzG\_Sj D) B2\_Sj E) MzG\_Sg F) B2\_Sg.

Evolución de balance hídrico y evapotranspiración del cultivo (ETc).

Anexo 7. Medias ajustadas de análisis de nutrientes en suelo.

Tratamiento	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	P Bray I (ppm)	K (meq 100g <sup>-1</sup> )	Consideraciones
3 de setiembre				
	3,1	17,0	0,62	En barbecho
12 de enero				
MzG	5,2	35,3	0,49	R5 (grano dentado)
MzF	5,3	35,2	0,49	Cosechado 7 enero (R5)
B1	22,9	34,0	0,54	Siembra 12 enero
B2	18,8	45,9	0,57	Siembra 2 de febrero
23 de febrero				
B2_Sorgo	24,9	31,8	0,52	Sorgo en V4
B2_Maíz	17,8	30,2	0,51	Maíz en V4
B2_Soja	15,5	36,7	0,56	Soja en V2
B1_Soja	8,0	36,5	0,52	Soja en R1
B1_Maíz	7,4	28,3	0,49	Maíz en V8-V9
B1_Sorgo	5,9	33,0	0,48	Sorgo en V7
MzF_Sg	4,7	31,7	0,47	Sorgo en V6
MzF_Mz	4,8	30,4	0,41	Maíz en V8
MzF_Sj	7,8	27,4	0,42	Soja en R1
MzG_Sj	10,7	30,0	0,46	Soja en V2
MzG_Mz	8,4	26,1	0,43	Maíz en V4
MzG_Sg	9,1	25,7	0,43	Sorgo en V4
14 de junio				Momento de cosecha
B2_Sorgo	6,3	36,2	0,50	10 de mayo
B2_Maíz	8,4	39,1	0,60	10 de mayo
B2_Soja	8,8	25,8	0,50	5 de mayo
B1_Soja	6,2	21,9	0,49	19 de mayo
B1_Maíz	7,4	30,3	0,44	25 de mayo
B1_Sorgo	5,7	19,8	0,52	7 de junio
MzF_Sg	5,1	27,8	0,41	7 de junio
MzF_Mz	6,9	26,5	0,41	25 de mayo
MzF_Sj	5,6	33,5	0,39	19 de mayo
MzG_Sj	6,3	23,1	0,41	5 de mayo
MzG_Mz	8,3	33,4	0,53	10 de mayo
MzG_Sg	5,3	30,4	0,50	10 de mayo

Anexo 8. Medias ajustadas de materia seca, proteína cruda, energía bruta e indicadores productivos (LER y ATER).

Efecto		Materia seca (kg ha <sup>-1</sup> )	Proteína cruda (kg ha <sup>-1</sup> )	Energía bruta (GJ ha <sup>-1</sup> )	LER	ATER
Primera	MzF	25088	2007	396	1,19	0,73
Primera	MzG	24667	1721	394	1,17	0,78
Segunda	Mz	28607	1900	458	1,35	0,87
Segunda	Sg	26446	1829	408	1,25	0,78
Segunda	Sj	19579	1864	318	0,93	0,61
Primera × segunda	MzF Mz	28859	2063	463	1,36	0,85
Primera × segunda	MzF Sg	28214	2057	431	1,33	0,79
Primera × segunda	MzF Sj	18190	1902	295	0,86	0,55
Primera × segunda	MzG Mz	28355	1737	454	1,34	0,89
Primera × segunda	MzG Sg	24678	1601	386	1,17	0,77
Primera × segunda	MzG Sj	20968	1826	342	0,99	0,67