



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

Facultad de Agronomía y Veterinaria

Proyecto de Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo.

Uso de la luz en intercultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con sorgo sudan (*Sorghum sudanense*) y mijo perla (*Pennisetum americanum*)

Alumno: **CABRERA, Ramiro José**

DNI: **33371152**

Director: **Lic. M Sc. Telmo Pereyra**

Co-Director: **Ing. Agr. Dr. Alfredo Ohanian**

Río Cuarto – Córdoba

Junio/2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO

Facultad de Agronomía y Veterinaria

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Uso de la luz en intercultivos de alfalfa (*Medicago sativa L.*) con sorgo sudan (*Sorghum sudanense*) y mijo perla (*Pennisetum americanum*).

Autor: **Cabrera, Ramiro José.**
DNI: **33371152**

Director: **Lic. M Sc. Telmo Pereyra**
Co-Director: **Ing. Agr. Dr. Alfredo Ohanian**

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. _____

Ing. Agr. _____

Ing. Agr. _____

Fecha de presentación: ____/____/____

Aprobado por secretaría Académica: ____/____/____

AGRADECIMIENTOS

Les agradezco a mis padres, Anibal J. Cabrera y María C. Arlettaz, por todo el sacrificio que realizaron para que yo tenga la posibilidad de realizar mis estudios y por darme su apoyo tanto moral como económico.

A mi novia Belén por acompañarme, ayudarme y apoyarme incondicionalmente en este largo camino universitario.

A mis compañeros de cursado, amigos de la facultad y de la vida por hacer cada momento de la carrera algo especial que sin lugar a duda quedaran en mi memoria guardados por el resto de mi vida.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) por darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

A mi director de tesis Telmo Pereyra y co-director Alfredo Ohanian por todos los conocimientos que me otorgaron y la paciencia brindada y por haberme dado la posibilidad de realizar este trabajo de tesis.

A la profesora Belén Rosso por todos los datos y aportes proporcionados.

INDICE GENERAL

	Pag.
Indice general.....	IV
Indice de tablas.....	VI
Indice de figuras.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
CAPÍTULO I	
INTRODUCCION.....	
1.1 Planteo de la problemática.....	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Hipotesis.....	6
1.4 Objetivos.....	6
CAPÍTULO II	
MATERIALES Y METODOS.....	
2.1 Área de trabajo.....	7
2.1.1 Clima.....	7
2.1.2 Suelo.....	8
2.1.3 Tratamientos y diseño experimental.....	8
2.2 Mediciones a realizadas.....	9
2.3 Análisis estadístico.....	11
CAPÍTULO III	
RESULTADO Y DISCUSION.....	
3.1 Datos climáticos.....	13
3.2 Producción de biomasa.....	16
3.3 Radiación fotosintéticamente activa interceptada.....	19
3.4 Eficiencia en el uso de la radiación.....	22

CAPÍTULO IV	Pag
CONCLUSIONES	26
CAPÍTULO V	
POSIBLES LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACION	27
CAPÍTULO VI	
BIBLIOGRAFIA	28
CAPÍTULO VII	
ANEXO	33

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de biomasa (kg MS ha^{-1}) por corte y acumulada durante el periodo comprendido entre el 15/02/2013 al 08/04/2013, Río Cuarto, Córdoba.

Tabla 2. Radiación Fotosintéticamente Activa interceptada RFAi (Mj/m^2) por corte y acumulada durante el periodo comprendido entre el 15/02/2013 al 08/04/2013, Río Cuarto, Córdoba.

Tabla 3. Eficiencia en el Uso de la Radiación EUR (KgMS/Mj) por corte y acumulada durante el periodo comprendido entre el 15/02/2013 al 08/04/2013, Río Cuarto, Córdoba.

Tabla 4. Eficiencia en el Uso de la Radiación EUR (KgMS/Mj) promedio por cultivo durante el periodo comprendido entre el 15/02/2013 al 08/04/2013, Río Cuarto, Córdoba.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de Trabajo: Sitio Experimental.

Figura 2. Disposición del ensayo.

Figura 3. Distribución decádica de las precipitaciones en Río Cuarto durante el año 2012-2013 y valores normales históricos (Serie 1981-2010).

Figura 4. Valores decádicos de la temperatura media en Río Cuarto durante el año 2012-2013 y valores normales históricos (Serie 1981-2010).

Figura 5. Valores medios de radiación global en Río Cuarto durante el período de estudio.

Figura 6. Producción de biomasa (kg MS/ha) de intercultivos de alfalfa con mijo perla y sorgo sudan y sus respectivos monocultivos por corte. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Año 2013.

Figura 7. RFAi (Mj/m^2) de intercultivos de alfalfa con mijo perla y sorgo sudan y sus respectivos monocultivos por corte. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Año 2013.

Figura 8. EUR (KgMS/Mj) de intercultivos de alfalfa con mijo perla y sorgo sudan y sus respectivos monocultivos por corte. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Año 2013.

Figura 9. Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR) promedio por cultivo (KgMS/Mj).

RESUMEN

El intercultivo es un sistema de producción en el cual se cultivan dos o más especies en una misma área, en forma simultánea durante parte o todo su ciclo de vida. El éxito de esta práctica se basa en el aprovechamiento diferencial de los recursos por parte de los cultivos integrantes. El objetivo fue evaluar la eficiencia de captación y utilización de la luz en los intercultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con sorgo forrajero (*Sorghum sudanense*) y mijo perla (*Pennisetum americanum*) y en los respectivos cultivos puros. El experimento se realizó en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto durante la campaña 2012-13. Sobre una pastura de alfalfa sembrada la primera quincena de marzo del 2012, se realizaron las intersembras con mijo perla y sorgo forrajero el 28 de noviembre del 2012, llevadas a cabo con una sembradora de siembra directa. El diseño experimental fue en franjas con dos repeticiones donde la combinación de cultivos fueron: 1-alfalfa-mijo perla, 2-alfalfa-sorgo sudan, 3-alfalfa monocultivo, 4- mijo perla monocultivo y 5- sorgo sudan monocultivo. Los datos obtenidos fueron sometidos a ANAVA y los promedios se compararon mediante la prueba de LSD Fisher. La eficiencia en el uso de la radiación (EUR) resultó significativamente más alta en los cultivos puros que en los intercultivos, esto debido a que la radiación fotosintéticamente activa interceptada fue mayor en los mismos. La producción de biomasa acumulada de los intercultivos (alfalfa - mijo perla y alfalfa - sorgo sudan) superó significativamente al monocultivo de alfalfa pero no difirió en gran medida de los verdes puros, obteniendo producciones similares. A partir de los datos recolectados y su posterior análisis se llegó a la conclusión que el desarrollo de los verdes incremento el IAF de los mismos lo cual hizo que su EUR sea mayor, sin embargo los intercultivos no pudieron superar a los cultivos puros debido a que el incremento acumulado de su producción fue proporcionalmente menor que el crecimiento de la RFAi, lo que hizo que al momento de calcular la EUR esta sea menor.

Palabras clave: Intercultivo; Eficiencia; radiación interceptada; alfalfa; sorgo sudan; mijo perla.

ABSTRACT

Intercropping is a multiple cropping system which involves growing two or more species simultaneously in the same area during part or all their life cycle. The success of this practice is based on the differential use of resources by the implicated crops. The objective of this study was to evaluate the efficiency of uptake and utilization of light in intercropping of alfalfa (*Medicago Sativa L.*), sorghum forage (*Sorghum Sudanese*), and pearl millet (*Pennisetum Americanum*), and in their respective pure crops. The experiment was conducted in the experimental field of Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad de Río Cuarto, during 2012/13 campaign. On a pasture of alfalfa planted the first half of March 2012, the intercropping was performed with pearl millet and sorghum forage on November 28, 2012, carried out with a direct seed drill. An experimental design with two replications in strips was used where the combinations of crops were: 1) alfalfa / pearl millet, 2) alfalfa / sorghum-sudangrass, 3) monoculture alfalfa, 4) monoculture pearl millet, and 5) monoculture sorghum-sudangrass. The gathered data was subjected to ANOVA, and the averages were compared using Fisher's LSD method. The radiation-use efficiency (RUE) was significantly higher in pure crops than in intercropping. This happened because the intercepted photosynthetically active radiation was higher in intercropping than in pure crops. The accumulated intercropping biomass production (alfalfa – pearl millet and alfalfa – sorghum-sudangrass) significantly exceeded the monoculture of alfalfa, but it did not differ greatly from pure fodders, obtaining similar productions. All things considered, we can conclude that crop development increased its LAI which made the RUE greater. However, intercrops did not surpass pure crops since the cumulative increment of their production was proportionally smaller than the growth of IPAR, which led to minor RUE at the moment of calculating it.

Key words: intercropping; efficiency; radiation intercepted; alfalfa; sorghum-sudangrass; pearl millet.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Planteo de la problemática

En la actualidad el nivel de expansión de algunos cultivos anuales (soja, maní, maíz), en conjunto con los elevados precios internacionales y los excelentes resultados económicos, han producido el desplazamiento de la ganadería hacia zonas más marginales. Este proceso cada vez más notorio aparece como irreversible y toda superficie ocupada por la agricultura difícilmente vuelva a ser utilizada por otros sistemas de producción como por ejemplo, la ganadería (Pagliaricci *et al.*, 2008).

En los sistemas que aún conservan un tipo de producción mixta, la competencia que se genera entre agricultura y ganadería hace que se limite al máximo la superficie destinada a los cultivos anuales, ya que los mismos compiten seriamente por el uso de la tierra con los agrícolas debido a los tiempos prolongados de ocupación de los lotes desde la elección y preparación de los mismos, hasta el momento de la primera utilización (Pereyra, 2005).

La práctica de producir múltiples cultivos en un espacio determinado, tiene por objetivo ajustar las demandas a los recursos disponibles y su ventaja, respecto al cultivo puro, se basa en que la competencia por los recursos entre especies es menor a la que existe dentro de una misma especie (West y Griffith, 1992). El intercultivo es un sistema de producción en el cual se cultivan dos o más especies en una misma área, en forma simultánea durante parte o todo su ciclo de vida (Ofori y Stern, 1987). El éxito de esta práctica se basa en el aprovechamiento diferencial de los recursos por parte de los cultivos integrantes (Li, 2001).

La siembra de intercultivos ha sido sugerida como una solución a los problemas de escaso crecimiento invernal (O' Connor, 1976; Vartha, 1976). Por su parte Fernandez *et al.*, (1997) señalan que, además de las ventajas económicas que ofrece la siembra conjunta de un cultivo anual con especies forrajeras perennes, este sistema representa una contribución a la sustentabilidad ecológica debido a los menores requerimientos en labores, herbicidas y un uso conservativo y eficiente del suelo.

Para obtener elevada producción de forraje con mínimas pérdidas de suelo por erosión y disminuir los costos de producción por unidad de forraje producido se han evaluado las intersembras de sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench] en alfalfa y falaris en el noroeste de

los Estados Unidos de América, más precisamente en el estado de Iowa. El sorgo puede intersembrarse con éxito en alfalfa y falaris para mejorar el rendimiento de biomasa si se utilizan las medidas preventivas adecuadas para controlar la competencia interespecífica durante el establecimiento y el agua de suelo es adecuada (Buxton *et al.*, 1998).

El rendimiento de un cultivo es función de la radiación interceptada y de la eficiencia de utilización de esa radiación. La cantidad de radiación solar interceptada acumulada por un cultivo depende de la duración del ciclo y de la dinámica de intercepción de dicho cultivo. Esta última está fuertemente ligada a la evolución del índice de área foliar (IAF), definido como la superficie foliar fotosintéticamente activa por unidad de superficie de suelo (Maddoni y Otegui, 1996). La radiación interceptada por un cultivo es el resultado de la eficiencia con que la radiación incidente es captada por el canopeo (eficiencia de intercepción). Por otro lado, la producción de fotoasimilados puede ser expresada en términos de su eficiencia para convertir la radiación solar interceptada en biomasa (eficiencia de uso o eficiencia de conversión) (Cárcova *et al.*, 2004). La eficiencia de uso de la radiación se expresa en gramos (g) de biomasa producida por mega joule (MJ) de radiación interceptada. Las diferencias más marcadas en esta característica, entre los diversos cultivos, están dadas por el metabolismo del carbono (especies C_4 vs. especies C_3) y por el tipo (contenido calórico) de materia seca producida (Sinclair y Muchow, 1999).

1.2 Antecedentes

Especies que crecen juntas pueden ser más productivas que al crecer solas, debido a los beneficios asociados con el uso de la luz, la supresión de malezas y el aumento de la resistencia a plagas y enfermedades, entre otros (Fernández *et al.*, 1997). Las diferencias estarían relacionadas con cambios en la captura y aprovechamiento de la radiación solar, asumiendo que la eficiencia del uso de la radiación (EUR) se mantiene constante para distintas fracciones de radiación solar interceptada (Rosati y DeJong, 2003).

La utilización de los sorgos forrajeros es importante, fundamentalmente en aquellas regiones donde existen limitaciones para el cultivo de maíz (Bruno *et al.*, 1992). Los sorgos forrajeros comenzaron a utilizarse en Argentina a partir de la década del 60 alcanzando una superficie sembrada superior a las 200.000 ha entre 1970 y 1980. También se observó una creciente aparición de cultivares particularmente híbridos de sorgos azucarados, sudan y doble propósito (Scatamburlo, 1981).

Otro cultivo destacable pero de escasa difusión en Argentina es el mijo perla, el cual presenta características forrajeras para considerar, como su facilidad para implantarse, resistencia a déficit hídricos y sequías, tolerancia a salinidad y plagas, altos rendimientos de materia seca y buen valor nutritivo (Brizuela *et al.*, 1977).

La alfalfa es un recurso fundamental para la producción agropecuaria en las regiones templadas del mundo. Su calidad nutritiva, producción de forraje, hábito de crecimiento, perennidad, plasticidad y capacidad de fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico, la convierten en una especie esencial para muchos sistemas de producción agropecuaria. En la mayoría de las regiones de la Argentina donde las producciones de leche y carne son relevantes, esta especie forrajera es básica en la alimentación. Sin embargo, la dimensión real de su valor surge cuando se considera, además, el papel de esta leguminosa en la sustentabilidad de los sistemas de producción, por su función en la recuperación de la fertilidad y estabilidad edáfica (Pordomingo, 1995).

(Giayetto, *et al.*, 2011) trabajando con intercultivos de soja y maíz en el campo de docencia y experimentación de la FAV-UNRC, utilizando un diseño en franjas, encontraron diferencias en el rendimiento de los intercultivos con respecto a los cultivos puros, diferencias que, estarían relacionadas con cambios en la captura y aprovechamiento de la radiación solar. La arquitectura y porte de la planta de maíz facilitarían una mayor

intercepción de luz en detrimento de los surcos de bordura de soja. El rendimiento de maíz en franjas fue un 8% mayor que en el cultivo puro; mientras que la soja en franjas rindió un 19,4% menos que el cultivo puro, siendo estas diferencias significativas sólo en soja. La EUR fue 1,1 y 3,6 kg/ha/Mj en soja y maíz, respectivamente. Con estos valores y el de rendimiento promedio por surco se comprobó que las diferencias en el rendimiento fueron similares a las registradas en la cantidad de radiación interceptada por surco en ambos cultivos, siendo la RFAint el factor determinante de las respuestas del intercultivo en franjas. Se puede inferir entonces que la cantidad diferencial de radiación interceptada durante el ciclo del cultivo, fue el factor determinante de la TCC en los surcos analizados y, por ende, de la producción de biomasa aérea.

En tanto que Morla, *et al.*, (2014), hicieron referencia al efecto de la interacción en el cultivo en franjas de maíz y maní a través de zona de interacción entre franjas (ZIF) y surco, sobre las respuestas de los componentes del rendimiento y la producción de granos, donde las ventajas del sistema se debieron principalmente al mayor rendimiento de los surcos de bordura de ambos cultivos. Se llegó a la conclusión de que el valor de Eficiencia en el Uso de la Tierra superior a 1 significa que se necesitarían más de 1 hectárea de monocultivos de maíz y maní para igualar el rendimiento de 1 ha de intercultivo en franjas, esto, indica ventajas del intercultivo aunque su cálculo sólo hace referencia al rendimiento del sistema sin considerar otros aspectos importantes como su efecto sobre la disminución de la erosión eólica y mejora en la eficiencia de captura de los recursos (agua y radiación). Se posiciona así como una técnica de manejo a considerar en la mejora de la sustentabilidad del cultivo.

Continuando en la misma línea de investigación Rosso, *et al.*, (2014), trabajaron intercalando franjas de maíz y maní en el campo de docencia y experimentación de la FAV-UNRC, analizando la respuesta de ambos cultivos según su ubicación relativa (norte o sur) respecto a la zona de interacción entre franjas (surcos linderos) y mediante el equivalente uso de la tierra (EUT) encontrando que la condición hídrica (secano y bajo riego) influenció en el comportamiento de ambos cultivos resultando la situación bajo riego superior en todos los componentes y el rendimiento en granos. Sólo maní respondió a la posición relativa de la franja a favor de la ubicación sur. La interacción entre franjas favoreció al Maíz, que incrementó todos los componentes y su rendimiento en grano en los surcos colindantes. La respuesta de Mn fue inversa con depresión del rendimiento en el surco colindante indicando un efecto de competencia entre las especies. Bajo las condiciones en las que se realizó este

trabajo, y considerando sólo el rendimiento, el EUT indica que sería similar sembrar cultivos en franjas o cultivos puros.

Por otra parte Giambastiani y mamani (2007) realizando la intersemebra de maíz sobre un cultivo de maní encontraron un aumento de la eficiencia de cosecha a medida que aumentaba la densidad del maíz intersembrado. El Índice de Cosecha (IC) de maíz no varió significativamente entre tratamientos a diferencia del de maní que fue disminuyendo a medida que aumentaba la densidad de plantas de maíz intersembradas. El rendimiento en grano seco y el rendimiento relativo de maní disminuyen a medida que aumenta la densidad del maíz intersembrado, lo contrario sucede con el rendimiento de maíz. Las intersembras de maní con maíz a 4 y 8 plantas/m² son de margen similar y menor, respectivamente, que el margen del maíz puro, por lo que no resultan económicamente convenientes. El balance de carbono está indicando la baja y alta sustentabilidad del maní y maíz puros, respectivamente. La intersemebra de maní con maíz a una planta/m² reduce de manera considerable el balance de carbono negativo del cultivo de maní puro. Para las condiciones de este ensayo la intersemebra de maní con maíz a una planta/m² es una alternativa tecnológica que permite conjugar rentabilidad y sustentabilidad de sistema.

Finalmente, Pereyra *et al.*, (2013) trabajando con sorgo sudan y mijo perla intersembrados sobre una pastura de alfalfa en el campo experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Río Cuarto determinaron que la asociación alfalfa-sorgo sudan y alfalfa-mijo perla, permite aumentar considerablemente la producción de forraje por unidad de superficie en relación a un cultivo de alfalfa puro, mejorando la distribución por corte y la producción estacional durante el período de crecimiento del verdeo. La intersemebra de sorgo y mijo en alfalfa, mejora la eficiencia en el uso de la tierra, liberando superficie que podría ser destinada a otros cultivos. El comportamiento productivo de mijo con relación a sorgo en las asociaciones con alfalfa no mostró diferencias, posicionando a esta especie en ventaja debido a su mejor adaptación a condiciones ambientales desfavorables para sorgo. La siembra directa de sorgo y mijo no afecta el número de plantas de alfalfa pero si su tamaño y peso, lo que reduce su comportamiento productivo.

1.3 Hipótesis

- La eficiencia en el uso de la radiación solar por parte de los intercultivos es mayor con respecto a la de los cultivos puros.

- La biomasa aérea producida en los intercultivos es superior a la producida en monocultivos.

1.4 Objetivos

Objetivo General:

- Evaluar la eficiencia de captación y utilización de la luz en intercultivos con relación a cultivos puros.

Objetivos específicos:

- Comparar la producción de biomasa de los intercultivos y cultivos puros.

- Evaluar la radiación solar interceptada en intercultivos y cultivos puros, para diferentes estratos.

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de trabajo

El trabajo se llevó a cabo en el campo de docencia y experimentación de la FAV-UNRC, ubicado en la ciudad de Río Cuarto, Departamento Río Cuarto, provincia de Córdoba (República Argentina), sobre la Ruta Nac. 36 km 601 a los $32^{\circ} 33' \text{ LS}$ y $63^{\circ} 10' \text{ LE}$ y a 421 m.s.n.m. (Figura 1).

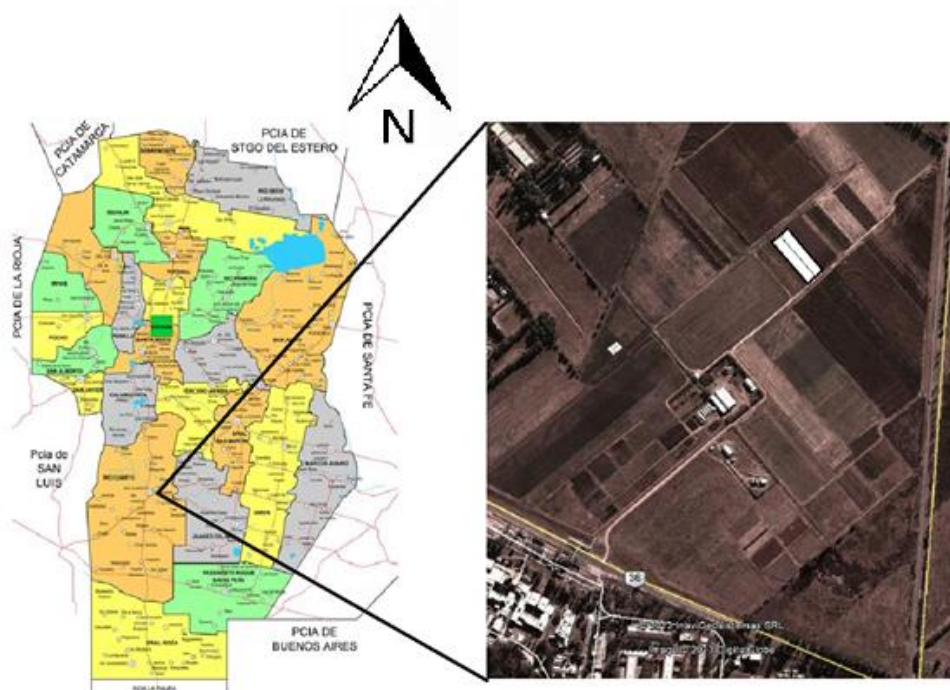


Figura 1: Área de Trabajo: Sitio Experimental

2.1.1 Clima.

El clima del área se caracteriza por ser de tipo meso termal, subhúmedo (Cantero *et al.*, 1986). El régimen térmico es de tipo templado continental con una temperatura media anual de $16,3^{\circ}\text{C}$. La temperatura media del mes más cálido (enero) es de $23,5^{\circ}\text{C}$ para toda el área mientras que la temperatura del mes más frío (julio) es entre $9,5$ y $8,5^{\circ}\text{C}$ disminuyendo hacia el sector SO. La amplitud térmica media anual es 14°C en el sector NNO y de 16°C en el sector SSE. Las lluvias de la región presentan un patrón similar tanto en la ocurrencia

como así también en la cantidad precipitada. La distribución estacional se ajusta a un régimen monzónico siendo diciembre-enero y junio-julio los períodos de mayores y menores precipitaciones respectivamente (Jarsún *et al.*, 2003).

Las precipitaciones medias anuales oscilan entre 700-800 mm, con régimen de precipitación monzónico que concentra el 80% de las lluvias entre octubre y abril (Degioanni, 1998).

2.1.2 Suelo.

El suelo se caracteriza por ser un Hapludol típico de textura franca arenosa muy fina, cuya granulometría en los primeros centímetros es: 16 % de arcilla, 41 % de limo, 33 % de arena muy fina, 10 % de otras fracciones de arenas (Bricchi, 1996).

2.1.3 Tratamientos y diseño experimental.

El ensayo a campo comprendió tres situaciones: 1) alfalfa para la evaluación de cultivo puro, 2) intercultivo de alfalfa con gramíneas anuales de verano y 3) cultivos anuales de verano puros. Se utilizó un cultivar de alfalfa (*Medicago sativa* L.), Variedad Mayaco, grado de reposo invernal 7 (GRI 7), sembrada en marzo de 2012, con una densidad de 12 kg/ha y fertilizada a la siembra con 80 kg/ha de fosfato di amónico (18:46:00).

Los cultivos anuales estuvieron representados por sorgo forrajero (*Sorghum sudanense*) y mijo perla (*Pennisetum americanum*) los cuales fueron sembrados el día 28 de noviembre de 2012. El sorgo utilizado fue la variedad comercial F 700 tipo forrajero de ciclo corto y rápido crecimiento inicial, la densidad de siembra propuesta fue de 15 kg/ha de semilla (PG: 82%, Vigor: 76%), mientras que el mijo perla utilizado fue la variedad EQUUS y siendo sembrado con una densidad de 20 kg/ha de semilla (PG: 50%, Vigor: 40%).

Los tratamientos fueron cinco: alfalfa monocultivo, sorgo monocultivo, mijo perla monocultivo, intercultivo alfalfa-sorgo é intercultivo alfalfa-mijo, donde cada uno de ellos estuvo dispuesto en un diseño en franjas con dos repeticiones (Montgomery, 1991).

- **Tratamiento 1 (T1):** alfalfa monocultivo.
- **Tratamiento 2 (T2):** sorgo monocultivo.
- **Tratamiento 3 (T3):** mijo perla monocultivo.
- **Tratamiento 4 (T4):** intercultivo alfalfa-sorgo.
- **Tratamiento 5 (T5):** intercultivo alfalfa-mijo.



Figura 2: Disposición del ensayo.

En los cinco (5) tratamientos antes mencionados se realizaron seis (6) muestreos, cada quince días aproximadamente, donde se midió la materia seca acumulada y la radiación solar interceptada por los cultivos puros y los intercultivos ya nombrados.

2.2 Mediciones realizadas.

- Determinación de biomasa

La evaluación de la biomasa se realizó mediante muestreos de 0.25 m², llevados luego a 1 m², obtenidos a ras del suelo, se tomaron 6 muestras por tratamiento, siendo luego procesadas en laboratorio para separar sus componentes en: especies forrajeras y malezas. Luego se llevaron a estufa de ventilación forzada a 80 °C hasta peso constante para su posterior pesada y determinación de materia seca.

Los momentos de corte fueron determinados por estadios fenológicos de alfalfa, porcentaje de floración o aparición de brotes basales en la corona y en el caso de los cultivos anuales, se tomó como criterio 0.60 a 0.70 m de altura del canopeo. .

Luego de cada muestreo se cortó con una segadora el forraje remanente de cada parcela a una altura de aproximadamente unos 8 centímetros, para promover un rebrote uniforme.

Durante el ensayo se realizaron seis cortes: el primero de ellos el 15/02/13, el segundo 26/02/13, el tercero 04/03/13, el cuarto 18/03/13, el quinto 26/03/13 y el sexto 08/04/13. La variable respuesta obtenida fue la producción de biomasa expresada en Kg MS/ha para cada componente en los intercultivos, cultivos puros de alfalfa y gramíneas anuales de verano y malezas.

- Determinación de la radiación solar interceptada

La intercepción de la radiación (RFAi), se midió en intervalos regulares de 15 días aproximadamente, utilizando un equipo marca LI-COR LI 1400 Datalogger, conjuntamente con el sensor lineal LI-191SA quantum. Lincoln. NE. USA. En cada tratamiento de monocultivos, se realizó una medición a cielo abierto (I_0) y tres debajo del dosel en forma transversal a las líneas de siembra (I). Mientras que, en los tratamientos de intercultivos se realizó una medición de (I_0), tres a nivel de canopeo en cada uno de los componentes y tres a ras del suelo. Estas mediciones se realizaron con cielo descubierto, 100% de radiación solar y entre las 12 y 14 hs.

La intercepción de la radiación se determinó de la siguiente forma:

$$IR (\%) = (1 - (I_0/I)) \times 100$$

Los valores de % IR fueron utilizados para obtener la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) mediante la siguiente ecuación:

$$RFAi = IR\% \times RAD$$

Donde RAD es la radiación fotosintéticamente activa incidente, la cual fue obtenida afectando a la radiación global (RG) por 0,48 (Monteith, 1973). La RG fue obtenida de la

estación meteorológica automática que se encuentra instalada en el campo experimental donde se realizó el estudio.

$$\text{RAD} = 0,48 \times \text{RG}$$

Una vez obtenidos los datos de las mediciones realizadas de ambas variables se procedió a relacionar las mismas para obtener de esta manera los valores de eficiencia del uso de la radiación (EUR) tanto para los cultivos puros como para los intercultivos.

$$\text{EUR} = \text{MS (Kg/ha)} / \text{RFAi (Mj/m}^2\text{)}$$

Los valores de EUR calculados fueron comparados entre los diferentes tratamientos pudiendo determinar y analizar el comportamiento de los intercultivos en comparación con los cultivos puros.

2.3 Análisis estadístico.

Los datos obtenidos fueron sometidos a ANAVA y en los casos en que los valores de F indicaran diferencias estadísticamente significativas, los promedios se compararon a través del test de LSD Fisher. Se determinó la distribución normal de los residuales y la homogeneidad de las varianzas (Infostat 2008).

Para analizar la producción de biomasa, la radiación fotosintéticamente activa interceptada y la eficiencia del uso de la radiación, se utilizó el modelo lineal de un diseño en franjas, cuyo modelo estadístico responde a un agrupamiento de tres criterios de clasificación.

$$y_{ijk} = \mu + \rho_k + \alpha_i + \gamma_{ik} + \beta_j + \delta_{jk} + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

μ = Media poblacional

ρ_k = Efecto del bloque k (k= 1... r, r=2)

α_i = Efecto del factor combinación de cultivos (i=1...5)

γ_{ik} = Error a (bloque*combinación de cultivos)

β_j = Efecto de la fecha de muestreo (j=1...4)

δ_{ik} = Error b (bloque* fecha)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción entre el nivel i del factor combinación de cultivos y el nivel j de la fecha d muestreo..

ϵ_{ijk} =Error c

CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Datos climáticos.

Las precipitaciones normales históricas y de la campaña 2012-2013 en Río Cuarto para los meses de octubre a mayo se observan en la Figura 3. En el mes de octubre en la primera y segunda década las precipitaciones fueron superiores a las normales, al igual que en la tercera década de noviembre, segunda de diciembre, segunda década de febrero y segunda de marzo. Continuando con el análisis de la figura se observa una gran deficiencia de agua en los meses de enero y febrero, debido a que las precipitaciones normales para estos meses son de 140,1 y 85,6 mm, respectivamente y en la campaña 2012-13 se registraron 76 y 64 mm; es decir un 45,75 y 25,23% inferiores, para cada uno de esos meses. En los meses de octubre y noviembre las precipitaciones fueron superiores respecto a las normales, registrándose 140 y 166 mm, mientras que las precipitaciones normales para estos meses son de 68,9 y 119,5mm; es decir un 103,1 y 38,91% superiores, para cada uno de los meses.

Estas condiciones hídricas negativas expresadas durante el período de mayor evapotranspiración de los cultivos impactaron de manera no favorable en los resultados finales de producción analizados más adelante, haciendo que los promedios de producción no reflejen en forma directa el potencial capaz de alcanzar cada uno de los cultivares en condiciones óptimas de crecimiento.

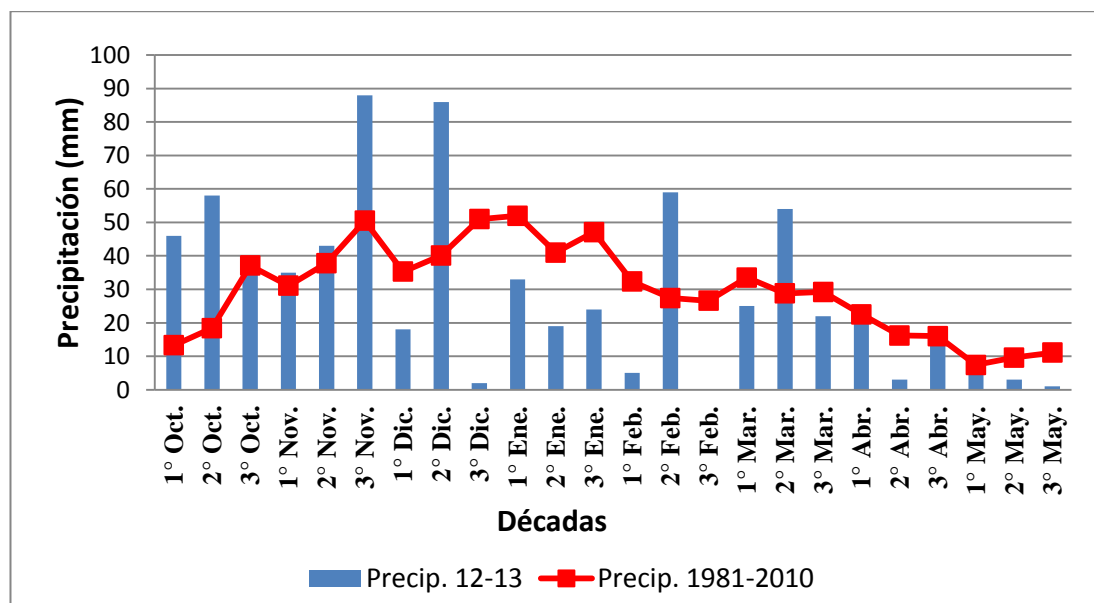


Figura 3. Distribución de las precipitaciones durante la estación de crecimiento en Río Cuarto durante el año 2012-2013 y valores normales históricos (Serie 1981-2010).

Los valores de las temperaturas medias normales historicas y de la estación de crecimiento del cultivo pueden observarse en la figura 4, donde, el mes más cálido durante el ciclo del cultivo fue enero.

Con respecto a los valores de la temperatura media del período analizado se observa que los mismos no varían en gran medida de los valores históricos de la zona, excepto en los períodos de la segunda y tercer década de enero, la primera de febrero, el mes de abril y principios de mayo, donde las temperaturas medias de la estación de crecimiento del cultivo superaron a la media normal historica, por otra parte, en la primera década de noviembre, primera de diciembre y segunda de marzo, las temperaturas medias de la estación de crecimiento del cultivo estuvieron por debajo de la media normal historica, con lo cual se concluye que el año fue normal en cuanto al régimen térmico.

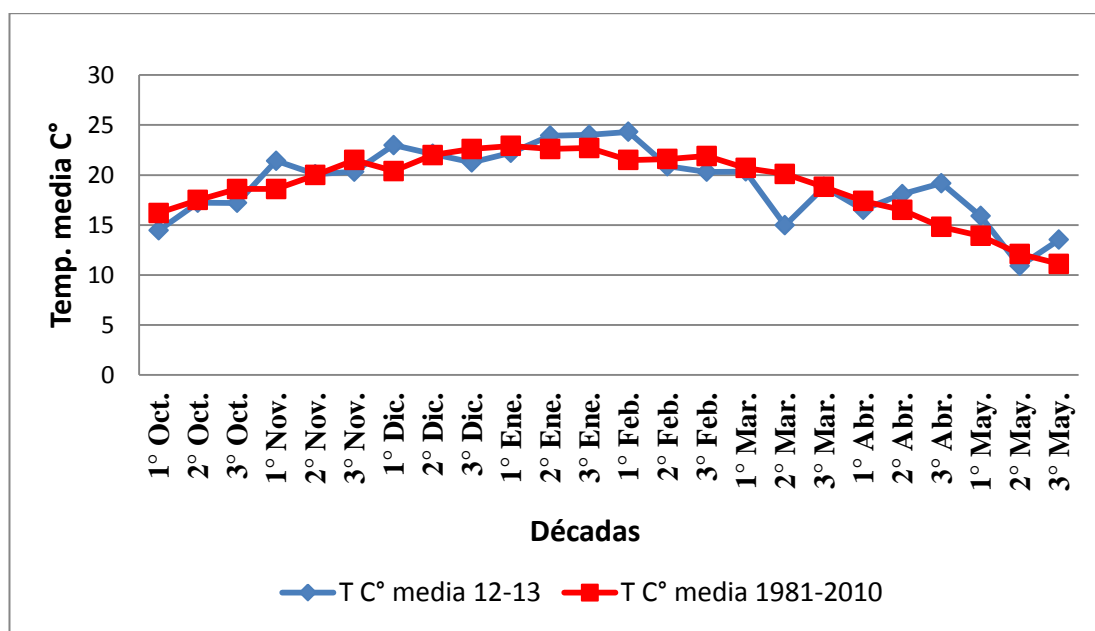


Figura 4. Valores medios decádicos de la temperatura media en Río Cuarto durante el año 2012- 2013 y valores normales históricos (Serie 1981-2010).

La distribución de la radiación fotosintética activa e interceptada estimada entre un 48-49% según (Righini y Grossi Gallegos, 2005), desde octubre 2012 hasta abril 2013, expresada en mj/m^2 puede observarse en la figura 5, donde los meses a destacar son febrero, marzo y abril, ya que durante los mismos se tomaron los datos de RFAi en el ensayo. La radiación fotosintéticamente activa recibida por el cultivo mostró las fluctuaciones características típicas de un año normal para la zona. Durante el mes de marzo los cultivos

dispusieron de menor intensidad lumínica, porque fueron más frecuentes las condiciones de tiempo nublado y precipitaciones.

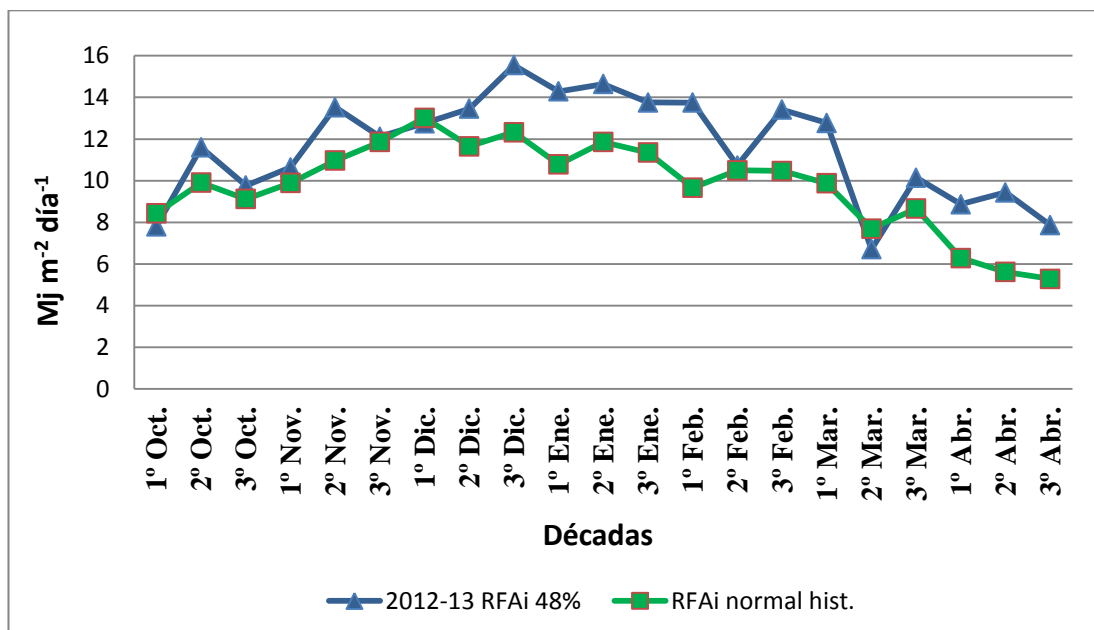


Figura 5. Valores medios decádicos de radiación global diaria de intercultivos de alfalfa con mijo perla y sorgo sudan y sus respectivos monocultivos durante el período de estudio (Río Cuarto, Córdoba, Argentina) durante octubre 2012 hasta abril 2013 inclusive y valores normales históricos.

3.2 Producción de biomasa.

La producción de biomasa fue medida en los cinco tratamientos y durante el período en estudio, en las 6 fechas de corte.

Se observa en la tabla 1 y Figura 6 a un nivel general que los cultivos de sorgo y mijo tuvieron un importante aporte de biomasa a partir del cuarto corte (18/03), se infiere que esto es debido a que hasta entonces, los intercultivos no presentaban diferencia en producción con la alfalfa encontrándose por debajo de los niveles alcanzados por la misma.

A partir del cuarto corte el mijo y el sorgo comienzan a jugar un rol importante en la producción de biomasa, desde aquí los mismos comienzan a cobrar valores más altos en cuanto a esta variable, aportándole gran volumen a los intercultivos e incrementando sus valores, haciendo que se alejen de los niveles de producción que presenta el cultivo de alfalfa en estado puro.

Los valores de biomasa producidos en forma acumulada durante el período analizado demuestran el importante aporte de materia seca que representan las gramíneas con respecto a la alfalfa, ya que los intercultivos arrojaron los valores más elevados, seguidos por los cultivos de mijo y sorgo puros respectivamente y alejados significativamente de los niveles de producción de la alfalfa.

Cabe destacar que la implantación de los cultivos anuales de mijo perla y sorgo sudan que formaron parte de los intercultivos no fue la óptima, lo cual pudo haber afectado el rendimiento de los mismos haciendo que la brecha sea menor y a su vez en la parcela de verdeos puros hubo problemas con el control del cultivo de alfalfa lo cual hizo que los mismos no sean netamente puros dando lugar esto a una posible disminución en el rendimiento de los mismos.

Tabla 1. Producción de biomasa (kg MS ha⁻¹) por corte y acumulada durante el período comprendido entre el 15/02/2013 al 08/04/2013, Río Cuarto, Córdoba.

Trat.	1 ^{er} corte 15/02/13	2 ^{do} corte 26/02/13	3 ^{er} corte 04/03/13	4 ^{to} corte 18/03/13	5 ^{to} corte 26/03/13	6 ^{to} corte 08/04/13	Total acum.
A + S	910,5 a	1001,6 a	546,3 a	1012,9 b	578,8 b	940,6 b	4990,9 a
A + M	825,3 ab	907,9 ab	495,2 ab	1135,9 ab	649,1 ab	1054,8 ab	5068,2 a
Alf. P	936,9 a	1030,6 a	562,2 a	696,5 c	397,9 c	646,7 c	4270,9 c
Sorg. P	592,49 c	651,74 c	355,5 c	1245,02 a	711,44 a	1156,09 a	4712,3 b
Mij. P	679,1 bc	747 bc	407,5 ab	1144,7 ab	654,1 ab	1062,9 ab	4695,4 b
Signif.	0,0032	0,0032	0,0032	0,0001	0,0001	0,0001	0,00165
CV (%)	21,41	21,91	21,91	18,02	18,02	18,01	19,88

Letras distintas indican diferencias significativas entre situaciones, según test LSD Fisher ($p \leq 0,05$); CV: coeficiente de variación.

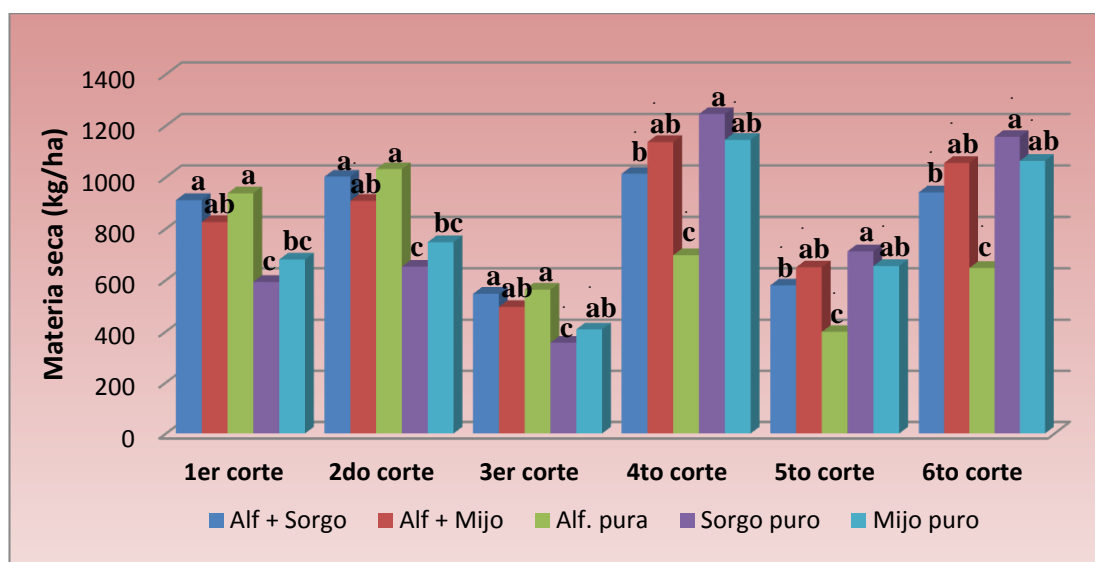


Figura 6. Producción de biomasa (kg MS/ha⁻¹) de intercultivos de alfalfa con mijo perla y sorgo sudan y sus respectivos monocultivos por corte. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Año 2013.

A continuación se presentan trabajos realizados por diferentes autores vinculados a la temática de producción de biomasa en intercultivos de diferentes especies y sus pertinentes cultivos puros.

En un estudio realizado por Pereyra *et al.*, (2007) hallaron que el intercalado de cereales forrajeros de invierno y alfalfa produce entre el 71 y el 83 % de la suma de la

biomasa obtenida de la alfalfa y cereal cultivado solo. La producción de biomasa de los cereales en situaciones de cultivos intercalados no superó en ningún caso el producido por los cultivos de cereales puros.

Resultados distintos encontraron Pereyra *et al.*, (2013), trabajando con intercultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con sorgo sudán (*Sorghum sudanense*) y avena (*Avena sativa* L.), determinaron que la producción de biomasa aérea del intercultivo alfalfa-sorgo fue estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) a la del monocultivo de alfalfa en todos los cortes y en la producción total del ciclo; no logro superar la del monocultivo de sorgo, que no tuvo diferencias significativas en los cortes de enero y abril. El monocultivo de sorgo fue estadísticamente superior ($p \leq 0,05$) al intercultivo alfalfa-sorgo solo en el corte de febrero y en el acumulado. En cuanto al intercultivo alfalfa-avena los resultados mostraron que es posible mejorar la producción total otoño-invierno-primaveral, pero que no se modifica la oferta por corte en relación con un monocultivo de alfalfa, principalmente en invierno.

Por otro lado, trabajando con interseembra de soja intercalada con surcos de sorgo Giambastiani y Mamani, (2008) llegaron a la conclusión que la productividad del sorgo en la hilera de cultivo, tanto en materia seca total (MST) como en materia seca de grano (MSG), fue mayor en los tratamientos de interseembra con una sola hilera de sorgo y a medida que se intersembró con mayor cantidad de hileras de soja. La menor productividad por hilera se dio en el cultivo puro de sorgo. Productividades intermedias se obtuvieron en los sistemas con dos hileras de sorgo apareadas. En soja las mayores productividades en MST y MSG por hilera se obtuvieron en los sistemas con menor presencia de plantas de sorgo. De acuerdo a los resultados obtenidos se afirma que la utilización del sistema de interseembra sorgo-soja como una alternativa al cultivo puro convencional es una opción de manejo que permite lograr una mayor productividad con los mismos recursos, además de mejorar parámetros de sustentabilidad como el balance de carbono.

Analizado esto se concluye que la consociación de alfalfa con una gramínea anual de verano produce en la mayoría de los cortes y en el total acumulado al final del ciclo más materia seca por hectárea que la alfalfa cultivada en estado puro, pero no en todos los casos más que la gramínea en estado puro; no sucede lo mismo en el caso de los intercultivos de alfalfa y gramíneas anuales de invierno, donde no se produce más materia seca aérea que la que producen las dos especies que lo integran sembradas en estado puro.

3.3 Radiación fotosintéticamente activa interceptada.

La radiación fotosintéticamente activa interceptada fue medida en los distintos tratamientos y para las fechas indicadas; con respecto a la misma y a partir de los resultados analizados en la tabla 2 y figura 7 puede observarse que desde un principio adquirió valores elevados en las gramíneas, lo que pone de manifiesto su rápido desarrollo y la elevada capacidad de adquirir altos valores de IAF (Índice de Área Foliar).

Los resultados permiten visualizar que el intercultivo alfalfa + sorgo fue el que logro captar la mayor cantidad de radiación solar durante todo el período analizado, alcanzando los mayores valores de RFAi, por otra parte el intercultivo de alfalfa + mijo también logro valores importantes sobre todo en el tercer y cuarto corte, interceptando cantidades similares de radiación que alfalfa + sorgo.

Por otro lado, la alfalfa hasta el cuarto corte arrojo valores bajos de RFAi, a partir del mismo su IAF se elevó, lo cual le permitió interceptar mayor cantidad de radiación fotosintéticamente activa, superando los valores adquiridos por el sorgo y el mijo en estado puro pero no los de alfalfa + sorgo y alfalfa + mijo.

Con respecto a los valores acumulados durante toda la etapa de evaluación se concluye que los intercultivos fueron los encargados de interceptar la mayor cantidad de radiación global en la muestra, continuando el sorgo y la alfalfa en estado puro y alejado de los valores de los anteriores se encuentra ubicado el mijo también en estado puro.

Tabla 2. RFAi (Mj/m²) por corte y acumulada durante el periodo comprendido entre el 15/02/2013 al 08/04/2013, Río Cuarto, Córdoba.

Trat.	1^{er} corte 15/02/13	2^{do} corte 26/02/13	3^{er} corte 04/03/13	4^{to} corte 18/03/13	5^{to} corte 26/03/13	6^{to} corte 08/04/13	Total acum.
A + S	27,7 a	78,82 a	65,7 a	26,76 a	57,26 a	97,71 a	353,95 a
A + M	21,32 b	70,96 b	62,78 ab	25,92 a	52,41 b	87,6 b	320,99 b
Alf. P	14,01 c	34,75 d	50,75 cd	21,87 b	51,01 b	91,06 ab	263,45 c
Sorg. P	22,64 b	59,12 c	55,71 bc	19,00 bc	39,49 c	71,52 c	267,48 c
Mij. P	21,02 b	52,64 c	47,34 d	17,81 c	30,14 d	49,8 d	218,75 d
Signif.	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
CV (%)	21,94	12,53	11,91	12,66	10,22	9,21	13,08

Letras distintas indican diferencias significativas entre situaciones, según test LSD Fisher ($p \leq 0,05$); CV: coeficiente de variación.

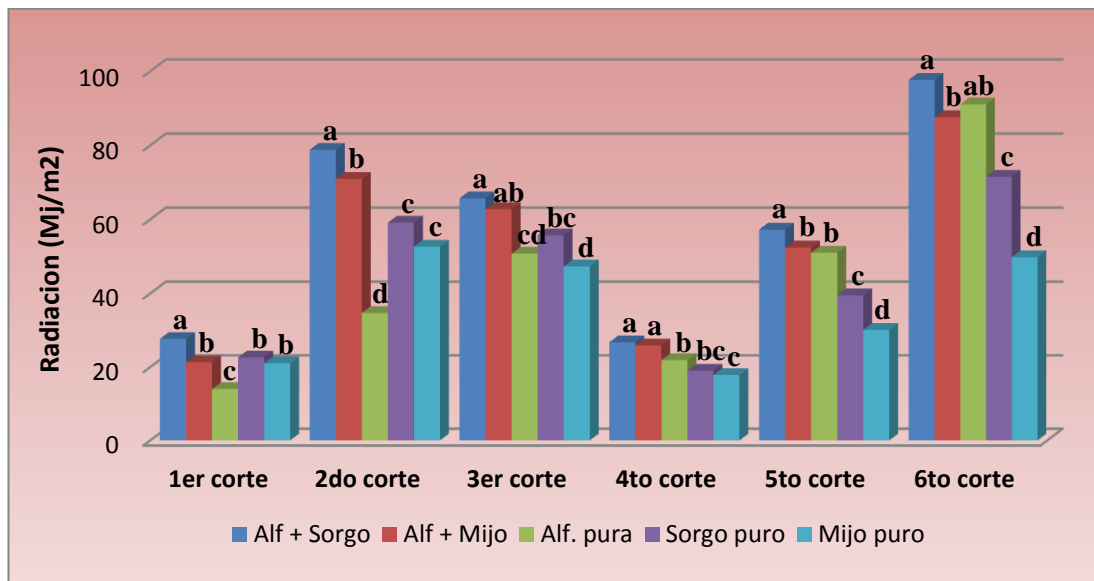


Figura 7. RFAi (Mj/m²) de intercultivos de alfalfa con mijo perla y sorgo sudan y sus respectivos monocultivos por corte. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Año 2013.

Lo analizado anteriormente será comparado a continuación con investigaciones realizadas por distintos autores quienes hacen aportes respecto a la RFAi por intercultivos y cultivos puros de diferentes especies.

Al respecto Díaz *et al.*, (2008) encontraron resultados diferentes, ya que la intercepción de la radiación medida en el estado R1 del maíz y de la soja difirió significativamente ($p < 0.05$). El tratamiento de soja pura alcanzó un 95% de intercepción mientras que el maíz puro un 91%. Con el reemplazo de surcos de soja por surcos de maíz la intercepción de la radiación fue menor. Es importante mencionar que en el análisis por surcos se observó una disminución del 24% del IAF ($p < 0,05$) en el surco de soja adyacente al surco de maíz correspondiente al tratamiento 3x1(M-M-M-S). Los valores de EUR promedio desde emergencia a R₄ del cultivo de maíz fueron de 3.76 g/Mj en maíz y de 2,21 g/Mj en soja. En los demás tratamientos los valores resultaron intermedios, disminuyendo a medida que se incrementa la proporción de soja.

En un estudio realizado por Cambareri *et al.*, (2011) descubrieron que la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el intercultivo soja-trigo fue significativamente mayor que la interceptada por el cultivo de soja puro y que maíz-soja. La eficiencia en el uso de la radiación para producir grano expresada en biomasa (EURG) fue similar entre los intercultivos y superior que en soja pura. La eficiencia en el uso de la radiación expresada en términos energéticos se ordenó $1m:2s \geq 2t:1s \geq SP$. La alta producción de biomasa en el

intercultivo trigo-soja sería el resultado de alta intercepción de radiación junto con una similar EUR que maíz-soja.

La mayor intercepción de radiación en el intercultivo trigo-soja fue el resultado de la mayor exploración de la estación de crecimiento lo que permitió disponer de una mayor cantidad total de radiación incidente. La mayor duración del ciclo del intercultivo maíz-soja respecto de soja pura no resultó en ventajas de intercepción total de radiación dado que la duración del ciclo fue solo levemente mayor y sin ventaja en la máxima de intercepción respecto de soja pura. Los sistemas intercultivados produjeron mayor rendimiento que el cultivo puro de soja, como resultado de (i) mayor intercepción de radiación en el caso del intercultivo trigo-soja y (ii) mayor eficiencia en el uso de la radiación en el caso del intercultivo maíz-soja, en comparación con el cultivo puro de soja.

(Giayetto, *et al.*, 2011) trabajando con intercultivos de soja y maíz en el campo de docencia y experimentación de la FAV-UNRC, utilizando un diseño en franjas, encontraron diferencias en el rendimiento de los intercultivos con respecto a los cultivos puros, diferencias que, estarían relacionadas con cambios en la captura y aprovechamiento de la radiación solar. La arquitectura y porte de la planta de maíz facilitaría una mayor intercepción de luz ya que el rendimiento del mismo en franjas fue un 8% mayor que en el cultivo puro; mientras que la soja en franjas rindió un 19,4% menos que el cultivo puro, siendo estas diferencias significativas sólo en soja. La EUR fue 1,1 y 3,6 kg/ha/Mj en soja y maíz, respectivamente. Con estos valores y el de rendimiento promedio por surco se comprobó que las diferencias en el rendimiento fueron similares a las registradas en la cantidad de radiación interceptada por surco en ambos cultivos, siendo la RFAint el factor determinante de las respuestas del intercultivo en franjas. Se puede inferir entonces que la cantidad diferencial de radiación interceptada durante el ciclo del cultivo, fue el factor determinante de la TCC en los surcos analizados y, por ende, de la producción de biomasa aérea.

Este trabajo permite poner en evidencia que las diferencias en arquitectura de planta que poseen las gramíneas hacen que las mismas incrementen los valores de radiación interceptada, ya sea captura y/o aprovechamiento, factores que serían las causas de los mayores rendimientos de estos cultivos que participaron en los intercultivos gramínea-leguminosa.

3.4 Eficiencia en el uso de la radiación.

En cuanto a la eficiencia en el uso de la radiación se relacionó la producción de materia seca con la radiación fotosintéticamente activa interceptada para los cinco tratamientos en las seis fechas de medición.

En la tabla 3 y figura 8 se observa que hasta la tercer fecha de medición (04/03) la alfalfa como cultivo puro presentaba los valores más elevados de eficiencia en el uso de la radiación, esto debido a que la misma hasta entonces era el cultivo que más producía con los valores más bajos de captación de radiación.

A partir del cuarto corte y hasta finalizar el período de estudio las gramíneas incrementaron los niveles de producción y estabilizaron su valor de IAF, lo que les permitió elevar su eficiencia en el uso de la radiación adquiriendo el mijo puro los valores más elevados, seguido por el sorgo puro, luego los intercultivos y finalmente la alfalfa también en estado puro.

En cuanto a los valores acumulados, se llega a la conclusión que la elevada EUR que adquirió la alfalfa hasta el tercer corte no pudo ser contrarrestada por las gramíneas hasta el final del ejercicio con lo cual el monocultivo de alfalfa finalizó el mismo con el mayor valor, sin diferencias significativas con las gramíneas en estado puro, que permitieron elevar los valores de EUR de los intercultivos, pero no alcanzo para compensar los valores que adquirieron la alfalfa, el sorgo y el mijo en estado puro.

Tabla 3. EUR (KgMS/Mj) por corte y acumulada durante el periodo comprendido entre el 15/02/2013 al 08/04/2013, Río Cuarto, Córdoba.

Trat.	1^{er} corte 15/02/13	2^{do} corte 26/02/13	3^{er} corte 04/03/13	4^{to} corte 18/03/13	5^{to} corte 26/03/13	6^{to} corte 08/04/13	Total Acum.
A + S	33,19 b	12,72 b	8,32 b	38,10 b	10,18 cd	9,64 cd	112,15 b
A + M	39,69 b	12,79 b	7,93 b	44,69 b	12,41 c	12,02 c	129,53 b
Alf. P	77,2 a	35,01 a	11,72 a	32,13 b	7,91 d	7,2 d	171,17 a
Sorg. P	33,4 b	11,25 b	6,37 b	68,98 a	18,25 b	16,38 b	154,63 a
Mij. P	34,22 b	14,57 b	8,72 b	66,42 a	22,89 a	22,71 a	169,53 a
Signif.	0,0004	0,0001	0,0011	0,0001	0,0001	0,0001	0,0002
CV (%)	45,03	39,5	24	26,77	24,59	24,83	30,79

Letras distintas indican diferencias significativas entre situaciones, según test LSD Fisher ($p \leq 0,05$); CV: coeficiente de variación.

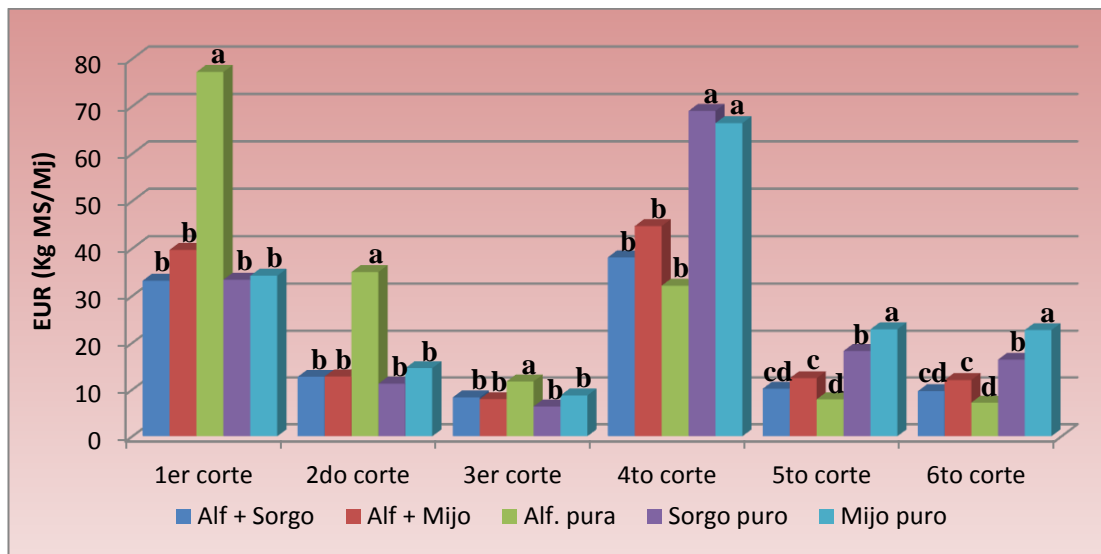


Figura 8. EUR (KgMS/Mj) de intercultivos de alfalfa con mijo perla y sorgo sudan y sus respectivos monocultivos por corte. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Año 2013.

Los siguientes trabajos presentados hacen referencia a distintos intercultivos permitiendo comparar la variable analizada en el presente trabajo.

Un trabajo realizado por Coll, *et. al.*, (2012) les permitió determinar que el intercultivo maíz-soja mejoró la eficiencia en el uso de la radiación en comparación con la media respectiva a los monocultivos; Sin embargo, el maíz cultivado como único cultivo alcanzó la mayor productividad de los recursos, ya que es una especie C₄ (Andrade *et al.*, 1996). El aumento en la EUR para el cultivo intercalado de maíz-soja en comparación con el monocultivo de soja fue el resultado de un aumento en la eficiencia de uso (63% promedio) y de un aumento menor, pero significativo en la eficiencia de captura (13% de media). La mejora en la eficiencia de uso de los recursos es consistente con la mayor eficiencia de uso de la radiación de maíz en comparación con soja. Por el contrario, la mejora de la productividad de radiación para girasol y soja intercalado en comparación con la de los monocultivos era pequeña o nula, ya que estos cultivos presentan similares valores de eficiencia en el uso de radiación y la eficiencia de la captura fue de apenas mejorado por este cultivo intercalado; a pesar de que extendió la duración de los cultivos.

Para Coll, *et. al.*, (2007) analizando dos híbridos de girasol y una variedad de soja intercultivados observaron que la RFAi (Radiación fotosintéticamente activa interceptada) acumulada hasta madurez fisiológica por los mismos resultó ser significativamente superior a la acumulada por los cultivos puros. Por otro lado, al considerar la eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa aérea, sólo el intercultivo en el que participó el

híbrido comercial superó a sus cultivos puros. La soja en cultivo puro captó durante su ciclo más radiación fotosintéticamente activa que la soja de los intercultivos. Esa reducción en la captación de radiación de la soja intercultivada fue compensada parcialmente a través de una EUR (eficiencia en el uso de la radiación) más alta en la soja en intercultivo con el híbrido comercial. Además, la soja en los intercultivos aumentó su índice de cosecha respecto de la soja en cultivo puro. Al considerar la captación de radiación del girasol por separado, el mayor distanciamiento entre surcos del intercultivo produjo reducciones en la RFAi acumulada por los girasoles. En los intercultivos hubo diferencias entre híbridos en la acumulación de RFAi, que no se evidenciaron entre los cultivos puros sembrados a 0,52 m entre surcos. Si bien el híbrido comercial en intercultivo fue el que captó menos radiación fotosintéticamente activa, utilizó la radiación interceptada de manera más eficiente en términos de producción de biomasa que su cultivo puro. Los resultados de este primer año de experimentos indican que el sistema de intercultivo girasol-soja presenta una mayor productividad, explicada en el caso del híbrido experimental por una mayor captación de radiación y en el caso del híbrido comercial, además, por una mayor eficiencia de uso de la radiación.

Comparando esto con los resultados obtenidos en el presente trabajo se puede concluir que, al incorporar una especie C_4 en un sistema de intercultivos estamos aumentando la eficiencia en el uso de la radiación del mismo, a través del incremento en la eficiencia de uso y del aumento, menor, pero significativo de la eficiencia de captura de la radiación. En el caso de intercalar solo especies C_3 las diferencias en cuanto a eficiencia de uso de la radiación y su consiguiente incremento de rendimiento son variables que pueden ser mejoradas solamente alterando la calidad genética de los materiales.

Regresando al estudio de los cultivos de alfalfa, sorgo, mijo y sus respectivas intersiembras, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) promedio durante todo el ciclo se expresa en la tabla 4 y Figura 9. En la misma podemos observar que la EUR fue superior para los cultivos puros que para los intercultivos esto debido a que, los intercultivos incrementaron proporcionalmente más la RFAi que la biomasa producida en comparación con los cultivos de sorgo y mijo puros, con lo cual al realizar el cálculo de EUR es mayor la de los verdes puros que la de sus respectivas intersiembras con la alfalfa.

Tabla 4. EUR (KgMS/Mj) promedio por cultivo durante el periodo comprendido entre el 15/02/2013 al 08/04/2013, Río Cuarto, Córdoba.

	alfalfa + sorgo	alfalfa + mijo	alfalfa Pura	sorgo puro	mijo puro
EUR	18,58	21,27	25,47	23,47	27,08

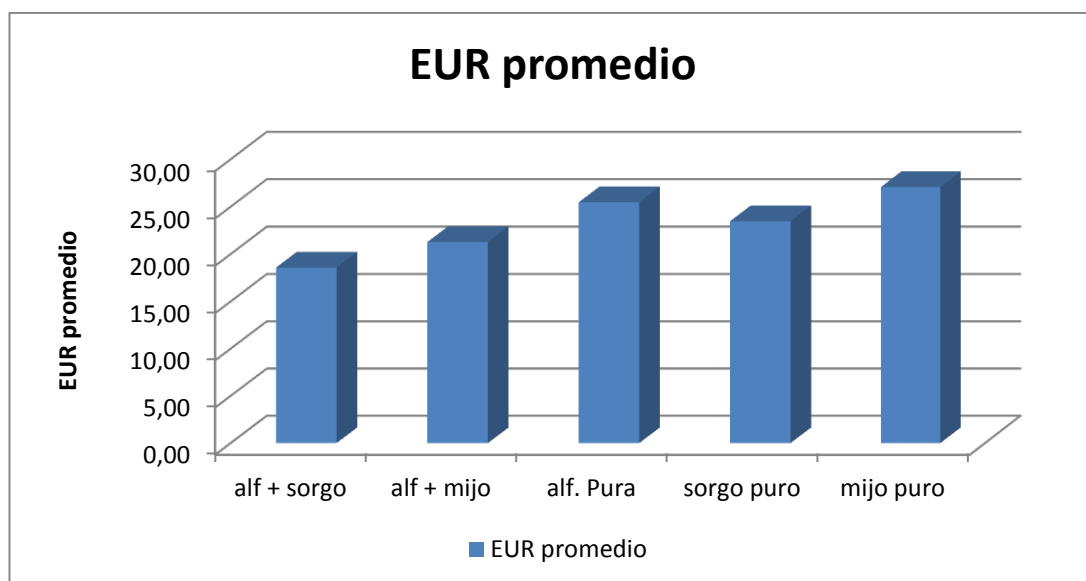


Figura 9. EUR (KgMS/Mj) promedio por cultivo durante el periodo analizado.

CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones más importantes que se extraen del presente trabajo:

- La intersemebra de gramíneas sobre un cultivo puro de alfalfa permitió incrementar la producción de materia seca en el área afectada a los intercultivos, con lo cual el empleo de la técnica permite obtener una mayor cantidad de biomasa por unidad de área.
- La RFAi por parte de los intercultivos es mayor con respecto a los cultivos puros esto debido al rápido desarrollo del sorgo y del mijo y al alto valor de IAF que proporcionan los mismos. El área afectada a la consociación de una gramínea con la leguminosa asegura un mayor sombreado y una mayor captación de radiación solar por parte de la misma.
- Con respecto a la EUR podemos decir que la misma fue creciendo conjuntamente con el desarrollo de las gramíneas debido esto al incremento en el IAF de las mismos, sin embargo los intercultivos no pudieron superar los valores arrojados por los cultivos puros debido a que el incremento acumulado de su producción fue proporcionalmente menor que el crecimiento de la RFAi, lo que provocó que al momento de calcular la EUR esta sea menor.

CAPÍTULO V: POSIBLES LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Todo trabajo de investigación elaborado contribuye a despejar algunas incógnitas sobre el tema tratado pero, de forma simultánea, genera nuevas preguntas, nuevas ideas y/o abre nuevas vías de trabajo. En este apartado se presentan algunas líneas de investigación que pueden ser objeto de interés, atendiendo al trabajo expuesto en el presente trabajo:

- Repetir el experimento para verificar estos efectos en otras condiciones por ejemplo distintos años, diferentes sitios.
- Estudiar la variable implementando 2 fechas de siembra distintas de los verdeos para lograr que el mismo alcance más rápidamente el IAF crítico.
- Evaluar distintos cultivares para el mismo fin de tal modo que la producción sea mayor por parte de los verdeos y de esta forma al calcular la EUR esta se incremente proporcionalmente con los valores de producción.
- Anexar otro verdeo como por ejemplo avena.

CAPÍTULO VI: BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F; A. Cirilo; S. Uhart; y M. Otegui.** 1996 Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La barrosa. 292 p.
- Bricchi, E.** 1996 Relaciones entre la compactación, la morfología y propiedades físicas de un hapludol típico de Río Cuarto. Tesis. Magister en Ciencias de Suelo. UBA. Buenos Aires. 163 p.
- Brizuela, M. A.; A. E. Bernandon, y H. R. Pagliaricci.** 1977 Curva de crecimiento y calidad del mijo perla. *Producción Animal*, 7: 174-183.
- Bruno, O.; L. Romero; M. Gaggiotti, y O. Quaino.** 1992 Cultivares de sorgos forrajeros para silaje. 1. Rendimiento de materia seca y valor nutritivo de la planta. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 12:157-162
- Buxton D. R.; I.C. Anderson; and A. Hallam.** 1998 Intercroppingg sorghum into alfalfa and reed canarygrass to increase biomass yield. *Journal of Production Agriculture* 11(4): 481-486.
- Cambareri M.; L. Echarte; A. Della Maggiora; P. Abbate.** 2011 Rendimiento, biomasa y componentes eco fisiológicos comparados entre intercultivos de soja-maíz, soja-trigo y cultivo puro de soja. Facultad de Ciencias Agrarias, UNMDP, Ruta 226 Km. 73,5; C.C. 276 (7620) Balcarce
- Cantero G. Alberto; Estela Bricchi; Víctor H. Becerra; José M Cisneros, y Horacio Gil.** 1986 Descripción y zonificación de las tierras del departamento Río Cuarto. 1 carta 1:250.000. FAV, UNRC, Río Cuarto. 88p.
- Carcova, J.; L. Abeledo; y M. Lopez Pereira.** 2004 Análisis de la generación del rendimiento: crecimiento, partición y componentes. Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Satorre et al. Editorial de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UBA. Capítulo 6:76-94.

- Cirilo, A. G. and F .H Andrade.** 1994 “Sowing date and maize productivity: I. crop growth and dry matter partitioning”. *Crop Sci.* 34: 1039-1043.
- Coll, L.; A. Cerrudo; R. Rizzalli; J. P. Monzon; y F.H. Andrade.** 2012 Capture and use of water and radiation in summer intercrops in the south-east Pampas of Argentina. INTA-Facultad de Ciencias Agrarias UNMDP, km 73 ruta 226, CP 7620 Balcarce, Argentina. *Field Crops Research* 134 (2012) 105–113.
- Coll, L.; A. Cerrudo; R. Rizzalli; J. P. Monzon; y F.H. Andrade.** 2007 Intercultivo girasol - soja: captación y eficiencia de uso de radiación. Unidad Integrada Balcarce-UIB (Facultad de Ciencias Agrarias-UNMDP / EEA INTA), RN 226, Km 73,5, CC 276, B 7620 BKL, Balcarce.
- Degioanni, A.** 1998 Organización territorial de la producción agraria en la región de Río Cuarto. Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Dpto de geografía. Alcalá Henares. España.
- Díaz, M. G.; W. Kuttel; R. Lopez; O. Caviglia; H. Peltzer; E. Blanzaco.** 2008 Maíz-soja en intercultivo en surcos. *Revista Agromercado maíz* N°145.
- Di Renzo, I.; F. Casanoves; L. Gonzales; E. Tablada; M. Diaz; C. Robledo; y M. Balzarini.** 2008 Estadística para las Ciencias Agropecuarias. Editorial Brujas. ISBN 978-987-591-112-3. Argentina. 356 p.
- Fernández, O. N.; P. Vergara; O. R. Virnolo; y P. Laterra.** 1997 Producción de una pastura polifítica en siembra consociada con verdeo de invierno. *Revista Argentina de Producción Animal* 17 (sup. 1):96.
- GERSolar,** División Física, Departamento Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján, Luján, Buenos Aires, Argentina EN: ASADES: Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 9, 2005. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184.

- Giambastiani, G. y G. Mamaní.** 2007 Intersiembra maíz-maní: efecto de la densidad de siembra del cultivo de maíz sobre la productividad, el balance de carbono y la rentabilidad del sistema. Cereales y Oleaginosas - Fac.Cs.Agropecuarias – UNC –
- Giambastiani, G. y G. Mamaní.** 2008 Efectos de diferentes arreglos espaciales sobre la productividad de la intersiembra sorgo-soja. Departamento de Producción Vegetal, Fac.Cs.Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Av.Valparaíso s/nº - Ciudad Universitaria.
- Giayetto, O.; F.E. Guisasola; F.D. Morla; G.R. Balboa; y G.P. Espósito.** 2011 Intercultivos en franjas de maíz y soja. Efecto de la radiación interceptada. Mercosoja 2011. Departamento Producción Vegetal, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC. Ruta Nacional 36, km 601. 5800-Río Cuarto, Córdoba.
- Jarsún, Bahill; Juan A. Gorgas; Eduardo Zamora; Esmer Bosnero; Edgar Lovera; Andres Ravelo; y José L. Tassile.** 2003 Recursos Naturales de la provincia de Córdoba: Los suelos. Agencia Córdoba D.A.C.y T.S.E.M Dirección de Ambiente, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Manfredi, Córdoba.
- Li, L.,** 2001 Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency. *Field Crops Res.*, 71: 123-137.
- Maddonni, G. A.; and M. E Otegui.** 1996 Leaf area, light interception and crop development in maize. *Field Crops Res.* 48: 81-87.
- Monteith, J.L.;** 1973 *Principles of Environmental Physics.* Arnold, London.
- Montgomery, D. C.** 1991 *Diseño y Análisis de Experimentos.* **Grupo Editorial Iberoamericana,** México.
- Montgomery, D. C., Perk EA, Vining GG.** 2004 *Introducción al análisis de la regresión lineal.* 3a ed. Ciudad de México.
- Morla, F.D.; O. Giayetto; E.M. Fernandez; G.A. Cerioni; M.I.T. Kearney; I. Prack McCormick; M.G. Violante; M.B. Rosso.** 2014 Intercultivos en franjas de maní y

maíz en la provincia de la pampa. Departamento de Producción Vegetal - FAV, Universidad Nacional de Río Cuarto.

Ofori, F. and W. R. Stern. 1987 Cereal-legume intercropping systems. *Adv. Agron.* 41:41-90.

O'connor, K.F. 1976 Lucerne-grass associations under different sowing and defoliation systems, pp, 163-167.

Pagliaricci, H.; M. Sacido; y M.A. Herrero. 2008 Reflexiones sobre la enseñanza de forrajes ante los nuevos escenarios de la producción animal en Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal.* 20 (2):273.

Pereyra, T. W. 2007 Rendimiento relativo de biomasa en intercultivos de alfalfa con cereales forrajeros de invierno. Tesis de Magíster Scientiae. Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

Pereyra, T. W.; H. R. Pagliaricci; A. E. Ohanian; y M. J. Bonvillani. 2013 Producción de biomasa aérea y uso equivalente de la tierra en intercultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Pastos y forrajes*, Vol. 36,2, abril-junio, 177-183.

Pordomingo, A. J. 1995 Consideraciones económicas sobre la alfalfa. (Capítulo 12). En: la alfalfa en la Argentina. INTA. Agro Cuyo. Edit. San Juan. 287 PP.

Righini R. y H. Grossi Gallegos. 2005 Análisis de la correlación entre la radiación fotosintéticamente activa y la radiación solar global en san miguel, provincia de buenos aires.

Rosati, A.; and T. DeJong. 2003 Estimating photosynthetic radiation use efficiency using incident light and photosynthesis of individual leaves. *Annals of Botany*, 91: 869-877.

Rosso M.B.; G.A. Cerioni; O. Giayetto; E.M. Fernandez; F.D. Morla; M.IT. Kearney; M.G. Violante; y V. Barbero. 2014 Intercultivos en franjas de maní y maíz en secano y bajo riego en Río Cuarto, Córdoba. 1-Departamento Producción Vegetal, 2-Departamento Biología Agrícola, FAV-UNRC.

- Scatamburlo, J. L.** 1981 Origen de los sorgos perennes. Trabajo presentado para su publicación en la carpeta de Disherbiología. 2 pp.
- Sinclair T. R and R.C. Muchow.** 1999 Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65: 215-265.
- Utts, Jessica M.** 2005 Seeing Through Statistics 3rd Edition, Thomson Brooks/Cole. pp 166-167. ISBN 0-534-39402-7
- Vartha, E.W.** 1976 Management of lucerne overdrilled with “Grasslands Tama” westerwolds ryegrass on irrigated Wakanui silt loam. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture Research* 4:317-320.
- West, T.D. and D.R. Griffith.** 1992 Effect of strip-intercropping corn and soybean on yield and profit. *Journal of Production Agriculture*, 5:107-110.

CAPÍTULO VII: ANEXO



Siembra cultivos de verano sobre pastura de alfalfa.



Intercultivos de alfalfa con sorgo forrajero y mijo perla.





Toma de muestras de radiación.

