

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE DIFERENTES PROPORCIONES DE PASTURAS
DENTRO DE LAS ROTACIONES EN LA PRODUCCIÓN DE SORGO DULCE

por

Juan Ignacio GRASSO

Juan Pablo GABRIELLI

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2016

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Guillermo Siri-Prieto

Ing. Agr. Oswaldo Ernst

Ing. Agr. Mauricio Bustamante

Fecha:

04 de junio de 2016

Autores:

Juan Ignacio Grasso

Juan Pablo Gabrielli

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia queremos agradecer a nuestras familias por el apoyo y compañía constante.

A el Ing. Agr. Guillermo Siri por participar y ayudar con la elaboración del presente trabajo en grado de tutor y guía.

A nuestros amigos y compañeros por acompañarnos en esta etapa.

A la Lic. Sully Toledo, por su buena disposición y aportes en la corrección del documento.

TABLA DE CONTENIDO

| | Página |
|---|--------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN | II |
| AGRADECIMIENTOS..... | III |
| LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES..... | VI |
| 1. <u>INTRODUCCIÓN</u> | 1 |
| 2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> | 3 |
| 2.1. SORGO CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE | 3 |
| 2.1.1. <u>Ubicación taxonómica del cultivo</u> | 3 |
| 2.1.2. <u>Características morfológicas del sorgo</u> | 4 |
| 2.1.2.1. Macollaje | 4 |
| 2.1.2.2. Altura | 4 |
| 2.1.2.3. Tallo | 4 |
| 2.1.2.4. Pedúnculo | 5 |
| 2.1.2.5. Hojas..... | 5 |
| 2.1.2.6. Raíces..... | 6 |
| 2.1.3. <u>Requerimientos hídricos del sorgo</u> | 6 |
| 2.1.4. <u>Constituyentes de números de tallos por unidad de superficie</u> | 7 |
| 2.2. ROTACIONES | 8 |
| 2.2.1. <u>Sustentabilidad</u> | 8 |
| 2.2.2. <u>Rotación</u> | 9 |
| 2.2.3. <u>Características de las pasturas en rotación</u> | 11 |
| 2.3. CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO | 11 |
| 2.3.1. <u>Flujos de carbono orgánico del recurso suelo</u> | 12 |
| 2.4. RELACIÓN ENTRE EL CARBONO Y EL NITRÓGENO..... | 13 |
| 2.5. ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS | 14 |
| 2.6. INFILTRACIÓN..... | 15 |
| 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> | 16 |
| 3.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO | 16 |
| 3.2. EXPERIMENTO | 16 |
| 3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL | 17 |
| 3.4. TRATAMIENTO | 17 |
| 3.5. MANEJO..... | 19 |
| 3.6. DETERMINACIONES | 19 |
| 3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... | 20 |
| 3.7.1. <u>Hipótesis biológica</u> | 20 |
| 3.7.2. <u>Hipótesis estadística</u> | 21 |

| | |
|--|----|
| 3.8. CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE LOS PERÍODOS DE CULTIVOS | 22 |
| 3.8.1. <u>Precipitaciones</u> | 22 |
| 3.8.2. <u>Temperatura</u> | 24 |
| 4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u> | 26 |
| 4.1. NÚMERO DE TALLOS | 26 |
| 4.1.1. <u>Efecto años sobre el número de tallos</u> | 26 |
| 4.1.2. <u>Interacción años y tratamientos</u> | 28 |
| 4.2. RENDIMIENTO EN BIOMASA | 29 |
| 4.2.1. <u>Efecto año sobre rendimiento en biomasa</u> | 29 |
| 4.2.2. <u>Efecto tratamiento rendimiento en biomasa</u> | 30 |
| 4.2.3. <u>Producción de raíces para los diferentes tratamientos</u> | 32 |
| 4.2.4. <u>Interacción año y tratamiento</u> | 33 |
| 4.3. PESO DE TALLOS LIMPIOS..... | 34 |
| 4.3.1. <u>Efecto año sobre el peso de tallos limpios</u> | 35 |
| 4.3.2. <u>Efecto tratamiento sobre peso tallo limpio</u> | 36 |
| 4.3.3. <u>Interacción entre años y tratamientos para peso de tallo limpio</u> | 38 |
| 4.4. PESO INDIVIDUAL DE TALLOS | 39 |
| 4.4.1. <u>Efecto año sobre peso individual de tallos</u> | 39 |
| 4.4.2. <u>Efecto tratamiento sobre peso individual de tallos</u> | 40 |
| 4.4.3. <u>Interacción entre años y tratamientos sobre el peso individual de tallos</u> | 42 |
| 4.5. DIÁMETRO Y ALTURA DE LA PLANTA | 43 |
| 4.5.1. <u>Diámetro</u> | 44 |
| 4.5.2. <u>Altura</u> | 45 |
| 4.6. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN | 46 |
| 4.6.1. <u>Efecto año sobre porcentaje de extracción</u> | 46 |
| 4.7. RENDIMIENTO EN JUGO/HA..... | 47 |
| 4.7.1. <u>Efecto año sobre rendimiento en jugo</u> | 48 |
| 4.7.2. <u>Efecto tratamiento sobre rendimiento en jugo</u> | 49 |
| 4.8. CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES EVALUADAS..... | 50 |
| 4.9. COMPONENTES DE RENDIMIENTO..... | 52 |
| 5. <u>CONCLUSIONES</u> | 53 |
| 6. <u>RESUMEN</u> | 54 |
| 7. <u>SUMMARY</u> | 55 |
| 8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> | 56 |
| 9. <u>ANEXOS</u> | 59 |

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

| Cuadro No. | Página |
|---|--------|
| 1. Rotación SCsc..... | 17 |
| 2. Rotación SCcc..... | 17 |
| 3. Rot. 2 años..... | 18 |
| 4. Rot. 4 años..... | 18 |
| 5. Significancia de los análisis de varianza..... | 21 |
| 6. mm pluviales en floración..... | 23 |
| 7. Producción teórica de raíces expresado en mega gramos de MS/ ha para cada tratamiento..... | 32 |
| 8. Peso de tallo limpio según tratamiento..... | 37 |
| 9. Datos promedios para los distintos tratamientos, y significancia entre los mismos..... | 43 |
| 10. Correlaciones entre variables medidas en el experimento de largo plazo.. | 50 |
| 11. Referencia tabla 10..... | 51 |

Figura No.

| | |
|---|----|
| 1. Requerimiento hídrico del sorgo según etapa de desarrollo..... | 7 |
| 2. Precipitaciones acumuladas en el período de cultivo para los 3 años evaluados..... | 22 |
| 3. Precipitaciones acumuladas por estadio de desarrollo..... | 23 |
| 4. Acumulaciones térmicas con temperatura base 10°C..... | 24 |
| 5. Temperaturas promedio para los años evaluados..... | 25 |
| 6. Tallos promedio de todos los tratamientos diferenciados por año..... | 27 |
| 7. Número promedio de tallos/m ² diferenciados por tratamiento dentro de cada año..... | 29 |
| 8. Rendimiento MF, promedio de tratamientos expresados en (Mg/ha) de los tratamientos presentados por año..... | 30 |
| 9. Rendimiento MF, promedio de los años diferenciados por tratamiento Mg/ha..... | 31 |
| 10. Rendimiento MF expresado en Mg/ha para cada año diferenciado por tratamiento..... | 34 |
| 11. Relación entre las variables peso tallo limpio y peso tallo completo con hojas y panoja..... | 35 |
| 12. Rendimiento promedio MF de tallos limpios para cada año (Mg/ha)..... | 36 |
| 13. Comparación producción teórica de raíces con peso promedio de tallo limpio real diferenciado por tratamiento y expresado por año..... | 37 |

| | |
|--|----|
| 14. Pesos promedios de tallos limpios diferenciados por año y tratamiento (Mg/ha) | 38 |
| 15. Pesos medios de los tallos individuales diferenciados según año..... | 39 |
| 16. Peso individual de tallos diferenciados por tratamientos | 41 |
| 17. Interacción año-tratamiento para peso individual de tallo agrupados por año y expresado en Kg..... | 43 |
| 18. Diámetros tallos promedios de tratamientos diferenciados por año expresados en cm | 45 |
| 19. Altura tallos, promedio de los tratamientos diferenciados por año expresados en mts | 45 |
| 20. % promedio de extracción de jugo del peso tallo limpio, diferenciados por año | 47 |
| 21. Megagramos de jugo/ha promedio de experimentos diferenciadas para cada año de evaluación..... | 48 |
| 22. Megagramos de jugo/ha promedio de años, diferenciados por tratamiento..... | 49 |
| 23. Componentes de rendimiento..... | 53 |

1. INTRODUCCIÓN

Debido al incremento constante en el uso de energía de origen fósil, se han venido desencadenado consecuencias tanto sobre el medio ambiente como sobre las reservas de estas fuentes de energía, indispensables para la vida y la producción de alimentos en una población mundial en activo crecimiento y desarrollo.

Por ser un recurso limitado y de alta dependencia, además de las consecuencias nocivas para el ambiente, es que se plantea la búsqueda de fuentes alternativas para la producción de energía, como lo es el etanol de origen vegetal, producido a partir de la fermentación anaerobia de biomasa vegetal.

Se considera energía renovable la procedente de la materia orgánica vegetal debido a la característica de ser formada en un proceso inmediato a partir de la capacidad fotosintética de las plantas para producir la misma, teniendo como principal requisito energía solar en última instancia.

La combustión de la materia orgánica previamente obtenida por el proceso fotosintético genera como producto final básicamente 3 componentes; dióxido de carbono, agua y la energía liberada de los enlaces pertenecientes a los componentes orgánicos. La capacidad de utilizar esta energía es la cual otorga la categorización como biocombustibles, éstos pueden presentarse en diferentes estados de la materia pudiendo ser sólidos para la obtención de calor (fines térmicos) o la utilización de éstos para la producción de energía eléctrica, los biocombustibles líquidos son principalmente producidos como biocarburantes.

Dentro del abanico de posibilidades para la producción de energía a partir de biomasa vegetal, Uruguay centra su atención en realizarlo a partir de sorgo dulce (*Sorghum bicolor*) ya que sus características frente a otros cultivos, lo harían una excelente alternativa para las condiciones agroclimáticas de producción en este país.

No menos importante es tener en cuenta que además de ser una alternativa energética, este cultivo permite realizar una utilización sustentable del recurso suelo debido a la incorporación de materia orgánica en el perfil del mismo en comparación con otros cultivos, aunque debido al tipo de cosecha requerida, la cual no dejaría una cobertura sobre el suelo, podríamos tener problemas de erosión por escorrentía y oxidación de la materia orgánica o un

empobrecimiento del horizonte A debido a la poca biomasa remanente sobre el perfil del suelo.

Para poder determinar la viabilidad de la alternativa, se planteó una línea de experimentos realizados en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, monitoreando la producción en biomasa producida para diferentes intensidades de sorgo dulce en diferentes rotaciones con y sin pasturas.

Se analiza el volumen producido de biomasa porque se considera un reflejo del recurso afectado (suelo).

Se plantea estudiar el rendimiento y sus componentes del sorgo en diferentes secuencias de agricultura-pastura de diferente intensidad.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La buena capacidad de adaptación a condiciones adversas para la producción (rusticidad) que presenta el sorgo le otorga una ventaja frente a los otros cultivos para la obtención de etanol en nuestro país. El cultivo se destaca por la alta tolerancia a la sequía, alta eficiencia en la utilización del nitrógeno y una excelente eficiencia fotosintética, características asociadas a las plantas con metabolismo c4 como lo es el material objetivo de análisis sorgo (Siri, 2004).

Además de poseer una alta concentración de azúcares lo cual le adjudica su clasificación como cultivo energético, el sorgo dulce también puede ser clasificado como un cultivo multifuncional de alto potencial, debido a su alta productividad por hectárea. Este puede ser empleado para diversos factores como la obtención de energía a partir de los residuos generados al obtener el jugo (bagazo), la utilización de la fibra para la obtención de papel, etc. Estas características son logradas debido a la calidad y cantidad de la fibra obtenida de sus tallos, además posee una buena articulación en el ámbito productivo pecuario debido a que es utilizado como fuente de alimento animal, ya que aporta altos volúmenes de materia seca por unidad de superficie.

El sorgo es una gramínea originaria de los trópicos de América, África y Asia, donde aún es posible diferenciar especies silvestres. La base del material genético hoy en día utilizado para la producción, fue obtenida del trópico africano pudiéndose diferenciar el género de *Sorghum bicolor* L. Moench también llamado *Sorghum vulgare* (León, 1987).

2.1. SORGO CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESPECIE

2.1.1. Ubicación taxonómica del cultivo

La ubicación taxonómica del sorgo es la siguiente:

- Familia Gramineae.
- Subfamilia Panicoidae.
- Tribu andropogoneae.
- Genero Sorghum.
- Nombre científico *Sorghum bicolor*.
(Siri, 2004).

2.1.2. Características morfológicas del sorgo

2.1.2.1. Macollaje

La capacidad de macollar del sorgo está definida por la variedad (Doggett, citado por Lovett y Lazemby, 1979), la densidad de población, la temperatura (Downes, citado por Lovett y Lazemby, 1979), fotoperíodo, vigor inicial de la plántula, humedad y fertilidad del suelo como factores ambientales (Siri, 2004).

Algunos autores consideran la capacidad de macollar como un mecanismo de perennidad al producir macollos tardíos (Siri, 2004).

2.1.2.2. Altura

La altura de la planta se correlaciona con el período de madurez ya que éste determina el número de nudos que será igual al número de hojas producido, y estos nudos son los principales en determinar la altura. Ésta puede variar de 45 centímetros a más de 4 metros lo cual es de gran ayuda a la hora de clasificar los diferentes materiales (Siri, 2004). León (1987) describe una variación aun mayor donde reporta sorgos de hasta 9 metros de altura y un mínimo en variedades enanas de 50 centímetros.

Además el largo de los entrenudos, el pedúnculo y la panícula también contribuyen con la altura total, lo cual está determinado genéticamente (Doggett, citado por Siri, 2004).

2.1.2.3. Tallo

Presenta tallo erecto y sólido el cual puede tener jugo o no y en el caso de presentar jugo éste puede ser dulce o insípido.

En los sorgos evaluados para la producción de energía se busca la característica de jugo dulce a diferencia de los cultivos para grano que no presentan jugo o es insípido.

El tallo se fracciona en nudos en los cuales se presentan yemas las cuales pueden desarrollarse o no, en el caso de hacerlo éstas pueden formar raíces si se encuentran próximas al suelo o macollos si son de las yemas basales (Siri, 2004).

2.1.2.4. Pedúnculo

Si bien la longitud del pedúnculo está determinada genéticamente, ésta se ve fuertemente alterada por factores ambientales como el déficit hídrico.

El largo del pedúnculo también se correlaciona con la sanidad del cultivo, de tal manera cuanto más largo es el pedúnculo menos susceptible será la parte inferior de la panoja frente a insectos y hongos (Compton, 1990).

2.1.2.5. Hojas

El número de hojas está determinado por el cultivar y se ve afectado por el largo de la estación de crecimiento, pudiendo variar entre 6 y 30 hojas, pero cultivares bien adaptados suelen variar entre 14-17 hojas (House, 1985).

El arreglo de las mismas sobre el tallo es generalmente opuesto, la hoja bandera se sitúa en una orientación independiente determinada por la orientación azimutal de las hileras (Lugg et al., citados por Siri, 2004). Esta disposición de las mismas determina que no haya superposición de las hojas por lo cual se aprovecha mejor la luz incidente con un alto número de individuos por área.

Los estomas se ubican en ambos lados de la lámina en disposición de fila sencilla o doble, presentan una rápida respuesta al estímulo por estrés ambiental (Lovett y Lazemby, 1979). La buena tolerancia al déficit hídrico en sorgo se ve explicado por el comportamiento estomático, ya que los estomas permaneces abiertos aún bajo condiciones severas de déficit hídrico. Además según House (1985) la presencia de células motoras sobre la lámina permite el enrollamiento de éstas en lugar de marchitarse como ocurre en otras especies.

2.1.2.6. Raíces

El sistema radicular del sorgo puede dividirse en dos etapas, la primera sería el desarrollo de una raíz temporal que refiere a la raíz seminal generada desde la radícula la cual es responsable del establecimiento de la plántula.

La segunda etapa corresponde al desarrollo de raíces fibrosas las cuales son permanentes y se originan a partir de los nudos inferiores del tallo y coleoptile. A su vez tanto la raíz primaria como las adventicias desarrollan raíces laterales las cuales son considerablemente más pequeñas y de espesor cuasi uniforme en su longitud (Wall y Ross, citados por Siri, 2004).

Según Nakayama y Van Bavel, citados por Siri (2004), la absorción de agua y nutrientes se da en un radio de 40 centímetros de la hilera y una profundidad de 90 centímetros, donde se desarrolla el 90% de la actividad radicular de la especie.

El sorgo es la especie con mayor superficie radicular por medida de volumen, por lo cual determina una intensa exploración de suelo justificado por su gran producción de ramificaciones de la raíz más que por el peso de las mismas en comparación con el maíz (House, 1985).

También Maiti, citado por Compton (1990) afirma que el desarrollo radicular se da el 80% en los primeros 30 centímetros pero que alcanza una profundidad de 1,3 metros.

2.1.3. Requerimientos hídricos del sorgo

Si bien se conoce como el sorgo es una de las especies con mayor adaptación a las condiciones adversas en cuanto a déficits hídricos, éste tiene ciertas etapas de desarrollo en las cuales son determinantes un mínimo de agua disponible para maximizar la producción. Donde cobra mayor relevancia la distribución de la lluvia a lo largo del cultivo que el total de milímetros en sí.

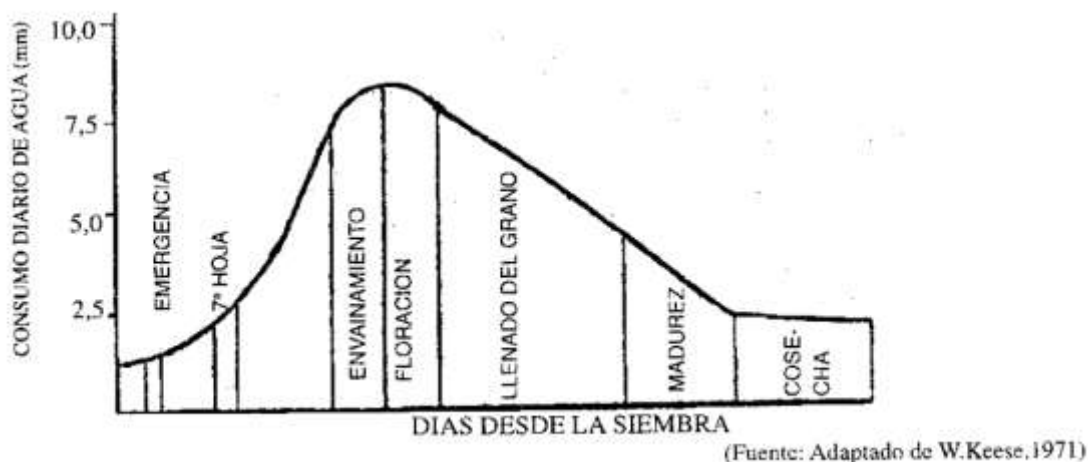


Figura No. 1. Requerimiento hídrico del sorgo según etapa de desarrollo (Siri, 2004).

De esta figura se desprenden los períodos críticos para la producción de sorgo los cuales se centran en torno a la floración y envainamiento, registrando requerimientos superiores a los 7,5 mm de agua diarios (Siri, 2004).

2.1.4. Constituyentes de números de tallos por unidad de superficie

Número de plantas: el número de plantas establecidas o logradas depende de varios factores: manejo (época y profundidad de siembra, plagas, densidad, etc.), calidad de semilla (germinación, vigor, etc.) y ambientales (temperatura y humedad).

La temperatura mínima de germinación es 10°C para el sorgo pero el rango óptimo es de 18-21°C, el porcentaje de humedad es 40-50% de la capacidad de campo es donde se logra el máximo porcentaje de implantación viéndose perjudicados tanto por excesos como por déficits (Siri, 2004).

Macollaje: la producción de macollos se ve condicionada por varios factores como lo son, el material genético, la población, la temperatura, humedad, fertilidad del suelo y fotoperíodo (Medina, 2012).

El número final de macollos establecidos se determina cuando la sexta hoja se encuentra completamente desarrollada (v6), la formación de macollos se ve estimulada por: bajas temperaturas, buena disponibilidad de nitrógeno,

agua, baja relación rojo/rojo lejano en el tipo de radiación y puede presentar variaciones dentro de cada genotipo (Medina, 2012).

La producción de macollos para el sorgo está muy correlacionada con el coeficiente fototermal (PTQ), a mayor temperatura se aumenta la tasa de desarrollo del cultivo determinando un menor número de macollos, en contraposición el número de éstos se ve estimulado a su aumento cuando se genera un excedente de foto asimilados producidos por una mayor cantidad o calidad de radiación y menor temperatura que disminuye las tasa de desarrollo (Kim et al., 2010).

2.2. ROTACIONES

Debido a la búsqueda de sustentabilidad en la agricultura mediante la incorporación de pasturas en las secuencias de cultivos agrícolas, consideramos relevante realizar una pequeña mención al término de sustentabilidad, ya que éste puede ser considerado a diferentes niveles pudiendo escapar del objetivo de estudio.

2.2.1. Sustentabilidad

La definición del término ha evolucionado a lo largo del tiempo, actualmente según la declaración de Río de Janeiro, en 1992, el concepto debe cumplir con 3 pilares. Ecológicos, económicos y sociales.

Ecológicos: mantener las características del sistema de tal manera que aseguren su persistencia en el largo plazo.

Económicos: ser capaz de generar los ingresos necesarios como para garantizar la continuidad de la actividad en un manejo sostenible de recursos.

Sociales: los beneficios y los costos generados por la actividad deben distribuirse equitativamente en la sociedad.

Claro está que estos pilares no pueden ser todos aplicados al mismo nivel jerárquico, por lo cual el estudio en cuestión se basará principalmente en

el aspecto ecológico, el cual hace mayor referencia a las propiedades edáficas de potreros e indicadores de productividad del suelo.

2.2.2. Rotación

Secuencia de cultivos programada en el tiempo y espacio.

Debido a las características edáficas y agroclimatológicas del Uruguay es necesario realizar secuencias de cultivos combinados con pasturas, para de esta manera poder mantener las condiciones productivas del recurso no renovable, en este caso suelo.

En 1950 donde la agricultura se caracterizaba por ser continua con laboreo, lo cual produjo deterioros en el recurso suelo, se buscaron nuevas tecnologías para la conservación del mismo y poder mantener un recurso productivo en el tiempo, para esto se desarrollaron líneas de investigación donde se incluían fases de pasturas perennes en la secuencia de cultivos (Morón, 2003a).

En 1970 ya se considera una tecnología adoptada por los predios del Uruguay justificando su buena adopción principalmente por 4 motivos:

- La degradación del recurso suelo tras secuencias continuas de cultivos bajo laboreo convencional se ve reflejada en una pérdida de productividad, la cual se ve reducida tras la inclusión de una fase de pasturas mixtas.
- Mayor productividad de los cultivos siguientes a la fase de pasturas.
- Reducción de fertilización nitrogenada.
- Se agrega estabilidad al sistema dado que aumenta la producción animal pudiendo amortiguar variaciones climáticas como económicas justificado por la diversidad de rubros en el predio.

García Préchac (2003) también afirmó que la inclusión de pasturas, corta los ciclos de enfermedades y plagas en cultivos.

Otorga ventajas del tipo de control cultural donde se mantiene una reserva de enemigos naturales, los cuales contribuyen a una mejor condición sanitaria de los cultivos y pasturas (Ribeiro y Zerbino, 2000).

La fase cultivos determina un deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo además de acelerar su ritmo de erosión reduciendo su productividad. Si el ciclo de cultivo se interrumpe con la siembra de una pastura, en cierta medida se está volviendo a la situación original (previa a la etapa de cultivos); ésta es la principal razón de los beneficios derivados de la rotación de cultivos con pasturas en términos de productividad del recurso suelo (García Préchac, 1992).

La inclusión de pasturas en las secuencia de cultivos en nuestro país data desde 1970 ya que antes de esta fecha se manejaban sistemas de agricultura continua con laboreo convencional. Bajo estas características se vio un marcado deterioro del recurso suelo, por lo cual fue necesario incorporar tecnologías que reestructuraran y reincorporaran algo a este recurso. Hoy en día se considera una de las características principales de nuestros sistemas de producción la incorporación de pasturas perennes o de cobertura dentro de las secuencias de cultivos anuales (Ernst, 2000).

También Ernst y Siri (2009) afirman que la adopción de esta forma de producción se explica por las ventajas en rendimiento de los cultivos y el funcionamiento del sistema de producción. Similares resultados fueron reportados por Fernández (1992) al analizar rotaciones con y sin pasturas de larga duración.

La rápida inclusión de esta tecnología por los predios se justifica por las ya conocidas líneas de investigación donde no solo muestran que se mantiene el nivel productivo del recurso en cuestión, sino que además aumenta la performance de los otros rubros del predio como la ganadería donde se aprovecha la fase de pasturas mostrando de esta manera un aumento de los ingresos de los predios, aumentando la sustentabilidad tanto en los marcos ecológicos como económicos y la estabilidad del sistema como predio, siendo de principal argumento los rápidos resultados económicos mostrados (Ernst, 2000).

Otras consideraciones que se deberían realizar dentro de la incorporación de rotaciones según García Préchac (2003) es la consecuencia de las mismas a largo plazo como se comprobó en una larga línea de investigación de 40 años donde se reveló una mayor productividad y estabilidad a lo largo del experimento. El otro punto citado en el mismo artículo es la

disminución en los requerimientos de agroquímicos y combustibles en las rotaciones en comparación con un predio 100% agrícola, debido a que durante la fase de pasturas se reduce la incorporación de agentes externos para mantener la productividad, suponiendo que el 50% del tiempo o área se encuentre bajo pasturas el consumo de estos productos mencionados correspondería a la mitad.

2.2.3. Características de las pasturas en rotación

La utilización de pasturas perennes en las rotaciones agrícolas tiene 2 pilares fundamentales, uno de ellos es que no se generan tiempos de suelo desnudo durante el año por lo cual se reduce el riesgo de erosión por escorrentía y/o adversidades climáticas. Además según reportaron Bolinder et al. (2007) la producción de raíces de una pastura anual frente a una perenne es muy reducida, registrando valores de relación parte aérea/raíz de 1,5 para perennes y 6 para cultivos anuales. Por lo cual la incorporación de material en el perfil del suelo es considerablemente menor por los cultivos frentes a praderas plurianuales.

Otro punto a considerar dentro de las rotaciones donde se mantiene una cobertura ya sea viva o muerta, son los factores microclimáticos que se generan sobre el perfil, lo cual genera un ambiente más propicio para el desarrollo o conservación de los microorganismos en el suelo, ya que con una cobertura se ven disminuidas las variaciones de temperatura y humedad sobre el perfil. Los microorganismos cobran un papel fundamental sobre el secuestro de carbono o descomposición de los restos vegetales otorgando más rápidamente condiciones propicias para el desarrollo vegetal siguiente (Robert, 2002).

2.3. CARBONO ORGÁNICO DEL SUELO

En condiciones naturales el nivel de materia orgánica presente en el suelo es función del material madre, tiempo, topografía, vegetación y clima (Morón, 2001). Esto determina 2 formas de carbono, orgánico e inorgánico. El carbono inorgánico se encuentra principalmente en formas estables como CaCO_3 (Robert, 2002). En cambio el carbono orgánico se encuentra en los residuos orgánicos de los vegetales, animales y micro organismos, éstos se

presentan en forma de humus o formas muy condensadas de composición próxima al carbono elemental (Jackson, citado por Acevedo et al., 2008).

El 69,8% del carbono presente en la biósfera se encuentra como orgánico incorporado en el suelo actuando como fuente o reservorio de carbono dependiendo su uso. Las salidas del sistema son emisiones de CO₂ por mineralización de la materia orgánica, erosión y lixiviación. Además en condiciones aeróbicas gran parte del carbono lábil incorporado al suelo se mineraliza por lo cual deja de ser parte orgánica del suelo sin poder formar humus y se pierde como CO₂.

Las entradas de carbono al sistema están dadas por la incorporación de material vegetal y residuos de animales.

2.3.1. Flujos de carbono orgánico del recurso suelo

El número de años de agricultura, los cultivos, el tipo de laboreo, las rotaciones, el manejo del cultivo, la fertilización, los períodos de barbecho, etc. afectan el contenido de carbono orgánico del suelo.

En general la inclusión de pasturas en la rotación mejora el balance de carbono, tanto por la calidad de los residuos como por la cantidad debido a una mayor cobertura del suelo (García Préchac, 2003).

Sawchick (2001) afirmó que la pérdida de carbono orgánico generada por agricultura continua a largo plazo, es debido al bajo retorno de residuos asociados a la baja productividad de los cultivos, la alta intensidad de laboreo y la erosión generada. Esta baja se ve contrarrestada con la inclusión de pasturas en la secuencia agrícola manteniendo los valores cercanos a los iniciales teniendo ciclos de ganancias y de pérdidas asociados a pasturas y cultivos respectivamente.

El carbono aportado por las pasturas anuales es el más lábil en una secuencia de cultivos por lo cual se puede perder a una tasa mayor al estar menos humificado en la fase de cultivos. Por lo cual una pastura de larga duración determina una mayor estabilidad del carbono ya aportado reduciendo las tasas de pérdida en fase agrícola en comparación con una pastura de corta duración.

Los diferentes tiempos que se mantienen las pasturas en una rotación determinan un volumen y calidad diferente del carbono aportado. De esta

manera se puede afirmar que una pastura de más larga duración deja como resultado un aporte de carbono orgánico más estable frente a una de corta duración. Esto se debe a que la fracción orgánica que queda como residuo de una pastura es lábil por lo cual cuanto más tiempo se mantenga en la fase de pastura más estabilizado estará el carbono. Por lo tanto disminuye las tasas de pérdidas del mismo en la fase de cultivos en comparación con una pastura de menor duración.

No obstante, esto además determina no solo que aporten más carbono sino que también mejor distribuido en el perfil del suelo, lo que implica una descompactación y mejor estructura del suelo. Las rotaciones que incluyen pasturas en general mineralizan más carbono debido a que contienen más cantidad de carbono orgánico en comparación con las secuencias continuas de cultivos y a su vez en la distribución interna de las diferentes fracciones, presenta mayor cantidad absoluta y relativa de carbono en las fracciones orgánicas menos descompuestas y más susceptibles a ser mineralizadas (Morón y Sawchick, 2003b).

Según Durán y García Préchac (2007) en nuestros sistemas productivos y las condiciones ambientales donde son desarrollados, un alto porcentaje de la reducción de la materia orgánica y por tanto el carbono orgánico es debido a los procesos de erosión, estos autores estiman este evento mediante un modelo de simulación, entonces cuanto mayor es la erosión provocada por un sistema de rotaciones, mayor es la contribución de ésta a la pérdida de carbono.

2.4. RELACIÓN ENTRE EL CARBONO Y EL NITRÓGENO

Consideramos relevante hacer algunas apreciaciones sobre este tema debido a la íntima relación existente entre ambos nutrientes.

Con los años de agricultura tanto pura como en rotación con pasturas, se han ido generando un déficit de los principales nutrientes relacionados con la producción vegetal, principalmente nitrógeno. Según Rosselló (1992), el principal aporte de la pasturas con leguminosas al suelo, no es únicamente el carbono de la materia orgánica, si no el contenido de nitrógeno de la misma, esto hace que los sistemas mixtos sean más sustentables tanto en el ámbito económico como en el productivo.

Fontanetto y Keller (2001) sosteniendo ésta postura en un experimento realizado en INTA Rafaela encontraron que el contenido de nitrógeno total fue

un parámetro más sensible que la materia orgánica del suelo para detectar cambios relacionados al manejo de la fertilidad del suelo.

En el suelo tenemos 2 fracciones de nitrógeno, mineral y orgánico, siendo éste último el que presenta un paralelismo con el contenido de materia orgánica del suelo y su relación C/N. Esto fue determinado en una red de ensayos en La Estanzuela instalado desde 1963, donde se realizaron agricultura continua y rotación con pasturas de leguminosas (Díaz Rosselló, 1992).

En el suelo existe una continua pérdida y ganancia de las diferentes fracciones, tal como señala Black (1975) en cada ciclo anual se mineraliza parte del nitrógeno orgánico y se inmoviliza parte del mineral.

2.5. ESTABILIDAD DE LOS AGREGADOS

Si bien la estructura del suelo no proporciona ninguno de los factores esenciales para el desarrollo vegetal, refiriéndonos a los nutrientes principalmente, ésta puede modificarlo de diversas maneras ya que tiene relación con el agua y el aire dentro del perfil, ambos factores intervienen en la absorción de los nutrientes por las raíces (Oades, citado por Robert, 2002).

El conjunto de las partículas primarias del suelo arena, arcilla y limo donde la fuerza de unión entre éstas supera a la de los grupos adyacentes determinan los agregados del suelo siendo partículas secundarias o unidades estructurales. A su vez el conjunto de éstos determinan la estructura del suelo (Black, 1975).

La habilidad de los agregados para resistir su ruptura es conocida como estabilidad de los agregados. Ésta es de gran importancia ya que afecta la erosión edáfica y mantiene el espacio entre los agregados formando los macro poros los cuales determinan la permeabilidad, aireación del suelo y afectan directamente el crecimiento radicular.

La estabilidad de los agregados se ve afectada por el contenido de materia orgánica donde a mayor cantidad y más polimerizada se correlaciona con una mayor estabilidad de los agregados, entonces al realizar prácticas mecánicas de perturbación del suelo se rompen los agregados y se produce una pérdida de materia orgánica afectando de esta manera la estabilidad de los agregados.

2.6. INFILTRACIÓN

Se define como infiltración al paso del agua de la superficie hacia el interior del suelo. Es un proceso que depende fundamentalmente del agua disponible a infiltrar, la naturaleza del suelo, el estado de la superficie y las cantidades de agua y aire inicialmente presentes en su interior. Éstas también afectan el contenido de agua del suelo y el movimiento de la misma dentro del perfil una vez finalizado el proceso de infiltración (García et al., 2000).

La infiltración del agua al suelo sigue los gradientes de potencial gravitacional y de matriz. Esto significa que el agua "cae" a través de los macroporos atraída por el potencia Ψ_g que sería el correspondiente a la gravedad, a partir de éstos el agua es atraída por potencial osmótico y/o capilaridad hacia los microporos con el gradiente Ψ_m .

La velocidad de infiltración es determinada por el tipo de suelo, la textura, la vegetación existente y la pendiente, si la velocidad del aporte de agua ya sea por riego o precipitaciones es mayor que la velocidad de infiltración se produce el escurrimiento superficial del exceso de agua no infiltrada.

La hipótesis planteada en el presente trabajo fue: las rotaciones de sorgo dulce continuo, sin la inclusión de pasturas plurianuales, afectan la producción de biomasa de sorgo dulce.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO

El presente trabajo se desarrolló en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni Ruta 3 km 363 (Paysandú, Uruguay), correspondiente a la Universidad de la República. El ensayo tomo lugar sobre el potrero 34 de coordenadas (32°22'31.54"S - 58° 3'53.89"O).

El suelo en el cual se desarrolló el experimento tiene un índice de CONEAT de 150 valor real y corresponde a un Brunosol Eutrico Típico (Typic Argiudoll) 10.9 perteneciente a la unidad San Manuel según la carta de reconocimiento de suelo (Altamirano et al., 1976, escala 1:1.000.000). Con características de textura franco arcillo limosa, fertilidad alta y moderadamente bien drenados con pendiente del 1% y profundidades promedio de 70 cm. El material geológico corresponde a sedimentos limo arcillosos ubicados sobre materiales muy calcáreos y consolidados de la formación Fray Bentos.

El régimen hídrico de la región y del país se clasifica como isohigro donde no se destaca una estación de lluvia sino que éstas ocurren uniformemente a lo largo del año con una leve tendencia de las precipitaciones en la estación cálida hacia el norte del país. Las precipitaciones oscilan entre 900-1300 mm anuales por lo cual estaríamos dentro de la clasificación de clima húmedo.

El clima es mesotermal sub-húmedo con temperaturas medias anuales de 18,4 °C; el mes más cálido de la localidad es enero con una temperatura media de 25 °C y julio el más frío con un promedio de 11,9 °C.

El experimento se inició en agosto de 2005 sobre campo restablecido con predominancia de gramíneas estivales y continua hasta la actualidad.

3.2. EXPERIMENTO

El experimento evalúa distintas frecuencias de sorgo dulce y pasturas en diferentes rotaciones sobre el rendimiento del sorgo dulce.

3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseño en bloques completamente al azar con 2 repeticiones. Las unidades experimentales son parcelas de 150 m² (30m X 5m) sumando un total de 16 unidades experimentales distribuidas 8 unidades en cada bloque.

3.4. TRATAMIENTO

Los tratamientos consisten en 4 rotaciones con distintas frecuencias de sorgo y pasturas, todas las siembras fueron realizadas bajo siembra directa.

1) Rotación sorgo continuo sin cultivo de cobertura (SCsc).

Sorgo dulce continuo sin cultivo de cobertura en invierno.

Cuadro No. 1. Rotación SCsc.

| Tratamiento 1 (SCsc) | | | | | | | | |
|----------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|
| Año | 2010 | | 2011 | | 2012 | | 2013 | |
| Estación | verano | invierno | verano | Invierno | verano | invierno | verano | invierno |
| Cultivo | Sorgo | Barbecho sorgo | Sorgo | Barbecho sorgo | Sorgo | Barbecho sorgo | Sorgo | Barbecho sorgo |

Representación esquemática de rotación corta sin cultivo de cobertura, proporción de cultivo en rotación 50% proporción de barbecho de sorgo 50%

2) Rotación sorgo continuo con cultivo de cobertura (SCcc).

Sorgo dulce continuo con cultivo de invierno como cobertura (*Avena bizantina*) sembrada sobre barbecho de sorgo en otoño.

Cuadro No. 2. Rotación SCcc

| Tratamiento 2 (SCcc) | | | | | | | | |
|----------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|
| Año | 2010 | | 2011 | | 2012 | | 2013 | |
| Estación | verano | invierno | verano | invierno | verano | invierno | verano | invierno |
| Cultivo | Sorgo | Avena | Sorgo | Avena | Sorgo | Avena | Sorgo | Avena |

Representación esquemática de rotación corta con cultivo de cobertura en invierno, proporción de cultivo en rotación 50% proporción de pastura en rotación 50%

3) Rotación dos años, sorgo 2 años pasturas (Rot. 2 años).

Rotación de 2 años alternando sorgo dulce con pastura mezcla de avena, festuca, trébol blanco y lotus (duración de 18 meses), sembrados sobre barbecho de sorgo en otoño. Es requerida una parcela adicional por repetición de esta rotación para poder evaluar el rendimiento del sorgo todos los años, entonces cuando una rotación se encontraba en etapa de pastura en verano se evaluaba la otra que estaba en etapa de cultivo de sorgo y de esta manera sucesivamente.

Cuadro No. 3. Rot. 2 años.

| Tratamiento 3 (rotación 2 años) | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| Año | 2010 | | 2011 | | 2012 | | 2013 | |
| Estación | verano | invierno | verano | invierno | verano | invierno | verano | invierno |
| Cultivo | Sorgo | Pastura | Pastura | | Sorgo | Pastura | Pastura | |
| Cultivo | Pastura | | Sorgo | Pastura | Pastura | | Sorgo | Pastura |

Representación esquemática de rotación intermedia alternando cultivo de sorgo con pastura, proporción de cultivo en la rotación 25% proporción de pasturas en rotación 75%.

4) Rotación un año sorgo 4 años pastura (Rot. 4 años).

Rotación de 4 años con una fase de cultivo de sorgo dulce y 3,5 años de pasturas compuesta por festuca, trébol blanco y lotus, estas son sembradas sobre barbecho de sorgo en otoño. Para esta rotación fueron requeridas 4 parcelas por repetición de rotación, para poder evaluar la producción de sorgo todos los años debido a las pasturas que se encontraban instaladas en verano.

Cuadro No. 4. Rot. 4 años.

| Tratamiento 4 (rotación 4 años) | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| Año | 2010 | | 2011 | | 2012 | | 2013 | |
| Estación | verano | invierno | verano | invierno | verano | invierno | verano | invierno |
| Cultivo | Sorgo | Pastura | Pastura | | Pastura | | Pastura | |
| Cultivo | Pastura | | Sorgo | Pastura | Pastura | | Pastura | |
| Cultivo | Pastura | | Pastura | | Sorgo | Pastura | Pastura | |
| Cultivo | Pastura | | Pastura | | Pastura | | Sorgo | Pastura |

Representación esquemática de rotación larga alternando cultivo de sorgo con pasturas, proporción de cultivo de sorgo en rotación 12,5% proporción de pasturas en rotación 87,5%

3.5. MANEJO

La fecha de siembra del sorgo ha sido en noviembre con posibles correcciones de ser necesario en caso de que cualquier imprevisto ya sea lluvia o plagas (hormigas). El objetivo a la siembra 14 plantas/m² (siembra de 20 semillas/m²) con una distancia entre hileras de 50 cm.

El control químico realizado a la siembra fue una aplicación Atrazina con Dual (1,2 Kg + 1,4 l/ha), habiéndose tratado la semilla con Concept (protector).

El material genético utilizado M81-E debido a su buen comportamiento en nuestras condiciones.

La fertilización fosfatada a la siembra tanto en pasturas como en sorgo fue de 46Kg ha⁻¹ de P₂O₅ sin realizarse refertilizaciones anuales en las pasturas.

La fertilización nitrogenada se realizó en función del análisis de suelo siguiendo el modelo de facultad de agronomía, donde los promedios aplicados fueron de 65 Kg de N/ha*año, las pasturas y las coberturas no fueron fertilizadas con nitrógeno.

La cosecha del sorgo es manual con machete dejando un remanente de 10 centímetros retirando lo cosechado para luego exprimirlo, en el caso de las pasturas se realizan cortes con rotativa cuando estas rondan una altura de 12 centímetros dejando la biomasa en el lugar para que se reincorpore al suelo.

3.6. DETERMINACIONES

Para la obtención de datos se tomaron 2 hileras consecutivas de cada unidad experimental y se midieron 10 metros de largo de dichas hileras. En estos 10 metros se realizaron mediciones de:

- 1) Número de tallos en v6 y cosecha (la variable número de tallos se expresó como número de tallos por metro cuadrado, y ésta no corresponde con el número de plantas objetivo ni con la densidad de siembra debido a que el conteo de los tallos se realizó con las plantas ya establecidas y en estadios posteriores a v6, por lo cual también son considerados los macollos de las plantas. Por lo tanto el número de tallo estará determinado por el número de plantas establecidas y el macollaje).

- 2) Pesos de los fardos cosechados (rendimiento en biomasa). La determinación biomasa total producida es el peso de los fardos formados al cortar 10 metros lineales de cada parcela por lo cual existen diferencias en los números de tallos que componen cada fardo, esta medida es una representación del rendimiento por unidad de superficie.

Después de la cosecha se tomaron muestras representativas de cada parcela a partir de los fardos formados en los 10 metros. Estas muestras consistían en 10 tallos de cada hilera de cada parcela. Donde se realizaron las siguientes mediciones.

- 1) Peso de los 10 tallos con hoja y panoja
- 2) Peso de los 10 tallos sin hoja ni panoja
- 3) Peso de panojas
- 4) Peso de hojas
- 5) Número de hojas en los 10 tallos
- 6) Número de nudos de cada uno de los 10 tallos
- 7) Altura de cada tallo
- 8) Diámetro de cada tallo
- 9) Jugo extraído de los 10 tallos

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se analizó el efecto de los diferentes tratamientos sobre las diferentes variables medidas. Los efectos aleatorios fueron las repeticiones conjuntamente con sus interacciones con los efectos fijos (tratamientos). La separación de medias se realizó a través de la mínima diferencia significativa al 10 % de probabilidad de error. Los resultados fueron analizados utilizando el programa informático mixed Statistical Analysis System (versión 6.11 del año 1996 del SAS Institute).

3.7.1. Hipótesis biológica

Ho: las producciones de biomasa de sorgo dulce en un año donde este se realice, son iguales entre sí para las diferentes rotaciones evaluadas.

Ha: existe al menos una rotación que se diferencia en la producción de biomasa de sorgo en un año donde este se realice.

3.7.2. Hipótesis estadística

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

Ha: $\mu_j \neq \mu_{j'}$ (para algún j)

Análisis de varianza para las los diferentes resultados obtenidos

Cuadro No. 5. Significancia de los análisis de varianza

| | Tratamientos | Año | Año*tratamiento |
|-------------------------|---------------------|------------|------------------------|
| Parámetro | | | |
| No. de tallos | 0,198 | 0,0010 | 0,096 |
| Rendimiento en biomasa | 0,009 | 0,0002 | 0,067 |
| Peso tallo limpio | 0,009 | <,0001 | 0,085 |
| Peso individual tallo | 0,093 | 0,003 | 0,108 |
| Diámetro tallo | 0,208 | 0,008 | 0,210 |
| Altura planta | 0,504 | 0,003 | 0,413 |
| % Jugo del tallo limpio | 0,405 | <,0001 | 0,832 |
| Jugo (lt/ha)*1000 | 0,035 | <,0001 | 0,268 |

En el cuadro No. 5 se presenta el análisis de varianza para los tratamientos evaluados, los resultados en función del año y la interacción entre estos.

Los resultados obtenidos de los tratamientos marcaron una diferencia significativa para algunas de las variables evaluadas como en el peso total, el peso del tallo limpio, peso individual de tallo y el rendimiento en jugo por hectárea. Otras de las variables evaluadas dentro de los tratamientos presentaron una tendencia, estos valores se consideraron dentro del intervalo para ($p \in R/0,1 \leq p < 0,2$); (ejemplo número de tallos). Las variables que no presentaron diferencias estadísticas fueron el diámetro del tallo, la altura de planta y el % de extracción.

Análisis de efecto año, en la segunda columna del cuadro No. 7 se muestran las diferencias estadísticas para el promedio de los 3 años evaluados, el efecto año a diferencia de los tratamientos si muestra diferencia significativa para todas las medidas.

La tercera columna del cuadro presenta los resultados de la interacción entre tratamiento y años. Donde las determinaciones que presentaron diferencias son número de tallos, peso total y peso tallo limpio. La única tendencia observada dentro de la interacción fue para peso individual de tallos.

3.8. CONDICIONES CLIMÁTICAS DURANTE LOS PERÍODOS DE CULTIVOS

Con el fin de caracterizar los años evaluados se desarrolla este apartado donde se presentan las condiciones climáticas para los períodos en los cuales se realizaron los cultivos (noviembre a abril) en los veranos 2010-2011, 2012-2013 y 2013-2014 correspondientes a las zafras 2010, 2012 y 2013 respectivamente. Cabe aclarar que en la zafra 2011-2012 no fue considerada en el análisis debido a una fuerte seca y a graves daños de plagas en el cultivo de sorgo, si bien fue cosechado, no pudo realizarse una correcta evaluación de los resultados obtenidos.

Los estadios del cultivo fueron separados en las siguientes fechas:

V0-V6: 15 de noviembre al 15 diciembre.

V6-V10: 15 diciembre al 31 de enero.

Floración y corte: 1 febrero a abril.

3.8.1. Precipitaciones

La figura No. 2 ilustra las precipitaciones acumuladas durante de los meses de cultivo para los años evaluados.

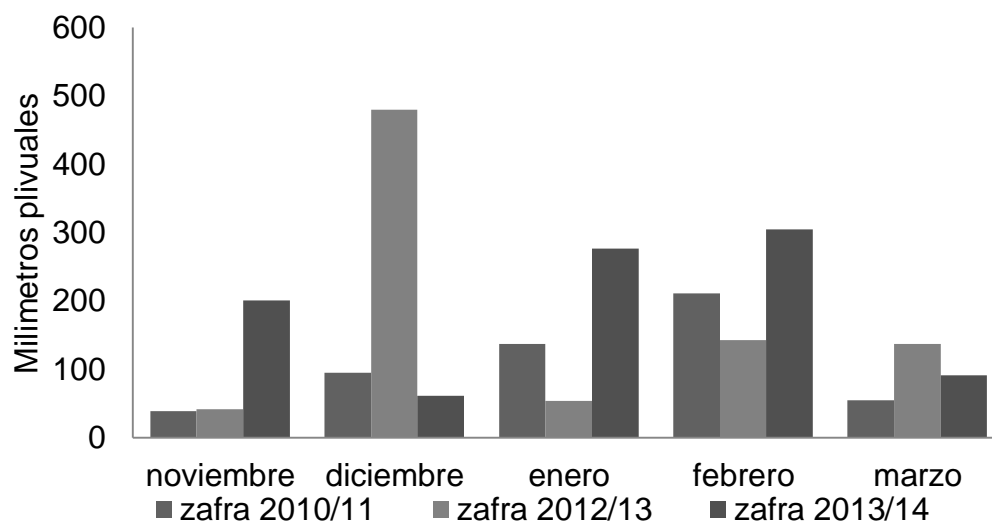


Figura No. 2. Precipitaciones acumuladas en el período de cultivo para los 3 años evaluados.

La figura No. 3 presenta las precipitaciones ocurridas en diferentes etapas del cultivo.

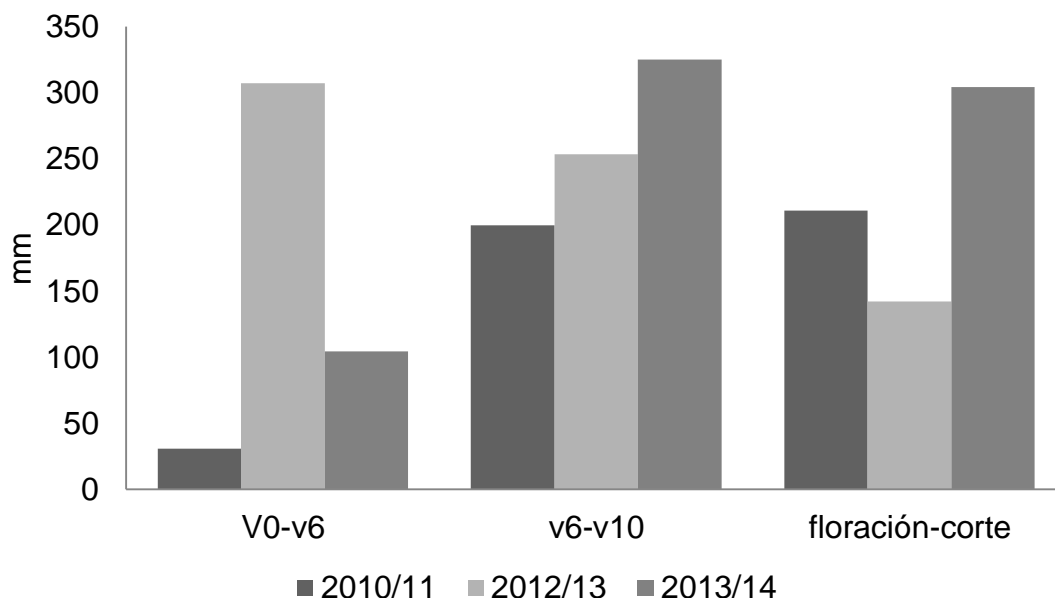


Figura No. 3. Precipitaciones acumuladas por estadio de desarrollo.

Los años donde se vieron mayormente comprometidas las precipitaciones para los períodos V0-V6 fueron 2010/11 y 2013/14 pero cabe destacar que según la bibliografía consultada estas escasas lluvias son suficientes para mantener una correcta germinación e implantación.

Tampoco se registraron mayores inconvenientes para los estadios v6-v10 para ninguno de los años evaluados.

En contra parte si se registraron limitantes hídricas para los períodos de floración en las zafras 2010 y 2012 donde fueron incluso más restrictivas en el período del 2012 con un promedio de 4,5 mm/día frente a los 7,5 mm/día mencionados en la bibliografía.

Cuadro No. 6. mm pluviales en floración

| Precipitaciones en floración | | |
|------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Año | mm/día en floración | mm totales en floración |
| 2010 | 7,0 | 211,1 |
| 2012 | 4,8 | 142,5 |
| 2013 | 10,1 | 304,3 |

3.8.2. Temperatura

La figura No. 4 ilustra las diferentes sumatorias térmicas superiores a los 10°C que son considerados como temperatura base para el desarrollo fisiológico de sorgo expresadas para cada año evaluado.

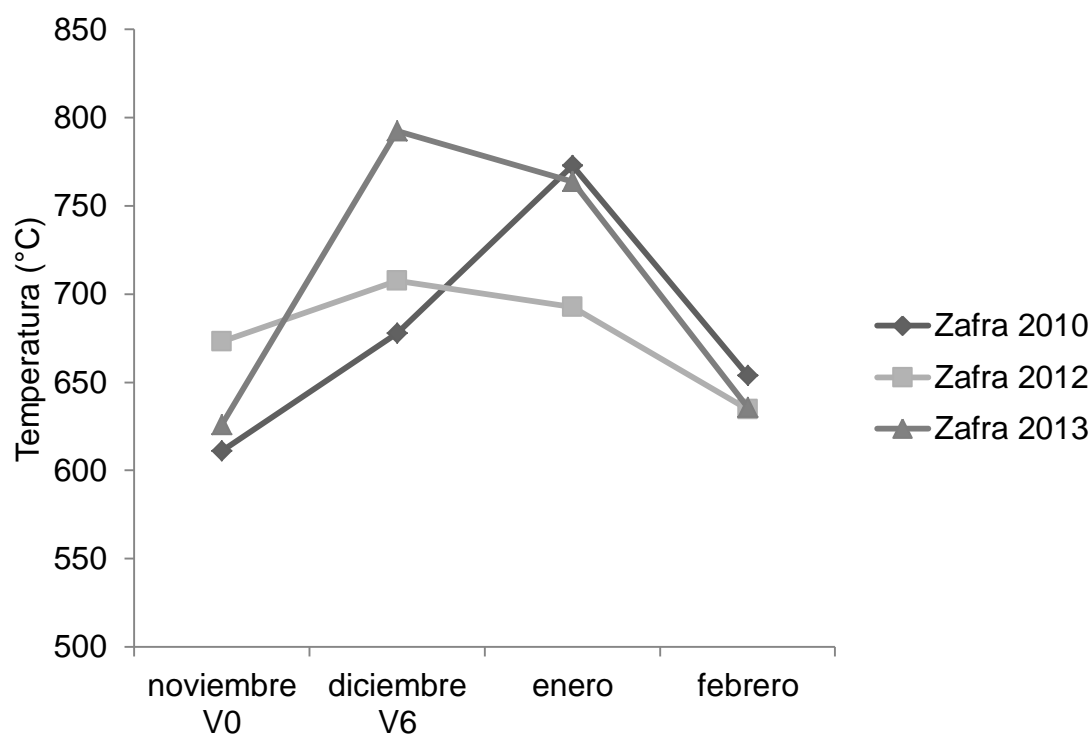


Figura No. 4. Acumulaciones térmicas con temperatura base 10°C para 2010, 2012, 2013.

En la figura No. 5 se presentan las temperaturas promedio ocurridas para los días donde se desarrollaron los cultivos.

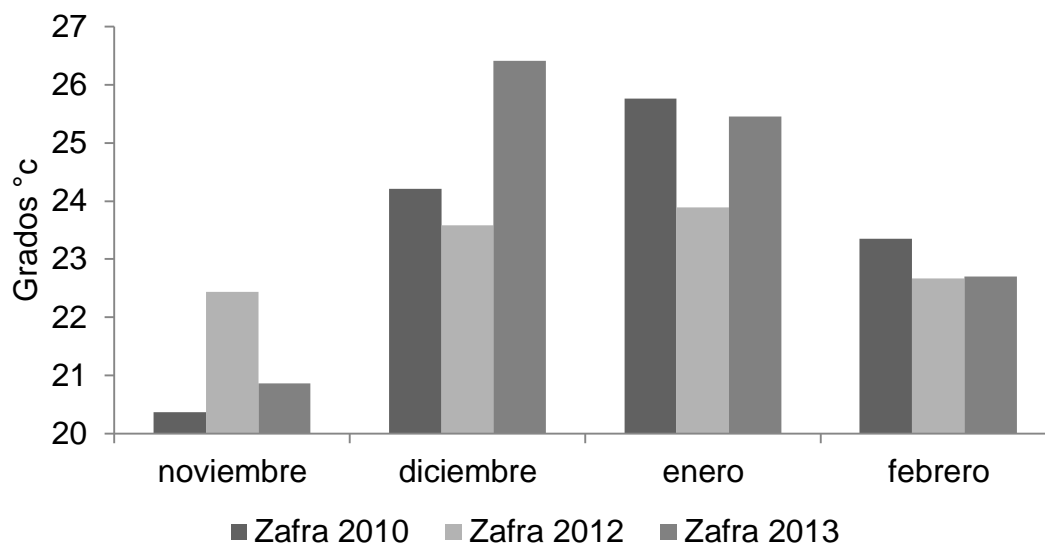


Figura No. 5. Temperaturas promedio para los años evaluados

Como se desprende de las figuras en todos los casos se alcanzaron los requisitos térmicos requeridos según la bibliografía consultada, partiendo de que el sorgo tiene una temperatura base de 10°C a 15°C para desarrollo. La cual fue alcanzada en todos los casos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. NÚMERO DE TALLOS

El número de tallos/m² presentó diferencias significativas tanto para años como para la interacción año*tratamiento, sin embargo no se obtuvo una respuesta a los diferentes tratamientos, pero si fue posible identificar una tendencia de los mismos.

Al no haberse medido el número de plantas, y solo tener el número de tallos por unidad de área, no es posible adjudicar las variaciones encontradas a un solo evento, sino que se adjudican a un efecto combinado de número de plantas y macollaje de las mismas.

Los factores de calidad de semillas y manejo podrían no considerarse variables en cuanto al número de plantas logradas, ya que éstos se suponen iguales debido a que se utilizaron siempre similares fechas de siembra, materiales genéticos y calidades de semillas. En cambio los factores ambientales pueden ser variables por el efecto año o bien por las propiedades conseguidas mediante las diferentes rotaciones, no solo por las propiedades físicas del suelo supuestamente alteradas, sino que en las rotaciones donde se incluyen coberturas o praderas de larga duración es esperable que tengan una cobertura superior a la hora de la siembra frente a la rotación SCsc, la cual dejaría el suelo desnudo otorgando condiciones donde puede variar la humedad y temperatura sobre el perfil. Sin embargo no se encontraron diferencias entre tratamientos.

Las posibles variaciones entre años reducen las variables que condicionan el macollaje a temperatura y humedad. La variación de la fertilidad del suelo puede ser considerada como variable en respuesta al historial de rotaciones sobre cada parcela. Pero como no se encontraron diferencias estadísticas dentro de los experimentos para número de tallos estas condiciones podrían reprimirse parcialmente. Dentro de las variaciones de manejo también puede verse afectado el macollaje por la humedad sobre el perfil debido a las diferentes coberturas que dejan cada rotación.

4.1.1. Efecto años sobre el número de tallos

Como la variación de radiación incidente en Uruguay es mínima ya que se usaron las mismas fechas de siembra y ya se definió que en esas fechas se

sobrepasan los 10°C mínimos requeridos para que el sorgo germine y según los datos presentados la temperatura era superior a los 18°C en el suelo, podría considerarse que la variación en el número de tallos se dio principalmente por la variación en temperatura en el período V0-V6 donde ocurre el proceso fisiológico de macollaje, y una diferente tasa de germinación justificado por las diferentes condiciones de humedad ya sea por efecto año, por rastrojos o el efecto combinado de estos.

En el año 2010 donde se obtuvieron los valores más altos para esta variable, alcanzando los 17 tallos/m² siendo diferente significativamente de los otros dos años (2012 y 2013).

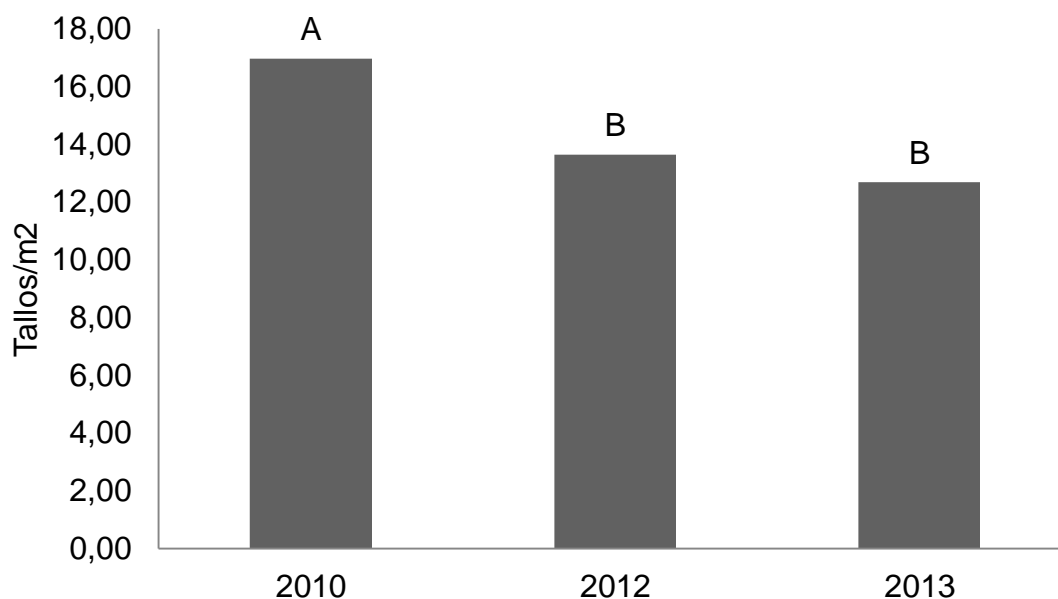


Figura No. 6. Tallos promedio de todos los tratamientos diferenciados por año, mínima diferencia significativa 1,08 tallos.

Entonces se puede suponer que en el año 2013 donde se registraron las temperaturas más altas en el período v0-v6 el número de tallos por área mermó en un 26% en comparación con el mejor resultado 2010.

La mayor producción de tallos en el 2010 podría deberse a una menor temperatura en el período de macollaje.

Las precipitaciones o condiciones de humedad fueron menores para el año 2010 para los meses de noviembre y diciembre como fue presentado en el

cuadro No. 5 por lo cual se podría suponer que de existir alguna condicionante con respecto al agua para la concreción de tallos podría ser un exceso de agua para los años 2012 y 2013.

4.1.2. Interacción años y tratamientos

Se obtuvieron diferencias significativas para la interacción de los tratamientos y los años para el número de tallos por área.

La interacción obtenida demuestra que en los años donde el clima permite una mayor concreción de números de tallos las secuencias de cultivos de sorgo continuo se diferencian de las demás por una mayor producción de los mismos, pero en los años donde las condiciones climáticas no fueron prósperas para la concreción de tallos éstos se vieron mayormente comprometidos. Mostrando las más altas variaciones con respecto a las demás.

Estos resultados podrían explicarse por un mayor volumen de residuos vegetales de las rotaciones que incluyen coberturas o praderas al otorgar mayor humedad y menor variación de temperatura sobre el perfil, la rotación SCcc la cual también presenta una variabilidad considerable en comparación con Rot. 2 años y Rot. 4 años a pesar de que ésta también tenga remanentes vegetales, podría ser atribuida la variación en los diferentes volúmenes de raíces producidos o inclusive a un mayor efecto del nitrógeno que aportan las rotaciones con pasturas de larga duración con leguminosas.

También se puede distinguir como ningún tratamiento mostró diferencias en cuanto a producción de número de tallos si las condiciones climáticas son adversas para el desarrollo de los mismos, como sucedió en el año 2012 donde todos los tratamientos se pueden comportar iguales debido a un bajo rendimiento.

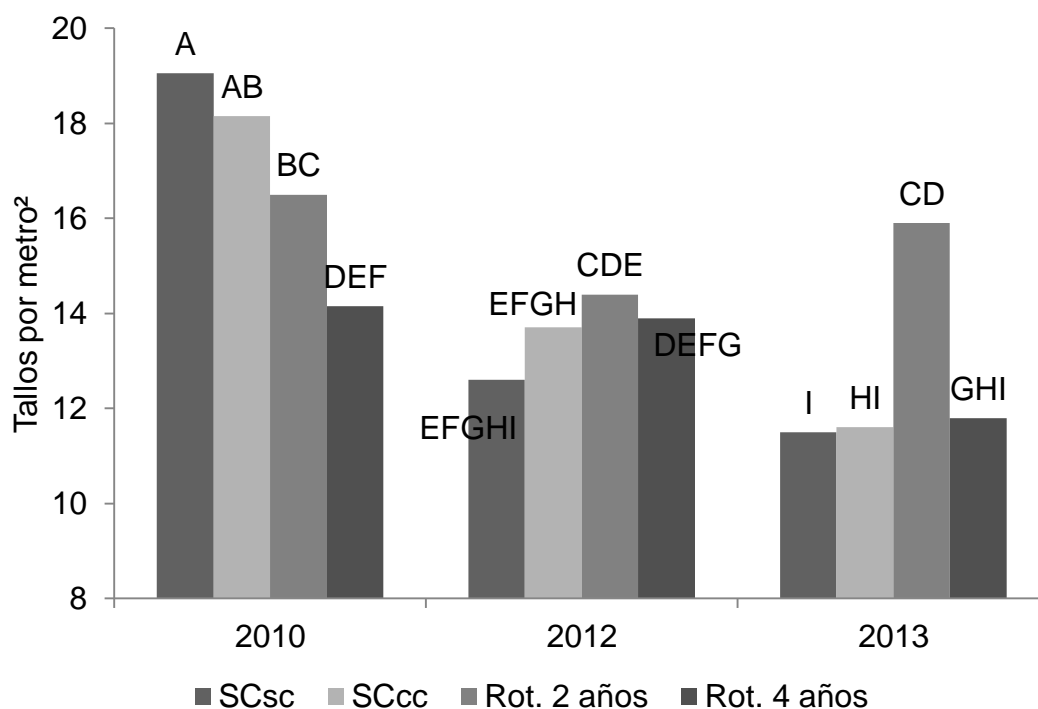


Figura No. 7. Número promedio de tallos/m² diferenciados por tratamiento dentro de cada año (mínima diferencia significativa 2,16).

4.2. RENDIMIENTO EN BIOMASA

Como se presenta en el cuadro No. 7, la variable rendimiento en biomasa total presentó diferencias significativas para año, tratamiento e interacción de los mismos.

4.2.1. Efecto año sobre rendimiento en biomasa

Se registraron pronunciadas variaciones en cuanto a rendimiento según el efecto año, los rendimientos fueron 78,5; 53,4 y 66,7 Mg/ha para los años 2010, 2012 y 2013 respectivamente.

Esto determinó que el año 2013 produjo un 85% del peso obtenido en el año 2010 y el año 2012 solo el 68% del peso alcanzado en 2010 (año referencia por mayor producción).

La figura No. 8 a continuación ilustra las variaciones previamente mencionadas.

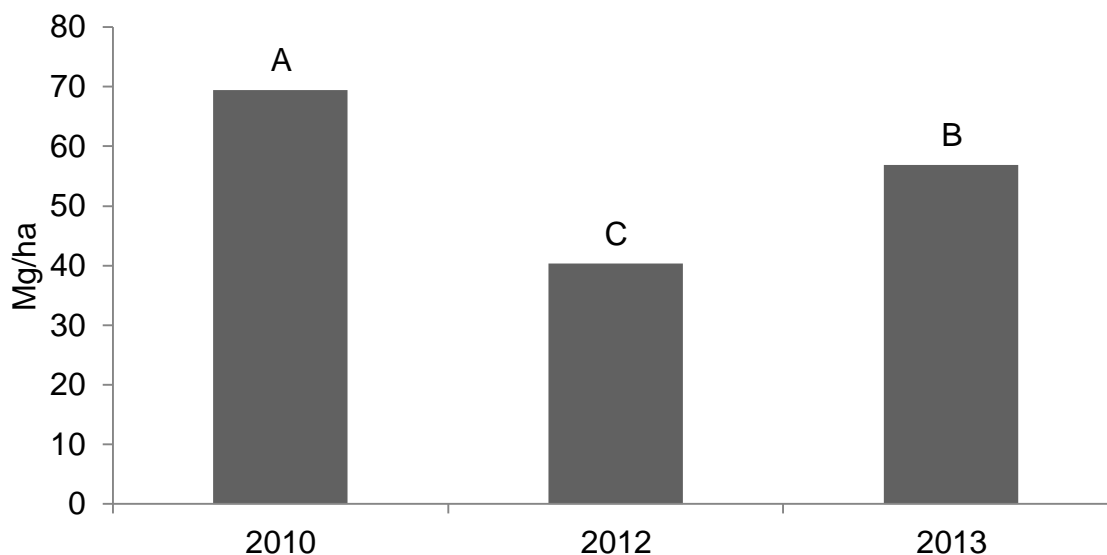


Figura No 8. Rendimiento MF, promedio de tratamientos expresados en (Mg/ha) de los tratamientos presentados por año.

4.2.2. Efecto tratamiento rendimiento en biomasa

El tratamiento que presentó una diferencia significativa para rendimiento fue Rot. 2 años, la cual fue un 18% superior a Rot. 4 años el cual fue el segundo resultados más alto pero sin diferenciarse de los tratamientos SCcc y SCsc (figura No. 9).

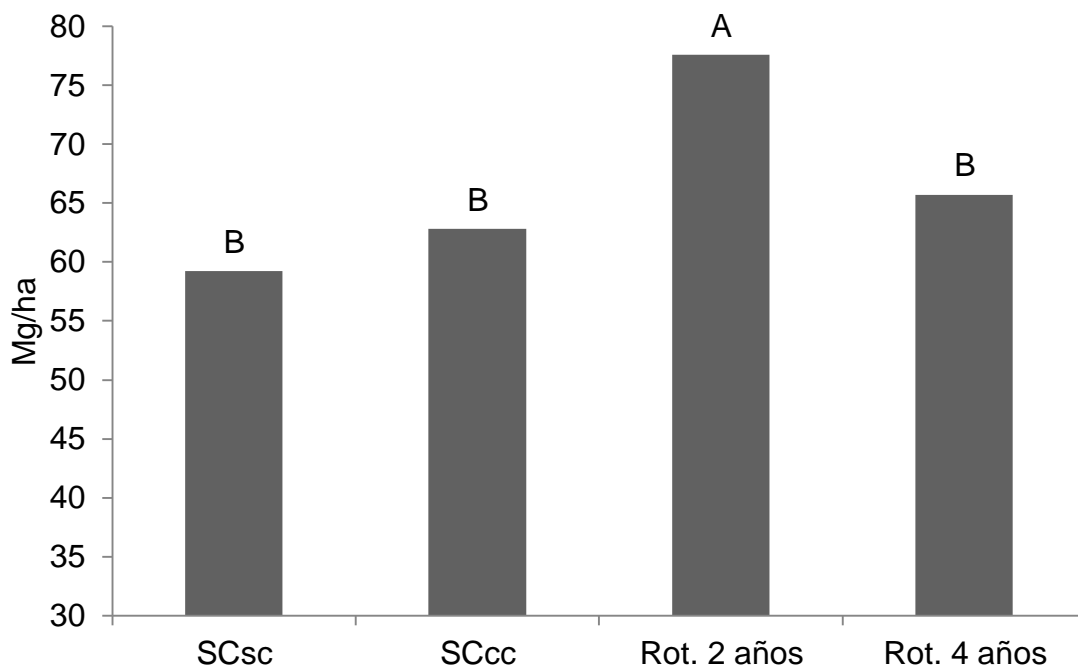


Figura No. 9. Rendimiento material fresco, promedio de los años diferenciados por tratamiento Mg/ha (mínima diferencia significativa 6,8).

Como ya fue abordado con anterioridad suponemos que el tratamiento Rot. 2 años es el que presenta mayores volúmenes de incorporación de raíces generando mejores condiciones para el desarrollo del cultivo. De tal manera es esperable que este perfil sea capaz de amortiguar con mayor eficiencia las variaciones hídricas de cada año debido a la retención de agua y mejor estructura del mismo, permitiendo un mayor desarrollo radicular. También puede adjudicarse un efecto por un enriquecimiento de la materia orgánica del suelo en las rotaciones donde se incluyen leguminosas por el aporte de nitrógeno de estas, pero esto fue descartado por mostrar un mayor rendimiento el tratamiento Rot. 2 años frente a Rot. 4 años que no se vio diferenciado de los SCsc y SCcc que no incluyeron leguminosas en la rotación.

4.2.3. Producción de raíces para los diferentes tratamientos

Es importante acotar que la producción de raíces de las diferentes rotaciones cumplen un papel fundamental a la hora de determinar las variaciones en los resultados, esto debido a como se ven afectadas las condiciones físicas y orgánicas de la matriz suelo. Por este motivo se realiza este apartado para poder caracterizar desde un marco "teórico" las diferencias generadas por las pasturas utilizadas y los años de las mismas.

En las rotaciones donde se introducen las pasturas perennes se está aportando un mayor volumen de raíces debido a las características morfológicas de este tipo de pasturas frente a las de ciclo anual, las cuales tienen un sistema radicular más reducido determinando un menor aporte de carbono orgánico al suelo. Bolinder et al. (2007) afirman que la relación parte aérea raíz para las pasturas anuales es de 6 y en cambio para las perennes es 1,5. Por lo tanto esta diferencia explica un aumento en el carbono orgánico del suelo en la fase de producción de pasturas. En base a la afirmación realizada por Bolinder et al. (2007) y las producciones registradas en los años evaluados se elabora el siguiente cuadro.

Cuadro No. 7. Producción teórica de raíces expresado en megagramos de MS/ha para cada tratamiento.

| Total experimentos (megagramos de raíz) | | | | |
|---|-------|-------|-------------|-------------|
| | SCsc | SCcc | Rot. 2 años | Rot. 4 años |
| Año 1 | 2,96 | 3,89 | 7,88 | 5,12 |
| Año 2 | 2,96 | 3,89 | 3,00 | 4,00 |
| Año 3 | 2,96 | 3,89 | 7,88 | 6,00 |
| Año 4 | 2,96 | 3,89 | 3,00 | 4,00 |
| Total 4 años | 11,85 | 15,56 | 21,76 | 19,12 |
| Anualizado | 2,96 | 3,89 | 5,44 | 4,78 |

Para realizar los cálculos presentados se realizó la ponderación de los rendimientos que se obtuvieron en cada tratamiento en lo que se refiere a sorgo, para la estimación de raíces de las pasturas anuales (avena) se consideró un rendimiento de 4,5 megagramos de materia seca según lo reportado por García (1996). Y para las praderas de mayor duración también fueron tomados los rendimientos reportados por la misma serie técnica y considerando las variaciones entre año que estas tienen. Todos los resultados fueron trabajados en base seca.

La producción de raíces en los tratamientos que incluyen pasturas perennes fue ponderado por el tiempo en que estas estaban en producción ósea 1,5 años Rot. 2 años y 3,5 años Rot. 4 años.

La incorporación de materia seca al perfil en las rotaciones con mezclas forrajeras en comparación con los cultivos continuos de sorgo fue cerca del doble si comparamos SCsc con Rot. 2 años que fueron los casos más contrastantes, y esta tendencia de mayor producción se mantuvo para cada situación. En cambio si se comparan las Rot. 2 años con Rot. 4 años se marca una producción 10% menor en la Rot. 4 años, esto se explica por la mayor productividad de las praderas en los 2 primeros años de producción (García, 1996).

La utilización de pasturas mezcla de leguminosas con gramíneas perennes además de aportar mayor contenido de carbono por los restos vegetales radiculares, también aporta un mayor contenido de nitrógeno en comparación con las gramíneas puras, esto determina un mejor balance C/N debido al mayor aporte de nitrógeno por parte de las leguminosas, obteniendo mayores tasas de mineralización de los restos vegetales dando como resultado un mayor contenido de materia orgánica incorporada aparejando las ventajas de la misma, físicas (densidad aparente, estructura, aireación y drenaje, consistencia), químicas y biológicas (actividad biológica, fuente de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, poder buffer, combinación con moléculas orgánicas) lo cual le confiere al mismo mayores potenciales de producción.

4.2.4. Interacción año y tratamiento

Los rendimientos presentaron una marcada diferencia para los tratamientos en interacción con las condiciones ambientales, efecto año.

A modo de ejemplificar lo descripto se presenta el siguiente gráfico No. 10.

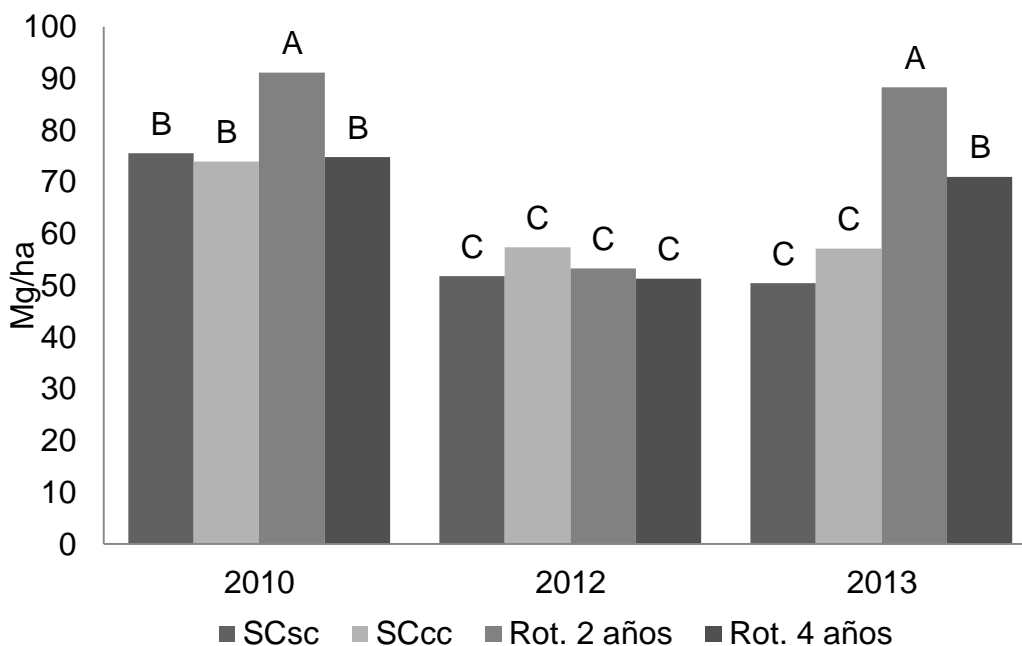


Figura No. 10. Rendimiento MF. expresado en Mg/ha para cada año diferenciado por tratamiento (mínima diferencia significativa 10,6).

Como se desprende del gráfico en los años donde se logran los mejores rendimientos se capitaliza mejor las rotaciones de larga duración diferenciándose aún más la Rot. 2 años. En los años con condiciones menos favorables para la producción en este caso 2012 no se presentaron diferencias estadísticas para los pesos totales.

4.3. PESO DE TALLOS LIMPIOS

Los rendimientos obtenidos para peso de tallo limpio se encuentran dentro de los rangos reportados por la bibliografía consultada, donde se reportan rendimientos que pueden variar desde 35 a 70 Mg/ha de materia fresca (Ayala et al., 2007).

Los pesos de los tallos limpios de las muestras tuvieron un comportamiento similar al peso total previamente evaluado, lo cual sería esperable debido a que las variaciones entre estos parámetros evaluados es la diferencia en peso de las hojas y panojas, las cuales fueron retiradas a la hora

de pesar la muestra. A modo de expresar esto se realizó una correlación entre los dos parámetros evaluados y se obtuvo el siguiente modelo.

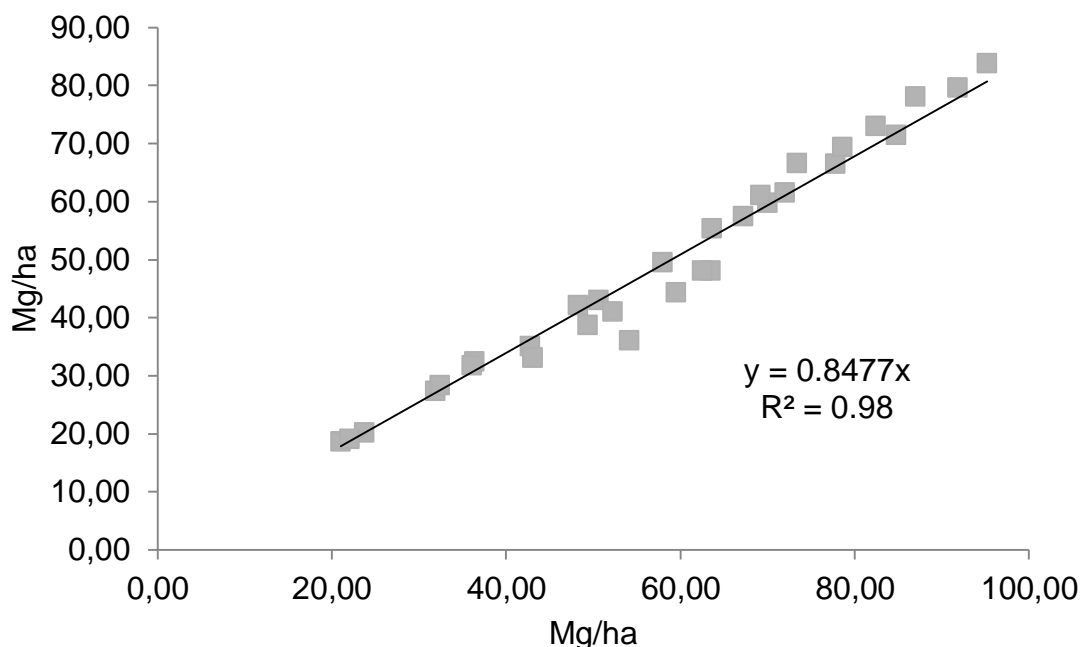


Figura No. 11. Relación entre las variables peso tallo limpio y peso tallo completo con hojas y panoja.

El coeficiente de determinación (R^2) existente entre peso total y peso del tallo limpio es de 0,98 debido a esto es el comportamiento similar del peso total y el peso del tallo limpio.

También se desprende de la ecuación presente en la correlación que el peso de los tallos limpios representa en 84% del peso total de biomasa aérea. Lo cual concuerda con la bibliografía consultada para esta variedad M81 la cual estima una 78-82%.

4.3.1. Efecto año sobre el peso de tallos limpios

El año 2010 presentó los mayores registros de pesos al alcanzar los 6,9Kg el fardo, lo cual ponderado a hectáreas serían 69 megagramos, tomando este valor como punto de comparación, el año 2013 registro un 82% con 56

Mg/ha y el resultado inferior fue en el año 2012 con 58% logrando 40,3 Mg/ha en comparación con el 2010.

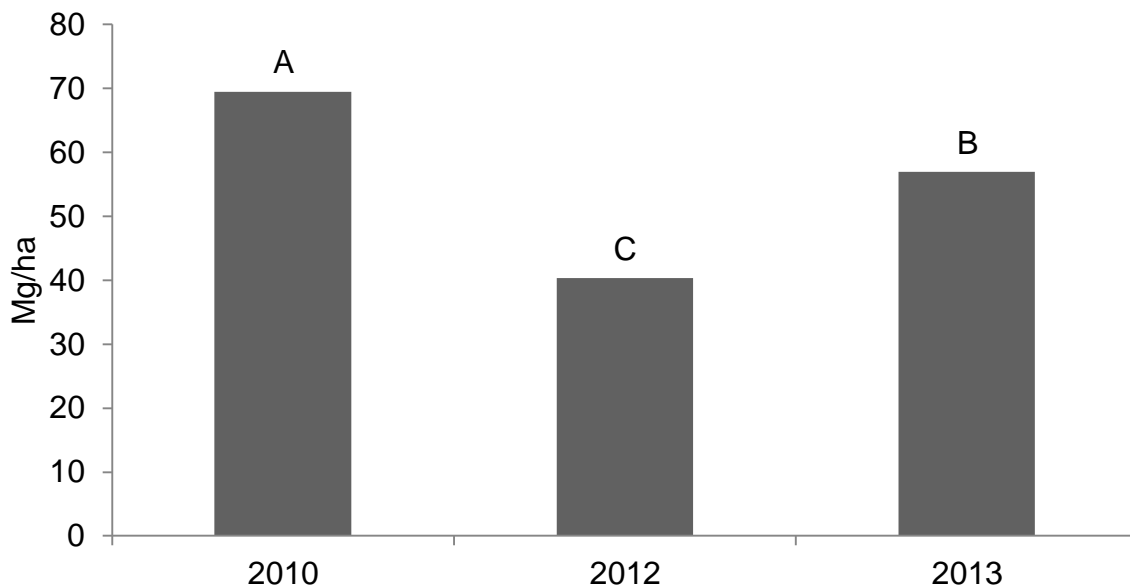


Figura No. 12. Rendimiento promedio MF de tallos limpios para cada año (Mg/ha, mínima diferencia significativa 4,5).

Las diferencias existentes entre los rendimientos para años son atribuibles a las diferentes condiciones hídricas en los períodos críticos como floración como ya fue mencionado con anterioridad.

4.3.2. Efecto tratamiento sobre peso tallo limpio

Todos los experimentos presentaron diferencia estadística entre los mismos, pero la rotación SCcc puede obtener rendimientos que se comporten tanto como Rot. 4 años como con SCsc según los resultados estadísticos obtenidos.

En el siguiente cuadro se presentan los resultados obtenidos junto con las diferencias estadísticas y su porcentaje en rendimiento en comparación con el mejor de los tratamientos.

Cuadro No. 8. Peso de tallo limpio según tratamiento

| Peso de tallo limpio | | | |
|----------------------|---------------------|---------------|------------------|
| Rotación | Rendimiento (Mg/ha) | Significancia | % de rendimiento |
| SCsc | 49 | C | 74 |
| SCcc | 53 | BC | 81 |
| Rot. 2 años | 66 | A | 100 |
| Rot. 4 años | 55 | B | 84 |

Mínima diferencia significativa: 5,21

Como se presenta en la tabla los mejores resultados fueron obtenidos para la Rot. 2 años por lo cual éste se utilizó como valor de referencia para la comparación con el resto de las rotaciones.

Los resultados se correlacionan con volumen teórico de producción de raíces, de tal manera que la rotación con menor producción de raíces fue la que obtuvo los rendimientos más bajos para peso de tallo limpio. A modo de ejemplificar dicha descripción se presenta la siguiente figura.

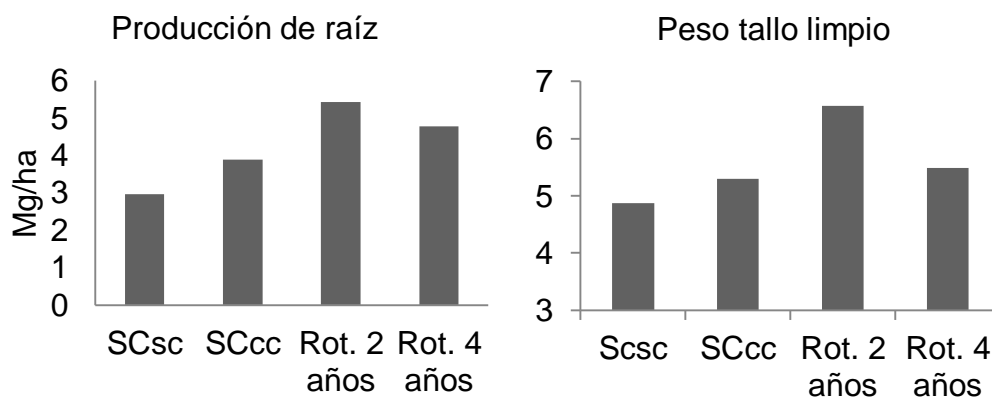


Figura No. 13. Comparación entre producción teórica de raíces con peso promedio de tallo limpio real diferenciado por tratamiento y expresado por año.

Como se ilustra en la figura vemos la relación existente entre la producción de tallo limpio con la producción de raíces. Ya que presentaron el mismo comportamiento se calculó la correlación entre estos valores la cual dio 0,91.

4.3.3. Interacción entre años y tratamientos para peso de tallo limpio

En los años donde se obtuvieron mayores pesos de tallo limpio el tratamiento con mayor capacidad de capitalización de estas condiciones fue Rot. 2 años, esto se refleja en la siguiente figura No. 14 donde se observa que este tratamiento fue el único estadísticamente superior para los años 2010 y 2013.

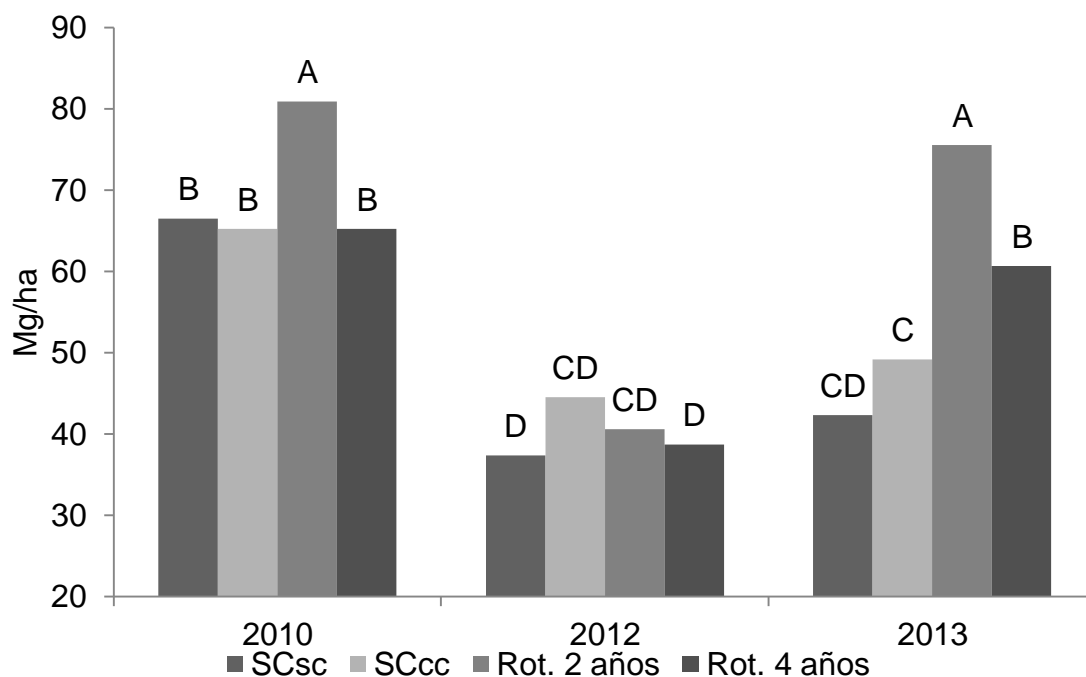


Figura No. 14. Pesos promedios de tallos limpios diferenciados por año y tratamiento (Mg/ha, mínima diferencia significativa 8,9).

Seguidamente en cuanto a estabilidad y rendimiento se puede hacer referencia al tratamiento Rot. 4 años, debido a que para el año 2013 mantuvo su capacidad productiva indistinta del año 2010, a diferencia de las rotaciones SCsc y SCcc las cuales se ubicaron un escalón por debajo.

Para el año donde se registraron los peores rendimientos 2012 todos los tratamientos fueron iguales, siendo los rendimientos más bajos registrados.

A modo de conclusión se puede afirmar que el tratamiento Rot. 2 años el cual teóricamente incorporó mayores residuos vegetales (tallos, hojas y raíces) presentó mayores rendimientos y estabilidad de los mismo frente a los demás, seguido por el tratamiento Rot. 4 años el cual teóricamente se ubicaba

segundo en cuanto a restos vegetales incorporados en el perfil. Bajo malas condiciones de producción no sería posible apreciar diferencias significativas.

4.4. PESO INDIVIDUAL DE TALLOS

El parámetro peso individual de tallo surge de dividir el peso de los fardos formado por los tallos limpios sobre el número de tallos que conforman el mismo.

El parámetro evaluado presentó diferencias significativas tanto para tratamiento como para los años. Además como se presenta en el cuadro de A.N.A.V.A. existió una tendencia para la interacción tratamiento años.

4.4.1. Efecto año sobre peso individual de tallos

El año 2012 presentó pesos individuales de tallos estadísticamente inferiores a los otros 2 años evaluados. En cambio los años 2010 y 2013 no presentaron diferencia estadística entre éstos como se ilustra a continuación.

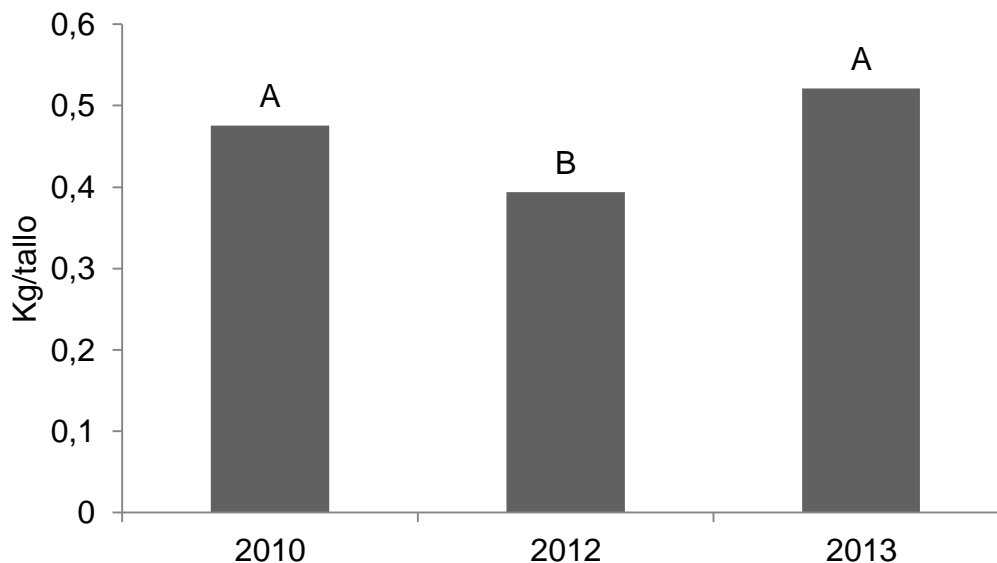


Figura No. 15. Pesos medios de los tallos individuales diferenciados según año (mínima diferencia significativa 0,05).

A modo de caracterizar el nivel de diferencia se estimaron los porcentajes de rendimiento en comparación con el mejor de los años evaluados (2013), los años 2010 y 2012 rindieron 91% y 75% respectivamente con respecto al 2013.

El menor rendimiento del año 2012 puede adjudicarse a la menor ocurrencia de lluvias en el período de floración, con lo cual se compromete el rendimiento del cultivo.

En contradicción con lo esperado los pesos más elevados no se adjudican a un menor número de tallos logrados, a modo de ejemplo vemos como el año 2010 con buenos rendimientos de peso fue el año con mayor número de tallos por metro, sin embargo el año con los menores números de tallos por metro fue el que presentó los mayores pesos de tallos individual. Por lo cual sería atribuible a una mejor condición hídrica al momento de concretar el potencial (floración), debido a este suceso se pudo concluir que con buenas condiciones ambientales en el momento de floración es posible amortiguar un bajo número de tallos mediante la buena capacidad de compensación del sorgo.

4.4.2. Efecto tratamiento sobre peso individual de tallos

El efecto tratamiento para peso individual de tallos puede diferenciarse en 2 grandes grupos, las rotaciones donde se plantearon pasturas perennes Rot. 4 años y Rot. 2 años lograron los pesos más altos con 500 y 490 gramos/tallo respectivamente. El otro grupo de valores fue conseguido por las secuencias de cultivo SCcc y SCsc con peso de 441 y 420 gr/tallo respectivamente.

No menos importante es que se puede considerar un solapamiento entre los dos grupos mencionados, debido a que los resultados con valores intermedios Rot. 2 años y SCcc pueden presentar un comportamiento similar estadísticamente hablando. A modo de ejemplificar lo descrito se plantea la siguiente figura No. 16.

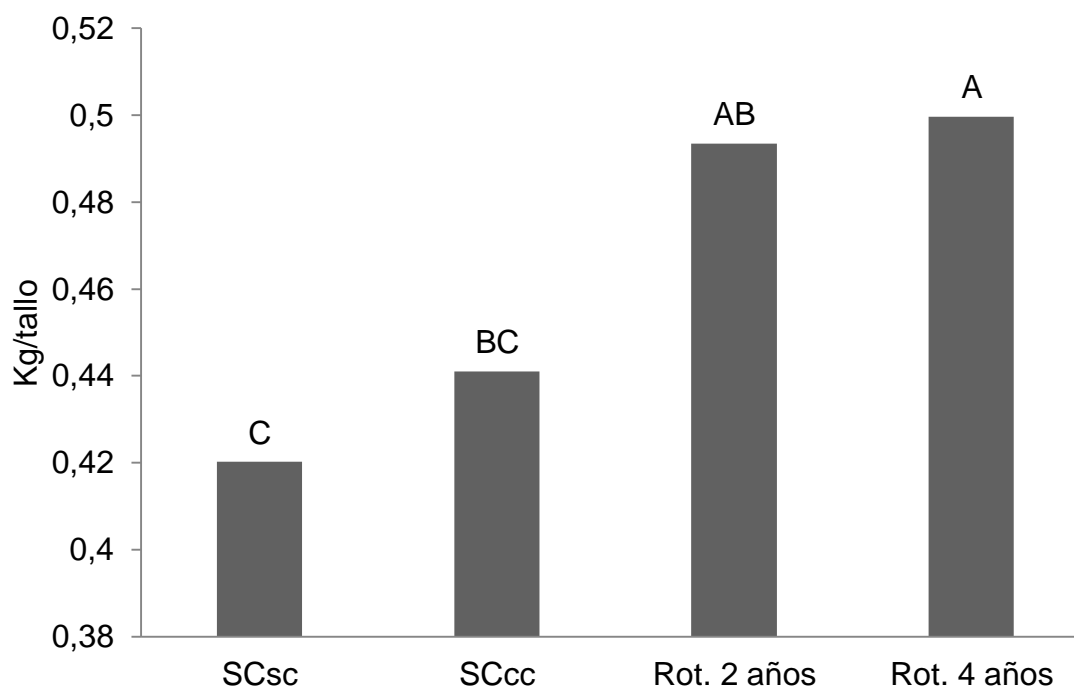


Figura No. 16. Peso individual de tallos diferenciados por tratamientos (mínima diferencia significativa 0,06).

Los mayores pesos individuales conseguidos por las rotaciones donde se incorporaron pasturas de más de un año de duración podrían ser atribuibles a una mejor condición física del perfil, debido a lo previamente explicado que estos perfiles tienen mayor capacidad de retención de agua disponible para el cultivo, por lo cual pueden suministrarla mejor durante el período crítico aumentando la brecha hacia un estrés hídrico que comprometa el rendimiento de los mismos.

La "diferencia" entre los tratamientos pertenecientes al grupo de mayor rendimiento, donde la Rot. 4 años puede considerarse superior debido a que la Rot. 2 años puede comportarse como la anterior pero no siempre por eso los caracteres asignados (Rot. 4 años A; Rot. 2 años AB), es atribuido al menor número de tallos presentes en la Rot. 4 años (13 tallos/m) en promedio frente a la Rot. 2 años (15 tallos/m). Por lo cual debido a las características de crecimiento en competencia del sorgo son esperables mayores pesos de los tallos a una menor densidad por su capacidad de compensar una merma en población.

En cambio la diferencia encontrada en las rotaciones SCcc y SCsc no podría ser atribuible a una diferencia en población debido a que presentaron el mismo número de tallos/m con un valor de 14, por ende la diferencia estaría explicada principalmente por la mayor incorporación de materia orgánica al perfil con la secuencia SCcc y lo que esto trae aparejado.

4.4.3. Interacción entre años y tratamientos sobre el peso individual de tallos

Además de las variaciones encontradas para peso individual de tallo entre tratamientos y años, se reportaron diferencias estadísticas sobre las interacciones de los mismos sobre la variable analizada.

Las interacciones mostraron diferencias atribuibles sobre los años con condiciones prósperas para el desarrollo como lo fueron los años 2010 y 2013 pudiendo capitalizar mejor los rendimientos los tratamientos con mayor aporte de residuos vegetales hacia el perfil teóricamente hablando. De esta manera se ilustra en el gráfico como los tratamientos Rot. 2 años y Rot. 4 años obtuvieron los mayores pesos individuales en los años 2010 y 2013.

En cambio en el año 2012 donde se registraron condiciones menos prósperas en los momentos críticos dichos tratamientos vieron mayormente comprometido su rendimiento sobre los pesos individuales al registrar los valores más bajos categorizados con la diferencial D estadísticamente expresado.

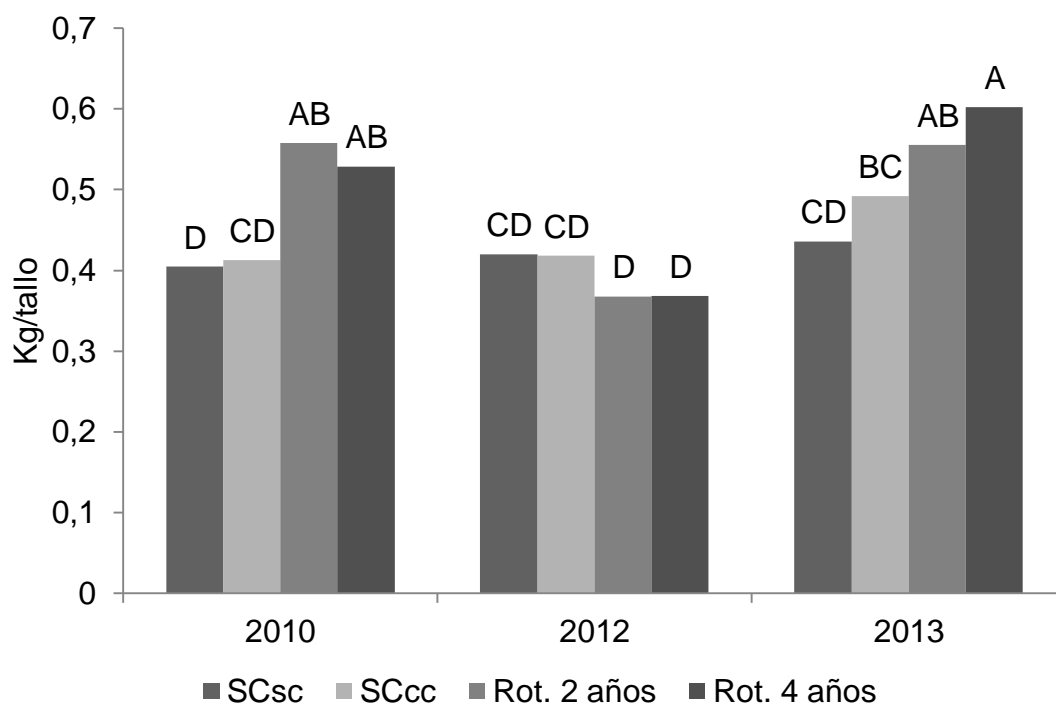


Figura No. 17. Interacción año-tratamiento para peso individual de tallo agrupados por año y expresado en Kg (mínima diferencia significativa 0,08).

4.5. DIÁMETRO Y ALTURA DE LA PLANTA

Los parámetros evaluados en cuanto diámetro y altura mostraron diferencias significativas en cuanto al efecto año, sin embargo no mostraron diferencias en cuanto a los tratamientos. Lo cual no era esperable debido a que existe una diferencia en el peso de los tallos individuales para los tratamientos. A modo de explicar lo sucedido se presenta el siguiente cuadro.

Cuadro No. 9. Datos promedios para los distintos tratamientos, y significancia entre los mismos.

| Determinaciones | SCsc | SCcc | Rot. 2 años | Rot. 4 años | Significancia |
|-----------------|-------|--------|-------------|-------------|---------------|
| P.I.T. | 0,43 | 0,46 | 0,46 | 0,49 | 0,09 |
| Diámetro | 1,325 | 1,3525 | 1,3775 | 1,49 | N.S. |
| Altura | 2,51 | 2,51 | 2,45 | 2,67 | N.S. |

El cuadro No. 9 ilustra lo previamente mencionado, donde existen diferencias significativas en cuanto a los pesos individuales de los tallos, siendo los componentes principales de éste el diámetro y la altura, los cuales no presentan diferencia en los tratamientos, pero si existe una variación entre éstos que tiene un efecto aditivo sobre los pesos, esto se traduce en la variación en el peso individual de tallo.

Se encontró una correlación de 0,87 entre los diámetros y las alturas, por lo cual contribuye a lo descrito ya que a mayor altura es esperable un mayor diámetro y por ende un mayor peso de tallo individual, también se encontró que la correlación entre los pesos individuales con la altura y el diámetro fue de 0,64.

Efecto año

Es importante aclarar que solamente se pudo evaluar 2 años debido a que no se realizaron medidas en el año 2010.

Ya que existe una alta correlación entre los parámetros altura y diámetro (0,87) éstos presentaron un comportamiento muy similar para los años considerados.

4.5.1. Diámetro

Los diámetros promedios fueron un 87% en el año 2012 frente a los del año 2013 con valores de 1,29 y 1,47 cm respectivamente.

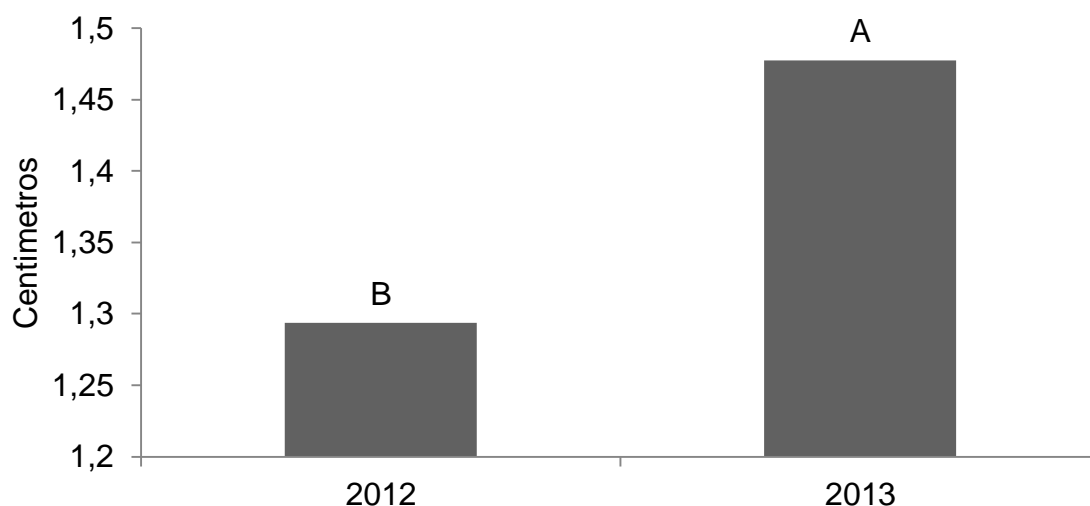


Figura No. 18. Diámetros tallos promedios de tratamientos diferenciados por año expresados en cm (mínima diferencia significativa 0,07).

4.5.2. Altura

Los valores registrados para altura en el año 2012 fueron un 83% con respecto a los obtenidos en el año 2013, con valores de 2,3 y 2,7 mts respectivamente.

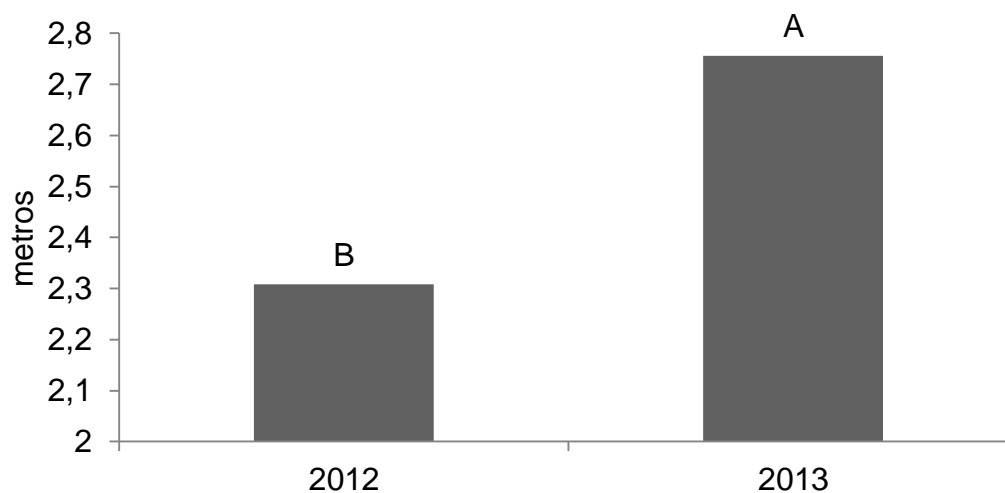


Figura No. 19. Altura tallos, promedio de los tratamientos diferenciados por año expresados en mts (mínima diferencia significativa 0,13).

El comportamiento diferente entre años es atribuible a las diferencias en las condiciones ambientales, principalmente a las precipitaciones en los momentos críticos en la concreción de rendimiento (floración) como ya fue mencionado en el apartado clima.

4.6. PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN

Este parámetro expresa que fracción de jugo aprovechable es capaz de extraerse del tallo de sorgo, expresado como una parte del peso de tallo limpio. Si bien la bibliografía consultada reporta que cada trapiche ya sea industrial o experimental presenta características propias que podrían variar a la hora de realizar las mediciones, no serán consideradas en este marco debido a que todas las muestras fueron procesadas bajo el mismo trapiche perteneciente a la E.E.M.A.C., pero si pueden existir algunas variaciones al realizar la comparación con otros experimentos no pertenecientes a la unidad.

No se encontraron diferencias apreciables estadísticamente para los distintos tratamientos, solamente se pudo determinar diferencia considerable para el efecto año, cabe aclarar que estas diferencias se registraron entre todos los años evaluados.

4.6.1. Efecto año sobre porcentaje de extracción

El año 2012 presentó mayor porcentaje de jugo frente a los otros 2 años evaluados reportando valores de 61% del peso de los tallos limpios, seguidamente en el año 2010 se registraron valores de 52%, el año que presentó los valores inferiores fue el año 2013 con 36% de extracción.

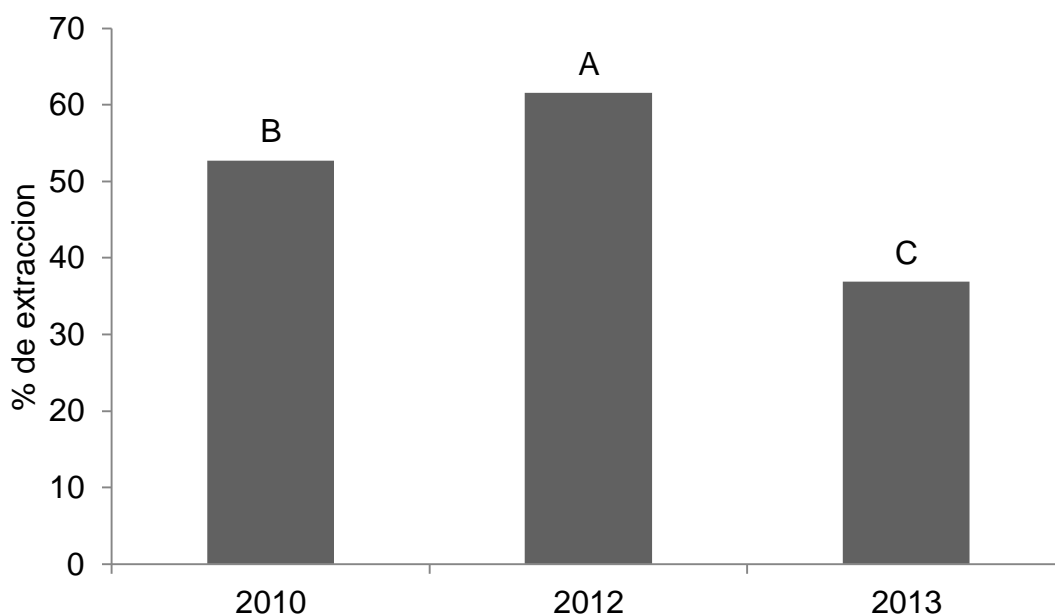


Figura No. 20. % promedio de extracción de jugo del peso tallo limpio, diferenciados por año (mínima diferencia significativa 1,8).

Los resultados obtenidos no concuerdan con los esperados, ya que debido a las condiciones de los años que se presentaron sería esperable que el peor rendimiento se obtuviera en el 2012 ya que éste produjo los pesos más bajos para peso individual de tallo junto con los peores rendimientos por hectárea en material fresco.

4.7. RENDIMIENTO EN JUGO/HA

La apreciación realizada para el rendimiento en jugo se hizo a partir del fardo obtenido al cortar 10m en dos hileras, por lo cual no se realizó una ponderación por el número de tallos y se considera el rendimiento por unidad de área (Kg de jugo/ha).

La producción de jugo se encontró dentro de los registros reportados para la variedad M81 según la bibliografía consultada, los cuales se sitúan entre 20 y 45 Mg/ha (Fassio, 2006).

Se registraron diferencias apreciables estadísticamente tanto para tratamiento como para los años evaluados, pero no se registró una interacción

entre los mismos por lo cual no se espera una respuesta diferencial condicionada por el tratamiento para distintas condiciones ambientales a esta escala.

4.7.1. Efecto año sobre rendimiento en jugo

En la siguiente figura No. 21 se presentan los resultados obtenidos de rendimiento en jugo por hectárea para cada año evaluado.

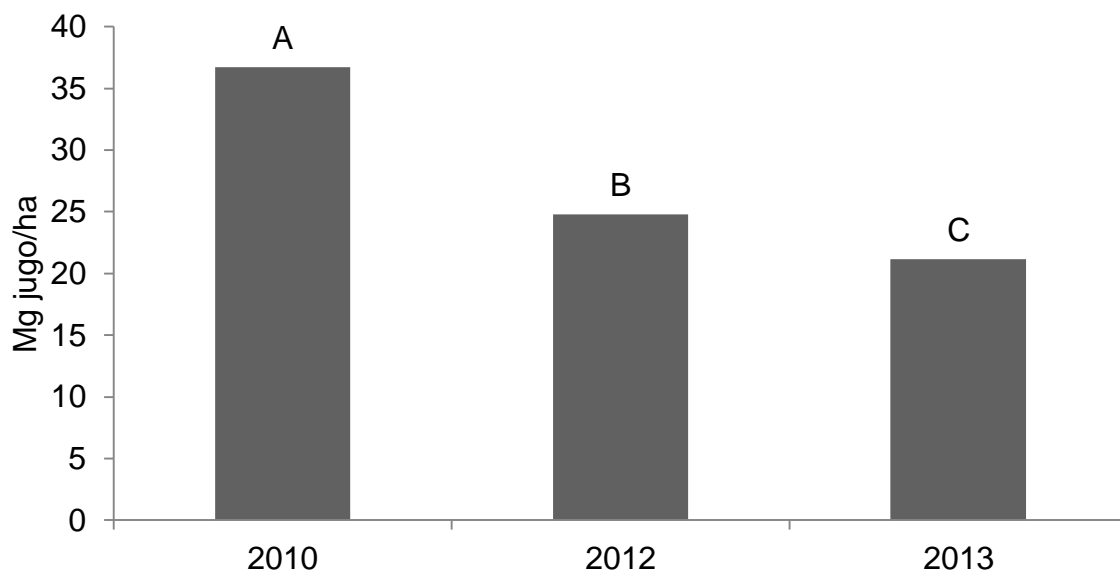


Figura No. 21. Megagramos de jugo/ha promedio de experimentos diferenciadas para cada año de evaluación (mínima diferencia significativa 2,68).

Como se desprende de la figura No. 21 el año 2010 fue el que presentó los mayores resultados obteniendo 36,7 megagramos de jugo/ha, lo cual era esperable debido a las condiciones climatológicas ocurridas para ese período, seguidamente el año 2012 produjo 24,8 megagramos de jugo/ha representado un 67% del mejor año 2010 lo cual si bien no era predecible debido a las determinaciones realizadas para peso total, peso tallo limpio y peso individual de tallo. Pero se explica este mayor rendimiento debido a un mayor número de tallos (estadísticamente despreciable pero de carácter aditivo) y porcentaje de extracción para el año 2012, siendo estas 2 determinaciones las que justifican

su mayor rendimiento frente al año 2013 el cual produjo un 57% (21,1 megagramos de jugo/ha) respecto al año 2010. Se menciona además que no era esperable este resultado porque las condiciones hídricas para el año 2012 fueron restrictivas en comparación con el año 2013 y con la reportada por la bibliografía para el período de concreción de potencial floración.

4.7.2. Efecto tratamiento sobre rendimiento en jugo

El siguiente gráfico presenta los rendimientos en jugo/ha para los distintos tratamientos evaluados.

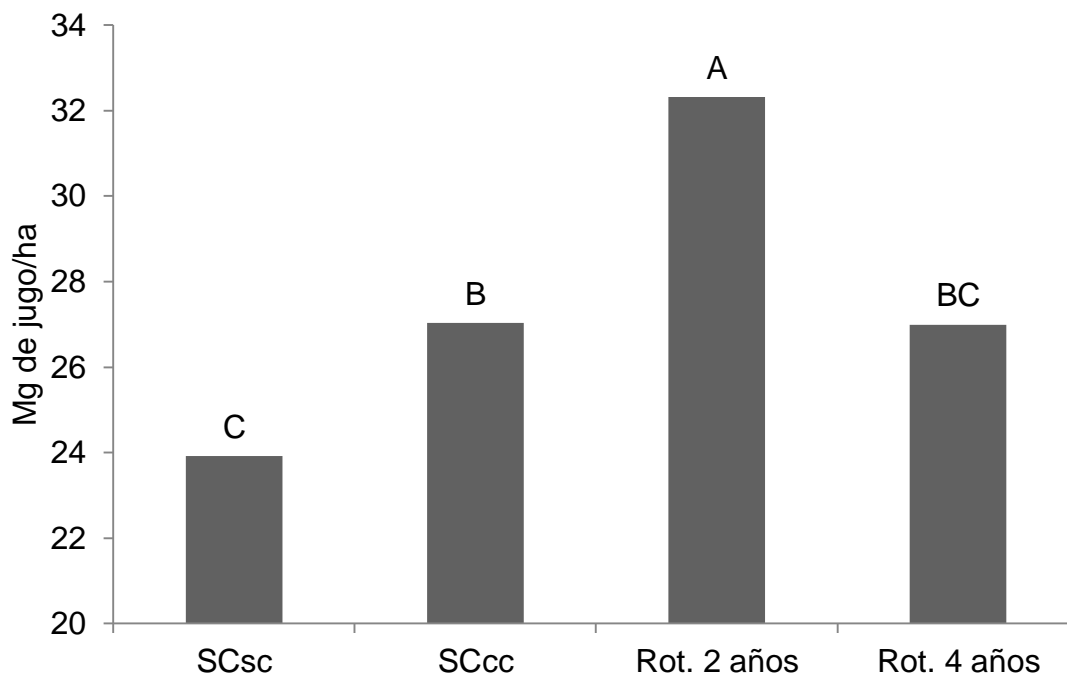


Figura No. 22. Megagramos de jugo/ha promedio de años, diferenciados por tratamiento (mínima diferencia significativa 3,09).

Del gráfico se desprende que la rotación que obtuvo mejores rendimientos a lo largo de los años evaluados fue Rot. 2 años al producir 32,3 megagramos de jugo/ha. Esto puede atribuirse a la mayor producción de material radicular en promedio comparado con las otras rotaciones al lograr mejores condiciones edáficas en cuanto a retención de agua disponible y cantidad y calidad de materia orgánica.

Con el tratamiento SCcc se obtuvieron rendimientos promedios de 27 megagramos de jugo/ha lo que representa un 80% en comparación con el mejor de los tratamientos, seguido en nivel de productividad se encontró que la Rot. 4 años en promedio produjo 26,99 megagramos de jugo/ha siendo muy estrecha la diferencia entre estos 2 tratamientos y por lo cual la mínima diferencia significativa categoriza a esta rotación que puede comportarse como SCcc. El rendimiento levemente inferior para la Rot. 4 años puede ser atribuible a un menor número de tallos por unidad de superficie.

El tratamiento que obtuvo los resultados inferiores fue SCsc con 23,9 megagramos de jugo/ha de cualquier manera cabe aclarar que la Rot. 4 años también puede comportarse igual que éste estadísticamente hablando nuevamente justificado por el bajo número de tallos logrados en el experimento Rot. 4 años.

4.8. CORRELACIONES ENTRE LAS VARIABLES EVALUADAS

A modo de explicar cómo las variaciones de algunos parámetros pueden afectar o comprometer otros de los cuales fueron evaluados, se realizó un cuadro de correlaciones para poder visualizar esto. Este cuadro se presenta a continuación y se muestran todos los parámetros medidos a lo largo del experimento, (peso total, peso de tallo limpio, número de tallos, peso individual de tallos, altura, diámetro, % de extracción y jugo).

Cuadro No. 10. Correlaciones entre variables evaluadas en el experimento.

| | PT | PTL | NT | P.I.T. | altura | diámetro | % ext. | jugo |
|----------|-------|-------|-------|--------|--------|----------|--------|------|
| PT | 1,00 | | | | | | | |
| PTL | 0,98 | 1,00 | | | | | | |
| NT | 0,55 | 0,57 | 1,00 | | | | | |
| P.I.T. | 0,66 | 0,64 | -0,24 | 1,00 | | | | |
| altura | 0,44 | 0,55 | -0,25 | 0,64 | 1,00 | | | |
| diámetro | 0,58 | 0,65 | 0,01 | 0,64 | 0,87 | 1,00 | | |
| % ext. | -0,19 | -0,27 | 0,31 | -0,53 | -0,76 | -0,58 | 1,00 | |
| Jugo | 0,80 | 0,78 | 0,74 | 0,25 | -0,25 | 0,03 | 0,37 | 1,00 |

Cuadro No. 11. Referencia para el cuadro No. 10

| nivel de correlación | rango de valores expresado en valor absoluto |
|----------------------|--|
| alta | (0,75-1] |
| media | (0,5-0,75] |
| baja | (0,25-0,5] |
| nula | [0,0-0,25] |

La tabla de referencias explica el modo de categorización utilizado para medir que tan correlacionadas están las variables, los valores son expresados en valor absoluto ya que la idea es diferenciar el grado de correlación al momento de analizarlas determinar si es positiva o negativa la correlación existente.

Los parámetros en cuanto a volumen de producción por unidad de superficie (peso total, peso tallo limpio y jugo) todos presentaron correlaciones altas y positivas entre ellos con valores superiores a 0,75.

El peso de los tallos limpios presentó correlaciones medias positivas con todos los otros parámetros (No. tallos, peso individual de tallo, altura y diámetro), con la excepción de porcentaje de extracción con el cual se correlacionó de forma baja negativamente.

Los números de tallos por superficie solamente presentaron una alta correlación con el rendimiento en jugo y una baja correlación con el porcentaje de extracción. Cabe mencionar que si bien el valor existente en la correlación con el peso individual de tallos y número de tallos es despreciable, éste es de carácter negativo. Lo cual según la bibliografía consultada era esperable pero con un valor absoluto considerablemente más alto, este comportamiento puede suponerse por haberse logrado un bajo número de tallos en general para cada situación, por lo cual no se generaron condiciones de competencia que afecten en gran medida el peso y/o tamaño de los mismos.

Diámetro y altura ambas variables presentaron una correlación positiva alta entre sí, debido a esto se espera comportamientos similares entre ambas. También presentaron correlaciones positivas con respecto a los pesos, estas fueron de categorización media y baja, por lo cual se puede concluir que existe un efecto aditivo entre ambas por lo que contribuyen al peso de los tallos, ya sea individual, limpio o total. Tanto diámetro, altura como peso individual de

tallos presentaron correlaciones medias negativas con el porcentaje de extracción.

La cantidad de jugo obtenido también presentó correlaciones altas y positivas con respecto a los pesos por superficie, por lo cual a mayores producciones de biomasa se puede obtener mayores rendimientos en jugo por unidad e superficie.

Como ya se describió extracción se correlacionó negativamente con diámetro, altura y peso individual de tallo, además se reportó una correlación baja positiva entre % de extracción y rendimiento en jugo por área, pero al reportarse correlaciones positivas de impacto entre los pesos evaluados, diámetro y altura se podría suponer que a la hora de analizar el rendimiento en jugo cobra más importancia las variables previamente descritas que el porcentaje de extracción, el cual según la bibliografía consultada presenta grandes variaciones dependiendo el método de extracción utilizado.

4.9. COMPONENTES DE RENDIMIENTO

Los componentes de rendimiento en jugo por hectárea estarían conformados por:

Rendimiento en jugo= (biomasa de tallos/ha) X (% de extracción)

Biomasa de tallos= (No. de tallos/ha) X peso individual de tallos

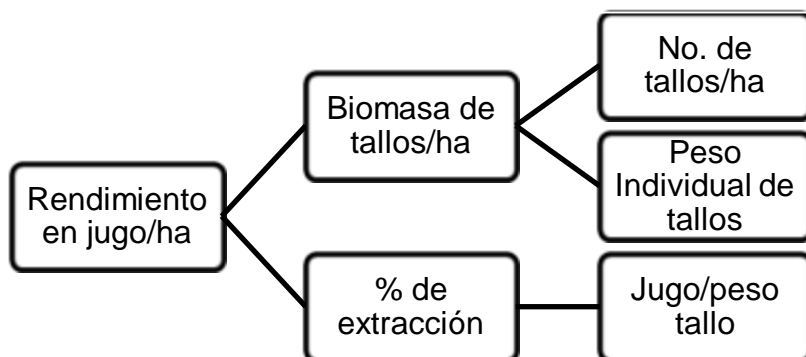


Figura No. 23. Componentes de rendimiento

5. CONCLUSIONES

El mayor rendimiento en jugo, promedio de los tres años evaluados, correspondió al sistema sorgo dulce en rotación con pasturas de 1,5 años de duración (Rot. 2 años). Este mejor comportamiento productivo fue debido principalmente a un alto peso individual de los tallos y una tendencia a presentar un mayor número de tallos por metro cuadrado, siendo estos 2 componentes fundamentales en los componentes de rendimiento.

Los mayores rendimientos para Rot. 2 años podrían atribuirse a una mejora de las propiedades físico-químicas del suelo (mayor producción de raíces por las pasturas que mejoran la estructura del suelo) y a una mayor disponibilidad de nitrógeno aportados por la leguminosa.

No se encontraron diferencias en el porcentaje de extracción de jugo según sistema evaluado, sin embargo se encontraron correlaciones negativas de nivel medio con respecto a los parámetros altura, diámetro y peso individual de tallos.

La utilización de sorgo dulce con alta frecuencia de aparición (cada dos años) rotando con una pastura corta generaría muy buenas condiciones para obtener buenos rendimientos siempre y cuando las condiciones ambientales sean propicias para altas producciones de sorgo dulce. De cualquier manera son necesarios más años de investigación para seguir monitoreando la evolución de los rendimientos y sus efectos sobre las propiedades físico químicas del suelo.

6. RESUMEN

La búsqueda de alternativas energéticas mediante el uso de recursos renovables, nos ha llevado a la producción de biomasa vegetal como fuente de energía. Dentro de la gama de posibilidades se encuentra el sorgo dulce (*Sorghum bicolor*) el cual debido a sus características productivas y adaptabilidad a diversos ambientes lo hace una interesante alternativa para el Uruguay. En este sentido se instaló en el año 2005, en la estación experimental Dr. Mario a. Cassinoni de la facultad de Agronomía, un experimento con el propósito de detectar la viabilidad del sorgo dulce en la producción de biomasa de forma sostenible, para esto se analizaron distintas rotaciones con y sin pasturas las cuales plantean diferentes intensidades de sorgo en la rotación y cómo afecta la proporción de pasturas en la producción de biomasa del sorgo. Con este fin se implementaron 4 rotaciones, sorgo dulce continuo con y sin cobertura, sorgo dulce en rotación con pasturas de 1,5 y 3,5 años de duración. La inclusión de pasturas hace que exista una mayor incorporación de materia orgánica tanto en superficie como en el perfil, de esta manera el suelo debería de mantener en gran parte sus características físico-químicas, las cuales nos permitirían seguir produciendo sobre los mismos de una manera económicamente viable y amigable con el ambiente. Para esta evaluación se estudiaron 4 años de este experimento, 2010; 2011; 2012; 2013. Los parámetros estudiados fueron: número de tallos; rendimiento en biomasa, peso tallo limpio, peso individual de tallo, diámetro del tallo, altura de planta, % de jugo de tallo limpio y jugo/ha también la forma en que variaron de acuerdo con tratamiento, el año e interacción entre ambos factores. La mayor producción de jugo se encontró para el tratamiento 3, o sea sorgo en rotación con una pastura de 2 años, esto se debe a que existió una mayor producción de biomasa justificado por peso de tallos y una tendencia a lograr un mayor número de tallos, los cuales son parámetros importantes dentro de la determinación del rendimiento. Esto se podría atribuir a que el factor suelo se encuentra en mejores condiciones físicas y químicas debido a la incorporación de un volumen mayor de restos y sus características en cuanto a calidad y facilidad de descomposición. El número de tallos, peso total de biomasa y peso individual de tallo se encuentran afectados por la interacción año/tratamiento, éstos obtuvieron mejores resultados en los tratamientos con rotación con pasturas perennes, ya que capitalizaron mejor los años de adecuadas condiciones climáticas, poniendo en evidencia como un buen manejo no fue capaz de amortiguar las condiciones adversas para el cultivo debido a los resultados similares entre sí en el año 2012 para estas variables.

Palabras clave: Sorgo dulce; Suelo; Energía renovable; Biomasa; Carbono orgánico; Rotaciones.

7. SUMMARY

The search for energy alternatives by using renewable resources, has led to the production of plant biomass as an energy source. In the plenty of possibilities is included the sorghum (*Sorghum bicolor*) which one is due to productivity characteristics and adaptability to different ambient, make it an interest alternative to Uruguay. With this purpose it was installed in the EEMAC at the date of 2005, an experiment to detect the viability of producing sorghum biomass in a sustainable way, for this different rotations were analyzed with and without pasture which present different intensities of sorghum in rotation and how it affects the proportion of pastures in the biomass production of sorghum. 4 kinds of rotations were analysed For this purpose; sweet sorghum continue with and without coverage, sweet sorghum in rotation with pastures of 2,5 to 3,5 years duration, the inclusion of pasture generate more organic matter to incorporate to the profile, in these way the soil should conserve greatly the characteristics physico-chemical which will allow us to continue producing about them in a way that is economically viable and friendly with the environment. 4 years of experiment were studied for this evaluation, 2010; 2011, 2012; 2013. The parameters studied were: number of stems; biomass yield, weight clean stalk, individual weight of stem, stem diameter, plant height, % of juice clean stem and juice/ha also how it vary according to the treatment, the year and interaction between both factors. The highest production of juice was found on the treatment 3 (sorghum in rotation with a pasture of 2 years), because of a greater production of biomass justified by weight of stems and a tendency to achieve a greater number of stems, which are important parameters in the determination of the performance. This could be due attributed to the soil factor that was found in a better physical and chemical condition due to the incorporation of one greater volume of vegetal remains and their characteristics in terms of quality and ease of decomposition. The number of stems, total biomass and individual weights of stem were affected by the interaction year/treatment, the better results were obtained in treatments with perennial pasture rotation, because they were capable of capitalized better on the years of suitable climatic conditions, highlighting as good soil management was not able to cushion the adverse conditions for cultivation due to similar results reported in 2012 for these variables.

Keywords: Sweet Sorghum; Floor; Renewable energy; Biomass; Organic carbon; Rotations.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Acevedo, E.; Fuentes, J. P.; Martínez, E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. (en línea). Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal. 8 (1): 68-96. Consultado 28 may. 2014. Disponible en <http://www.scielo.cl/pdf/rcsuelo/v8n1/art06.pdf>
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. Bolinder, M. A.; Janzen, H. H.; Gregorich, E. G.; Angers, D. A.; Vanden Bygaart, A. J. 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture Ecosystems and Environment. 118: 29-42.
4. Black, C. A. 1975. Relaciones suelo-planta. Buenos Aires, Hemisferio Sur. v.1, 444 p. (Colección de textos de agronomía y veterinaria no. 12).
5. Compton, L. P. 1990. Agronomía del sorgo. El Salvador, CENTA. pp. 97-103.
6. Díaz Rosselló, R. 1992. Evolución del nitrógeno total en rotaciones con pasturas. Investigaciones Agronómicas. 1(1): 27-35.
7. Durán, A.; García Préchac, F. 2007. Suelos del Uruguay; origen, clasificación, manejo y conservación. Montevideo, Hemisferio Sur. v. 2, 358 p.
8. Ernst, O. 2000. Siete años de siembra sin laboreo. Cangüé no. 20: 9-13.
9. _____; Siri, G. 2009. Manejo del suelo y rotación con pasturas; efecto sobre rendimiento de los cultivos, su variabilidad y el uso de insumos. In: Simposio Nacional de Agricultura de Secano (1º., 2009, Paysandú). Trabajos presentados. Paysandú, Facultad de Agronomía. pp. 125-140.
10. Fassio, A. 2006. Cultivo de sorgo azucarado para la producción de alcohol etílico en el litoral SW del país. In: Jornada de cultivos de verano (2006, La Estanzuela, Colonia). Memorias. Montevideo, INIA. pp. 1-4 (Actividades de Difusión no. 472).
11. Fernández, E. 1992. Análisis físico y económico de siete rotaciones de cultivos y pasturas en el suroeste de Uruguay. Revista INIA. Investigaciones Agronómicas. 1(2): 251-271.

12. Fontanetto, H.; Keller, O. 2001. Efecto de diferentes secuencias de cultivos en siembra directa continua; sobre algunas propiedades edáficas de un Argiudol en la región pampeana norte de Argentina. In: Díaz Rosselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 269-273.
13. García, J. 1996. Producción de forraje de pasturas cultivadas en la región litoral sur. (en línea). In: Risso, D. F.; Berretta, E. J. Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 163-165 (Serie Técnica no. 80). Consultado 04 jun. 2016. Disponible en <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807135431.pdf>
14. García Préchac, F. 1992. Propiedades físicas y erosión en rotaciones de cultivos y pasturas. Investigaciones Agronómicas. 1 (1): 127-140.
15. _____; Durán, A.; Labella, S. 2000. Propiedades hídricas de los suelos. (en línea). Montevideo, s.e. 46 p. Consultado 18 jun. 2016. Disponible en <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+hidricas+del+suelo.pdf>
16. _____. 2003. Cultivo continuo en siembra directa o rotaciones de cultivos y pasturas en suelos pesados del Uruguay. Cangüé. no. 26: 28-32
17. _____.; Ernst, O.; Siri, G.; Terra, J. A. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. Soil and Tillage Research. 77:1-13.
18. House, L. R. 1985. A guide to sorghum breeding; growth stages and morphology. 2nd. ed. Andhra Pradesh, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. pp. 12-14.
19. Kim, H. K.; van Oosterom, E.; Dingkuhn, M.; Luquet, D.; Hammer, G. (2010). Regulation of tillering in sorghum; environmental effects. (en línea). Annals of Botany. 106(1): 57-67. Consultado 08 ago. 2016. Disponible en <http://doi.org/10.1093/aob/mcq079>
20. León, J. 1987. Botánica de los cultivos tropicales; gramíneas. 2ª.ed. San José, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). pp. 126-130.
21. Lovett, J. V.; Lazemby, A. 1979. Australian field crops; tropical cereals, oilseeds, grain legumes and other crops. Sydney, Angus and Robertson. v.2, 328 p.

22. Medina, G.; Olivera, B. 2012. Respuesta a la población en sorgo en ambientes con diferente potencial de producción. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 54 p.
23. Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. *In*: Díaz Rosselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 387-405.
24. _____. 2003a. Principales contribuciones del experimento de rotaciones cultivos-pasturas de INIA la Estanzuela en el área de fertilidad de suelos (1963-2003). *In*: Morón, A.; Díaz, R. eds. 40 años de rotaciones agrícola-ganaderas. Montevideo, INIA. pp. 1-9 (Serie Técnica no. 134).
25. _____.; Sawchick, J. 2003b. Soil quality indicators in a long-term crop-pasture rotation experiment in Uruguay. *In*: Morón, A.; Díaz, R. eds. 40 años de rotaciones agrícola-ganaderas. Montevideo, INIA. pp. 67-75 (Serie Técnica no. 134).
26. Ribeiro, A.; Zerbino, M. S. 2000. Manejo de plagas en pasturas y cultivos. Montevideo, INIA. 97 p. (Serie Técnica no. 112)
27. Robert, M. 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. (en línea). Roma, FAO. cap. 5, pp. 33- 39 (Informes sobre recursos mundiales de suelos no. 96). Consultado 4 jun. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-bl001s.pdf>
28. Sawchick, J. 2001. Dinámica del nitrógeno en la rotación cultivo-pastura bajo laboreo convencional y siembra directa. *In*: Díaz Rosselló, R. ed. Siembra directa en el cono Sur. Montevideo, Uruguay, PROCISUR. pp. 323-345.
29. Siri, G. 2004. Sorgo. Montevideo, Facultad de Agronomía. 51 p.

9. ANEXOS

Anexo No. 1. Datos obtenidos para las diferentes determinaciones, diferenciados por tratamiento.

| rotación 2 años | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------|--------|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| año | parcela | bloque | PT | PTL | NT | PIT | altura | diam | ext | jugo |
| 10 | 3 | 1 | 87.0 | 78.0 | 14.5 | 0.60 | . | . | 0.53 | 41.7 |
| 10 | 3 | 2 | 95.2 | 83.8 | 18.5 | 0.51 | . | . | 0.53 | 44.5 |
| 11 | 4 | 1 | 48.3 | 42.2 | 26.7 | 0.18 | 2.7 | 1.5 | 0.55 | 23.0 |
| 11 | 4 | 2 | 22.1 | 19.1 | 12.2 | 0.18 | 2.2 | 1.5 | 0.53 | 10.0 |
| 12 | 1 | 4 | 43.1 | 33.1 | 13.8 | 0.31 | 2.1 | 1.2 | 0.62 | 20.5 |
| 12 | 2 | 4 | 63.5 | 48.1 | 15.0 | 0.42 | 2.1 | 1.2 | 0.61 | 29.4 |
| 13 | 1 | 4 | 84.8 | 71.5 | 16.0 | 0.53 | 2.6 | 1.5 | 0.39 | 27.7 |
| 13 | 2 | 4 | 91.8 | 79.7 | 15.8 | 0.58 | 3.0 | 1.6 | 0.38 | 30.2 |
| rotación 4 años | | | | | | | | | | |
| año | parcela | bloque | PT | PTL | NT | PIT | altura | diam | ext | jugo |
| 10 | 8 | 1 | 82.4 | 73.0 | 15.3 | 0.54 | . | . | 0.57 | 41.5 |
| 10 | 8 | 2 | 67.2 | 57.4 | 13.0 | 0.52 | . | . | 0.48 | 27.7 |
| 11 | 7 | 1 | 21.1 | 18.6 | 19.3 | 0.11 | 2.0 | 1.2 | 0.43 | 8.1 |
| 11 | 7 | 2 | 31.9 | 27.4 | 16.9 | 0.19 | 2.1 | 1.2 | 0.46 | 12.6 |
| 12 | 1 | 5 | 43.1 | 33.1 | 13.8 | 0.31 | 2.6 | 1.5 | 0.62 | 20.5 |
| 12 | 2 | 5 | 59.5 | 44.4 | 14.0 | 0.43 | 2.5 | 1.4 | 0.59 | 26.1 |
| 13 | 1 | 5 | 70.0 | 59.8 | 11.4 | 0.61 | 2.8 | 1.5 | 0.35 | 21.0 |
| 13 | 2 | 5 | 72.0 | 61.5 | 12.2 | 0.59 | 2.7 | 1.6 | 0.41 | 25.1 |
| rotación sorgo continuo sin cobertura | | | | | | | | | | |
| año | parcela | bloque | PT | PTL | NT | PIT | altura | diam | ext | jugo |
| 10 | 1 | 1 | 73.4 | 66.6 | 21.3 | 0.35 | . | . | 0.55 | 36.4 |
| 10 | 1 | 2 | 77.8 | 66.5 | 16.8 | 0.46 | . | . | 0.49 | 32.8 |
| 11 | 1 | 2 | 23.8 | 20.1 | 16.1 | 0.15 | 2.0 | 1.1 | 0.46 | 9.2 |
| 12 | 1 | 1 | 49.4 | 38.7 | 14.2 | 0.35 | 2.2 | 1.2 | 0.61 | 23.6 |
| 12 | 2 | 1 | 54.1 | 36.1 | 11.0 | 0.49 | 2.4 | 1.4 | 0.61 | 21.9 |
| 13 | 1 | 1 | 58.0 | 49.5 | 12.4 | 0.47 | 2.9 | 1.5 | 0.35 | 17.1 |
| 13 | 2 | 1 | 42.8 | 35.1 | 10.6 | 0.40 | 2.5 | 1.2 | 0.33 | 11.7 |
| 11 | 1 | 1 | 36.1 | 31.8 | 20.9 | 0.17 | 2.4 | 1.4 | 0.55 | 17.6 |
| rotación sorgo continuo con cobertura | | | | | | | | | | |
| año | parcela | bloque | PT | PTL | NT | PIT | altura | diam | ext | jugo |
| 10 | 2 | 1 | 69.2 | 61.1 | 19.8 | 0.35 | . | . | 0.54 | 33.1 |
| 10 | 2 | 2 | 78.6 | 69.4 | 16.5 | 0.48 | . | . | 0.52 | 36.2 |
| 11 | 2 | 1 | 36.4 | 32.5 | 21.9 | 0.17 | 2.5 | 1.4 | 0.53 | 17.3 |
| 11 | 2 | 2 | 32.4 | 28.3 | 20.4 | 0.16 | 2.3 | 1.3 | 0.50 | 14.1 |
| 12 | 1 | 2 | 52.3 | 41.0 | 13.0 | 0.40 | 2.5 | 1.3 | 0.63 | 26.0 |
| 12 | 2 | 2 | 62.5 | 48.1 | 14.4 | 0.43 | 2.0 | 1.2 | 0.63 | 30.4 |
| 13 | 1 | 2 | 50.6 | 43.1 | 11.6 | 0.44 | 2.6 | 1.4 | 0.37 | 15.9 |
| 13 | 2 | 2 | 63.6 | 55.3 | 11.6 | 0.55 | 2.9 | 1.5 | 0.37 | 20.7 |

Anexo No.2. Resumen de resultados estadísticos para todos los parámetros analizados, efecto año, tratamiento e interacción entre estos. Con significancia considerada para $p < 0.1$

| | Tratamientos | Año | Año*tratamiento |
|-------------------------|--------------|--------|-----------------|
| Parámetro | | | |
| No. de tallos | 0.1978 | 0.0010 | 0.0960 |
| peso total | 0.0094 | 0.0002 | 0.0670 |
| peso tallo limpio | 0.0089 | <.0001 | 0.0849 |
| peso individual tallo | 0.0926 | 0.0032 | 0.1080 |
| diámetro tallo | 0.2077 | 0.0085 | 0.2104 |
| altura planta | 0.5038 | 0.0032 | 0.4132 |
| % jugo del tallo limpio | 0.4045 | <.0001 | 0.8319 |
| jugo (lt/ha) | 0.0354 | <.0001 | 0.2679 |

Anexo No.3. Relación entre número de tallos de sorgo con diferentes proporciones de pasturas en rotación, año e interacción entre las mismas.

The Mixed Procedure

Model Information

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Data Set | WORK.ROT11 |
| Dependent Variable | Numero de tallos |
| Covariance Structure | Variance Components |
| Estimation Method | REML |
| Residual Variance Method | Profile |
| Fixed Effects SE Method | Model-Based |
| Degrees of Freedom Method | Containment |

Class Level Information

| Class | Levels | Values |
|-------|--------|----------|
| Año | 3 | 10 12 13 |
| rep | 2 | 1 2 |
| trat | 4 | 1 2 3 4 |

Dimensions

| | |
|-----------------------|----|
| Covariance Parameters | 2 |
| Columns in X | 20 |
| Columns in Z | 2 |
| Subjects | 1 |
| Max Obs Per Subject | 24 |
| Observations Used | 24 |
| Observations Not Used | 0 |
| Total Observations | 24 |

Iteration History

| Iteration | Evaluations | -2 Res Log Like | Criterion |
|-----------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 1 | 55.22272966 | |
| 1 | 1 | 55.22272966 | 0.00000000 |

Convergence criteria met.

Covariance Parameter Estimates

| Cov Parm | Estimate |
|----------|----------|
| rep | 0 |
| Residual | 2.9179 |

Fit Statistics

| | |
|--------------------------------|-------|
| Res Log Likelihood | -27.6 |
| Akaike's Information Criterion | -28.6 |

The Mixed Procedure

Fit Statistics

| | |
|------------------------------|-------|
| Schwarz's Bayesian Criterion | -28.0 |
| -2 Res Log Likelihood | 55.2 |

Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|----------|--------|--------|---------|--------|
| ano | 2 | 11 | 13.73 | 0.0010 |
| trat | 3 | 11 | 1.84 | 0.1978 |
| ano*trat | 6 | 11 | 2.43 | 0.0960 |

Least Squares Means

| Effect | ano | trat | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|----------|-----|------|----------|----------------|----|---------|---------|
| ano | 10 | | 16.9625 | 0.6039 | 11 | 28.09 | <.0001 |
| ano | 12 | | 13.6500 | 0.6039 | 11 | 22.60 | <.0001 |
| ano | 13 | | 12.7000 | 0.6039 | 11 | 21.03 | <.0001 |
| trat | | 1 | 14.3833 | 0.6974 | 11 | 20.63 | <.0001 |
| trat | | 2 | 14.4833 | 0.6974 | 11 | 20.77 | <.0001 |
| trat | | 3 | 15.6000 | 0.6974 | 11 | 22.37 | <.0001 |
| trat | | 4 | 13.2833 | 0.6974 | 11 | 19.05 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 1 | 19.0500 | 1.2079 | 11 | 15.77 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 2 | 18.1500 | 1.2079 | 11 | 15.03 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 3 | 16.5000 | 1.2079 | 11 | 13.66 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 4 | 14.1500 | 1.2079 | 11 | 11.71 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 1 | 12.6000 | 1.2079 | 11 | 10.43 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 2 | 13.7000 | 1.2079 | 11 | 11.34 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 3 | 14.4000 | 1.2079 | 11 | 11.92 | <.0001 |

| | | | | | | | |
|----------|----|---|---------|--------|----|-------|--------|
| ano*trat | 12 | 4 | 13.9000 | 1.2079 | 11 | 11.51 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 1 | 11.5000 | 1.2079 | 11 | 9.52 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 2 | 11.6000 | 1.2079 | 11 | 9.60 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 3 | 15.9000 | 1.2079 | 11 | 13.16 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 4 | 11.8000 | 1.2079 | 11 | 9.77 | <.0001 |

Anexo No.4. Relación entre peso total de biomasa con diferentes proporciones de pasturas en rotación, año e interacción entre las mismas.

Model Information

| | |
|---------------------------|-----------------------|
| Data Set | WORK.ROT11 |
| Dependent Variable | Peso de biomasa total |
| Covariance Structure | Variance Components |
| Estimation Method | REML |
| Residual Variance Method | Profile |
| Fixed Effects SE Method | Model-Based |
| Degrees of Freedom Method | Containment |

Class Level Information

| Class | Levels | Values |
|-------|--------|----------|
| ano | 3 | 10 12 13 |
| rep | 2 | 1 2 |
| trat | 4 | 1 2 3 4 |

Dimensions

| | |
|-----------------------|----|
| Covariance Parameters | 2 |
| Columns in X | 20 |
| Columns in Z | 2 |
| Subjects | 1 |
| Max Obs Per Subject | 24 |
| Observations Used | 24 |
| Observations Not Used | 0 |
| Total Observations | 24 |

Iteration History

| Iteration | Evaluations | -2 Res Log Like | Criterion |
|-----------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 1 | 93.29204586 | |
| 1 | 1 | 92.54916144 | 0.00000000 |

Convergence criteria met.

Covariance Parameter
Estimates

| | |
|----------|----------|
| Cov Parm | Estimate |
| rep | 9.8805 |
| Residual | 59.7576 |

Fit Statistics

| | |
|--------------------------------|-------|
| Res Log Likelihood | -46.3 |
| Akaike's Information Criterion | -48.3 |

Fit Statistics

| | |
|------------------------------|-------|
| Schwarz's Bayesian Criterion | -47.0 |
| -2 Res Log Likelihood | 92.5 |

Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|----------|-----------|-----------|---------|--------|
| ano | 2 | 11 | 21.64 | 0.0002 |
| trat | 3 | 11 | 6.33 | 0.0094 |
| ano*trat | 6 | 11 | 2.79 | 0.0670 |

Least Squares Means

| Effect | ano | trat | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|----------|-----|------|----------|-------------------|----|---------|---------|
| ano | 10 | | 78.8500 | 3.5228 | 11 | 22.38 | <.0001 |
| ano | 12 | | 53.4300 | 3.5228 | 11 | 15.17 | <.0001 |
| ano | 13 | | 66.7000 | 3.5228 | 11 | 18.93 | <.0001 |
| trat | | 1 | 59.2483 | 3.8600 | 11 | 15.35 | <.0001 |
| trat | | 2 | 62.7933 | 3.8600 | 11 | 16.27 | <.0001 |
| trat | | 3 | 77.5600 | 3.8600 | 11 | 20.09 | <.0001 |
| trat | | 4 | 65.7050 | 3.8600 | 11 | 17.02 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 1 | 75.6000 | 5.9008 | 11 | 12.81 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 2 | 73.9000 | 5.9008 | 11 | 12.52 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 3 | 91.1000 | 5.9008 | 11 | 15.44 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 4 | 74.8000 | 5.9008 | 11 | 12.68 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 1 | 51.7450 | 5.9008 | 11 | 8.77 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 2 | 57.3800 | 5.9008 | 11 | 9.72 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 3 | 53.2800 | 5.9008 | 11 | 9.03 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 4 | 51.3150 | 5.9008 | 11 | 8.70 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 1 | 50.4000 | 5.9008 | 11 | 8.54 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 2 | 57.1000 | 5.9008 | 11 | 9.68 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 3 | 88.3000 | 5.9008 | 11 | 14.96 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 4 | 71.0000 | 5.9008 | 11 | 12.03 | <.0001 |

Anexo No.5. Relación entre peso tallos limpios con diferentes proporciones de pasturas en rotación, año e interacción entre las mismas.

Model Information

| | |
|----------------------|---------------------|
| Data Set | WORK.ROT11 |
| Dependent Variable | Peso tallo limpio |
| Covariance Structure | Variance Components |

Estimation Method REML
 Residual Variance Method Profile
 Fixed Effects SE Method Model-Based
 Degrees of Freedom Method Containment

Class Level Information

| Class | Levels | Values |
|-------|--------|----------|
| ano | 3 | 10 12 13 |
| rep | 2 | 1 2 |
| trat | 4 | 1 2 3 4 |

Dimensions

| | |
|-----------------------|----|
| Covariance Parameters | 2 |
| Columns in X | 20 |
| Columns in Z | 2 |
| Subjects | 1 |
| Max Obs Per Subject | 24 |
| Observations Used | 24 |
| Observations Not Used | 0 |
| Total Observations | 24 |

Iteration History

| Iteration | Evaluations | -2 Res Log Like | Criterion |
|-----------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 1 | 89.12080388 | |
| 1 | 1 | 89.10801462 | 0.00000000 |

Convergence criteria met.

Covariance Parameter Estimates

| Cov Parm | Estimate |
|----------|----------|
| rep | 0.7165 |
| Residual | 48.4744 |

Fit Statistics

| | |
|--------------------------------|-------|
| Res Log Likelihood | -44.6 |
| Akaike's Information Criterion | -46.6 |

rotacion pot 34 2010-2015 15:55 Wednesday, August 26, 2015 138

The Mixed Procedure

Fit Statistics

| | |
|------------------------------|-------|
| Schwarz's Bayesian Criterion | -45.2 |
| -2 Res Log Likelihood | 89.1 |

Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|--------|--------|--------|---------|--------|
|--------|--------|--------|---------|--------|

| | | | | |
|----------|---|----|-------|--------|
| ano | 2 | 11 | 35.31 | <.0001 |
| trat | 3 | 11 | 6.45 | 0.0089 |
| ano*trat | 6 | 11 | 2.55 | 0.0849 |

Least Squares Means

| Effect | ano | trat | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|----------|-----|------|----------|----------------|----|---------|---------|
| ano | 10 | | 69.4650 | 2.5333 | 11 | 27.42 | <.0001 |
| ano | 12 | | 40.3075 | 2.5333 | 11 | 15.91 | <.0001 |
| ano | 13 | | 56.9337 | 2.5333 | 11 | 22.47 | <.0001 |
| trat | | 1 | 48.7367 | 2.9047 | 11 | 16.78 | <.0001 |
| trat | | 2 | 52.9850 | 2.9047 | 11 | 18.24 | <.0001 |
| trat | | 3 | 65.6867 | 2.9047 | 11 | 22.61 | <.0001 |
| trat | | 4 | 54.8667 | 2.9047 | 11 | 18.89 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 1 | 66.5350 | 4.9594 | 11 | 13.42 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 2 | 65.2250 | 4.9594 | 11 | 13.15 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 3 | 80.8950 | 4.9594 | 11 | 16.31 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 4 | 65.2050 | 4.9594 | 11 | 13.15 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 1 | 37.3550 | 4.9594 | 11 | 7.53 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 2 | 44.5450 | 4.9594 | 11 | 8.98 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 3 | 40.5950 | 4.9594 | 11 | 8.19 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 4 | 38.7350 | 4.9594 | 11 | 7.81 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 1 | 42.3200 | 4.9594 | 11 | 8.53 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 2 | 49.1850 | 4.9594 | 11 | 9.92 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 3 | 75.5700 | 4.9594 | 11 | 15.24 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 4 | 60.6600 | 4.9594 | 11 | 12.23 | <.0001 |

Anexo No.6. Relación entre peso individual de tallos con diferentes proporciones de pasturas en rotación, año e interacción entre las mismas.

Model Information

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Data Set | WORK.ROT11 |
| Dependent Variable | Peso individual de tallo |
| Covariance Structure | Variance Components |
| Estimation Method | REML |
| Residual Variance Method | Profile |
| Fixed Effects SE Method | Model-Based |
| Degrees of Freedom Method | Containment |

Class Level Information

| Class | Levels | Values |
|-------|--------|----------|
| ano | 3 | 10 12 13 |
| rep | 2 | 1 2 |
| trat | 4 | 1 2 3 4 |

Dimensions

| | |
|-----------------------|----|
| Covariance Parameters | 2 |
| Columns in X | 20 |
| Columns in Z | 2 |
| Subjects | 1 |
| Max Obs Per Subject | 24 |
| Observations Used | 24 |
| Observations Not Used | 0 |
| Total Observations | 24 |

Iteration History

| Iteration | Evaluations | -2 Res Log Like | Criterion |
|-----------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 1 | -22.87199743 | |
| 1 | 1 | -24.54252389 | 0.00000000 |

Convergence criteria met.

Covariance Parameter Estimates

| Cov Parm | Estimate |
|----------|----------|
| rep | 0.001023 |
| Residual | 0.003329 |

Fit Statistics

| | |
|--------------------------------|------|
| Res Log Likelihood | 12.3 |
| Akaike's Information Criterion | 10.3 |

rotacion pot 34 2010-2015

15:55 Wednesday, August 26, 2015 140

The Mixed Procedure

Fit Statistics

| | |
|------------------------------|-------|
| Schwarz's Bayesian Criterion | 11.6 |
| -2 Res Log Likelihood | -24.5 |

Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|----------|--------|--------|---------|--------|
| ano | 2 | 11 | 10.10 | 0.0032 |
| trat | 3 | 11 | 2.76 | 0.0926 |
| ano*trat | 6 | 11 | 2.32 | 0.1080 |

Least Squares Means

| Effect | ano | trat | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|----------|-----|------|----------|----------------|----|---------|---------|
| ano | 10 | | 0.4759 | 0.03046 | 11 | 15.62 | <.0001 |
| ano | 12 | | 0.3935 | 0.03046 | 11 | 12.92 | <.0001 |
| ano | 13 | | 0.5214 | 0.03046 | 11 | 17.12 | <.0001 |
| trat | | 1 | 0.4202 | 0.03266 | 11 | 12.87 | <.0001 |
| trat | | 2 | 0.4410 | 0.03266 | 11 | 13.50 | <.0001 |
| trat | | 3 | 0.4935 | 0.03266 | 11 | 15.11 | <.0001 |
| trat | | 4 | 0.4997 | 0.03266 | 11 | 15.30 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 1 | 0.4045 | 0.04665 | 11 | 8.67 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 2 | 0.4130 | 0.04665 | 11 | 8.85 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 3 | 0.5575 | 0.04665 | 11 | 11.95 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 4 | 0.5285 | 0.04665 | 11 | 11.33 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 1 | 0.4200 | 0.04665 | 11 | 9.00 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 2 | 0.4180 | 0.04665 | 11 | 8.96 | <.0001 |

| | | | | | | | |
|----------|----|---|--------|---------|----|-------|--------|
| ano*trat | 12 | 3 | 0.3675 | 0.04665 | 11 | 7.88 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 4 | 0.3685 | 0.04665 | 11 | 7.90 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 1 | 0.4360 | 0.04665 | 11 | 9.35 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 2 | 0.4920 | 0.04665 | 11 | 10.55 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 3 | 0.5555 | 0.04665 | 11 | 11.91 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 4 | 0.6020 | 0.04665 | 11 | 12.90 | <.0001 |

Anexo No.7. Relación entre diámetro de tallos con diferentes proporciones de pasturas en rotación, año e interacción entre las mismas.

Model Information

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Data Set | WORK.ROT11 |
| Dependent Variable | diametro |
| Covariance Structure | Variance Components |
| Estimation Method | REML |
| Residual Variance Method | Profile |
| Fixed Effects SE Method | Model-Based |
| Degrees of Freedom Method | Containment |

Class Level Information

| Class | Levels | Values |
|-------|--------|----------|
| ano | 3 | 10 12 13 |
| rep | 2 | 1 2 |
| trat | 4 | 1 2 3 4 |

Dimensions

| | |
|-----------------------|----|
| Covariance Parameters | 2 |
| Columns in X | 15 |
| Columns in Z | 2 |
| Subjects | 1 |
| Max Obs Per Subject | 24 |
| Observations Used | 16 |
| Observations Not Used | 8 |
| Total Observations | 24 |

Iteration History

| Iteration | Evaluations | -2 Res Log Like | Criterion |
|-----------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 1 | -8.34214723 | |
| 1 | 1 | -8.34214723 | 0.00000000 |

Convergence criteria met.

Covariance Parameter Estimates

| Cov Parm | Estimate |
|----------|----------|
| rep | 0 |
| Residual | 0.01032 |

Fit Statistics

Res Log Likelihood 4.2
 Akaike's Information Criterion 3.2

rotacion pot 34 2010-2015

15:55 Wednesday, August 26, 2015 142

The Mixed Procedure

Fit Statistics

Schwarz's Bayesian Criterion 3.8
 -2 Res Log Likelihood -8.3

Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|----------|-----------|-----------|---------|--------|
| ano | 1 | 7 | 13.09 | 0.0085 |
| trat | 3 | 7 | 1.97 | 0.2077 |
| ano*trat | 3 | 7 | 1.95 | 0.2104 |

Least Squares Means

| Effect | ano | trat | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|----------|-----|------|----------|-------------------|----|---------|---------|
| ano | 12 | | 1.2938 | 0.03591 | 7 | 36.02 | <.0001 |
| ano | 13 | | 1.4775 | 0.03591 | 7 | 41.14 | <.0001 |
| trat | | 1 | 1.3250 | 0.05079 | 7 | 26.09 | <.0001 |
| trat | | 2 | 1.3525 | 0.05079 | 7 | 26.63 | <.0001 |
| trat | | 3 | 1.3775 | 0.05079 | 7 | 27.12 | <.0001 |
| trat | | 4 | 1.4875 | 0.05079 | 7 | 29.29 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 1 | 1.3000 | 0.07183 | 7 | 18.10 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 2 | 1.2400 | 0.07183 | 7 | 17.26 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 3 | 1.1950 | 0.07183 | 7 | 16.64 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 4 | 1.4400 | 0.07183 | 7 | 20.05 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 1 | 1.3500 | 0.07183 | 7 | 18.79 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 2 | 1.4650 | 0.07183 | 7 | 20.40 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 3 | 1.5600 | 0.07183 | 7 | 21.72 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 4 | 1.5350 | 0.07183 | 7 | 21.37 | <.0001 |

Anexo No.8. Relación entre altura de tallos con diferentes proporciones de pasturas en rotación, año e interacción entre las mismas.

Model Information

Data Set WORK.ROT11
 Dependent Variable altura
 Covariance Structure Variance Components
 Estimation Method REML
 Residual Variance Method Profile
 Fixed Effects SE Method Model-Based
 Degrees of Freedom Method Containment

Class Level Information

| Class | Levels | Values |
|-------|--------|----------|
| ano | 3 | 10 12 13 |
| rep | 2 | 1 2 |
| trat | 4 | 1 2 3 4 |

Dimensions

| | |
|-----------------------|----|
| Covariance Parameters | 2 |
| Columns in X | 15 |
| Columns in Z | 2 |
| Subjects | 1 |
| Max Obs Per Subject | 24 |
| Observations Used | 16 |
| Observations Not Used | 8 |
| Total Observations | 24 |

Iteration History

| Iteration | Evaluations | -2 Res Log Like | Criterion |
|-----------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 1 | 2.85171445 | |
| 1 | 1 | 2.85171445 | 0.00000000 |

Convergence criteria met.

Covariance Parameter Estimates

| Cov Parm | Estimate |
|----------|----------|
| rep | 0 |
| Residual | 0.04181 |

Fit Statistics

| | |
|--------------------------------|------|
| Res Log Likelihood | -1.4 |
| Akaike's Information Criterion | -2.4 |

rotacion pot 34 2010-2015

15:55 Wednesday, August 26, 2015 144

The Mixed Procedure

Fit Statistics

| | |
|------------------------------|------|
| Schwarz's Bayesian Criterion | -1.8 |
| -2 Res Log Likelihood | 2.9 |

Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|----------|--------|--------|---------|--------|
| ano | 1 | 7 | 19.16 | 0.0032 |
| trat | 3 | 7 | 0.86 | 0.5038 |
| ano*trat | 3 | 7 | 1.09 | 0.4132 |

Least Squares Means

| Effect | ano | trat | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|----------|-----|------|----------|----------------|----|---------|---------|
| ano | 12 | | 2.3088 | 0.07229 | 7 | 31.94 | <.0001 |
| ano | 13 | | 2.7563 | 0.07229 | 7 | 38.13 | <.0001 |
| trat | | 1 | 2.5050 | 0.1022 | 7 | 24.50 | <.0001 |
| trat | | 2 | 2.5125 | 0.1022 | 7 | 24.57 | <.0001 |
| trat | | 3 | 2.4450 | 0.1022 | 7 | 23.91 | <.0001 |
| trat | | 4 | 2.6675 | 0.1022 | 7 | 26.09 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 1 | 2.3350 | 0.1446 | 7 | 16.15 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 2 | 2.2450 | 0.1446 | 7 | 15.53 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 3 | 2.0950 | 0.1446 | 7 | 14.49 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 4 | 2.5600 | 0.1446 | 7 | 17.71 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 1 | 2.6750 | 0.1446 | 7 | 18.50 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 2 | 2.7800 | 0.1446 | 7 | 19.23 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 3 | 2.7950 | 0.1446 | 7 | 19.33 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 4 | 2.7750 | 0.1446 | 7 | 19.19 | <.0001 |

Anexo No.9. Relación entre % de extracción de jugo con diferentes proporciones de pasturas en rotación, año e interacción entre las mismas.

Model Information

Data Set WORK.ROT11
 Dependent Variable % de extraccion
 Covariance Structure Variance Components
 Estimation Method REML
 Residual Variance Method Profile
 Fixed Effects SE Method Model-Based
 Degrees of Freedom Method Containment

Class Level Information

| Class | Levels | Values |
|-------|--------|----------|
| ano | 3 | 10 12 13 |
| rep | 2 | 1 2 |
| trat | 4 | 1 2 3 4 |

Dimensions

| | |
|-----------------------|----|
| Covariance Parameters | 2 |
| Columns in X | 20 |
| Columns in Z | 2 |
| Subjects | 1 |
| Max Obs Per Subject | 24 |
| Observations Used | 24 |
| Observations Not Used | 0 |
| Total Observations | 24 |

Iteration History

| Iteration | Evaluations | -2 Res Log Like | Criterion |
|-----------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 1 | -45.71249583 | |
| 1 | 1 | -45.99726482 | 0.00000000 |

Convergence criteria met.

Covariance Parameter
Estimates

| Cov Parm | Estimate |
|----------|----------|
| rep | 0.000052 |
| Residual | 0.000597 |

Fit Statistics

| | |
|--------------------------------|------|
| Res Log Likelihood | 23.0 |
| Akaike's Information Criterion | 21.0 |

rotacion pot 34 2010-2015

15:55 Wednesday, August 26, 2015 146

The Mixed Procedure

Fit Statistics

| | |
|------------------------------|-------|
| Schwarz's Bayesian Criterion | 22.3 |
| -2 Res Log Likelihood | -46.0 |

Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|----------|-----------|-----------|---------|--------|
| ano | 2 | 11 | 209.71 | <.0001 |
| trat | 3 | 11 | 1.06 | 0.4045 |
| ano*trat | 6 | 11 | 0.45 | 0.8319 |

Least Squares Means

| Effect | ano | trat | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|----------|-----|------|----------|-------------------|----|---------|---------|
| ano | 10 | | 0.5273 | 0.01003 | 11 | 52.59 | <.0001 |
| ano | 12 | | 0.6155 | 0.01003 | 11 | 61.39 | <.0001 |
| ano | 13 | | 0.3686 | 0.01003 | 11 | 36.77 | <.0001 |
| trat | | 1 | 0.4895 | 0.01120 | 11 | 43.71 | <.0001 |
| trat | | 2 | 0.5120 | 0.01120 | 11 | 45.72 | <.0001 |
| trat | | 3 | 0.5105 | 0.01120 | 11 | 45.59 | <.0001 |
| trat | | 4 | 0.5032 | 0.01120 | 11 | 44.93 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 1 | 0.5195 | 0.01801 | 11 | 28.84 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 2 | 0.5315 | 0.01801 | 11 | 29.51 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 3 | 0.5325 | 0.01801 | 11 | 29.57 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 4 | 0.5255 | 0.01801 | 11 | 29.18 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 1 | 0.6095 | 0.01801 | 11 | 33.84 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 2 | 0.6325 | 0.01801 | 11 | 35.12 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 3 | 0.6155 | 0.01801 | 11 | 34.17 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 4 | 0.6045 | 0.01801 | 11 | 33.56 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 1 | 0.3395 | 0.01801 | 11 | 18.85 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 2 | 0.3720 | 0.01801 | 11 | 20.65 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 3 | 0.3835 | 0.01801 | 11 | 21.29 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 4 | 0.3795 | 0.01801 | 11 | 21.07 | <.0001 |

Anexo No.10. Relación entre jugo producido con diferentes proporciones de pasturas en rotación, año e interacción entre las mismas.

Model Information

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Data Set | WORK.ROT11 |
| Dependent Variable | jugo |
| Covariance Structure | Variance Components |
| Estimation Method | REML |
| Residual Variance Method | Profile |
| Fixed Effects SE Method | Model-Based |
| Degrees of Freedom Method | Containment |

Class Level Information

| Class | Levels | Values |
|-------|--------|----------|
| ano | 3 | 10 12 13 |
| rep | 2 | 1 2 |
| trat | 4 | 1 2 3 4 |

Dimensions

| | |
|-----------------------|----|
| Covariance Parameters | 2 |
| Columns in X | 20 |
| Columns in Z | 2 |
| Subjects | 1 |
| Max Obs Per Subject | 24 |
| Observations Used | 24 |
| Observations Not Used | 0 |
| Total Observations | 24 |

Iteration History

| Iteration | Evaluations | -2 Res Log Like | Criterion |
|-----------|-------------|-----------------|------------|
| 0 | 1 | 76.95573361 | |
| 1 | 1 | 76.95573361 | 0.00000000 |

Convergence criteria met.

Covariance Parameter Estimates

| Cov Parm | Estimate |
|----------|----------|
| rep | 0 |
| Residual | 17.8491 |

Fit Statistics

| | |
|--------------------------------|-------|
| Res Log Likelihood | -38.5 |
| Akaike's Information Criterion | -39.5 |

The Mixed Procedure

Fit Statistics

Schwarz's Bayesian Criterion -38.8
 -2 Res Log Likelihood 77.0

Type 3 Tests of Fixed Effects

| Effect | Num DF | Den DF | F Value | Pr > F |
|----------|-----------|-----------|---------|--------|
| ano | 2 | 11 | 29.62 | <.0001 |
| trat | 3 | 11 | 4.09 | 0.0354 |
| ano*trat | 6 | 11 | 1.49 | 0.2679 |

Least Squares Means

| Effect | ano | trat | Estimate | Standard Error | DF | t Value | Pr > t |
|----------|-----|------|----------|-------------------|----|---------|---------|
| ano | 10 | | 36.7163 | 1.4937 | 11 | 24.58 | <.0001 |
| ano | 12 | | 24.8050 | 1.4937 | 11 | 16.61 | <.0001 |
| ano | 13 | | 21.1763 | 1.4937 | 11 | 14.18 | <.0001 |
| trat | | 1 | 23.9167 | 1.7248 | 11 | 13.87 | <.0001 |
| trat | | 2 | 27.0333 | 1.7248 | 11 | 15.67 | <.0001 |
| trat | | 3 | 32.3183 | 1.7248 | 11 | 18.74 | <.0001 |
| trat | | 4 | 26.9950 | 1.7248 | 11 | 15.65 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 1 | 34.5600 | 2.9874 | 11 | 11.57 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 2 | 34.6250 | 2.9874 | 11 | 11.59 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 3 | 43.0700 | 2.9874 | 11 | 14.42 | <.0001 |
| ano*trat | 10 | 4 | 34.6100 | 2.9874 | 11 | 11.59 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 1 | 22.7650 | 2.9874 | 11 | 7.62 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 2 | 28.1850 | 2.9874 | 11 | 9.43 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 3 | 24.9450 | 2.9874 | 11 | 8.35 | <.0001 |
| ano*trat | 12 | 4 | 23.3250 | 2.9874 | 11 | 7.81 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 1 | 14.4250 | 2.9874 | 11 | 4.83 | 0.0005 |
| ano*trat | 13 | 2 | 18.2900 | 2.9874 | 11 | 6.12 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 3 | 28.9400 | 2.9874 | 11 | 9.69 | <.0001 |
| ano*trat | 13 | 4 | 23.0500 | 2.9874 | 11 | 7.72 | <.0001 |