UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFECTO DE DIFERENTE INTENSIDAD DEL USO DEL SUELO SOBRE PROPIEDADES DEL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE SORGO SILERO

por

Juan José FILLAT

Manuel VERA

Trabajo final de grado

presentado como uno de los

requisitos para obtener el

título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO

URUGUAY

2023

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a: ----------
Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri Prieto

Tribunal: ----------
Ing. Agr. (PhD) Guillermo Siri Prieto

Ing. Agr. (Dr.) Oswaldo Ernst

Ing. Agr. (MSc) Mauricio Bustamante

Fecha: 14 de agosto de 2023

Estudiante: ----------
Juan José FILLAT

Manuel VERA

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia queremos agradecer al Ing. Agr. Guillermo Siri por su participación y disposición para ayudar con la elaboración del presente trabajo en grado de tutor y guía, como también a Mauricio Bustamante por su ayuda durante el proceso práctico de este trabajo.

Al personal de biblioteca, por su buena disposición y aportes en la corrección del documento y en la búsqueda de información.

Y por último a nuestra familia y amigos por acompañarnos y apoyarnos en esta etapa.

TABLA DE CONTENIDOS

Página

PÁGINA DE APROBACIÓN……...2
AGRADECIMIENTOS 3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS 6
RESUMEN 7
SUMMARY 8

1. INTRODUCCIÓN 9
   1.1 OBJETIVO 9
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 10
   2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SORGO FORRAJERO 10
      2.1.1 Ubicación taxonómica de la especie 10
      2.1.2 Características morfológicas 11
         2.1.2.1 Raíces 11
         2.1.2.2 Tallo 11
         2.1.2.3 Hojas 11
         2.1.2.4 Altura 12
         2.1.2.5 Macollaje 12
      2.1.3 Aptitud climática 12
         2.1.3.1 Agua 12
         2.1.3.2 Radiación 12
         2.1.3.3 Temperatura 13
      2.1.4 Materia orgánica del suelo 13
      2.1.5 Nitrógeno 15
      2.1.6 Fósforo 16
         2.1.6.1 Fósforo orgánico 16
         2.1.6.2 Fósforo inorgánico 17
         2.1.6.3 Dinámica del fósforo. 17
      2.1.7 Rotaciones 18
      2.1.8 Estabilidad de agregados 19
      2.1.9 Infiltración 20
3. MATERIALES Y MÉTODOS 22

3.1 UBICACIÓN 22
3.2 EXPERIMENTO 23
3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL 23
3.4 TRATAMIENTOS 23
3.5 DETERMINACIONES 26
3.5.1 Infiltración 26
3.5.2 Estabilidad de los agregados 27
3.5.3 Implantación 28
3.5.4 Rendimiento del cultivo 28
3.5.5 Peso individual de tallos 28
3.5.6 Número de tallos/m2 28
3.5.7 Número de tallos por planta 28
3.5.8 Nitrógeno y Fósforo 29
3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO 29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 30
4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS 30
4.1.1 Precipitaciones 30
4.1.2 Temperatura 31
4.2 NITRÓGENO 32
4.3 FÓSFORO 34
4.4 INFILTRACIÓN 35
4.5 ESTABILIDAD DE AGREGADOS 37
4.6 IMPLANTACION 38
4.7 NÚMERO DE TALLOS 41
4.8 PESO INDIVIDUAL DE TALLOS (PIT) 42
4.9 RENDIMIENTO 44
4.10 TALLOS POR PLANTA 47
5. CONCLUSIONES 48
6. BIBLIOGRAFÍA 49

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No. **Página**

Tabla 1. Tratamiento sorgo continuo sin cobertura (SCsc) 24
Tabla 2. Tratamiento sorgo contino con cubertura (SCcc) 24
Tabla 3. Tratamiento rotación corta sorgo-pastura, con 2 años de pastura..... 24
Tabla 4. Tratamiento rotación larga sorgo-pastura, con 4 años de pastura..... 25

Figura No. **Página**

Figura 1. Precipitación mensual acumulada……..30
Figura 2. Temperaturas promedio…….....31
Figura 3. Nitrógeno a la siembra…… 32
Figura 4.Fósforo Bray l…….…….34
Figura 5. Infiltración…….……..35
Figura 6. Estabilidad de agregados…….……37
Figura 7. Plantas por metro cuadrado…….……39
Figura 8.Número de tallos/ m2…….…….41
Figura 9. Peso individual de tallos…….…….43
Figura 10. Rendimiento del sorgo…….……..44
Figura 11.Número de tallos por planta…….……..47

RESUMEN

En este trabajo se estudiaron propiedades del suelo y del cultivo de sorgo con el fin de entender cómo afectan diversas rotaciones a largo plazo y qué efectos tiene sobre los rendimientos de los cultivos, y si es posible, eliminar las diferencias a través de fertilizaciones nitrogenadas, independientemente de los costos que esto requiere. Las variables estudiadas fueron por un lado químicas, con nitrógeno y fosforo a la siembra, por otro lado, propiedades físicas del suelo como estabilidad de agregados e infiltración y finalmente algunos componentes del sorgo como implantación, número y peso de tallos, macollaje y finalmente rendimiento. En cuanto a las rotaciones en estudio fueron: dos rotaciones de sorgo continuo, una sin y otra con cobertura, y dos rotaciones de una pastura de festuca, trébol blanco y lotus, con 2 y 4 años de duración. Luego de varios años con estas rotaciones los resultados fueron claros en cuanto a que la presencia de pasturas mejoró casi todas las características, y las que no mejoraron fueron compensadas por el propio cultivo, además se observó que las fertilizaciones extra de nitrógeno no compensaron las diferencias entre los tratamientos. Del lado de la duración de las pasturas se logró observar que la misma es favorable principalmente cuando el largo le permite estar en buenas condiciones, con el suelo bien cubierto y con una buena composición específica, por lo tanto, en la medida que esta se deteriore los resultados positivos van decayendo.

Palabras clave: rotaciones, sorgo, sorgo dulce, sorgo silero, propiedades del suelo

SUMMARY

In this work, soil and sorghum crop properties were studied in order to understand how various rotations affect in the long term and what effects it has on crop yields, and if possible, eliminate differences through nitrogen fertilizations, regardless of the costs that this requires. The variables studied were on the one hand chemical, with nitrogen and phosphorus at planting, On the other hand, physical properties of the soil such as stability of aggregates and infiltration and finally some components of sorghum such as implantation, number and weight of stems, tillering and finally yield. As for the rotations under study were: two rotations of continuous sorghum, one without and one with coverage, and two rotations of a pasture of fescue, white clover and lotus, with 2 and 4 years of duration. After several years with these rotations the results were clear that the presence of pastures improved almost all the characteristics, and those that did not improve were compensated by the crop itself, it was also observed that extra nitrogen fertilizations did not compensate for the differences between treatments. On the side of the duration of the pastures it was observed that it is favorable mainly when the length allows it to be in good condition, with the soil well covered and with a good specific composition, therefore, as it deteriorates the positive results are declining.

Keywords: rotations, sorghum, siler sorghum, soil properties

1. INTRODUCCIÓN

El constante crecimiento de la agricultura y la intensificación en la producción a lo largo de los años, ha llevado consigo una mayor explotación del suelo y pérdida de las pasturas naturales, con una extracción de nutrientes cada vez más grande y una exposición del recurso a factores ambientales, que en determinadas circunstancias, se traducen en erosión y pérdida de ciertas características físicas y químicas que resultan de suma importancia para las producciones posteriores y la sustentabilidad del suelo a lo largo de tiempo.

Por su parte los diferentes tipos de suelo dadas sus características como el material madre, la topografía, pendiente y otros, confieren ciertos grados de tolerancia a algunos tipos de manejo frente a la erosión y la pérdida de sus propiedades. Sin embargo, hay otras medidas controlables, ya que existen diversos tipos de manejo que permiten modificar ese desgaste producido en el largo plazo, utilizando como principal herramienta la planificación de rotaciones de cultivos que van a estar cubriendo estas superficies.

Dentro de las posibilidades de cultivos que tiene el país, el sorgo dulce (*Sorghum bicolor*) en este caso utilizado como sorgo silero, es un cultivo que tienen varias virtudes, ya que tiene alta producción de biomasa y una gran adaptación a nuestras condiciones climáticas. Igualmente, no siempre la biomasa producida por el cultivo es incorporada en el suelo, es por ello que es de vital importancia la evaluación del impacto del cultivo sobre dicho recurso.

1.1 OBJETIVO

Estudiar y determinar efectos sobre algunas propiedades químicas y físicas del suelo, en una serie de rotaciones de diferentes intensidades del uso del suelo que incluyen al sorgo dulce.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Unas de las características del sorgo, es su buena adaptación a condiciones adversas para la producción, lo cual le otorga una ventaja frente a los demás cultivos de nuestro país en cuanto a la generación de biomasa. A su vez, el mismo se destaca por su alta tolerancia a la sequía, su alta eficiencia en la utilización del nitrógeno y su excelente eficiencia fotosintética (Siri, 2004).

Los usos del sorgo son muy variados en la alimentación ganadera, pudiendo ser utilizado como verdeo de verano bajo pastoreo directo, diferido, como reservas en forma de silo de grano húmedo y de planta entera o como concentrado. El cultivo no solo posee muchas variantes en su utilización, sino que aporta con su gran cantidad de rastrojo una buena cobertura del suelo y tiene un sistema radicular muy desarrollado que le permite explorar el perfil, además contribuye a mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (Carrasco et al., 2011).

En vista de esta información y debido a sus cualidades, el sorgo se presenta según Carrasco et al. (2011) como una alternativa muy propicia para aquellos sistemas en que se desee mantener las buenas condiciones de fertilidad, como así también es un cultivo ideal para sistemas de producción bajo siembra directa.

2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SORGO FORRAJERO

2.1.1 Ubicación taxonómica de la especie

El sorgo utilizado en este experimento, conocido como también como sorgo dulce se ubica taxonómicamente de la siguiente manera:

-Familia Gramineae.

-Subfamilia Panicoidae.

-Tribu andropogoneae.

-Género *Sorghum*.

Nombre científico *Sorghum bicolor* (Siri, 2004).

2.1.2 Características morfológicas

2.1.2.1 Raíces

El sistema radical del sorgo le permite tolerar mayor estrés hídrico que otros cultivos como el maíz, ya que, además de generar un denso entramado, la planta en sus primeros estadios prioriza la producción del sistema radical, para luego priorizar la parte foliar (Carrasco et al., 2011).

Si al sistema radical se suma la característica que la planta de sorgo posee, es decir, buena capacidad de regulación de la transpiración, y que puede retrasar su desarrollo frente a condiciones ambientales adversas, se puede concluir que este cultivo es altamente resistente a periodos de estrés hídrico (Carrasco et al., 2011).

Según Nakayama y Van Bavel (1963) como se cita en Siri (2004) la absorción de agua y nutrientes se da en un radio de 40cm de la hilera y una profundidad de 90cm, donde se desarrolla el 90% de la actividad radicular de la especie.

2.1.2.2 Tallo

El sorgo es una planta de un solo tallo, pero puede desarrollar otros dependiendo de la variedad y el ambiente; este tallo está formado de una serie de nudos y entrenudos, poseen de 7 a 24 nudos, su longitud varía de 45 cm a más de 4 metros y depende del número de nudos, siendo igual al número de hojas producidas hasta la madurez de la planta. La altura también depende de la longitud del entrenudo, el diámetro varía de 5 a 30 mm cerca de la base (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal [CENTA], 2007).

2.1.2.3 Hojas

Se desarrollan entre 7 y 24 hojas dependiendo de la variedad, alternas, opuestas, de forma linear lanceolada, la nervadura media es blanquecina o amarilla en los sorgos de médula seca y verde en los de médula jugosa. Tiene lígula en la mayoría de los casos. El borde de las hojas presenta dientes curvos, filosos y numerosas células

motoras ubicadas cerca de la nervadura central del haz facilitando el arrollamiento de la lámina durante periodos de sequía (Vallati, s.f.).

2.1.2.4 Altura

Esta puede variar de 45 cm a más de 4 metros lo cual es de gran ayuda a la hora de clasificar los diferentes materiales. Los nudos son los principales responsables en la altura, dependiendo así la distancia entre nudos y el número de los mismos (Siri, 2004).

2.1.2.5 Macollaje

El sorgo al ser una gramínea tiene la capacidad de macollar, dicha cualidad va a estar determinada por una serie de factores que, con mayor o menor incidencia, expresaran la capacidad que tiene el cultivo de macollar. Dichos factores son la humedad y fertilidad del suelo, la calidad de la luz recibida, temperatura, densidad de población, así como también la variedad utilizada (Siri, 2004).

2.1.3 Aptitud climática

2.1.3.1 Agua

El país presenta un régimen de lluvias isohigro, es decir que el agua está distribuida en forma homogénea a lo largo de todo el año, variando entre 1100 y 1400mm. Dada la duración del cultivo y el régimen de lluvias mensuales se pueden esperar entre 400 y 500 mm en todo el ciclo del cultivo. El sorgo requiere un total de 450mm durante todo su ciclo, dándose los mayores requerimientos entre los primeros 30 y 60 días desde la implantación (Irigoyen & Perrachón, 2007).

2.1.3.2 Radiación

La radiación que recibe Uruguay en el periodo óptimo de desarrollo del cultivo de sorgo, permite obtener muy buenos resultados en el rendimiento del mismo,

pudiendo marcar una pequeña ventaja del litoral norte sobre el resto del país (Carrasco et al., 2011).

2.1.3.3 Temperatura

El sorgo al ser un cultivo estival requiere según Carrasco et al. (2011) de alta temperatura en el suelo para que la semilla pueda germinar. La temperatura optima, en los 10 primeros centímetros del suelo y al menos por 3 días es entre 18 y 20 grados, y 15 grados la temperatura mínima.

2.1.4 Materia orgánica del suelo

Para comprender este punto es importante comenzar por diferenciar la composición básica del suelo, donde según Docampo (2012) se distinguen cuatro componentes principales como la "fracción mineral, otra orgánica, agua y aire" siendo estos últimos dos quienes cumplen un papel fundamental con respecto a la respiración de las raíces y la absorción de nutrientes y agua. Por otro lado, la fracción mineral es subdividida por las partículas de arena, limo y arcilla. Por último, está la fracción orgánica, que incluye restos vegetales y animales en diversos estados de descomposición. Por sus características la materia orgánica está compuesta por un muy alto número de elementos que dificultan tener valores exactos del contenido exacto de la misma y en consecuencia se utilizan métodos indirectos como la determinación del contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) el cual será mencionado más adelante (Docampo, 2012).

La materia orgánica además de mejorar la fertilidad química al ser el principal reservorio de nutrientes para las plantas desempeña un papel fundamental de fertilidad en las características físicas del suelo, mejorando propiedades como infiltración, estabilidad estructural, porosidad y aireación (Guerra, 2021). Con ello se logra además una mayor retención de agua, disminuye la compactación y reduce la erosión. También es reguladora del pH y de la temperatura del suelo entre otros, de acuerdo a Cecilia

Nasser Marzo, asesora de CREA Región Centro e integrante del Consejo Regional de Conservación de Suelos de Río Cuarto (TodoMani, 2018).

Según lo observado uno de los factores más importantes en la conservación del recurso suelo es el contenido de materia orgánica, cuyo principal componente es el carbono orgánico del suelo. Hay algunos aspectos propios del suelo y climáticos que determinan la cantidad de carbono en un suelo y otros de manejo que pueden ser modificados en el tipo de producción y por lo tanto en cierta medida regulables.

Teniendo en cuenta esta información entra en cuestión en qué condiciones este carbono orgánico en el suelo es manejado según los distintos sistemas y si existe degradación del mismo con las prácticas de manejo actuales.

En esta misma línea, explica Guerra (2021) que resulta de suma importancia tomar medidas respecto a esto y empezar a aplicar e investigar en tecnologías que resuelvan el problema de las pérdidas de COS, el uso actual de tierras agrícolas y de pastoreo llevará para el año 2040 a una perdida media de 1700kg de C por hectárea y por lo tanto las practicas adecuadas de manejo podrían significar una disminución de este problema.

Como se mencionó anteriormente son varias las prácticas que permiten aumentar el aporte de C al suelo, entre las que se encuentran la aplicación de fertilizantes, rotación de cultivos, laboreo reducido o siembra directa, prácticas para control de rastrojo, el riego y por último la intensificación de cultivos (Docampo, 2012).

Y aunque algunos de estos métodos resulten en costos extra, como por ejemplo fertilizantes y análisis de suelo, los beneficios son muy positivos y difíciles de medir, por ejemplo, en las mejoras físicas mencionadas previamente como infiltración, estructura, descompactación, y por otro lado en mejoras químicas y microbiológicas (Guerra, 2021).

2.1.5 Nitrógeno

Debido a la dinámica del nitrógeno y algunas de sus características se considera importante conocer algunos aspectos:

El efecto de la relación entre este nutriente y el carbono (C:N) en cuanto a la descomposición de rastrojos y la disponibilidad del nitrógeno es determinante al momento de planificar rotaciones, por lo tanto es importante conocer en que rangos va a tener mejores condiciones del suelo para el sistema de producción. Un microrganismo del suelo requiere para mantenerse una relación cercana a 25:1 (United States Department of Agriculture [USDA], 2011).

En el caso que se incorpore al suelo un tipo de rastrojo o producto con una relación más alta, es decir con un mayor contenido de Carbono, el efecto de este mayor contenido de carbono del rastrojo en relación de los microorganismos obliga a los mismos a obtener nitrógeno adicional para lograr consumir el carbono restante, el cual será obtenido del suelo. Este proceso donde los m.o retienen el N del suelo se denomina inmovilización, el cual provocaría en el corto plazo un posible déficit del nutriente hasta que los mismos m.o se descompongan y liberen el nitrógeno retenido. El proceso inverso donde el nitrógeno es liberado al suelo se denomina mineralización (USDA, 2011).

Por otro lado existe la posibilidad de que los residuos incorporados tengan una relación C:N menor, en cuyo caso los microrganismos consumirán estos residuos y dejaran disponible en el suelo el excedente de nitrógeno. Esto ocurre por ejemplo en residuos de leguminosas, que poseen un contenido más alto de nitrógeno (USDA, 2011).

Por su parte, el valor del N total, principalmente N orgánico, es el resultado de un balance de entradas, como fertilización y fijación biológica de nitrógeno (FBN) y salidas, como la erosión de la materia orgánica, el lavado de nitratos, la volatilización de amonio, la desnitrificación y el retiro de productos vegetales y/o animales (Morón,2003).

En un experimento realizado por el INIA durante un periodo total de 40 años, se pudo observar cómo las rotaciones con pasturas presentaban mayores valores de mineralización de N en el suelo, lo cual fue explicado en parte por los mayores valores de N total presente; así como por la mayor cantidad de N presente en fracciones del N orgánico fácilmente mineralizables (Morón & Sawchik, 2002).

2.1.6 Fósforo

El fósforo se separa en dos grandes grupos, el fosforo que se encuentra en la fase sólida y el que se encuentra en la solución del suelo. Dentro de la fase solida se puede dividir al fosforo en orgánico e inorgánico. La fracción inorgánica está asociada a elementos como el aluminio hierro, calcio y más, mientras que la parte orgánica a la materia orgánica y el humus (Abella & Nin, 2003).

El contendido de fósforo de los suelos está relacionado al material de origen de este. Donde se encuentran altos contenidos del nutriente es en suelos con mayor cantidad de materia orgánica y texturas más pesadas (Abella & Nin, 2003).

2.1.6.1 Fósforo orgánico

Según Morón (1992) el contenido de P orgánico en el horizonte superficial de nuestros suelos es muy variable, pudiendo ser dese el 80 hasta el 20 por ciento del fosforo total.

La fracción orgánica se pude dividir en tres fracciones,

1- Fracción activa, está compuesta por la biomasa microbiana y metabolitos. Dicha fracción tiene una alta variación en la relación C/P pudiendo ser entre 30 y 80.

2- Fracción protegida física y químicamente que ofrece más resistencia a la descomposición.

3- Fracción que tiene una relación C/P ente 20 y 200, y al estar muy protegido química y físicamente ofrece una altísima resistencia a la descomposición.

El componente principal del ciclo activo del P orgánico es el P en la biomasa microbiana. Debido a su magnitud y al hecho de ser el mayor componente lábil de la materia orgánica, la biomasa microbiana es un reservorio importante de nutrientes potencialmente disponibles (Morón,1992).

2.1.6.2 Fósforo inorgánico

Las plantas absorben el P principalmente en su forma inorgánica. Los compuestos fosfatados presentes en los suelos tienen baja solubilidad, por lo que el contenido de fósforo en la solución del suelo es extremadamente bajo (Morón,1992).

2.1.6.3 Dinámica del fósforo.

La fracción disponible es la fracción de P presente en fase sólida capaz de reponer el fósforo en la solución del suelo en la medida que disminuya su valor de equilibrio. La absorción por parte de las raíces de plantas en crecimiento disminuye constantemente la concentración de P respecto al valor de equilibrio (Abella & Nin, 2003).

Según estos autores la actividad microbiana aumenta la disponibilidad de fosforo disponible, sabiendo que los análisis reflejan la parte inorgánica, dichos aumentos no se ven plasmados en los estudios.

La materia orgánica agregada al suelo provoca un aumento de la solubilidad del fosfato presente en el suelo. La materia orgánica de fácil descomposición es más efectiva que las sustancias orgánicas de descomposición lenta (Abella & Nin, 2003).

Cuando se realizan cultivos continuos, es el P orgánico el que disminuye en mayor proporción. La fertilización fosfatada de dichos cultivos perímete aumenta el P inorgánico, mientras que la inclusión de pasturas en las rotaciones mantiene el P orgánico del suelo (Morón & Kiehl, 1992).

2.1.7 Rotaciones

A continuación, se definirá el concepto de rotación para introducir un tema considerado de suma importancia en la sustentabilidad del sistema agropecuario que posteriormente será analizado en los experimentos realizados.

Según USDA (2018) la rotación es un "Sistema de cultivo en el que diferentes productos se plantan en temporadas de cultivo consecutivas para mantener la fertilidad del suelo". De esta manera surge la pregunta: ¿De qué depende esta fertilidad? y ¿Cómo se mantiene?

Para lograr sistemas sustentables en el largo plazo se necesita mantener e incrementar el contenido de materia orgánica en el suelo lo cual se puede lograr según Pauletti et al. (2016), a través de rotaciones con pradera mezcla de leguminosas y gramíneas perennes incorporando así nitrógeno y carbono en el suelo a través de restos de raíces, donde las leguminosas desempeñan un papel fundamental respecto a la incorporación de nitrógeno a través de la FBN.

Debido a que la mayoría del N en el suelo se presenta en forma orgánica, está muy asociado al contenido de materia orgánica del suelo. Este contenido puede variar debido al manejo, por ejemplo, al pasar de campo natural a un sistema de agricultura con laboreo, se aumenta la superficie específica donde aumentará el ataque microbiano, la aireación y la tasa de mineralización de la materia orgánica (Perdomo & Barbazán,1999). Del mismo modo será afectado negativamente por el mayor riesgo del suelo a ser erosionado y también habrá una mayor extracción de N con la cosecha de los cultivos. En resumen, habrá una disminución en el contenido de materia orgánica y de nitrógeno en dicho suelo en los años de agricultura.

En un trabajo detallado realizado en 1995 sobre la dinámica del N en el proceso de descomposición de diferentes rastrojos, se demostró que también existe una inducción a la inmovilización, causada por la microbiología del N en el suelo que rodea el rastrojo de baja calidad (Morón, 2001).

En un experimento realizado por el INIA en el periodo 1963-1992, con rotaciones de agricultura y pastura se comprobó cómo era esperable que el comportamiento del nitrógeno estaba fuertemente asociado a la materia orgánica del suelo. En dicho experimento los sistemas de agricultura continua arables presentaron pérdidas promedio anuales de 55kg/ha/ano de nitrógeno (Díaz, 1992).

Estas pérdidas estarían explicadas por 2 razones: por un lado, la erosión que arrastra el horizonte superficial más rico en MO y nitrógeno, además de su efecto sobre las propiedades físicas del mismo que acelerarían dicho proceso. Y por otro lado las productividades de los cultivos que serían cada vez menores y aportarían cada vez menos materia orgánica al suelo (Díaz, 1992).

2.1.8 Estabilidad de agregados

Los agregados del suelo son un conjunto de partículas unidas con más fuerza entre sí que con grupos adyacentes, presentan diferentes estructuras y arreglos espaciales, lo que se traduce en una mayor o menor estabilidad. En consecuencia, esta característica tiene un efecto directo sobre la porosidad del suelo y por ende afecta la disponibilidad y el movimiento del aire y agua en dicho suelo (Cabria et al., 2002).

Estos conjuntos de partículas se pueden se pueden dividir en 2 grandes grupos, por un lado, los micro agregados que tienen un tamaño de 20-250 μm y están compuestos por microestructuras arcillosas, limosas, materiales húmicos, puentes orgánico-metálicos e hifas de hongos micorrícicos afirma Calderón (2022). Este tipo de agregados no son alterados por el humedecimiento ni tampoco por disturbios mecánicos como las tareas de labranza (Cabria et al., 2002).

Por otro lado, las raíces y los microorganismos combinan los microagregados para formar los macroagregados del suelo, estos tienen un tamaño mayor a 250 μm y son los responsables de la estabilidad estructural, además de permitir la circulación del aire, la infiltración y el drenaje del agua del suelo. Los macroagregados están unidos principalmente por materia orgánica, hifas de hongos, fibras de raíces y polisacáridos,

estos son menos estables que los microagregados. Los suelos compactados tienen más microagregados que macroagregados afectando negativamente las características hídricas y de aeración mencionadas anteriormente (Calderón, 2022).

La macro agregación es controlada por el manejo, ya que la ruptura de los agregados de gran tamaño, producto de la cantidad, frecuencia e intensidad de las labores, expone a la descomposición materia orgánica relativamente lábil que previamente se encontraba protegida por estas fuerzas de agregación. La jerarquía de los agregados se vincula con el desarrollo alcanzado por su estructura, y la disminución de agentes de enlace de origen orgánico contribuye con la pérdida de estabilidad de los macroagregados, facilita la ruptura de éstos por humedecimiento e incrementa más el contenido de microagregados (Cabria et al., 2002).

2.1.9 Infiltración

La infiltración es definida como la entrada de agua al suelo desde la superficie, la cual se da siguiendo gradientes de potencial gravitacional, a través de los poros más gruesos del suelo (llamados macroporos), donde el agua va ingresando en el perfil por fuerza de gravedad, y a su vez, es atraída por los poros más finos (microporos) impulsada por la atracción capilar, formando un potencial denominado de matriz, el cual a medida que estos poros más finos se van llenando, este mismo gradiente va desapareciendo, dejando solo el movimiento a través del potencial gravitacional (García et al., 2000).

La velocidad con la que el agua ingrese al suelo depende de la ubicación topográfica, la pendiente, la vegetación de cobertura, la textura del suelo, las características del horizonte A (compactación) y de la cantidad de agua inicial en el suelo. Si la velocidad de aporte de agua es mayor a la de infiltración se genera un escurrimiento superficial del agua en exceso, generando una perdida en el aprovechamiento del recurso y pudiendo generar problemas de erosión (García et al., 2000).

Uno de los factores a estudiar, cómo explica la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Shaxson & Barber, 2005), que puede ser controlado con el manejo es la cobertura del suelo, la cual puede darse a través de residuos de cultivos anteriores (rastrojos) o con cobertura vegetal, de tal manera que el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie es atenuado, disminuyendo el encostramiento superficial, mejorando la capacidad de infiltración con una mayor porosidad y disminuyendo el escurrimiento. En esta misma línea García et al. (2000) afirman que la cobertura del suelo también tiene un efecto positivo en los suelos con mayor pendiente, donde la velocidad del agua sobre la superficie que escurre se ve disminuida y por ende presenta menor riesgo de erosión.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo de campo comenzó en noviembre de 2018 con el cultivo ya implantado y con el ajuste de nutrientes (N y P) realizado previo a la siembra. En estas instancias se realizaron algunas mediciones sobre características del suelo y de implantación, y además se dividieron las parcelas en dos, donde una mitad fue fertilizada con 50kg de N/ha y la otra sin fertilizar con el fin de estudiar el posible efecto de esta fertilización en los resultados obtenidos. Posteriormente una vez que el cultivo estaba listo para su cosecha se midieron los componentes del rendimiento y se analizaron los resultados.

3.1 UBICACIÓN

El experimento está ubicado en la estación experimental Dr. Mario A. Cassinoni perteneciente a la facultad de agronomía, localizado en el km 363 de la ruta 3, en el departamento de Paysandú, Uruguay, a 10 km hacia el sur de la ciudad de Paysandú. El ensayo se realizó en el potrero n°34 del predio establecido.

Al igual que en el país y en la región, las precipitaciones en el experimento están dentro del régimen isohigro, es decir que las lluvias están disturbadas uniformemente a lo largo de todo el año, con una leve tendencia en el norte del país a las precipitaciones en los meses más cálidos. Las precipitaciones oscilan entre los 1100 y los 1400 mm por año, por lo que se estaría dentro de un régimen de clima húmedo.

El clima es meso termal subhúmedo, variando la temperatura entre 8°C y 32°C, teniendo una temperatura media anual de 18,4°C. El mes más cálido es enero con una temperatura máxima promedio de 31°C y una mínima de 20 °C., mientras que el mes más frio es Julio con una temperatura mínima promedio de 8 ° C y una máxima de 17 °C.

El experimento se desarrolló sobre un suelo perteneciente a la unidad San Manuel es una argiudol típico, los cuales presentan un horizonte argílico, el cual posee un alto contenido de arcilla iluvial, con textura franco arcillo limosa, una profundidad promedio de 70 cm, moderadamente bien drenados con pendientes de 1% y de

fertilidad alta. Los materiales generadores de este, según el compendio de suelos del Uruguay son sedimentos limosos con niveles calcáreos similares a los de la unidad fray bentos.

El experimento se comenzó en agosto de 2005 con la intención de ser un experimento de largo plazo, pudiendo evaluar el efecto acumulado del uso del suelo y su efecto en las propiedades del suelo y el rendimiento del sorgo silero.

3.2 EXPERIMENTO

El experimento busca evaluar el efecto de diferentes intensidades de uso del suelo sobre el rendimiento del sorgo dulce y los cambios que genera en las propiedades físicas y químicas del suelo. A su vez en cada parcela mayor se evaluó la respuesta al N sobre el rendimiento del sorgo en el estadio de V6.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Con el fin de que el resultado sea demostrativo y confiable, se trabajó con un diseño de bloques completamente al alzar con dos repeticiones cada uno de ellos. Las unidades experimentales son 16 parcelas de 50 m2 (20x2,5) cada una, con 8 parcelas cada bloque.

El experimento se realizó con un diseño de parcelas divididas, donde la parcela mayor es intensidad de uso de suelo y la parcela menor es con o sin nitrógeno, con dos repeticiones cada uno de ellos. Las unidades experimentales son 16 de 50m2 (20x2,5) cada una.

3.4 TRATAMIENTOS

Se trabaja con 4 tratamiento distintos. Cada uno de ellos representa una rotación, con determinadas frecuencias de sorgo y pasturas. Es de gran importancia remarcar que los cuatro tratamientos fueron realizados con siembra directa.

En las siguientes tablas se ilustra cómo se encontraba la rotación en los últimos años, la cual fue repetida durante todos los años del experimento.

Tabla1

Tratamiento sorgo continuo sin cobertura (SCsc)

SORGO DULCE CONTINUO			
Año	**2016**	**2017**	**2018**
Cultivo	Sorgo/ Barbecho	Sorgo/ Barbecho	Sorgo/ Barbecho

El tratamiento presenta una intensidad de uso del suelo de 0,40 (40% del tiempo hay un cultivo creciendo, el resto es barbecho) Consiste en no incorporar a la rotación, ni cultivo cobertura de invierno ni tampoco pasturas de forma que el suelo durante el invierno, estará casi desnudo por ser un cultivo silero y permanecer limpio de residuos hasta su próxima siembra.

Tabla 2

Tratamiento sorgo contino con cubertura (SCcc)

SORGO DULCE CONTINUO CON CULTIVO COBERTURA INVERNAL				
Año	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Cultivo	Sorgo/ Avena	Sorgo/ Avena	Sorgo/ Avena	Sorgo/ Avena

Tratamiento de sorgo con cultivo de servicio, presenta una intensidad del uso del suelo de 0,8 (80% del tiempo hay cultivos creciendo, el resto es barbecho), usando en el invierno el cultivo de avena común.

Tabla 3

Tratamiento rotación corta sorgo-pastura, con 2 años de pastura

SORGO DULCE-PASTURA, CON DOS AÑOS DE PASTURA			
Año	**2016**	**2017**	**2018**
Cultivo	Pastura	Sorgo/Pastura	Pastura
	Sorgo/Pastura	Pastura	Pastura

En este tratamiento se le incorpora a la rotación de sorgo una partura de dos años, por lo tanto, la intensidad de uso del suelo es 0,88 (88% del tiempo con cultivos o pasturas creciendo, el resto barbecho). La pradera está compuesta por Festuca, Lotus y trébol blanco y se siembra en otoño luego de cosechar el sorgo, produciendo durante 16 meses y dando paso nuevamente al sorgo en noviembre. Para poder evaluar este tratamiento todos los años en necesario en el experimento una parcela adicional, para que cuando en el segundo año de rotación se encuentre instalada la pradera, en otra parcela tenga un año desfasado y esté presente el cultivo de sorgo para su análisis.

Tabla 4

Tratamiento rotación larga sorgo-pastura, con 4 años de pastura

SORGO DULCE-PASTURA, CON CUATRO AÑOS DE PASTURA				
Año	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Cultivo	Sorgo/Pastura	Pastura	Pastura	Pastura
	Pastura	Sorgo/Pastura	Pastura	Pastura
	Pastura	Pastura	Sorgo/Pastura	Pastura
	Pastura	Pastura	Pastura	Sorgo/Pastura

Este tratamiento es el que mayor cantidad de parcelas requiere ya que durante 3,5 años va a estar instalada la pastura. Es decir que se va a repetir el tratamiento en 4 parcelas. Al igual que en el tratamiento 3 se instala una pastura de Festuca, Lotus y trébol blanco en otoño sobre el barbecho de sorgo, por lo tanto la intensidad del uso del suelo es de 0,94 (94% del tiempo con cultivos o pasturas creciendo, el resto barbecho). La diferencia es que la pastura estará produciendo por 40 meses dando paso en la 3 primavera al sorgo, cerrando así los 4 años de la rotación. En todos los casos el material genético utilizado de sorgo fue el M-81E debido al buen comportamiento que muestra en las condiciones de la zona.

Teniendo en cuenta siempre las variables climáticas se sembró el sorgo el 15 de noviembre de 2017, con una distancia entre hilera de 50 cm, con el objetivo de lograr 14 plantas_m2. El control químico de malezas fue realizado previo a la siembra

una aplicación de atrazina con dual (1.2kg + 1.4L_ha), habiéndose tratado la semilla con un protector, concept.

3.5 DETERMINACIONES

Tanto cuando se sembró el sorgo o las pasturas, se fertilizó el suelo con Fósforo. Las aplicaciones fueron de 46 kg de P2O5 en todos los casos sin realizarse re fertilizaciones.

Para la cosecha de sorgo se utilizó un machete para realizar un corte a 10 cm del suelo y removiendo toda la biomasa por encima del corte. En el caso de las pasturas se le hicieron cortes con rotativa cuando esta alcanzaba una altura promedio de 15 cm, dejando la biomasa cortada en superficie para que se incorpore al suelo.

Durante el experimento se analizaron características del suelo tanto físicas como químicas y también otras propias del cultivo, las variables estudiadas fueron las siguientes:

Del suelo:	Del cultivo:
-Infiltración	-Implantación
-Estabilidad de agregados	-Peso individual de tallos
-Nitrógeno y Fósforo a la siembra	-Número de tallos (m2)
	-Macollaje (tallos/planta)
	-Rendimiento

3.5.1 Infiltración

Para evaluar la capacidad de infiltración del suelo de los cuatro tratamientos, se mide el tiempo que demora en absorber una determinada cantidad de agua.

Para esto fueron necesarios 3 tubos con el fin de lograr un valor representativo. Los mismos se enterraron a 5cm de profundidad en el suelo de cada parcela, donde se colocaron 450mm de agua sobre una bolsa en dichos tubos para contener el agua, luego volcarla de manera repentina y contar como tiempo cero. Posteriormente se tomó el tiempo que demoró en absorber dicha cantidad. Una vez absorbida la totalidad de agua

se volvieron a colocar 450mm en los tubos y se tomó nuevamente el tiempo de infiltración.

En el caso que la primera infiltración tardara más de 50 minutos, no se repetía la segunda infiltración, mientras que en el caso que la segunda supere los 45 minutos, sería necesario medir con regla la altura del agua en mm que quedaría restante, para calcular lo que se absorbió y tomar el registro.

3.5.2 Estabilidad de los agregados

Con el fin de medir la estabilidad de los agregados, se sometieron muestras de suelo a un proceso de "golpes" en agua, que permite romper los agregados en pequeñas partes, resultando los menos estables en partículas más pequeñas, y por el contrario los agregados más estables en partículas de mayor tamaño.

Para medir la estructura del suelo se tomaron 2 muestras de 10 gramos cada una por parcela, posteriormente se colocaron en una maquina con tamices de 6 diferentes grosores y se dejaron procesar con ingresos repetidos a un recipiente con agua. Una vez transcurridos 15 minutos a unas 40 oscilaciones por minuto, se retiraron los residuos de cada tamiz y se secaron a 100 grados durante 48 horas, para luego ser pesados y registrados individualmente.

3.5.3 Implantación

En el caso de implantación para lograr una uniformidad de tratamientos, se sembró el cultivo en una misma fecha y con igual densidad de siembra. Una vez implantado el cultivo se realizaron 2 mediciones, una el 4/12 y otra posterior el 20/12. Para ello fue necesario colocar una cuerda de 15 m de longitud en el entresurco, y a partir de ahí se contó el número de plantas de cada lado (30 m en total). Esto se realizó una única vez por parcela y se calculó posteriormente el promedio por tratamiento (entre los diferentes bloques).

3.5.4 Rendimiento del cultivo

Para la estimación del rendimiento se tomaron en cuenta 2 factores determinantes como son el número de tallos por metro cuadrado y el peso de estos. En este proceso fue necesario cosechar manualmente 8 metros lineales, cortando la totalidad de la parte aérea, ya que se quería medir para silo de planta entera. Posteriormente se pesaron y registraron las muestras obtenidas y se hizo una estimación del rendimiento total. Este trabajo se realizó 2 veces por parcela, ya que una correspondería a la zona fertilizada con 50 kg N/ha y otra sin fertilizar (aparte de la fertilización anterior que si se realiza igual en todas las parcelas).

A continuación, se estudiaron individualmente estos 2 factores mencionados más detalladamente con el fin de poder entender mejor como fueron afectados y en qué medida resultaron determinantes del rendimiento.

3.5.5 Peso individual de tallos

En este punto se midió el peso individual de los tallos, para lo que se tomaron de los 8 metros cosechados anteriormente, de manera aleatoria, 10 tallos para ser pesados individualmente.

3.5.6 Número de tallos/m2

De la misma forma que se tomaron las muestra para obtener el peso individual de los tallos, se contaron en los 8 metros el número de tallos que había en los mismos, haciendo luego la conversión correspondiente de los metros lineales a metro cuadrado.

3.5.7 Número de tallos por planta

Para la determinación de este punto, se utilizaron los valores medidos del total de tallos por metro cuadrado y el total de plantas por metro cuadrado contadas el 20 de diciembre, de manera que a partir de estos se calculó el número de tallos por planta.

3.5.8 Nitrógeno y Fósforo

En el caso del nitrógeno y Fósforo a la siembra se realizaron muestreos con calador, 20 submuestras por parcela de 0-20 cm. Posteriormente fueron secadas en estufa a 55 ºC durante 48 h, luego molidas y tamizadas en malla de 2mm para ser enviadas finalmente al laboratorio y analizar los resultados correspondientes.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis del efecto de cada tratamiento sobre las mediciones previamente mencionadas, para ello se tomó en cuenta como efectos aleatorios a cada repetición mientras que los efectos fijos fueron cada tratamiento.

Los resultados fueron analizados utilizando el PROC mixed Statistical Analysis System (versión 6.11 del año 1996 del SAS Institute). Se analizó el efecto de los diferentes tratamientos sobre las diferentes variables medidas. La separación de medias se realizó a través de la MDS al 10 % de probabilidad de error.

Modelo estadístico utilizado: $Yijk = \mu + Ti + M(T)ij + \varepsilon ijk$

Donde T es la población lograda y M los sitios de muestreo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS

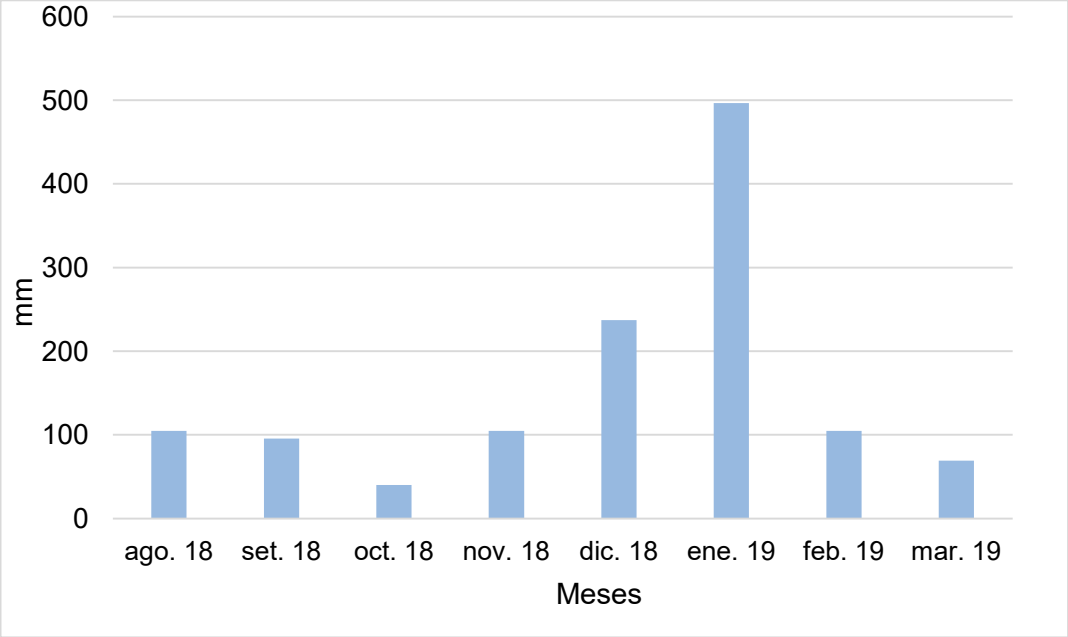
Con el fin de caracterizar las condiciones en que se dio el experimento, se presentaran a continuación datos sobre las precipitaciones y la temperatura que se registraron durante el proceso.

4.1.1 Precipitaciones

La siguiente gráfica muestra las precipitaciones acumuladas mensualmente, desde agosto 2018 hasta marzo 2019.

Figura 1

Precipitación mensual acumulada



Teniendo en Cuenta que las precipitaciones en el país tienen un régimen isohigro, se puede concluir que hay tres meses que sobresalen de la media, en octubre, estando por debajo de 100mm. En diciembre y enero superado con una lluvia de

220mm y 500mm respectivamente, siendo este un dato muy relevante ya que el cultivo se encontraba en plena etapa de floración.

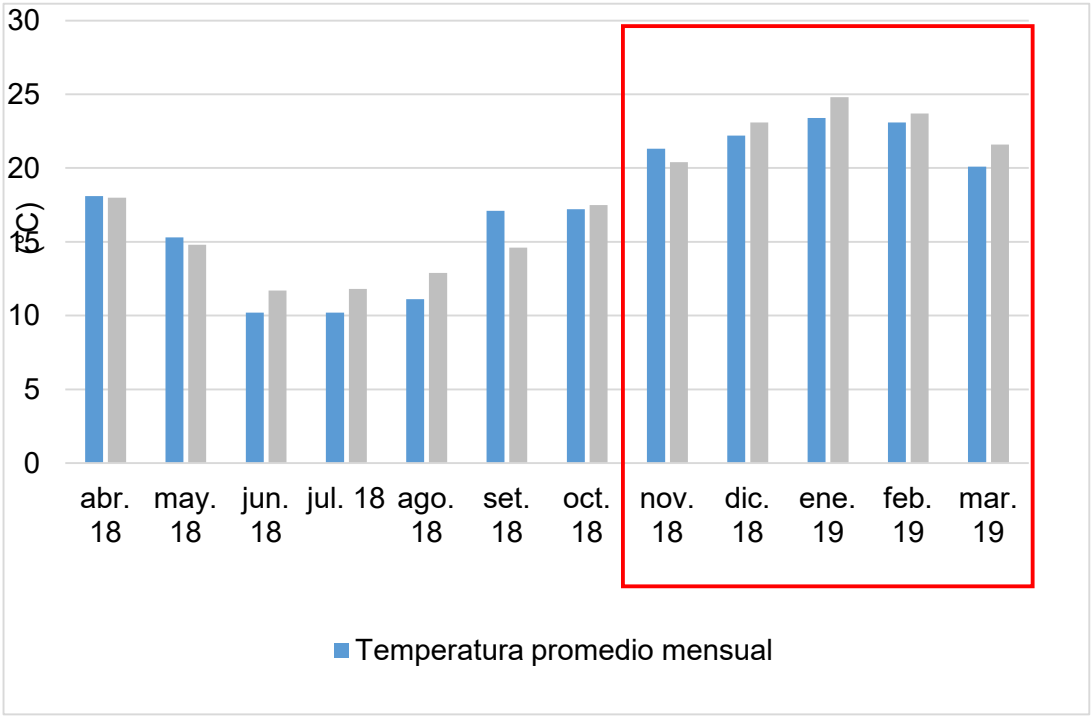
A modo de síntesis se puede decir que el cultivo se encontró con un balance hídrico muy positivo, ya que el nivel de precipitaciones superó ampliamente los promedios históricos y en dos meses muy importantes para la formación del rendimiento.

4.1.2 Temperatura

En el siguiente cuadro se representará las temperaturas promedio histórico que se registraron en la central meteorología de Paysandú desde 1961 hasta 2000, y la temperatura promedio ocurrida en el año del ensayo.

Figura 2

Temperaturas promedio



En cuanto a la temperatura se puede observar para el año del ensayo, como en todos los meses que se desarrolló el cultivo, noviembre-marzo la temperatura promedio mensual estuvo por debajo de la temperatura promedio histórica, a excepción de noviembre, como se puede ver en el cuadrante color rojo.

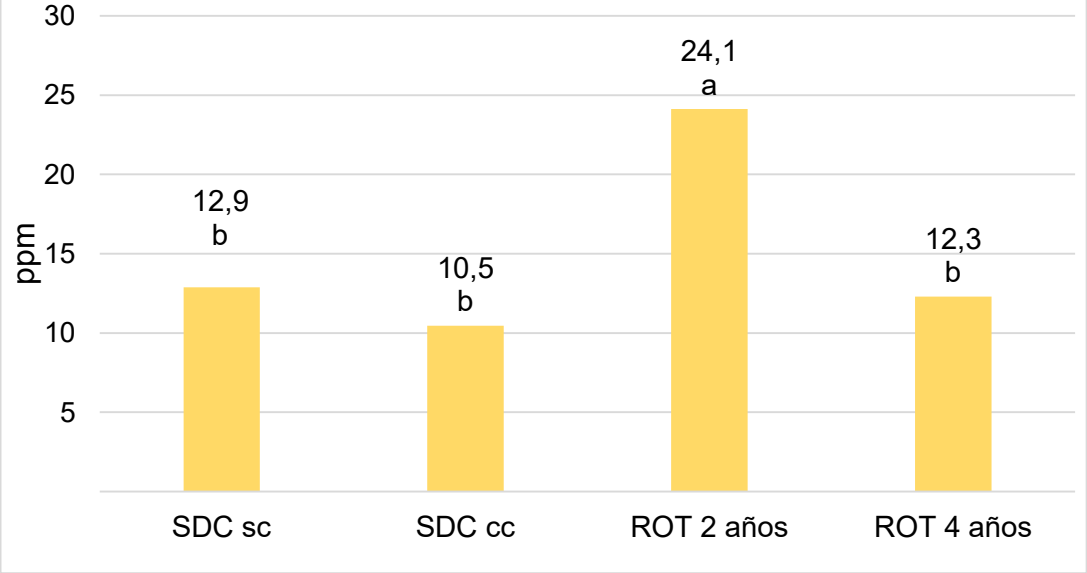
En el período de coberturas y barbecho, las temperaturas estuvieron por debajo del promedio histórico en casi todos los meses a excepción de mayo y setiembre, con 0.5 y 2.5 °C de superioridad con respecto al histórico, respectivamente.

4.2 NITRÓGENO

A continuación, se presentará un gráfico del resultado obtenido de nitrógeno tomado de los análisis de suelo al momento de la siembra del cultivo de sorgo.

Figura 3

Nitrógeno a la siembra



Como se puede observar en el gráfico, el único tratamiento que presentó diferencias en cuanto al nitrógeno a la siembra fue el de rotación de 2 años de pasturas, con un valor cercano al doble que el resto de los tratamientos.

Según la información recolectada es necesario analizar cuáles son las pérdidas y las ganancias en estos sistemas de rotación, comenzando con las rotaciones de sorgo sin pasturas, las cuales van a tener una alta extracción de nitrógeno al momento de la cosecha de sorgo, más aún al tratarse de planta entera donde lo que vuelve al sistema es una fracción muy pequeña a través de las raíces de las plantas.

Sumado a esto se debe tener en cuenta que estas rotaciones están más expuestas respecto a las pérdidas por erosión y lixiviación ya que se encuentran más tiempo con el suelo descubierto y por ende más vulnerables.

En cuanto a las entradas de nitrógeno en este caso van a ser principalmente por fertilización, ya que, al tratarse de sorgo y avena en el caso de la rotación con cobertura, no hay presencia de leguminosas que tengan un gran aporte a través de la FBN.

Teniendo en cuenta estos factores es esperable que a medida que avanza los años los contenidos de nitrógeno sean cada vez menores, principalmente a partir del nitrógeno orgánico y por ende sea necesario un aumento de la fertilización nitrogenada, lo cual como se vio anteriormente no va a significar las mismas ganancias en cuanto a otras propiedades que aporta la materia orgánica al suelo.

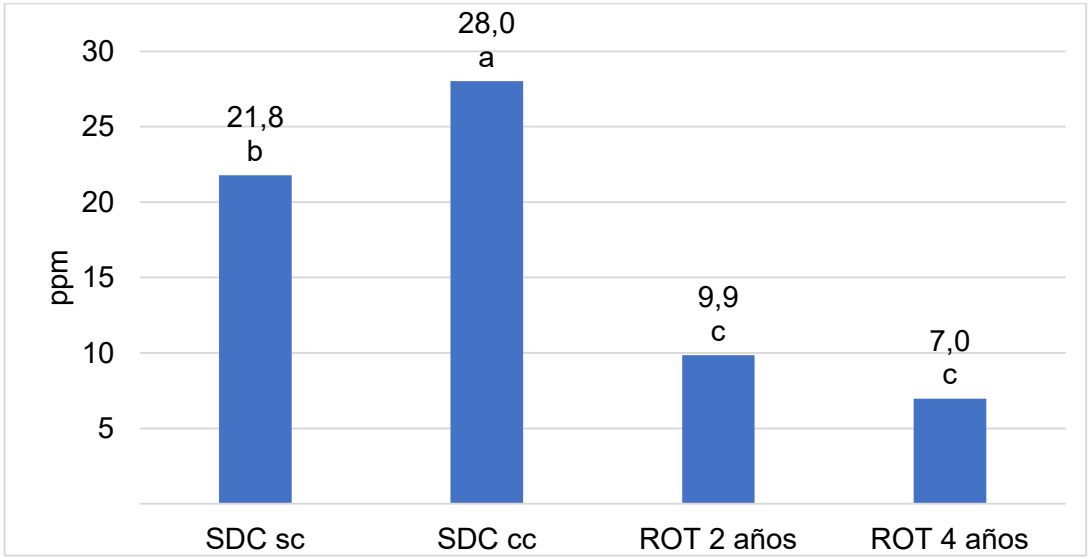
Dicho esto, es necesario analizar las diferencias en las rotaciones con pastura, ya que es conocido que en estos casos el aporte a través de la FBN en la fase de pasturas va a ser considerablemente alto en ambos casos, por la presencia de trébol blanco y lotus, pero como se observa en los resultados el de la rotación con 4 años de pasturas no presentó diferencias frente al resto. Esto se puede explicar principalmente por el hecho de que la pastura se fue deteriorando y por lo tanto la presencia de leguminosas y su fijación se fueron viendo afectadas, sumado a que al momento del muestreo el rastrojo de la pastura aún se estaba descomponiendo y por lo tanto hay cierta inmovilización del nitrógeno por parte de los microrganismos. Sería esperable que, si el análisis del nitrógeno se realizara en otra instancia posterior, la rotación de 4 años de pasturas fuera sensiblemente superior al de las rotaciones sin pastura.

4.3 FÓSFORO

También fue analizado en el laboratorio en la misma instancia que el nitrógeno, el fósforo a la siembra, a partir del método Bray l, del cual se pueden ver los resultados en el siguiente gráfico.

Figura 4

Fósforo Bray l



En este caso se puede observar que el tratamiento con los valores de fósforo por el método Bray l al momento de la siembra fue el de Sorgo continuo con cobertura, seguido del sorgo sin cobertura y por último y sin diferencias entre ambos los tratamientos de pasturas.

Esto se explica porque todos los años se fertilizó al momento de sembrar el sorgo con 46 kg de P2O5, por lo tanto, en los tratamientos con rotación de pasturas existió por dos y cuatro años ausencia de fertilizaciones por la presencia de praderas, sumado al consumo del nutriente que las mismas realizaron.

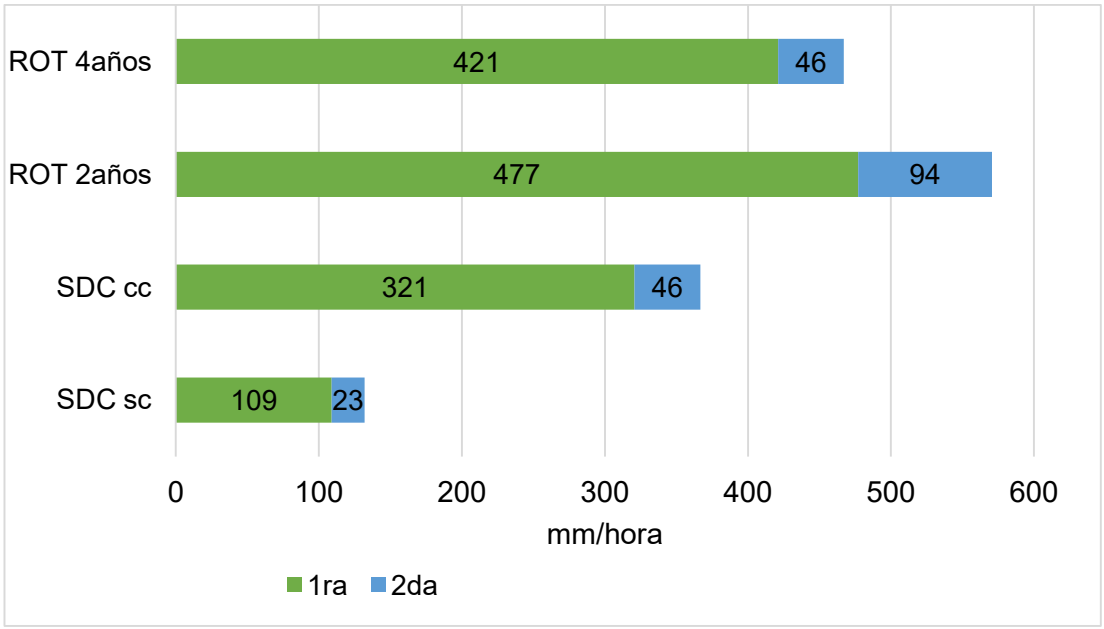
En el caso de las diferencias encontradas en las rotaciones sin pasturas se puede concluir que la mayor cantidad de fósforo existente en el CC es debido a la mejor estructura del suelo y la incorporación de la cobertura.

4.4 INFILTRACIÓN

A partir del método utilizado, mencionado en el capítulo anterior, se calculó cuantos mm de agua infiltran por hora en ambas aplicaciones (se vertió agua 2 veces por tubo), con esta información se realizó el siguiente gráfico:

Figura 5

Infiltración



Evaluación de infiltración en mm/h según el tratamiento. En verde se ve el resultado de la primera medición realizada con 450 mm de agua por hora, y en azul la segunda aplicación.

Como se puede observar tomando en cuenta la primera aplicación de agua, en los tratamientos de rotación con pasturas, tanto en la corta como en la larga son las que obtuvieron mayores resultados en cuanto a la velocidad de infiltración del agua en el suelo, sin presentar diferencias significativas entre ambas. Sin embargo, se puede notar que al sumar la segunda aplicación si se encuentran diferencias. Para el caso de los cultivos continuos se ve una mayor velocidad de infiltración para el caso del tratamiento con cultivo de cobertura.

Al medir el tiempo de infiltración en el caso de la segunda aplicación de agua no se observaron diferencias tan amplias entre los diferentes tratamientos, pero siguiendo la misma tendencia a la primera medición y ampliando diferencias en el total de agua infiltrada. Es necesario comprender que en estos casos el agua que no logra infiltrar, en condiciones naturales va a ser agua que escurre superficialmente, de manera que si se midiera el escurrimiento los resultados serían opuestos a los obtenidos con este experimento, el cual retiene el agua sobre la superficie dentro del tubo sin permitir que escurra.

Estos datos comparados con la información recolectada coinciden en que los tratamientos, con varios años de repeticiones, afectaron de manera notoria la capacidad de infiltración de estos suelos, probablemente explicado en primera instancia por la presencia de las pasturas, ya que estas arrojaron mejores resultados, incluso en el caso del verdeo, como se vió anteriormente la presencia de cobertura vegetal mejora la porosidad y además reduce el impacto y el encostramiento superficial que afectarían en el escurrimiento.

Sumado a esto se debe tener en cuenta que en los suelos con pasturas luego de tatos años deben presentar mayores proporciones de materia orgánica, la que desempeña un papel fundamental en la porosidad y estructura del suelo y por tanto en la infiltración. Además, la ausencia de pasturas generó un efecto negativo en cuanto a la posibilidad de erosión del suelo, que, en los períodos donde el suelo está descubierto, se acelera la degradación del horizonte superficial, y como se sabe es el que presenta las mejores propiedades en cuando a materia orgánica, porosidad, infiltración, etc.

Ahora bien, observando el gráfico, se nota que la pastura de más larga duración (4 años) tiene un valor inferior al de la rotación de 2 años de pasturas, lo cual se puede explicar posiblemente a que la rotación con 4 años, la pastura sobre el fin de su ciclo se encontraba en una situación donde no estaba en las mejores condiciones, tanto en densidad, vigor y la proporción de especies, lo que afecta al sistema radicular generado en la parcela, es importante destacar que la realización de este ensayo se dio post siembra, con el sorgo ya implantado, de manera que el rastrojo de las pasturas estaba en descomposición y por lo tanto también sus raíces.

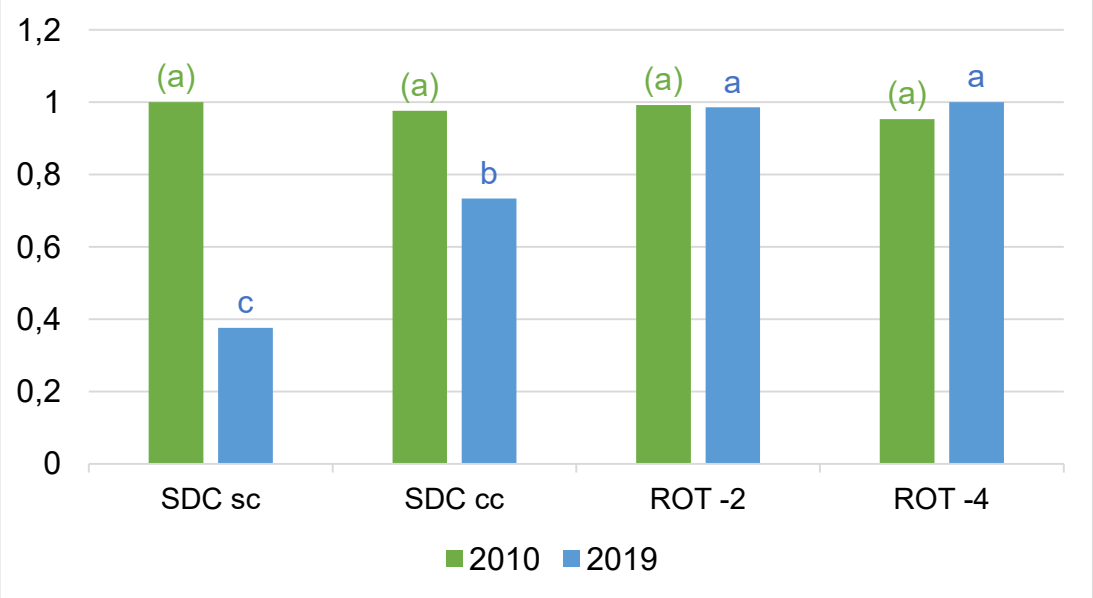
En consecuencia, al momento de realizar la medición de infiltración estas parcelas con pasturas de 4 años no presentaban los mismos canales subterráneos en cuanto a calidad y cantidad, para la circulación del agua a través del perfil.

4.5 ESTABILIDAD DE AGREGADOS

Luego de registrados todos los datos del remanente en los tamices utilizados, se comparan a continuación los tratamientos con una medida en base 1 que simplifica el análisis de los datos, donde los suelos que presentan una mejor estructura, es decir agregados más fuertes y por ende de mayor tamaño, se aproximan más al máximo.

Figura 6

Estabilidad de agregados



En verde se midió la estructura del suelo en el año 2010 para poder comparar el proceso con varios años de diferencia repitiendo las rotaciones.

Se puede observar en el gráfico que para el año 2010 no se encontraron diferencias significativas en ningún tratamiento, presentando un valor muy cercano a 1 en todos los casos, lo que significa que los cambios no se generan en un corto periodo de tiempo.

Transcurridos 9 años de repetición del experimento se observaron diferencias entre los tratamientos, las rotaciones con pastura presentaron una mayor estabilidad de agregados sin diferencias entre ambas. En el caso de las rotaciones de sorgo continuo se nota que la presencia de cobertura mejoró el resultado de la estabilidad de agregados respecto a la rotación sin cobertura.

Por otro lado, es importante observar que en el caso de las rotaciones con pastura la estabilidad se situó en los mismos valores que el análisis realizado en 2010, por lo tanto, se puede decir que la estabilidad se mantuvo constante con este sistema de rotación y que por ende es sustentable a largo plazo para este tipo de suelo.

En este caso la presencia de pasturas también fue la determinante de las diferencias entre los tratamientos. Como se mencionó anteriormente la presencia de macro agregados, responsables de la buena estructura, se ve favorecida por la presencia de raíces, microrganismos y materia orgánica, los cuales en la fase de pasturas van a tender a aumentar y por lo tanto mejorar el resultado final en la rotación.

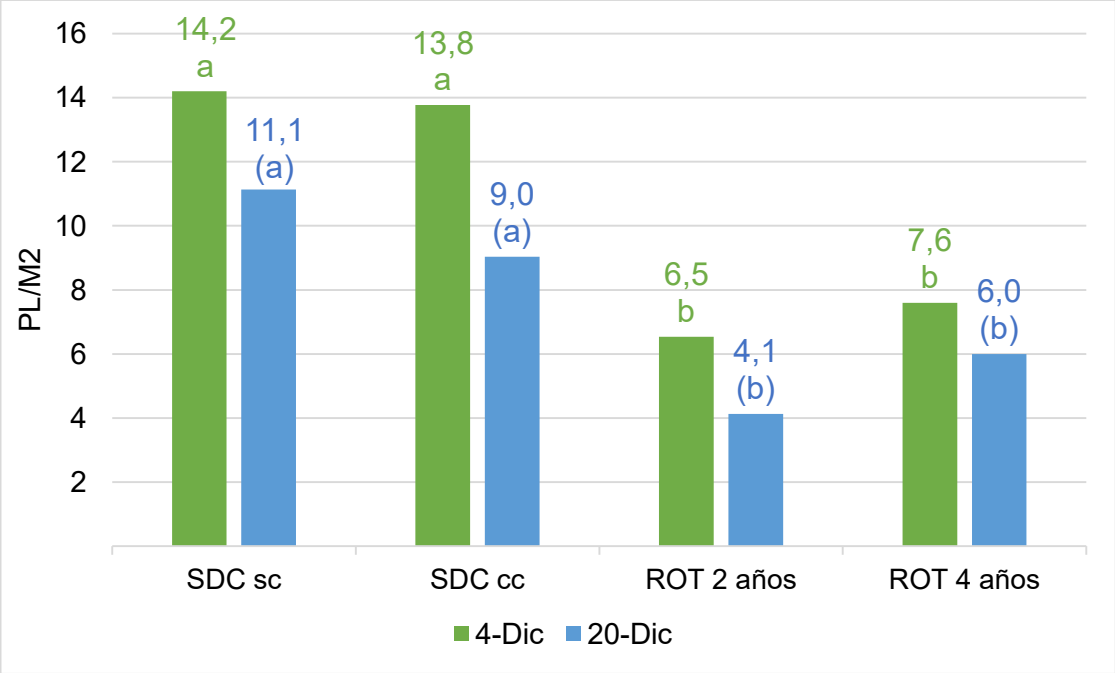
En un punto intermedio, se encuentra la rotación de sorgo y avena, que evidentemente no va a mejorar lo suficiente las condiciones anteriores en ese periodo que está presente la cobertura, pero sin embargo logra de todas formas mejorar respecto a la rotación de sorgo s/c, ya que además de lo mencionado disminuye la probabilidad de erosión y de pérdida de estas propiedades.

4.6 IMPLANTACION

A continuación, se presentan los datos de plantas contadas por metro cuadrado, comparando ambas fechas (4/12 y 20/12) en los distintos tratamientos.

Figura 7

Plantas por metro cuadrado



El gráfico muestra las mediciones tomadas el 4 de diciembre en verde y las del 20 de diciembre en color azul. Las letras hacen referencia a las diferencias significativas, siendo las que se encuentran entre paréntesis las correspondientes al 20 de diciembre.

Existen gran variedad de elementos que pueden afectar la implantación del cultivo como la semilla utilizada, la fecha de siembra, la densidad, distribución y profundidad de siembra, la presencia de malezas, plagas y el rastrojo del cultivo anterior. En este caso la mayor parte de estas variables se mantienen constantes por lo cual las diferencias radican al someter al cultivo a los diferentes tipos de rotación, donde se va a tener un efecto directo sobre la implantación, ya que las condiciones del suelo al momento de la siembra van a ser variables según sea su antecesor.

Se puede observar una gran reducción en el stock de plantas en todas las parcelas, desde el 4 al 20 de diciembre, es decir que existió mortandad de plantas. Cabe destacar que para el análisis de significancia se compararon los valores dentro de una misma fecha y no entre ambas.

En los tratamientos de sorgo continuo tanto con y sin cobertura fueron los que tuvieron mejores resultados de implantación. No se encontraron diferencias significativas en dichos tratamientos para ninguna de las dos fechas.

Para el caso de los tratamientos que rotaron con pasturas, en comparación con los cultivos continuos, mostraron una menor proporción de plantas, tanto el 4 como el 20 de diciembre, y al igual que el caso anterior sin diferencias entre las rotaciones (2 y 4 años).

La presencia de residuos sobre la superficie en siembra directa modifica la dinámica del agua y nutrientes (inmovilización), afectan la radiación, son sustrato de patógenos y determinan que tipo de plagas puedan estar presentes; además al descomponerse liberan sustancias tóxicas para las plantas, sumado a que dificultan la acción mecánica de las sembradoras (Martino, 1997).

Con esta información presentada, se puede afirmar que las rotaciones con pastura tuvieron una peor implantación que las restantes, y se explica este efecto debido a las condiciones en las que se encontraban los rastrojos en ese momento y por sobre todo la cantidad de isocas en el suelo presentes en las rotaciones de pasturas.

Dadas las distintas rotaciones, el periodo de barbecho en cada caso fue diferente, dando más o menos tiempo para la descomposición de los residuos y para la formación de colonias de insectos en el suelo, que se ven favorecidas por la ausencia de perturbación del suelo durante periodos largos, siempre y cuando tengan el alimento necesario, como en los años de pastura donde se asociaron los grandes problemas de isoca a la reducción en ambas rotaciones con pastura.

Como se vio en el material presentado, en estos casos (rotación con pasturas) la cantidad de rastrojo presente era muy superior que en la rotación de sorgo-sorgo (la cual era casi nula) al momento de la siembra y también en la de sorgo-avena, por lo tanto, es posible que la sembradora se encuentre con cierta dificultad para la correcta colocación de las semillas a la profundidad deseada, sumado a que pudo existir posteriormente fitotoxicidad de la pastura en descomposición para las plántulas de sorgo que están brotando, además de ejercer cierta competencia por luz, debilitando aún más

a las plántulas que pudieron tener un efecto negativo también con una menor temperatura del suelo.

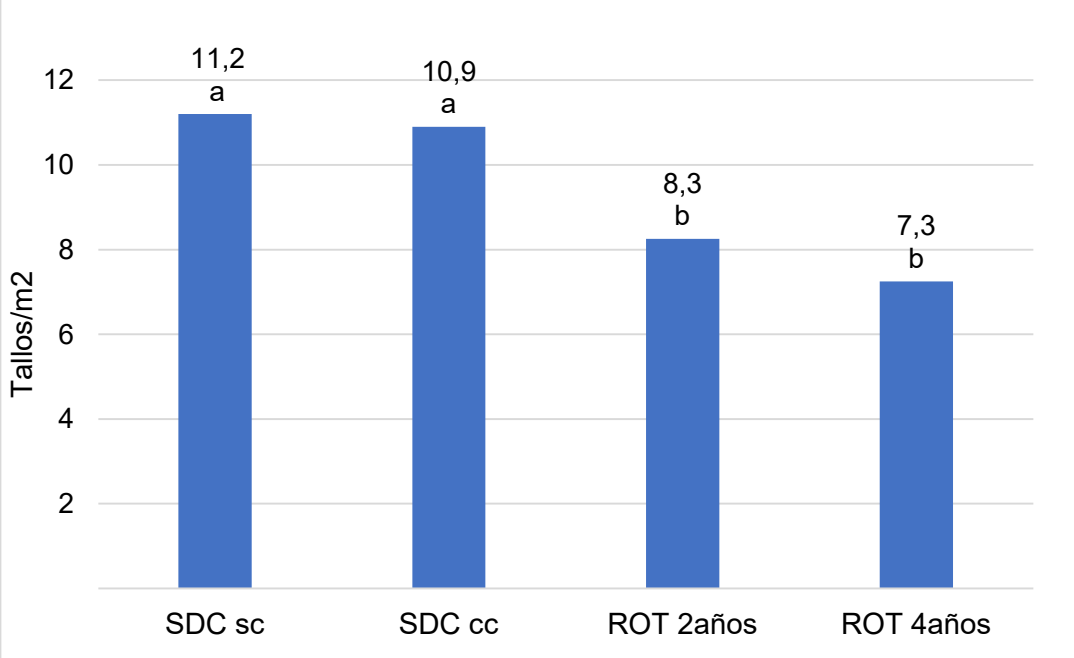
Sumado a todo esto, la presencia del rastrojo más denso, como se vio anteriormente, aumenta la probabilidad de ataques por hongos lo que podría desencadenar en una mayor mortandad de plántulas agravando la situación. Por último, es importante recordar que el rastrojo durante el proceso de descomposición va a inmovilizar parte de los nutrientes, precisamente nitrógeno, a través de los microrganismos del suelo, por lo tanto, se da también cierta competencia inicial por nutrientes, a pesar de que en el transcurso del ciclo estos vuelvan a ser disponibles para el cultivo.

4.7 NÚMERO DE TALLOS

El otro componente que determina el rendimiento en conjunto con el PIT es el número de tallos, el cual se representa a continuación:

Figura 8

Número de tallos/ m2



Este gráfico nos muestra en el eje de las ¨X¨ los diferentes tratamientos y en el ¨Y¨ los tallos por metro cuadrado resultado de la conversión a partir de los metros lineales medidos a campo. El muestreo da como resultado que las dos rotaciones sin pastura son la que obtienen mayor cantidad de tallos. Los mismos dieron como resultado entre 10,9 y 11,2 tallos/m2 sin mostrar diferencias significativas entre ellos.

En el caso de las rotaciones con pasturas, tanto la larga como la corta, se ve una diminución en el número total de tallos obtenido por metro cuadrado, las cuales tampoco muestran diferencias significativas entre ambas. Esto era esperable, ya que el número de tallos presentes en la parcela va a estar determinado en gran medida por la cantidad de plantas presentes, que, como vió en implantación, estas rotaciones presentaron un menor número de plantas logradas y por lo tanto un menor número de tallos total.

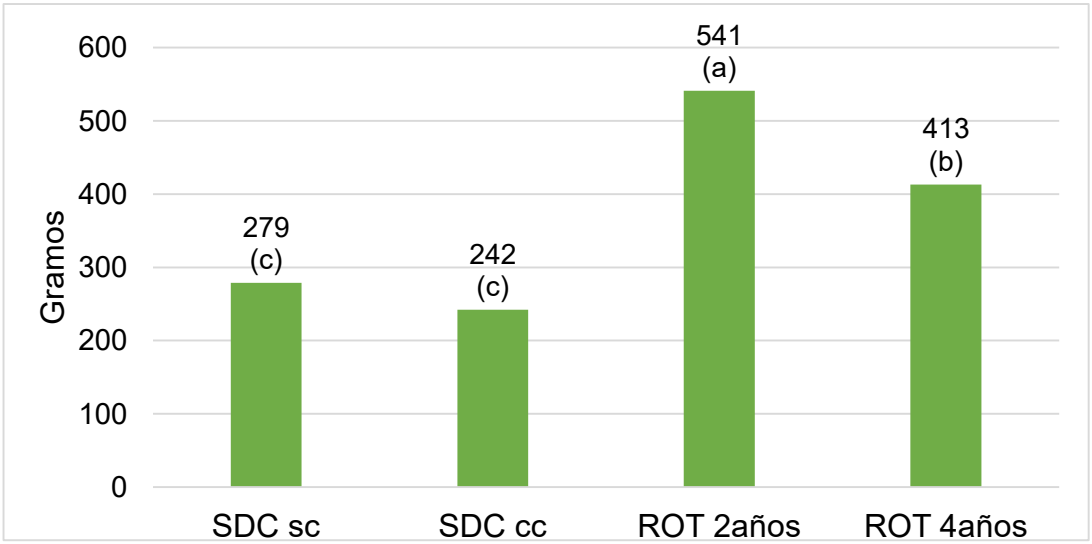
A pesar de esto, se debe tener en cuenta también la posibilidad de que estas menores plantas logradas por unidad de superficie puedan ver variaciones en el número de tallos debido al macollaje de las mismas, punto que será tratado más adelante.

4.8 PESO INDIVIDUAL DE TALLOS (PIT)

Considerando la importancia sobre el rendimiento de este punto y a partir de los pesos registrados de manera aleatoria se realizó la siguiente gráfica donde se muestra el peso individual en gramos para cada tratamiento.

Figura 9

Peso individual de tallos



En el eje de las ¨X¨ se observan los diferentes tratamientos y el eje ¨Y¨ los gramos en promedio de los tallos pesados. Como se puede observar existieron diferencias significativas en los tratamientos de rotación con pasturas, siendo mayores pesos en la de rotación corta. Mientras que en las rotaciones de cultivos continuos los pesos individuales fueron significativamente menores, sin diferencias entre ellos.

Según esta información, se debe comenzar a enumerar los efectos que tuvieron resultados positivos en las rotaciones con pasturas en el peso de los tallos, ya que evidentemente fue el factor determinante de las diferencias entre los tratamientos. En primera instancia se sabe que las rotaciones sin pastura al transcurrir los años sufrieron un gran deterioro en el horizonte superficial, en cuanto al contenido de materia orgánica, que determina una menor fertilidad en esos suelos como se pudo observar a través de la bibliografía citada, ya que en los periodos de pastura, a través de las raíces de las plantas que se van descomponiendo, existía una devolución al sistema con resultados positivos, desempeñando un papel fundamental en el aporte de nitrógeno que se incorpora (ya que la mayor parte es orgánico) y también carbono, a través de estas praderas en mezcla de gramíneas con leguminosas, sumando el efecto de que estas últimas realizan la FBN.

Por otro lado, esta materia orgánica en conjunto con el propio crecimiento y descanso de las pasturas conlleva a las mejoras en cuanto a las propiedades físicas del suelo, en cuando a aireación e infiltración de agua, aumentando la disponibilidad de estos mismos y por ende proporcionando mejores nutrientes para las plantas.

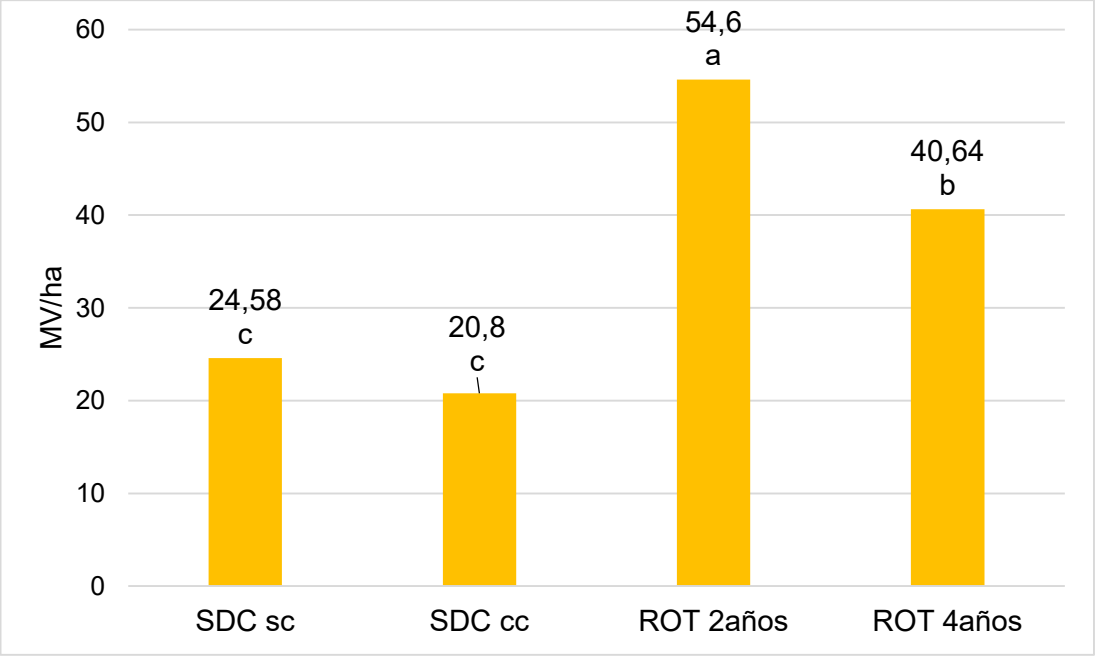
Además de estos nutrientes y agua para el desarrollo y crecimiento de estos tallos, es fundamental la intercepción de luz para lograr foto asimilados, por lo que teniendo en cuenta el número de tallos total, que se observó en el punto anterior (tallos/m2), se nota como esto afectó compitiendo por todo lo previamente dicho, de manera que el menor número de tallos permitió a los cultivos de la rotación de pasturas un mayor crecimiento en peso individual.

4.9 RENDIMIENTO

Ahora ya con la información presente de los componentes del rendimiento, se va a hacer énfasis en el mismo y analizarlo más detalladamente.

Figura 10

Rendimiento del sorgo



Como se puede observar el rendimiento medido en MV/ha es superior a todos los tratamientos en la rotación con pastura de 2 años, siguiendo en esta línea la rotación de 4 años y, por último, sin diferencias entre ambas, las rotaciones de sorgo continuo.

No se encontró respuesta al agregado de N a V6. Esto pudo deberse a que cuando se agregó el N (20/12), ocurrieron altas precipitaciones que pueden haber causado pérdidas de N por lixiviación. En el caso de que las dosis y las condiciones climáticas acompañaran a una correcta incorporación del fertilizante, hubiéramos esperado resultados positivos principalmente en las rotaciones de sorgo continuo, dado que son las que presentaron los menores contenidos de nitratos, explicados principalmente por la ausencia de entradas a través de la FBN que realizan las leguminosas en las otras rotaciones con pradera mezcla.

Teniendo en cuenta que el rendimiento está determinado por el número y peso de tallos, está claro que, al comparar los datos vistos en las gráficas anteriores, el que tuvo mayor trascendencia fue el peso de los tallos, ya que las rotaciones sin pasturas eran las que presentaban mayor número de tallos y sin embargo los rendimientos fueron los más bajos. En esta línea se puede decir que hubo cierta compensación de parte del cultivo a la presencia de un menor número de plantas en la parcela, aumentando el peso individual de las mismas, entre otras cosas por una menor competencia entre plantas por foto asimilados, nutrientes y agua.

Son varios los puntos que explican estos resultados además de lo mencionado previamente; en primera instancia, se estudia el efecto que tenían las rotaciones sin la presencia de pasturas sobre los suelos en el largo plazo, que afectaron las propiedades físicas del suelo, como por ejemplo, en la infiltración del agua, las pasturas tienen efectos positivos al momento de las lluvias para ser incorporada al perfil del suelo con un menor escurrimiento superficial y con una mejor porosidad, de manera que el perfil estará más recargado durante ciertas circunstancias.

Además de esto como se pudo observar al estudiar la estabilidad de los agregados, se observa que fue mucho mejor la estructura del suelo en las rotaciones con pastura, echo que favorece al sistema radicular del sorgo y por ende aumentaría la

exploración radicular, mejorando aún más la absorción de agua y nutrientes.

Siguiendo en esta misma línea y si bien no se realizaron pruebas para medir los contenidos de carbono orgánico, se puede suponer que, en las rotaciones con pasturas, se encontrarían mayores contenidos de materia orgánica, y por ende con un mayor reservorio de nutrientes y las mejoras en cuanto a aireación, absorción y retención de agua.

Dicho esto, se hará énfasis en entender las diferencias que se encontraron entre los tratamientos de rotación con pasturas, donde la de 2 años dio mejores resultados que la de 4 años, que, siguiendo la lógica del efecto positivo de las pasturas sobre todas las propiedades, no tendría sentido. Para ello es importante tener en cuenta como fueron ambos rastrojos como antecesores del sorgo, se supone en la pastura de segundo año una pastura con mayor proporción de leguminosas, mejor calidad, y por ende mayores contenidos de N, los cuales serán durante el período del cultivo de sorgo disponibles para el cultivo. Por otro lado, la pastura de 4 años es una pastura más deteriorada, posiblemente con una mayor proporción de suelo descubierto, como malezas que se fueron desarrollando, de este modo al ser las pasturas incorporadas al suelo posiblemente se dio un proceso de inmovilización de nitrógeno que pudo afectar en el rendimiento del cultivo.

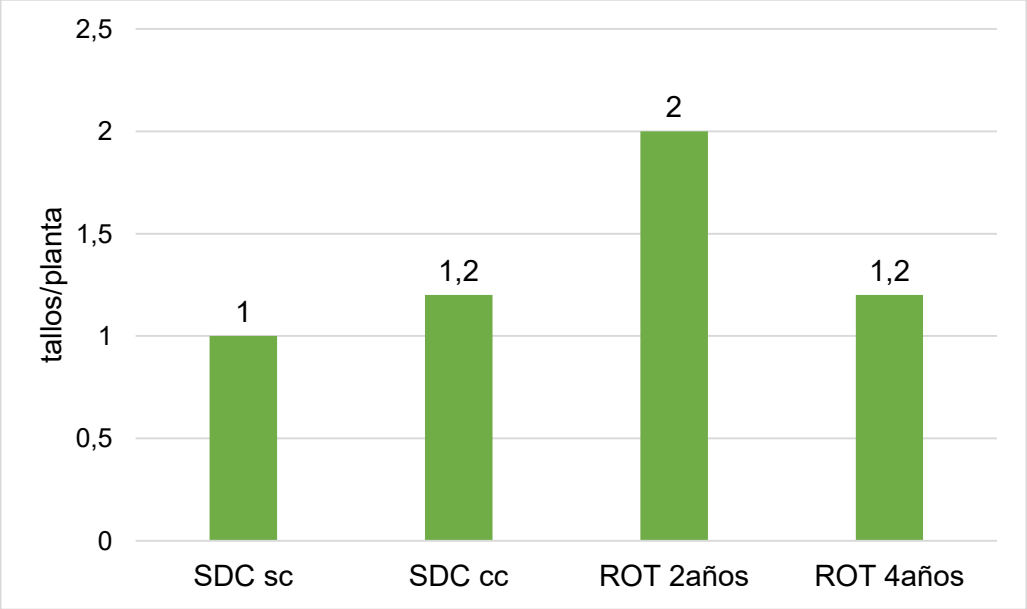
Por otro lado, las rotaciones de sorgo continuo no presentaron diferencias significativas entre ambas, incluso sabiendo los beneficios en cuanto a estructura y aporte de carbono al suelo de parte de la avena en invierno. Esta rotación posiblemente no expresó su principal beneficio, que es el mantener el suelo cubierto durante un mayor período de tiempo y evitar la erosión del horizonte superficial, lo cual implicaría una perdida muy grande de rendimiento; esto se debe a que el suelo estudiado no es un suelo con un riesgo de erosión importante, dadas sus propiedades y principalmente su pendiente con un valor bajo, cercano a 1%, de ser el caso que fuera mayor las diferencias entre ambos tratamientos hubieran sido evidentes.

4.10 TALLOS POR PLANTA

Si bien el número de tallos por planta no forma parte de la determinación del rendimiento, ya que los mismos se tomaron en cuenta en el total de tallos por metro cuadrado, resulta de suma importancia estudiar este punto con el fin de entender cómo afectan las condiciones al proceso de macollaje.

Figura 11

Número de tallos por planta



El gráfico mostró un número de tallos superior en la rotación de 2 años de pastura, con 2 tallos por planta, mientras que los otros 3 tratamientos no presentaron diferencias significativas.

Como se puede observar la rotación con pastura 2 años presento un mayor número de tallos por planta, lo cual se explica por una compensación del cultivo al haber obtenido menores plantas por m2 en el momento de la implantación. Al existir un menor stock de plantas se genera una menor competencia entre las mismas por nutriente y luz.

5. CONCLUSIONES

Los diferentes tratamientos de manejo del suelo (intensidades de uso del mismo) tuvieron un efecto muy marcado en las propiedades del suelo y su efecto en el rendimiento del sorgo. Las rotaciones que presentaron períodos de pastura arrojaron mejores resultados en casi todos los componentes estudiados, principalmente la rotación con 2 años de pastura, ya que la misma fue la que mantuvo el suelo cubierto la mayor parte del tiempo y con un aporte importante por parte de las leguminosas. Por otro lado, y si bien en este suelo no es tan importante, la misma característica de las rotaciones con pastura de tener el suelo cubierto durante un período más largo, le confiere mejor tolerancia a la erosión y por ende a la pérdida del horizonte superficial, el cual es clave en todas estas variables estudiadas.

El contenido de nitrógeno se vio beneficiado por la presencia de las pasturas, a través del aporte que le confieren las leguminosas al suelo por FBN. Por el contrario, con el fósforo ya que durante este período no se realizaron fertilizaciones y por lo tanto al momento del muestreo presentó valores más altos en las rotaciones de sorgo continuo.

Los diferentes tratamientos de uso del suelo afectaron las propiedades físicas del suelo como la infiltración, y la estabilidad de agregados, siendo el sorgo continuo el que presento los peores resultados.

En cuanto a la implantación del sorgo, se puede concluir que fue una de las pocas variables que se vio afectada negativamente en las rotaciones con pasturas.

El resultado final de esta combinación de elementos logró en el largo plazo un mayor rendimiento de sorgo por la presencia de pasturas en la rotación, principalmente en la de 2 años

6. BIBLIOGRAFÍA

Abella, M., & Nin, A. (2003). *Evolución en las formas y contenidos de fósforo del suelo bajo sistemas de rotaciones de pasturas y cultivos con laboreo convencional y siembra directa* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

Cabria, F., Calandroni, M., & Monterubbianesi, G. (2002). Tamaño y estabilidad de agregados y su relación con la conductividad hidráulica saturada en suelos bajo labranza convencional y praderas. *Ciencia del suelo, 20*(2), 69-80.

Calderón, F. (2022, 3 de marzo). *La estabilidad estructural del suelo.* http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Estabilidad_Estructural_del_Suelo.htm

Carrasco, N., Zamora, M., & Melin, A. (2011). *Manual de sorgo*. INTA.

Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. (2007). *Guía técnica del cultivo de sorgo: Sorghum bicolor, L. Moench.* Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Díaz, R. (1992). Evolución del nitrógeno total en rotaciones con pasturas. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas, 1*(1), 27-35.

Docampo, R. (2012). La importancia de la materia orgánica del suelo y su manejo en producción frutícola. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Seminario de actualización técnica Frutales de pepita* (pp. 81-88).

García, F., Durán, A., Califra, A., & Hill, M. (2000). *Propiedades hídricas del suelo*. Facultad de Agronomía.

Guerra, V. (2021, 8 de setiembre). Carbono: el elemento que determina la sustentabilidad del agro. *INTA Informa.* https://intainforma.inta.gob.ar/carbono-el-elemento-que-determina-la-sustentabilidad-del-agro/

Irigoyen, A., & Perrachón, J. (2007). Sorgo granífero. *Revista del Plan Agropecuario,* 123, 52-55.

Martino, D. (1997). *Siembra directa en los sistemas agrícola-ganaderos del Litoral*. INIA. http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2988/1/15630291007151145.pdf

Morón, A. (1992). El fósforo en el sistema suelo-planta. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas, 1*(1), 45-60.

Morón, A. (2001). *El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo*. En R. Díaz (Ed.), *Siembra directa en el Cono Sur* (pp. 387-405). INIA.

Morón, A. (2003). Efecto de las rotaciones Cultivos-Pasturas sobre la fertilidad de los suelos en ensayos de larga duración del INIA La Estanzuela (1963-2003). *Investigaciones Agronómicas, 20*, 1-7.

Morón, A., & Kiehl, J. D. C. (1992). Dinámica del fósforo en tres sistemas agrícolas en el suroeste de Uruguay. *Investigaciones Agronómicas*. 1(1): 61-84.

Morón, A., & Sawchik, J. (2002, 14-21 de agosto). *Soil quality indicators in a long-term crop-pasture rotation experiment in Uruguay* [Contribución]. 17th World Congress of Soil Science, Bangkok.

Pauletti, M., Terra, A., & Perrachon, J. (2016). Las rotaciones agrícolas - ganaderas en Uruguay “un clásico”. *Revista del Plan Agropecuario*, (158), 56-60.

Perdomo, C., & Barbazán, M. (1999). *Nitrógeno*. Universidad de la República.

Shaxson, F., & Barber, R. (2005). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal: El significado de la porosidad del suelo.* FAO.

Siri, G. (Comp.). (2004). *Sorgo*. Universidad de la República.

TodoMani. (2018, 2 de marzo). *Carbono orgánico: Aliado de nuestros suelos.* http://www.todomani.com.ar/mani/notas.asp?nid=1016

United States Department of Agriculture. (2011, enero). *Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems*. http://cultivosdeservicios.agro.uba.ar/wp-content/uploads/2019/04/stelprdb1166766.pdf

United States Department of Agriculture. (2018). Rotación de cultivos. En *NAL Agricultural Thesaurus.* Recuperado el 28 de julio de 2023, de https://agclass.nal.usda.gov/es/vocabularies/nalt/concept?uri=https%3A//lod.nal.usda.gov/nalt/30158

Vallati, A. (s.f.). *Sorgo*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/maiz_sorgo/12-descripcion_sorgo.pdf