



## **INDICADORES DE CALIDAD FÍSICA EN SUELOS BAJO ROTACIONES CON CULTIVOS DE COBERTURA.**

**"Trabajo final de graduación presentado para obtener el título de Ingeniero Agrónomo"**

**Autores:** Roque Gonzalo German; Sánchez Zapata Gonzalo Nicolás.

**Director:** Dr. Cristian Álvarez AER Gral. Pico

**Co-director:** Dr. Elke Noellemeyer Facultad de Agronomía UNLPam

**Evaluadores:** Dra. FRASIER Ileana EEA INTA Anguil; Dr. RIESTRA Diego R. Facultad Agronomía UNLPam.

FACULTAD DE AGRONOMÍA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

Santa Rosa (La Pampa) - Argentina 2019

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	6
2.1. Descripción de los sitios de muestreo .....	6
2.2. Descripción de los sitios donde se realizaron los ensayos:.....	7
2.2.1. Pellegrini.....	7
2.2.2. Roberts:.....	8
2.2.3. Ameghino .....	10
3. RESULTADOS.....	11
3.1. Sitio Pellegrini: .....	11
3.2. Sitio Roberts: .....	18
3.3. Sitio Ameghino .....	23
4. DISCUSIÓN:.....	27
4.1. Sitio Pellegrini: .....	27
4.2. Sitio Roberts: .....	28
4.3. Sitio Ameghino .....	29
4.4. Discusión general.....	30
5. CONSIDERACIONES FINALES .....	32
6. BIBLIOGRAFÍA: .....	33

**RESUMEN:**

En la actualidad los sistemas de producción agrícola de la Región Pampeana producen la degradación de los suelos provocando, entre otras consecuencias, grandes pérdidas de materia orgánica. Se han implementado sistemas de siembra directa los cuales mitigan los cambios negativos de materia orgánica del suelo por mineralización. Sin embargo, estas prácticas no son suficientes para contrarrestar estas pérdidas en sistemas con alta frecuencia de monocultura de soja. El objetivo del trabajo fue cuantificar y caracterizar la calidad física de los suelos en rotaciones de cultivos de verano con cultivos de cobertura en diferentes sitios de la región pampeana. Se estableció un experimento a campo en diferentes sitios de la región de la pampa arenosa. Los tratamientos utilizados variaron entre los cultivos de: Centeno (*Secale cereale*), Avena (*Avena sativa*), Nabo (*Brassica napá*), vicia (*Vicia sativa/villosa*) y Triticale (*x Triticosecale*), en un diseño en bloques completos aleatorizados con tres repeticiones. Sobre todos los tratamientos se establecieron cultivos de verano (CV). Los cambios en infiltración acumulada en los sitios donde se registraron diferencias significativas ( $p=0.05$ ) fueron en Pellegrini en magnitud de 205 % y en Ameghino del 366 % respecto del testigo. Al analizar la distribución de agregados al introducir cultivos de cobertura, estos fueron mayores en la fracción 4-8 mm. La variable que más cambio mostró fue la densidad de agregados, ejemplo de la misma lo presenta la fracción 2-3 mm con valores de 12 % menos respecto del testigo. Es importante seguir evaluando el impacto sobre estas y otras propiedades en el tiempo, ya que algunas variables recién se tornan sensibles con efectos acumulados de varios años.

**PALABRAS CLAVES:** Infiltración-Malezas-Biomasa

**ABSTRACT:**

At present, agricultural production systems in the Pampas region produce soil degradation, causing, among other consequences, large losses of organic matter. No-till systems have been implemented which mitigate the negative changes in soil organic matter caused by mineralization. However, these practices are not enough to offset the losses in systems with high frequency of soy monoculture. The objective of the study was to quantify and characterize the physical quality of soils in rotations of summer crops with cover crops at different sites of the Pampas region. A field experiment was established at different sites in the sandy pampa. The treatments were Rye (*Secale cereale*), Oats (*Avena sativa*), Turnip (*Brassica nap*a), vetch (*Vicia sativa / villosa*) and Triticale (x *Triticosecale*), in a randomized complete block design with three repetitions. Summer crops (CV) were established on all treatments. Changes in cumulative infiltration at sites were observed in Pellegrini with a magnitude of 205% and in Ameghino of 366% compared to the control. When analyzing the distribution of aggregates when introducing cover crops, these were greater in the 4-8 mm fraction. The variable that showed the most change was the volumetric aggregate weight, an example of this being presented by the 2-3 mm fraction with values of 12% less compared to the control. It is important to continue evaluating the impact on these and other properties over time, since some variables only will be sensitive after several years of accumulated effects.

**Key words:** Infiltration- weeds- biomass.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los actuales sistemas de producción agrícola de la región pampeana producen la degradación de los suelos, con importantes pérdidas de materia orgánica (Bossio *et al.*, 2005; Degruno *et al.*, 2016; Figuerola *et al.*, 2012; Frasier *et al.*, 2016b; González-Chávez *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2010). A pesar de la introducción de sistemas de siembra directa en los cuales se minimizan las pérdidas de materia orgánica por mineralización (Fernández *et al.*, 2010), los aportes de residuos de los cultivos en estos sistemas de monocultura aparentemente no son suficientes para contrarrestar los procesos de degradación (Fernández *et al.*, 2017; Quiroga *et al.*, 2014). La pérdida de carbono afecta en mayor medida las fracciones más lábiles y ha dado lugar al deterioro de la condición física de los suelos. En este sentido, la degradación se manifiesta como pérdida de estructura edáfica (Quiroga *et al.*, 2009; Cambardella & Elliot, 1992) la cual, además de favorecer los procesos de erosión eólica (Aimar *et al.*, 2012; Colazo & Buschiazzo, 2010; Hevia *et al.*, 2007), afecta negativamente el transporte de agua y gases y la actividad biológica (Hakansson & Reeder, 1994; Dexter, 1988).

Por este motivo, los cultivos de cobertura han surgido como una alternativa para mitigar el efecto de la monocultura (Ding *et al.*, 2006; Fernández *et al.*, 2012; Poeplau & Don, 2015). Varios autores han planteado que la biomasa de raíces contribuye en mayor proporción a la formación de materia orgánica en los suelos (Frasier *et al.*, 2017; Kong & Six, 2010) y constituye así el factor decisivo para la formación y estabilización de la estructura del suelo. Para caracterizar la estructura del suelo existen varios abordajes metodológicos. Se podría estipular que la densidad aparente refleja el grado de compactación (Hamza & Anderson, 2005) y la porosidad total, que se calcula a partir de este dato y la porosidad de partículas, puede dar información acerca de la calidad física de los suelos. Otros parámetros que reflejan ésta son la infiltración, la conductividad hidráulica y la capacidad de retención de agua (Dexter, 2004; Noellemeyer *et al.*, 2008). Estudios en la región semiárida central han demostrado que los indicadores de la calidad física de los suelos que fueron más sensibles a cambios en el manejo son el peso volumétrico de los agregados, la estabilidad estructural en húmedo y la infiltración (Fernández *et al.*, 2016).

**OBJETIVO:** El objetivo del trabajo es cuantificar y caracterizar la calidad física de los suelos en rotaciones de cultivos de verano con cultivos de cobertura en diferentes sitios de la región pampeana.

**HIPÓTESIS:** En la región pampeana la inclusión de los cultivos de cobertura en los sistemas de monocultura de cultivos de verano permite incrementar los aportes de carbono al suelo, lo que se ve reflejado en mejoras de la estructura y del sistema poroso del suelo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Descripción de los sitios de muestreo

Para el presente trabajo se seleccionaron tres sitios de ensayos de cultivos de cobertura ubicados en campos de productores en la región de la pampa arenosa. Precisamente los sitios se encuentran ubicados en Pellegrini, Roberts y Ameghino, localidades pertenecientes a la provincia de Buenos Aires. El área de estudio se encuentra dentro de la Región Subhúmeda Pampeana, y el paisaje corresponde a una planicie levemente ondulada, caracterizado como planicie medanosa en el Inventario de los Recursos Naturales de La Pampa (INTA, 1980), o área central pampeano de dunas longitudinales (Zárate & Tripaldi, 2012) . El clima es templado con una temperatura media anual de 16°C, con temperatura media invernal de 7°C y estival de 24°C. Las precipitaciones medias anuales son de 700 y 900 mm, y una distribución de éstas con tendencia a monzónica con picos en octubre y marzo, e inviernos muy secos. El balance hídrico indica que es un clima sub húmedo seco, con déficit en la mayoría de los meses del año. La variabilidad de las precipitaciones es muy grande, siendo esto una característica de las regiones áridas y semiáridas (Scian, 2002). En relación al suelo, en la zona se identifican los órdenes taxonómicos Molisol y Entisol. La mayoría de los suelos del noroeste de Buenos Aires y este de la Pampa son clasificados como Hapludoles o Haplustoles (según el régimen hídrico), los cuales se caracterizan por su textura franco-arenosa, bien drenados, con bajos a medios contenidos de materia orgánica y con moderada capacidad de almacenaje de agua. Según el mayor o menor contenido de arena estos suelos se denominan Énticos o Típicos, respectivamente. Presentan capacidad de uso II o III, siendo el contenido de materia orgánica de la capa superficial (0-20cm) la propiedad edáfica que mejor describe las variaciones en la producción de los cultivos en la región. Los niveles de materia orgánica de estos suelos varían según los contenidos de limos + arcillas, como así también de su intensidad de manejo (Buschiazzo *et al.*, 2001, 1991).

Los tratamientos pueden diferir entre los sitios, habiendo distintas especies como cultivos de cobertura, tales como centeno (*Secale cereale*), avena (*Avena sativa*), nabo (*Brassica napá*),

vicia (*Vicia villosa*), aunque en todos los casos existe un tratamiento control sin cultivo de cobertura, con barbecho químico largo. Los tratamientos estuvieron dispuestos en bloques aleatorizados al azar, con tres repeticiones.

## **2.2. Descripción de los sitios donde se realizaron los ensayos:**

### **2.2.1. Pellegrini**

El ensayo se desarrolló en el establecimiento La Julia. El mismo se encuentra sobre Ruta Provincial N° 85, El ensayo se realizó en un ambiente de media loma. El 5 de mayo del año 2017 se sembró un cultivo de centeno cuya variedad fue DON GUILLERMO con una densidad de 40 kg ha<sup>-1</sup>. Los muestreos se llevaron a cabo sobre los tratamientos de centeno y testigos respectivamente, siendo el girasol su antecesor. Las características del suelo se presentan a continuación:

Diseño del Ensayo:

El ensayo presentó tres tratamientos principales I testigo (suelo sin cultivo), II centeno sin fertilización, y III centeno fertilizado (87 kg ha<sup>-1</sup> de UREA). En el sitio de muestreo se llevaron a cabo determinaciones de infiltración mediante el método de anillos simples (Xu *et al.*, 2012) con tres repeticiones en cada parcela, y se calculó la infiltración acumulada en 60 minutos y la tasa de infiltración básica. Otra determinación llevada a cabo fue la concentración de nitratos para lo cual se extrajeron muestras de suelo con un barreno a una profundidad de 0 – 20 cm y de 20 – 60 cm que luego fueron llevadas al laboratorio para su análisis a través del método de Kjeldahl.

Por otra parte, se determinó materia seca aérea de los cultivos, para lo cual ello se utilizó un anillo de 0.25 m<sup>2</sup> el cual se colocó al azar sobre el suelo y se procedió a cortar la biomasa presente en esa superficie. Luego ésta fue llevada a estufa a 60°C y se determinó su peso seco. Además, se analizó la presencia de malezas realizando el mismo procedimiento de muestreo y donde se contó el número de las mismas presentes en dicha superficie, se las identificó y registró. También se determinó la biomasa de raíces utilizando un barreno de volumen conocido, con el cual se procedió a tomar muestras en la línea de siembra y entre línea y se las llevó al laboratorio para su posterior lavado, tamizado, secado y pesado (Frasier *et al.*, 2016a). Por último, se tomaron muestras del horizonte A de suelo sin disturbar las cuales fueron llevadas al laboratorio, se dejaron secar al aire y se disgregaron los agregados manualmente

por sus planos de fragilidad. Con esto y utilizando tamices de 8, 4, 3 y 2 mm se determinó la distribución de las clases diamétricas de los agregados, la estabilidad de los agregados en húmedo (De Boodt *et al.*, 1967) y el peso volumétrico de los mismos (Fernández *et al.*, 2016).



Imagen 1: Sitio Pellegrini, franjas aleatorizadas de testigo (centro), centeno fertilizado (al fondo) y sin fertilizar (izquierda).

### 2.2.2. Roberts:

El ensayo se desarrolló en el campo experimental “El Rincón”, próximo a la localidad de Roberts (Bs. As.). El mismo se sembró 15 de mayo de 2017 con una densidad de siembra: Nabo ( $4 \text{ kg ha}^{-1}$ ) - Vicia pura ( $15 \text{ kg ha}^{-1}$ ) – Vicia-triticale ( $15\text{-}20 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente). El Diseño fue en franjas aleatorizadas con pseudo-réplicas. Los muestreos se realizaron sobre cada tratamiento para realizar las determinaciones expresadas en el sitio 1 utilizando el mismo procedimiento, a excepción de la de la determinación de raíces que en este ensayo no se llevó a cabo.

También se recolectaron muestras de suelo sin disturbar del horizonte A , tres repeticiones en cada parcela, que se secarán al aire para luego disgregar manualmente los agregados por los planos de fragilidad y tamizado por tamices de 8, 4, 3 y 2 mm, para luego determinar la estabilidad de los agregados en húmedo (De Boodt *et al.*, 1967) y el peso volumétrico de los agregados (Fernández *et al.*, 2016).



Imagen 2: Sitio Roberts, raíz pivotante cultivo de nabo (izquierda), ensayo de infiltración método de anillos simples (derecha).



Imagen 3: Sitio Roberts, parcela de vicia-triticale, ensayo de infiltración método de anillos simples.

### 2.2.3. Ameghino:

El experimento se desarrolló en establecimiento Don Mateo, ubicado a 17 km al este de Florentino Ameghino (Buenos Aires), donde se evaluaron 3 tratamientos de cultivos de cobertura (CC) y el testigo correspondiente.

El ensayo consiste en tres tratamientos con tres repeticiones cada uno, los cuales son testigo (suelo sin cultivo), centeno, nabo y vicia villosa. En este sitio se realizaron las mismas determinaciones que en el sitio Pellegrini.



Imagen 4: Sitio Ameghino, cultivo de nabo ensayo de infiltración método de anillos simples.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Sitio Pellegrini:

Se analizó el efecto de las distintas combinaciones de los cultivos de cobertura con la variable infiltración básica. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos testigo, centeno y centeno fertilizado (Fig.1). Sin embargo, es posible observar ciertas tendencias positivas en favor del centeno fertilizado con respecto al centeno y el testigo.

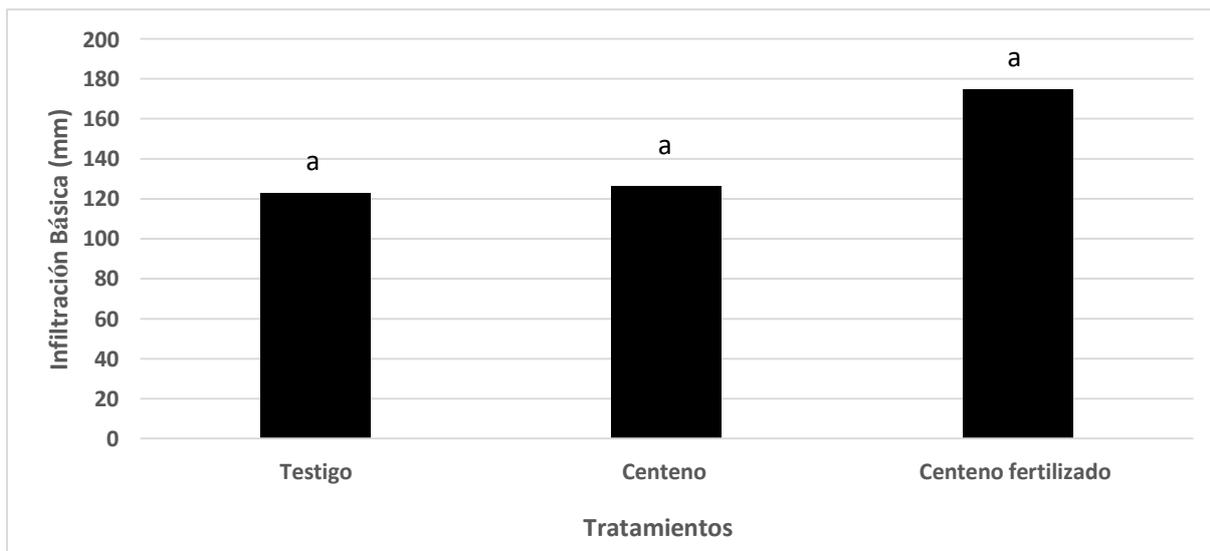


Figura 1. Infiltración básica en los diferentes tratamientos previos al secado de los cultivos.  
*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )*

La infiltración acumulada presento diferencias absolutas en el tiempo, pero no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos testigo y centeno. (Fig. 2).

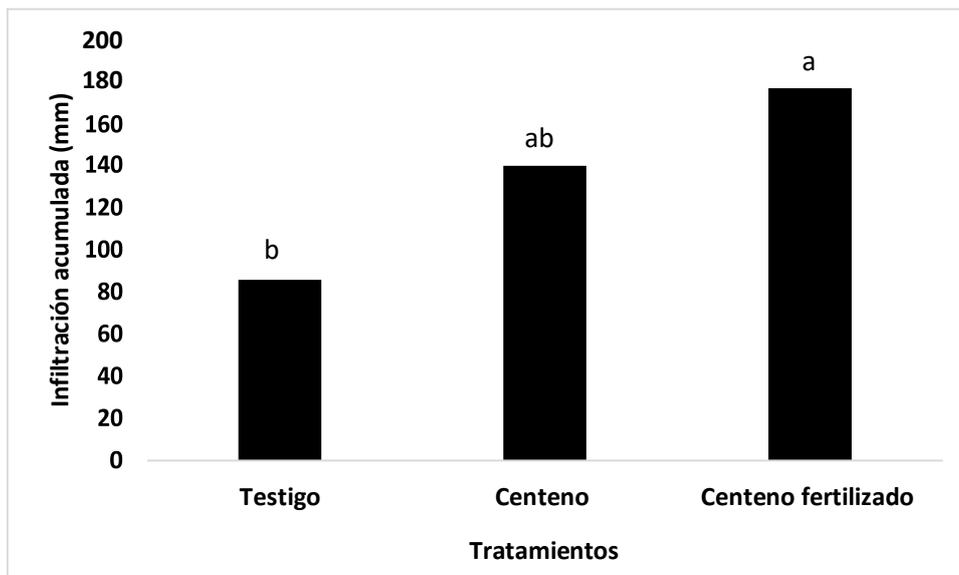


Figura 2. Infiltración acumulada a los 60 minutos de comenzado el ensayo.

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )*

En la figura 3, no se observan diferencias significativas en el porcentaje de diámetro de agregados, ya sea, entre tratamientos como así también entre las diferentes fracciones de diámetros de agregados. El mayor porcentaje de agregados se encuentran en las fracciones 2-3 mm, como se observa en la fig. 4. El porcentaje de diámetros de agregados en la fracción de 2-3 mm es mayor en caso del testigo. En tanto que, el centeno presentó mayor cantidad de agregados en la fracción >8 mm.

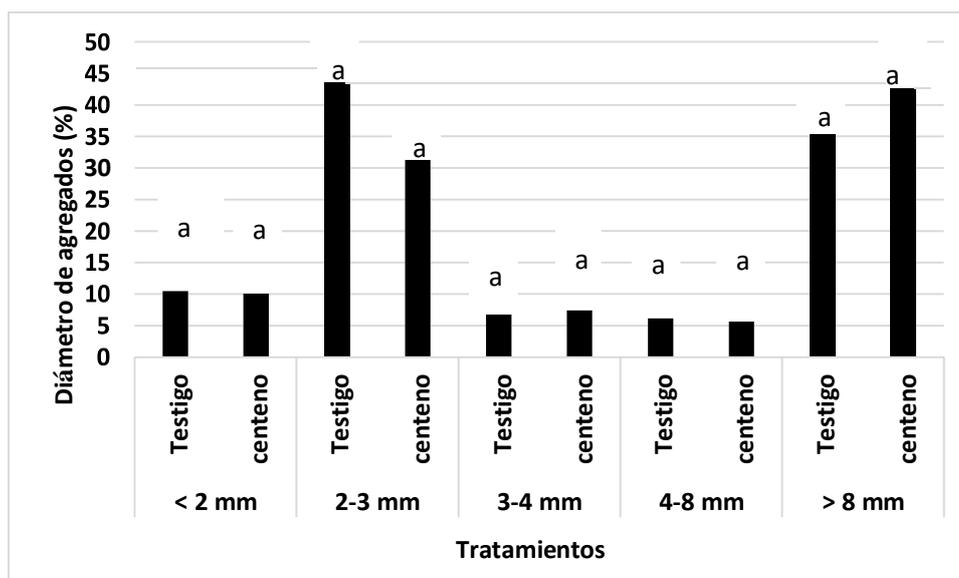


Figura 3. Porcentaje de diámetros de agregados en los diferentes tratamientos.

*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )*

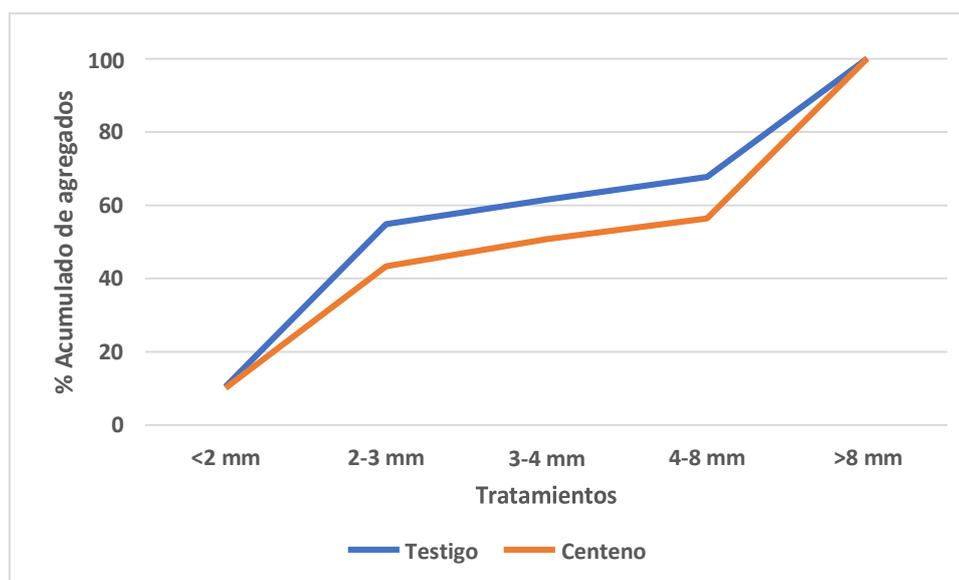


Figura 4. Porcentaje acumulado de diámetro de agregados.

Los valores medios del índice de inestabilidad estructural no permitieron registrar diferencias significativas entre los tratamientos, en tanto que, la tendencia fue a presentar mayor estabilidad el tratamiento con cobertura asociado a menor diferencias entre el diámetro medio en seco y húmedo (Fig. 5).

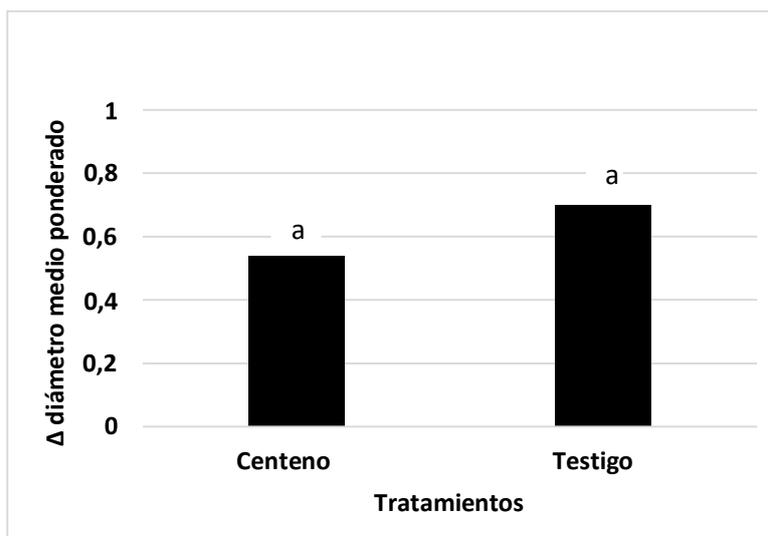


Figura 5. Índice de inestabilidad estructural (IIE) en el tratamiento centeno y centeno fertilizado. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )

El peso volumétrico presentó diferencias significativas entre los tratamientos solo en la fracción 2-3 mm, siendo mayor el peso volumétrico en el testigo, este mayor peso está mostrando menor porosidad de agregados de este tratamiento. En tanto que, las restantes fracciones no se observaron diferencias entre tratamientos (Fig. 6).

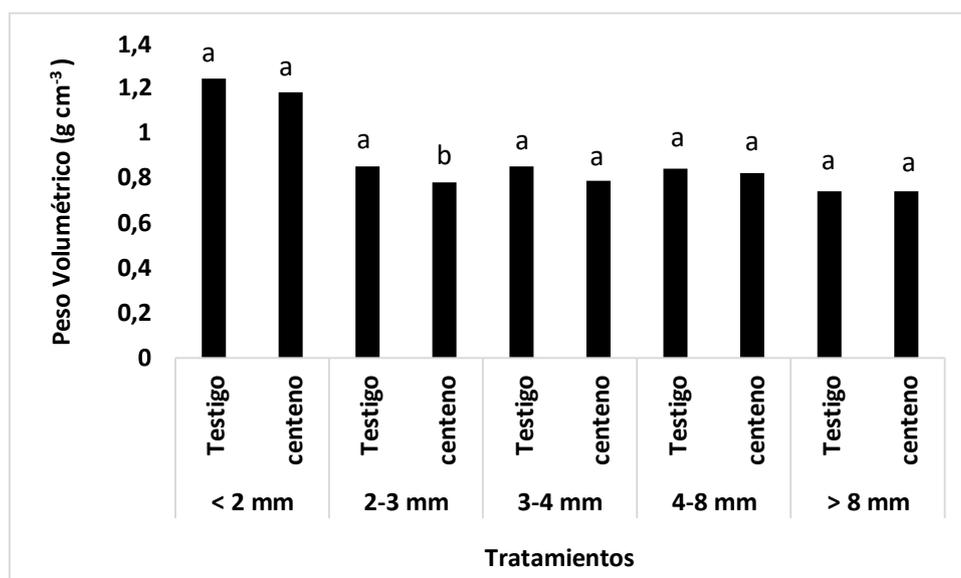


Figura 6. Peso volumétrico en los diferentes tratamientos, centeno y centeno fertilizado.

Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )

La producción de biomasa aérea fue de 9700 y 10500 kg ha<sup>-1</sup> para centeno no fertilizado y fertilizado respectivamente, no registrándose diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se observó un incremento del 8 % en centeno fertilizado respecto de centeno sin fertilizar (Fig. 7). En tanto que, al cuantificar la presencia de biomasa total de raíces no se registraron diferencias significativas. No obstante, se observa una tendencia a mayor desarrollo de raíces en el centeno sin fertilización, la cual presenta alrededor de 2000 kg ha<sup>-1</sup> más (Fig. 8)

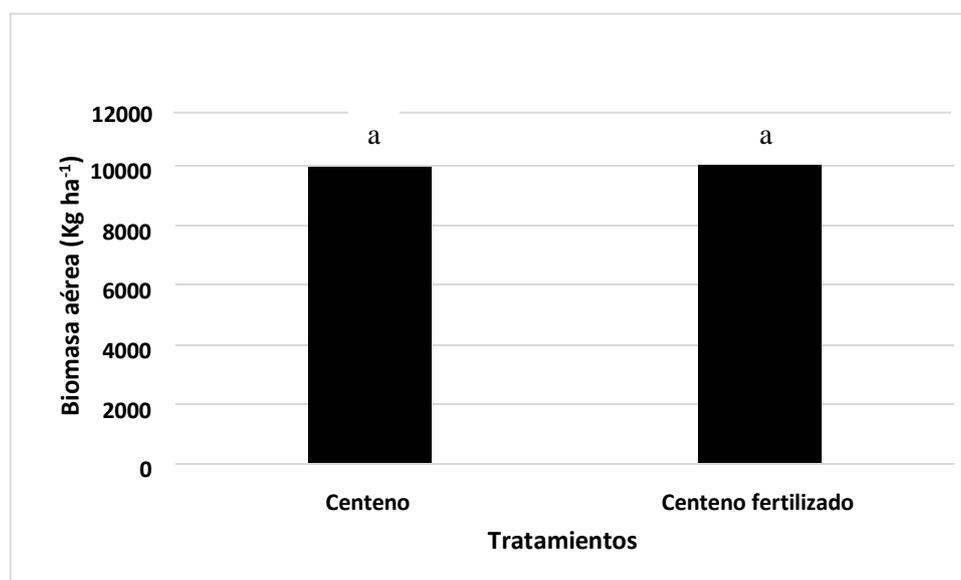


Figura 7. Materia seca de biomasa aérea por hectárea en el tratamiento centeno y centeno fertilizado. *Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )*

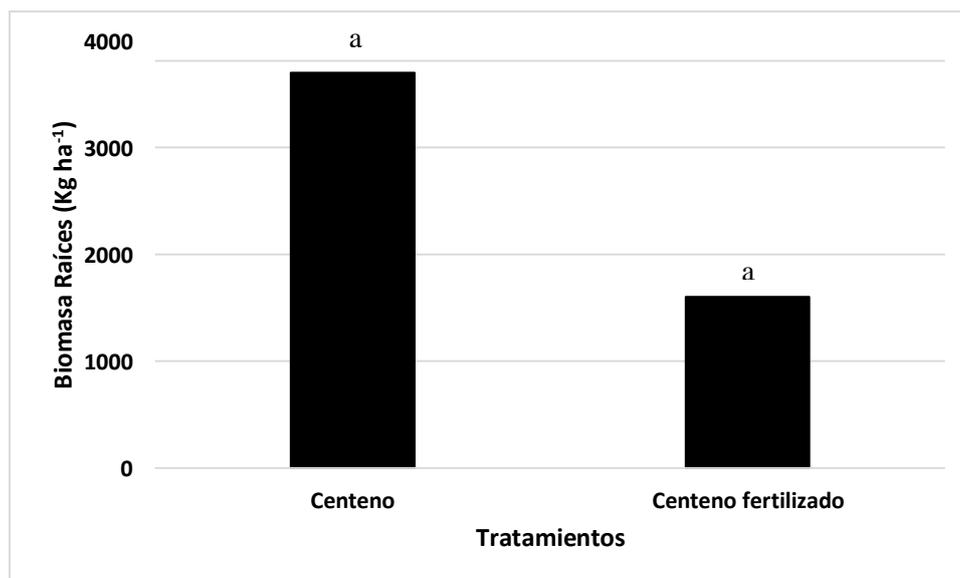


Figura 8. Biomasa total de raíces por hectárea en los diferentes tratamientos, centeno y centeno fertilizado. *Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).*

El rendimiento medio de soja fue de 3760, 4110 y 4720 kg ha<sup>-1</sup> para testigo, centeno y centeno fertilizado, respectivamente. Observándose diferencias significativas solo entre T y CF. (Fig. 9).

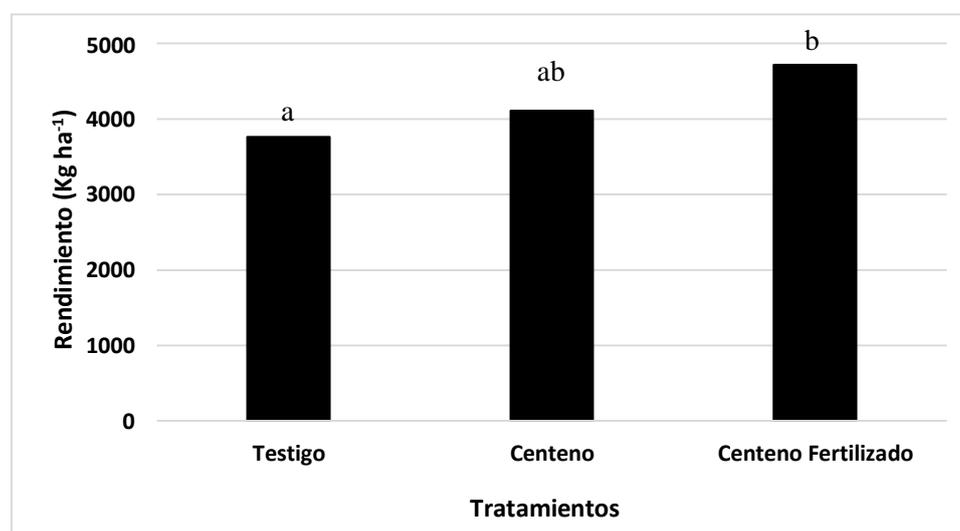


Figura 9. Rendimiento de soja obtenida en las mismas parcelas donde se implantaron los cultivos de cobertura y el testigo, en el establecimiento “La Julia” en Pellegrini (Bs. As). *Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).*

El número de malezas presentó diferencias estadísticas significativas en los estados fenológicos encañazón y espigazón (Fig. 10). En ambos estados el tratamiento testigo

presentó significativamente mayor presencia de malezas respecto de los tratamientos con centeno.

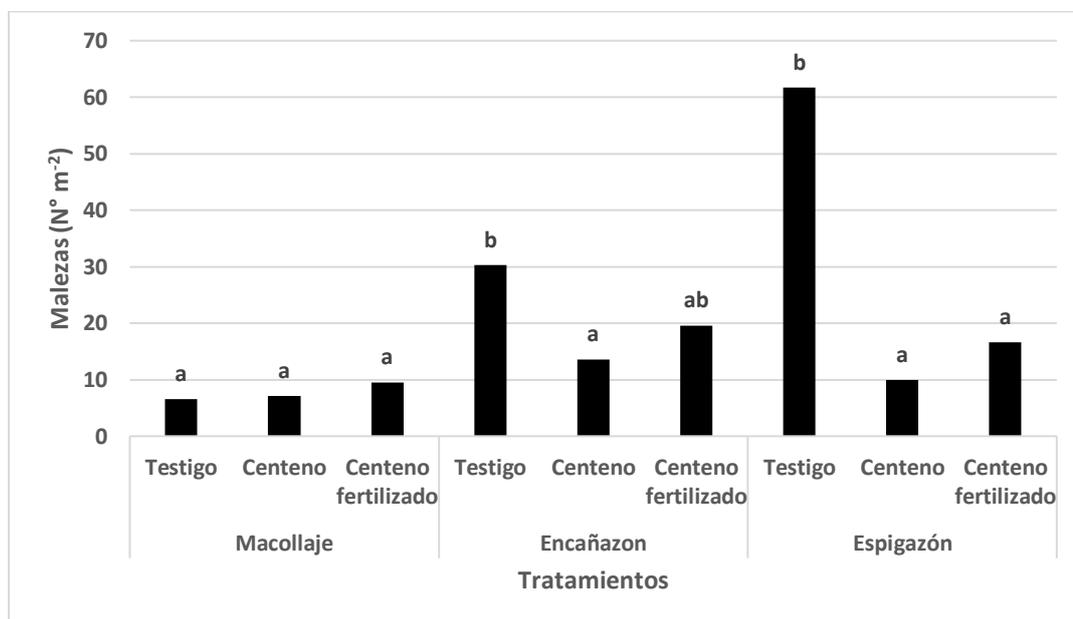


Figura 10. Número de malezas por m<sup>2</sup> en los diferentes estados fenológicos de los cultivos utilizados en los ensayos, datos recolectados en el establecimiento “La Julia” en la localidad de Pellegrini. *Letras distintas indican diferencias significativas (p > 0,05).*

La eficiencia de control de malezas no se analizó estadísticamente (Fig. 11), sino que se reflejó el porcentaje de eficiencia de control de malezas del centeno fertilizado y sin fertilizar. En ambos tratamientos hubo una mayor eficiencia en el estado fenológico de espigazón y el centeno no fertilizado fue el que obtuvo el mayor porcentaje de control en ambos estados fenológicos. Los datos utilizados para la confección de este grafico fueron los mismos que los utilizados en la fig. 10.

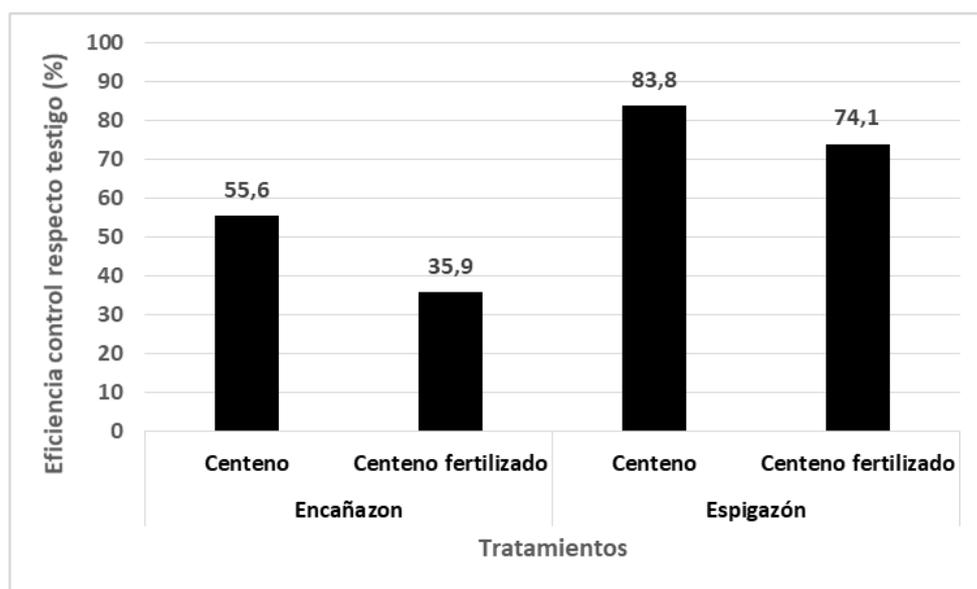


Figura 11. Eficiencia del control de malezas en los diferentes tratamientos.

### 3.2. Sitio Roberts:

Como se puede ver en la fig. 12, la variable infiltración básica no presentó diferencias significativas entre los tratamientos testigo, vicia, vicia-triticale y nabo. Sin embargo, se puede visualizar una tendencia a favor del tratamiento con nabo respecto al resto de los tratamientos.

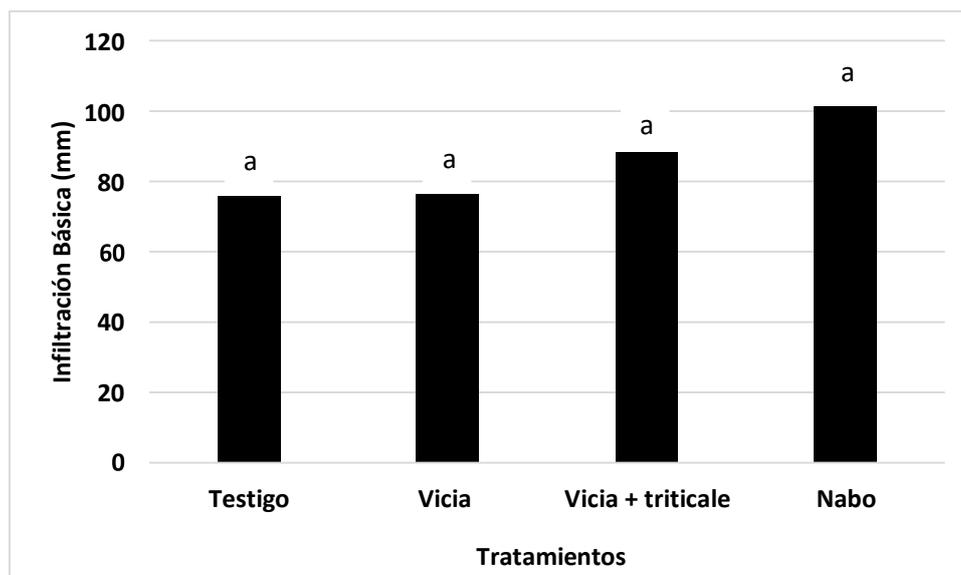


Figura 12. Infiltración básica en los diferentes tratamientos previos al secado de los cultivos.  
*Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )*

Al observar los valores medios de infiltración acumulada, los mismo no permitieron se hallar diferencias significativas entre los tratamientos. Sin embargo, se observó una mayor infiltración en de vicia-triticales y nabo (Figura 13).

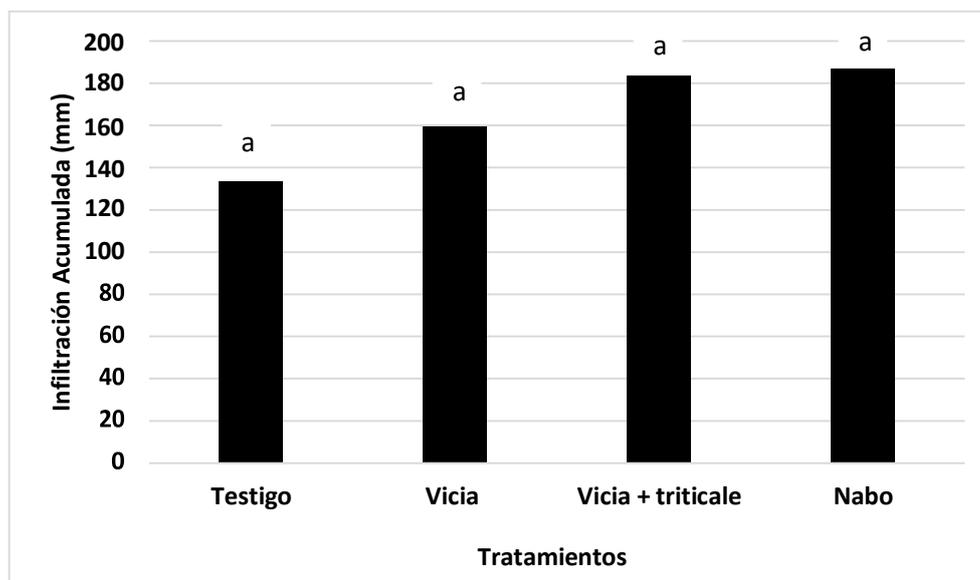


Figura 13. Infiltración acumulada en los diferentes tratamientos previos al secado de los cultivos. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

La figura 14 describe los porcentajes de diámetros de agregados de los diferentes tratamientos y a su vez los separa por fracciones de tamaño de agregados. En la fracción  $<2$  mm se observaron diferencias significativas, siendo el tratamiento nabo el que presentó el menor porcentaje de agregados de esta fracción. En las fracciones 2-3, 3-4 y  $>8$  mm no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos. En la fracción de 4-8 mm, se registró el mayor porcentaje de agregados, con diferencias significativas entre el tratamiento de nabo con respecto a todos los demás cultivos.

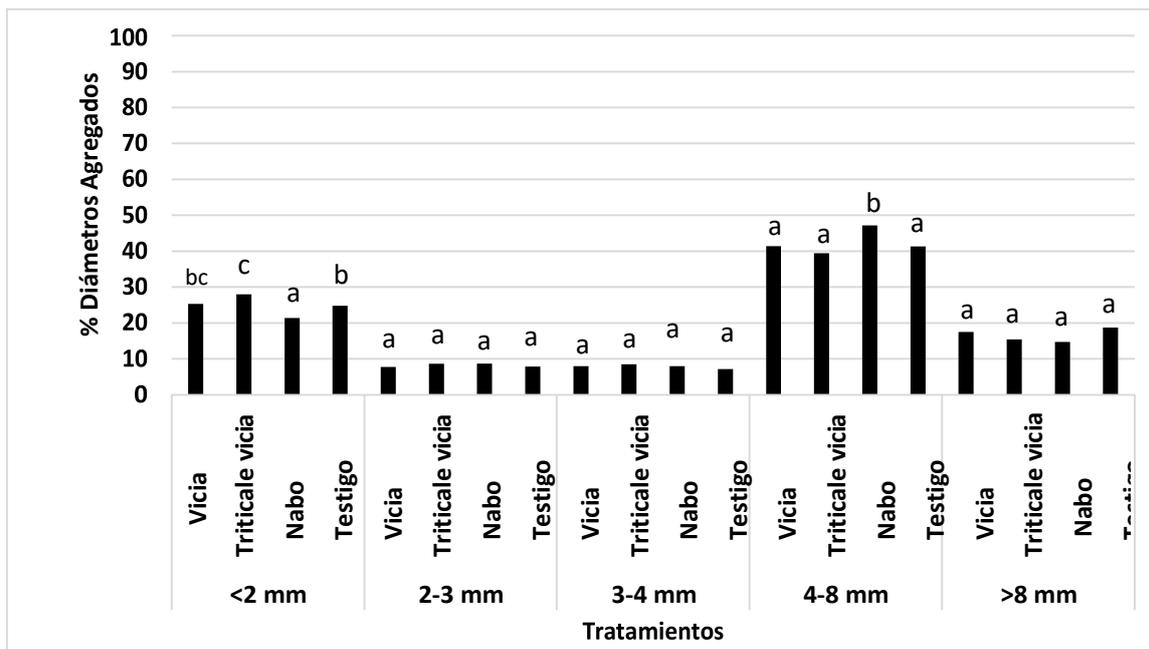


Figura 14. Porcentaje de diámetros de agregados en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )

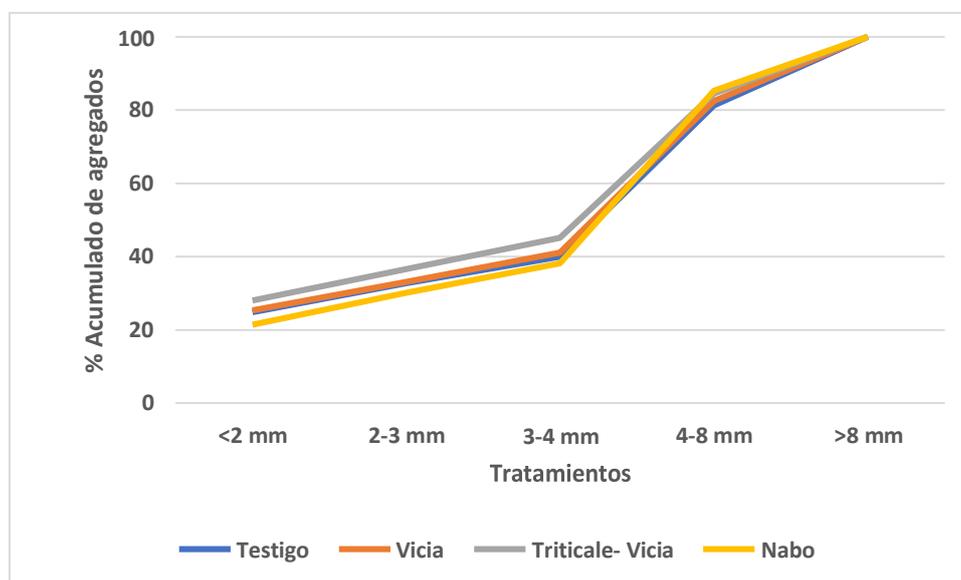


Figura 15. Porcentaje acumulado de diámetro de agregados para los diferentes tratamientos evaluados.

Los valores medios presentados del índice de inestabilidad estructural no permitieron observar diferencias significativas entre tratamientos (Fig.16). En tanto que, se observa un mayor valor de este parámetro en el tratamiento triticale-vicia, marcando esto una menor estabilidad por parte de este tratamiento.

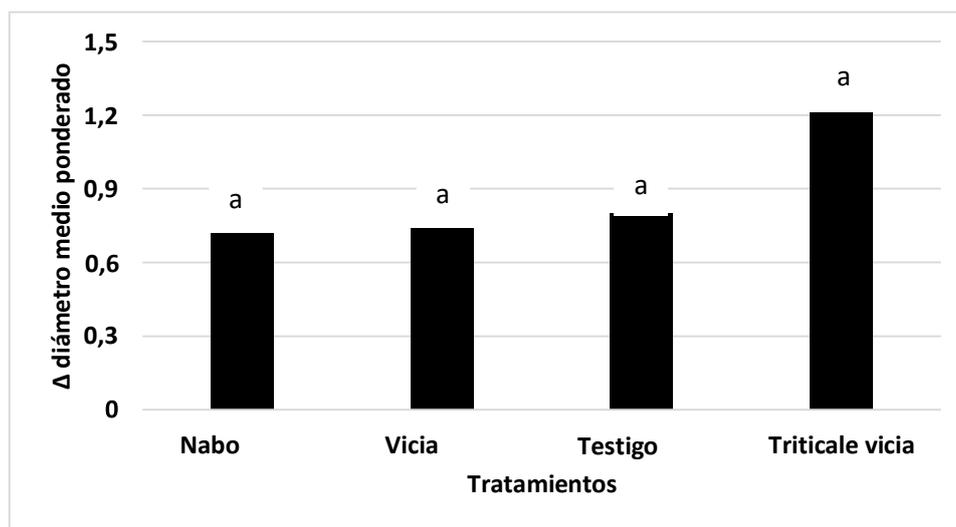


Figura 16. Índice de inestabilidad estructural (IIE) en los cultivos de cobertura, testigo, vicia, vicia-triticale y nabo. *Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).*

El peso volumétrico de los agregados (Fig. 17) mostró diferencias significativas entre tratamientos, siendo el testigo el que presentó el mayor valor con respecto a los demás tratamientos. Esto mismo se observó entre los tratamientos de vicia con nabo. Esto demuestra una menor porosidad en los agregados por parte del tratamiento testigo respecto del resto de los tratamientos evaluados.

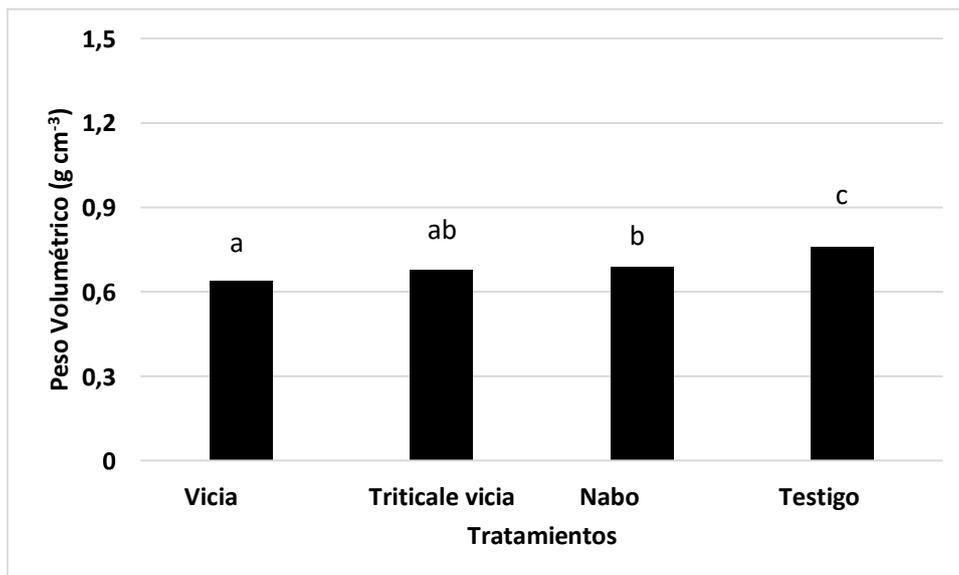


Figura 17. Peso volumétrico de los agregados de 2-3 mm en vicia, vicia-triticale y nabo como cultivos de cobertura y testigo. *Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )*

El tratamiento testigo presentó el mayor número de malezas (Fig.18). Estas diferencias fueron significativas respecto del resto de los tratamientos. Entre los tratamientos de cobertura el nabo presentó el menor número de las mismas.

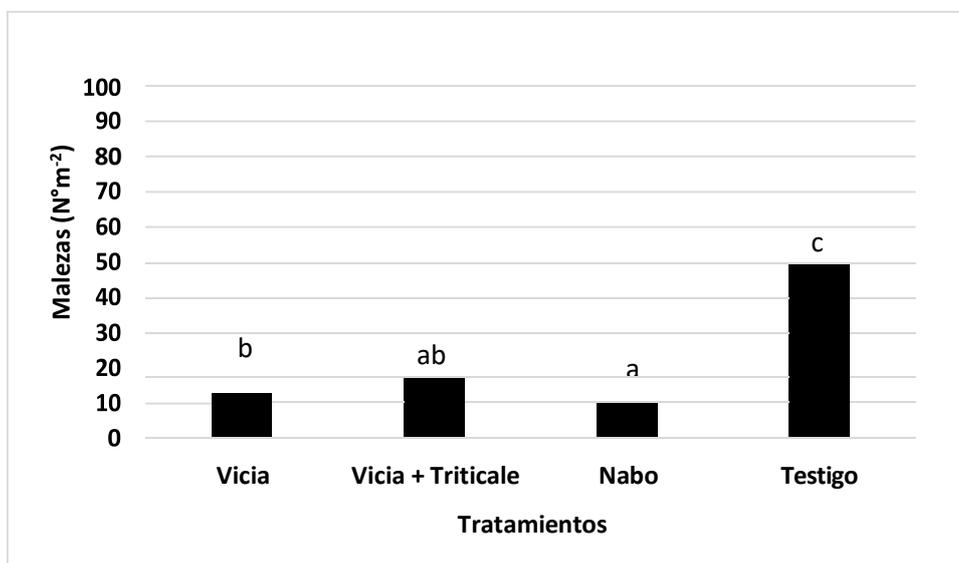


Figura 18. Número de malezas por m<sup>2</sup> en los tratamientos de cultivos de cobertura en la localidad de Roberts. *Letras distintas indican diferencias significativas entre tratamientos*

Los valores medios de producción de biomasa aérea (Fig. 19) se observa que los tratamientos nabo y vicia-triticale mostraron mayores niveles de este parámetro en comparación con vicia. Presentado ambos tratamientos diferencias significativas respecto de vicia.

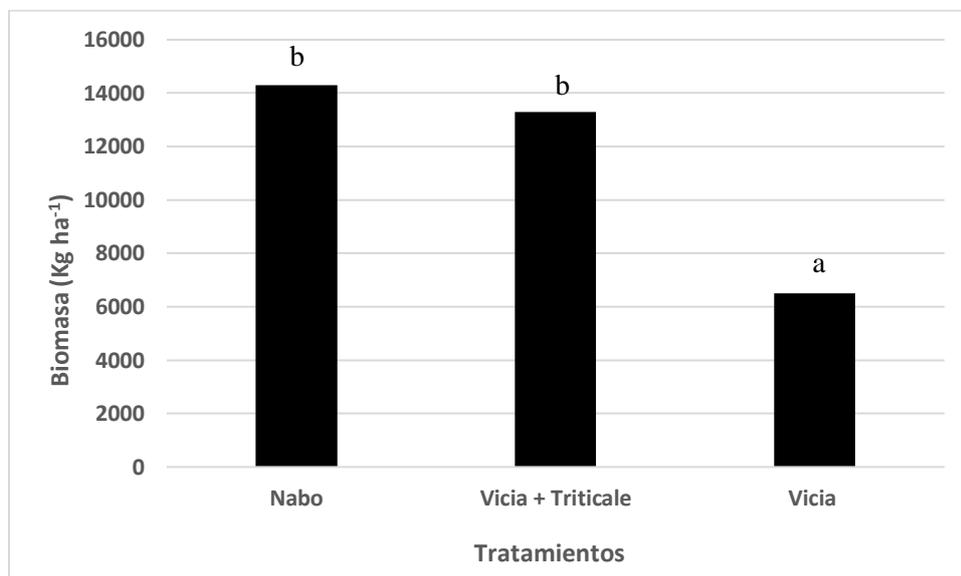


Figura 19. Biomasa aérea de los tratamientos de cultivos de cobertura utilizados en la localidad de Roberts. *Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).*

### 3.3. Sitio Ameghino:

Los valores medios de infiltración básica presentados en la fig. 20, muestran diferencias significativas entre tratamiento testigo respecto de nabo, vicia y centeno.

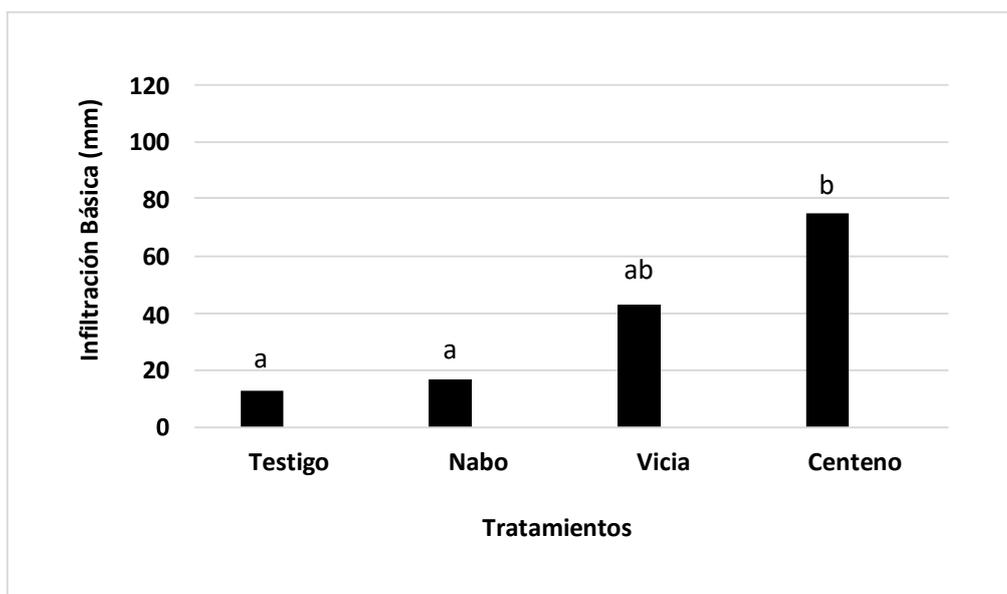


Figura 20. Infiltración básica en los diferentes tratamientos previos al secado de los cultivos. *Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).*

La infiltración acumulada no presentó diferencias significativas entre los tratamientos testigo, nabo y vicia (Fig. 19). En tanto que, centeno se diferencia del resto de los tratamientos, posiblemente asociado a una mayor estabilidad de agregados (Fig. 24)

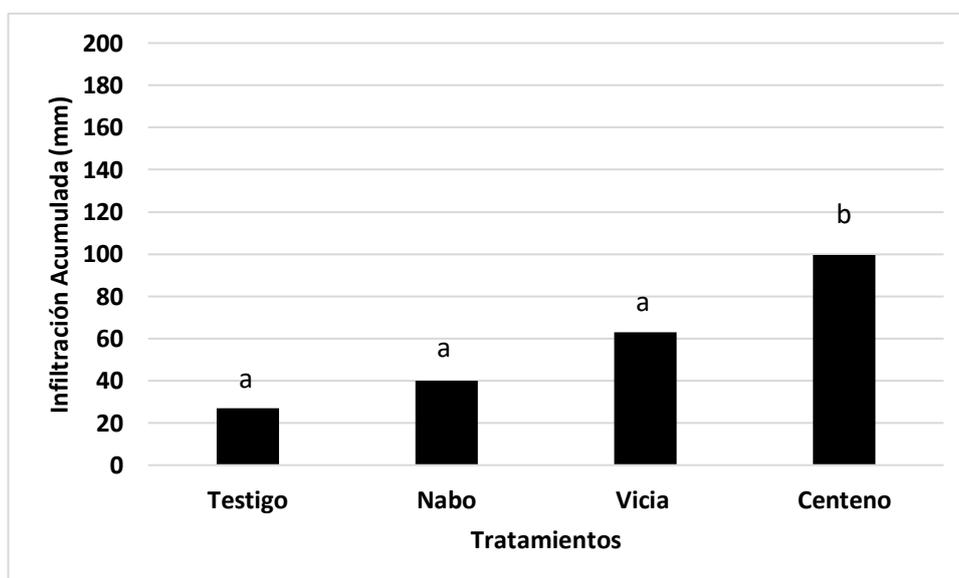


Figura 21. Infiltración acumulada en los diferentes tratamientos previos al secado de los cultivos. *Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).*

La distribución de agregados (Fig. 22) presentó valores mayores en la fracción <2 mm del tratamiento testigo respecto del resto. Estas diferencias fueron significativas. En tanto que, la fracción 3-4 mm muestra diferencias significativas entre centeno y los demás tratamientos. Estas diferencias respecto del testigo se observaron en la fracción 4-8 y > de 8 mm.

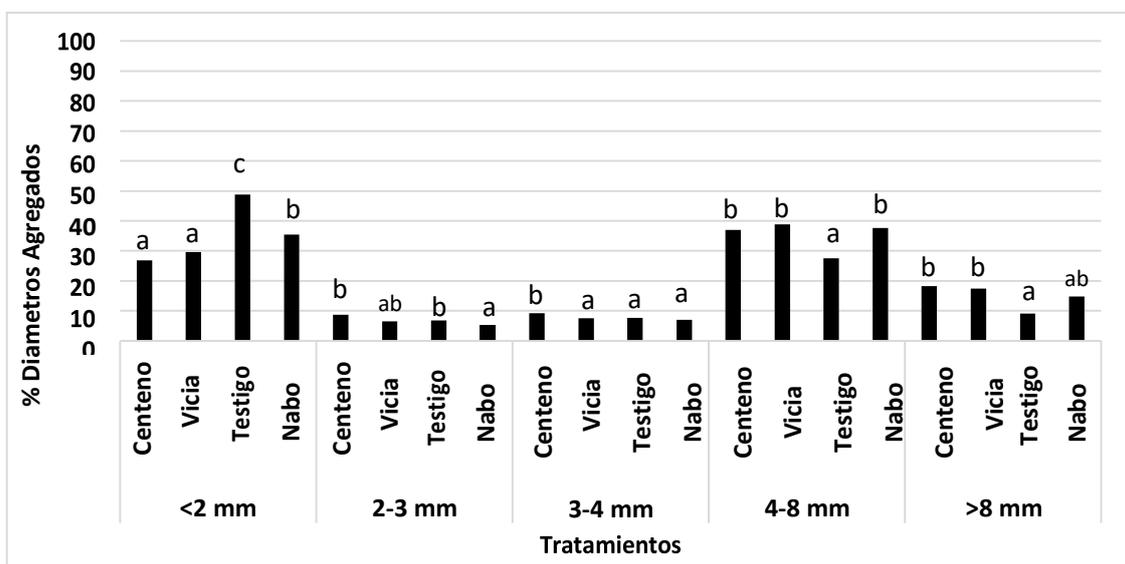


Figura 22. Porcentaje de diámetros de agregados en los diferentes tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ ).

El % de agregados acumulados muestra la mayor proporción de agregados mayores a 2 mm que presenta el tratamiento testigo (Fig. 23).

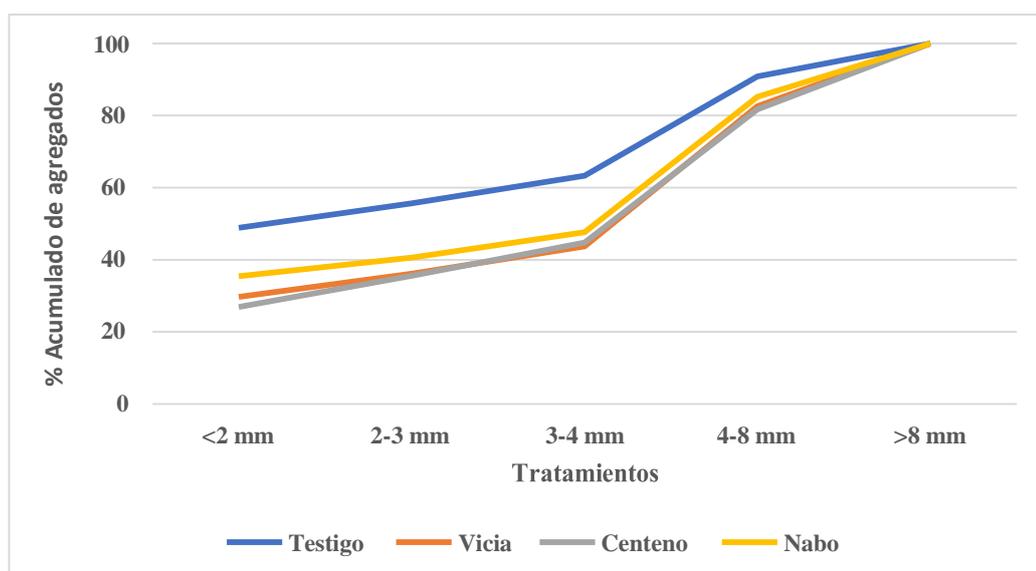


Figura 23. Porcentaje acumulado de diámetro de agregados de los tratamientos evaluados.

Los valores medios del índice de inestabilidad estructural muestran diferencias significativas en los tratamientos centeno, nabo y vicia respecto de testigo (Fig. 24). Esto muestra el efecto de las raíces sobre la estabilidad de agregados que presentan estas especies.

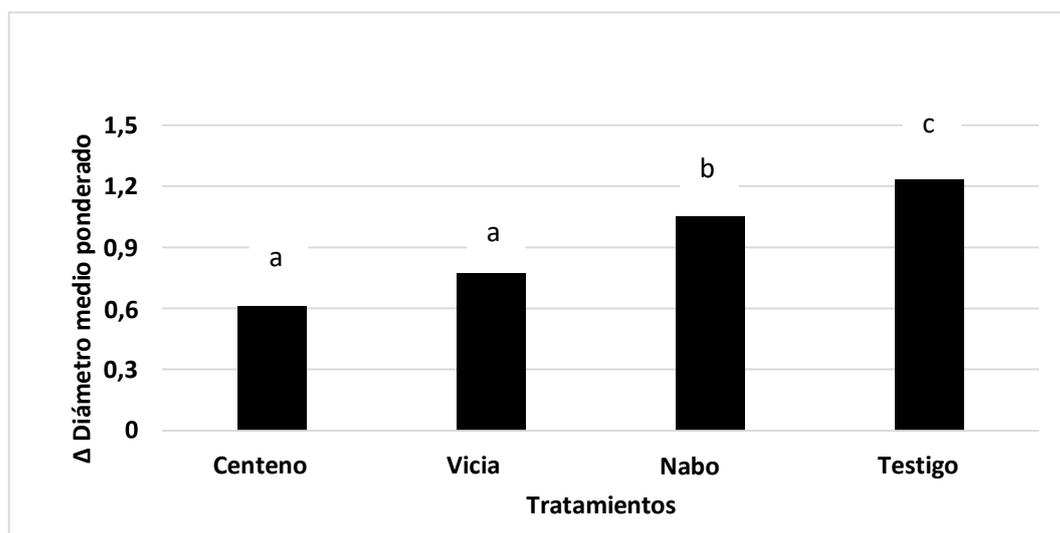


Figura 24. Índice de inestabilidad estructural (IIE) en los tratamientos testigo, centeno, nabo y vicia. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )

Los valores medios del peso volumétrico muestran que, no se registran diferencias significativas entre los tratamientos (Fig. 25).

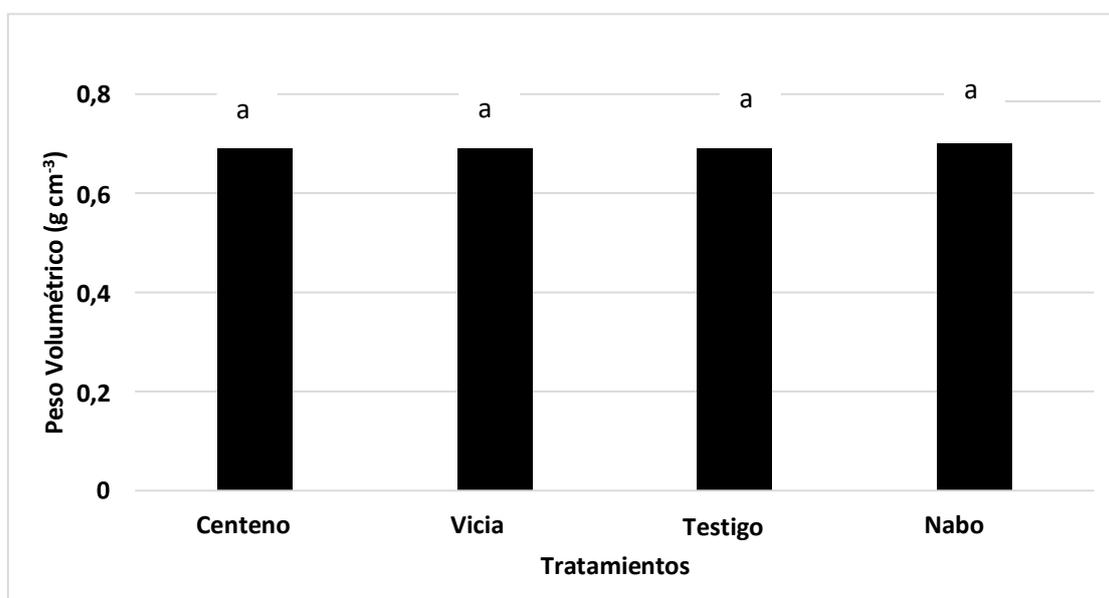


Figura 25. Peso volumétrico en los cultivos de cobertura centeno, vicia y nabo y el testigo. Letras distintas indican diferencias significativas ( $p > 0,05$ )

## 4. DISCUSIÓN:

### 4.1. Sitio Pellegrini:

Infiltración básica (IB) no presentó diferencias significativas entre los tratamientos (Fig.1), lo cual podría estar explicado porque el tiempo que ocuparon las coberturas no fue suficiente para provocar impacto sobre esta variable. En cambio, se observaron diferencias en los valores de infiltración acumulada (Fig.2) entre el testigo y el centeno. El incremento de CF respecto del testigo fue de 90 mm. Estos resultados mostrarían que la inclusión del centeno produce una mejora importante en la infiltración de agua, lo cual podría ser un indicio de mayor macroporosidad del suelo (Fernández *et al.*, 2016). Esto indicaría que en el primer año de utilización de un cultivo de cobertura de gramíneas se habría producido un cambio positivo en la estructura del suelo, debido a la abundancia de raíces en los primeros cm del perfil, obteniendo una media de 2650 kg ha<sup>-1</sup>, para centeno fertilizado y no fertilizado. La relación del total de biomasa aérea y subterránea en el centeno fue del 72 % biomasa aérea y 28 % subterránea. En centeno fertilizado dicha relación fue de 86 % biomasa aérea y 14 % de raíces. Esto podría explicarse por el efecto del fertilizante que posiblemente incrementó el crecimiento aéreo, en desmedro de la biomasa radicular. Makhani & Isaac (2014) encontraron cambios en la relación biomasa aérea/raíces a favor de la producción de biomasa aérea como efecto de la fertilización.

El efecto de incluir centeno como CC sobre el número de malezas fue distinto según el estado fenológico: en las primeras etapas del cultivo de cobertura no se encontraron diferencias con el testigo, ya que aparentemente no existió aún una competencia entre centeno y malezas. A partir de encañazón se observó que se incrementó el número de malezas en el testigo, generando una brecha importante a favor del centeno fertilizado. Esta tendencia aumentó en espigazón donde en testigo se hallaron alrededor de 60 malezas por m<sup>2</sup> mientras que el número que se registró en el centeno fue de 10. Esto demostró, que los CC lograron un efectivo control de malezas a partir de encañazón. La eficiencia de control fue de alrededor del 80 % para centeno y 74 % en centeno fertilizado, mostrando el beneficio para el medio ambiente utilizando una herramienta de control biológica, como son los CC. La inclusión del CC también afectó positivamente el rendimiento del cultivo de soja, ya que sobre el centeno fertilizado se obtuvieron alrededor de 1000 kg ha<sup>-1</sup> más de rendimiento. Este resultado puede estar relacionado con que en dichas parcelas se obtuvo la mayor infiltración acumulada, por lo

tanto, al momento de la siembra el perfil presentaba mayor cantidad de agua acumulada y un mejor aprovechamiento de las lluvias durante el ciclo del cultivo por mayor capacidad de infiltración con respecto al testigo. Esto, sumado a la biomasa aérea y de raíces del CC que podrían haber disminuido la temperatura del suelo, menor presencia de malezas, mayor macroporosidad e interconexión de poros, y mayor actividad biológica favoreció el crecimiento del cultivo de renta, resultando en un aumento de rendimiento del 27% comparado con el testigo.

Los resultados obtenidos en el primer año de implantación de cultivos de cobertura en este establecimiento mostraron cambios significativos en las variables cuantificadas. Sin embargo, no mostró diferencias significativas en algunas de las variables físicas estudiadas como índice de inestabilidad estructural (IIE) y diámetro de agregados, mientras que el peso volumétrico presentó diferencias en la fracción 2 a 3 mm con valores de 0.85 y 0.78 para testigo y centeno, respectivamente. El valor del tratamiento testigo fue similar al valor hallado por Fernández *et al.* (2016), para suelos agrícolas, mientras que el valor de este indicador en el centeno se aproximó más al de los suelos de vegetación natural (0.65).

#### **4.2. Sitio Roberts:**

Se observó, en la variable diámetros de agregados, que en la fracción <2 mm los distintos cultivos de cobertura utilizados mostraron diferencias significativas con respecto al testigo, a excepción del cultivo de vicia. En la fracción 4-8 mm se registró el mayor porcentaje de agregados, donde el cultivo de nabo se diferenció de los demás tratamientos, presentando el 63% de agregados en las fracciones intermedias. La proporción de los diferentes tamaños de agregados es un indicador útil de las cualidades físicas del suelo, ya que agregados de tamaño intermedio se asocian con mejores propiedades biológicas e hidráulicas Fernández *et al.* (2016). En la variable peso volumétrico en la fracción 2 a 3 mm, los cultivos de cobertura se diferenciaron con respecto al testigo, con valores 0.64, 0.68 y 0.69 para vicia, triticale-vicia y nabo respectivamente, mientras que el valor observado en el testigo fue de 0.76 g cm<sup>-3</sup>. El valor observado en los distintos CC se aproxima al valor hallado por Fernández *et al.* (2016), en suelos de vegetación natural (0.65). Teniendo en cuenta que en sitio donde se realizó el ensayo era el primer año donde se implantaban CC, el peso volumétrico resultaría un indicador sensible y de fácil determinación para indicar cambios en la calidad de suelos.

La producción de biomasa aérea en los diferentes tratamientos presentó diferencias significativas. El cultivo de nabo presentó la mayor producción de biomasa aérea (14300 kg. ha<sup>-1</sup>) con respecto al cultivo de vicia que produjo 6500 kg ha<sup>-1</sup>. El número de malezas por metro cuadrado en los tratamientos fue diferente, con valores en el testigo de 49 mientras que en los cultivos de cobertura fue de 13, 20 y 9 para vicia, triticale-vicia y nabo respectivamente. Se evidencia una clara competencia entre las malezas y la biomasa aérea, ya que en el cultivo de nabo se observó mayor biomasa aérea y menor cantidad de malezas. Todas las parcelas presentaron una eficiencia de control mayor al 60 %, destacándose el nabo con 82 % de eficiencia con respecto al testigo.

### 4.3. Sitio Ameghino:

En la variable infiltración básica (IB) e infiltración acumulada el centeno fue el cultivo que presentó diferencias significativas respecto al testigo y los demás cultivos de cobertura. La IB en el cultivo de centeno fue de 75 mm, mientras que en los demás CC fue de 42, 17 y 12 mm para vicia, nabo y testigo respectivamente. En infiltración acumulada el centeno registró un incremento del 366% con respecto al testigo. Esto se debe principalmente a su sistema radicular fasciculado muy abundante (Oderiz *et al.*, 2017), lo cual mejoraría la calidad (interconexión de poros) y cantidad del sistema poroso, en especial de macroporos.

La mayor proporción de agregados se encontró en las fracciones < 2 y 4-8 mm, sumando ambas fracciones valores medios del 60 %. En la fracción < 2 mm los CC se diferenciaron con respecto al testigo, observando valores menores al 40 %, esto indicaría que los CC mejorarían la estructura del suelo formando agregados de mayor tamaño. Se observó que la mayor concentración de agregados en los cultivos de cobertura se encuentra en diámetros medios (4-8 mm).

El índice de inestabilidad estructural (IIE) resultó una variable sensible en el primer año de inclusión de cultivos de cobertura, observando diferencias significativas entre los CC con respecto al testigo. Estas diferencias fueron del 15, 37 y 50% para nabo, vicia y centeno respectivamente, menores con respecto al testigo. A menor valor de (IIE) el suelo es más estable, ya que se mide la diferencia entre el diámetro medio ponderado en seco y húmedo. Los valores en los CC fueron similares al valor hallado por Fernández *et al.* (2016) para

suelos de vegetación natural (1.0), siendo el cultivo de centeno el que menor valor presento (0.61), mientras que el valor de este indicador para el testigo fue de 1.23.

#### 4.4. Discusión general

A continuación, se presenta un cuadro resumen donde se expone el efecto positivo, negativos o iguales de los diferentes tratamientos en los distintos sitios analizados en este trabajo.

Tabla 1: Efecto de las variables analizadas en los diferentes sitios.

Variable analizada	Pellegrini	Roberts	Ameghino
Infiltración básica	=	=	+ (centeno)
Infiltración acumulada	+	=	+ (centeno)
Diámetro de agregados	=	=	+
Índice de inestabilidad estructural	=	=	+
Peso volumétrico	+ (2-3 mm)	+ (2-3 mm)	=
Malezas	+	+	

El efecto de los cultivos de cobertura sobre los indicadores de calidad física en suelos es variable en cada sitio, esas diferencias se pueden deber estructura, historia de uso, estado del suelo, entre otras (Duval *et al.*, 2016; Fernández *et al.*, 2012).

Es importante aclarar que en los establecimientos donde se realizaron los ensayos era el primer año de inclusión de los CC, quizás por esa razón las variables físicas analizadas no presentaron cambios significativos, aunque si las hubo en Ameghino (efecto 2 años acumulados), en particular en el cultivo de centeno. Esto se podría explicar ya que es una especie de gran desarrollo aéreo-radicular, presentando gran respuesta a los indicadores estudiados, como en el caso de infiltración.

La variable índice de inestabilidad estructural no mostró diferencias significativas en los sitios de Pellegrini y Roberts, los valores encontrados se aproximan a 0.8. Es un valor cercano al hallado por Fernández *et al.* (2016) para suelos de vegetación natural (1.0). Esto indicaría que los suelos estudiados no presentan degradación o no tienen una larga historia de uso con

monocultura, ya que esta variable resultó sensible cuando se estudiaron suelos agrícolas con respecto a suelos de vegetación natural (Fernández *et al.*, 2016).

Además de los beneficios aportados en los distintos indicadores de fertilidad física, los cultivos de cobertura utilizados en los diferentes sitios mostraron un gran control de malezas con respecto al testigo. En los sistemas actuales de monocultura, las malezas son una gran problemática por la resistencia y tolerancia que presentan hacia algunos herbicidas utilizados con frecuencia, eso hace que cada vez se utilicen mayor cantidad de dosis y diferentes mezclas de principios activos para combatirlos, impactando tanto en el medio ambiente como en la economía del productor. Por lo tanto, esta herramienta nos permitiría bajar la incidencia de malezas en el potrero en épocas de descanso del mismo, hacer un uso más eficiente del agua en el suelo y llegar a la siembra del cultivo de verano con un lote limpio y más milímetros acumulados en el perfil.

El cultivo de nabo se utilizó en dos de los ensayos, pero a diferente densidad de siembra, como se puede observar en la Tabla 2. Al utilizarlo en baja densidad de siembra no presentó diferencias significativas con respecto al testigo, para las variables de infiltración básica y acumulada, mientras que en el centeno si se observaron diferencias (Fig. 20 y 21). Al ser utilizado en alta densidad de siembra se observó mayor infiltración básica y acumulada con respecto al testigo, incrementando el valor en 34% y 39 % respectivamente, pero la misma no fue significativa. La utilización del cultivo de Nabo en cultivos de cobertura es muy reciente, por lo que la información disponible sobre la correlación entre densidad y los efectos sobre infiltración no está definida. Por ello la importancia de seguir utilizando dicho cultivo a diferentes densidades para poder lograr criterios de manejo futuros. Además, es un cultivo que genera gran cantidad de biomasa aérea y es un excelente competidor de malezas, por lo tanto, es un cultivo de cobertura con gran potencial en el futuro.

Tabla 2: Efecto del cultivo de nabo utilizado en diferentes densidades

	Infiltración básica	Infiltración acumulada
Roberts (Nabo 15 Kg/ha)	102 mm	187 mm
Testigo Roberts	76 mm	134 mm
Ameghino (Nabo 4 Kg/ha)	17 mm	40 mm
Testigo Ameghino	13 mm	27 mm

## **5. CONSIDERACIONES FINALES**

Los resultados de presente estudio mostraron la factibilidad de incorporar CC en los sistemas agrícolas de la pampa arenosa. En las variables físicas estudiadas en los diferentes sitios, se observaron diferencias significativas en algunos de los indicadores, resultandos sensibles en el primer año de inclusión de los CC indicadores como peso volumétrico e infiltración acumulada. La inclusión de CC permite incrementar los aportes de carbono al suelo lo que se ve reflejado en mejoras de la estructura y del sistema poroso del suelo tal como lo habían mostrado estudios anteriores (De Vries & Wallenstein, 2017).

La tendencia general muestra el amplio control de malezas que presentan los diferentes cultivos de cobertura utilizados, obteniendo en todos los establecimientos eficiencia de control mayores al 60 %. Dentro de las especies estudiadas, el centeno fue la especie que mostró mejor adaptación a las distintas condiciones edáficas, en términos de producción de biomasa, control de malezas y cobertura del suelo. Este aspecto es de suma importancia, tanto desde un punto de vista ambiental como productivo: el aporte de residuos es la fuente de materia orgánica de los suelos que permite conservar su capacidad productiva y simultáneamente, mantener el suelo cubierto, reduciendo las pérdidas de agua por evaporación e incrementando la eficiencia de uso de las precipitaciones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA:

- Bossio, D. a, Girvan, M.S., Verchot, L., Bullimore, J., Borelli, T., Albrecht, a, Scow, K.M., Ball, a S., Pretty, J.N., Osborn, a M., 2005. Soil microbial community response to land use change in an agricultural landscape of western Kenya. *Microb. Ecol.* 49, 50–62. <https://doi.org/10.1007/s00248-003-0209-6>
- Buschiazzo, D.E., Hevia, G.G., Hepper, E.N., Urioste, A., Bono, A.A., Babinec, F., 2001. Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semi-arid pampa of Argentina. *J. Arid Environ.* 48, 501–508. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0775>
- Buschiazzo, D.E., Quiroga, A.R., Stahr, K., 1991. Patterns of Organic Matter Accumulation in Soils of the Semiarid Argentinian Pampas. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkd.* 154, 437–441. <https://doi.org/10.1002/jpln.19911540608>
- De Boodt, M., De Leenheer, L., Frese, H., 1967. West-European methods for soil structure determination. Ghent : State Faculty of Agricultural Sciences, Ghent.
- de Vries, F.T., Wallenstein, M.D., 2017. Below-ground connections underlying above-ground food production: a framework for optimising ecological connections in the rhizosphere. *J. Ecol.* 105, 913–920. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12783>
- Degrune, F., Theodorakopoulos, N., Dufrêne, M., Colinet, G., Bodson, B., Hiel, M.-P., Taminau, B., Nezer, C., Daube, G., Vandenbol, M., 2016. No favorable effect of reduced tillage on microbial community diversity in a silty loam soil (Belgium). *Agric. Ecosyst. Environ.* 224, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.017>
- Dexter, A.R., 2004. Soil physical quality: Part III: Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. *Geoderma* 120, 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.006>
- Ding, G., Liu, X., Herbert, S., Novak, J., Amarasiriwardena, D., Xing, B., 2006. Effect of cover crop management on soil organic matter. *Geoderma* 130, 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.01.019>
- Duval, M.E., Galantini, J.A., Martínez, J.M., López, F.M., Wall, L.G., 2016. Sensitivity of different soil quality indicators to assess sustainable land management: Influence of site features and seasonality. *Soil Tillage Res.* 159, 9–22. <https://doi.org/10.1016/J.STILL.2016.01.004>
- Fernández, R., Frasier, I., Noellemeyer, E., Quiroga, A., 2017. Soil quality and productivity under zero tillage and grazing on Mollisols in Argentina – A long-term study. *Geoderma Reg.* 11, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.09.002>
- Fernández, R., Quiroga, A., Álvarez, C., Lobartini, C., Noellemeyer, E., 2016. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Cienc. del Suelo.*
- Fernandez, R., Quiroga, A., Cristian, A., Carlos, L., Noellemeyer, E., 2016. VALORES UMBRALES DE ALGUNOS INDICADORES DE CALIDAD DE SUELOS EN MOLISOLES DE LA REGION SEMIARIDA PAMPEANA. *Cienc. del Suelo* 34.
- Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E., 2012. Cultivos de cobertura, ¿una alternativa viable para la región semirárida pampeana? *Cienc. del suelo* 30, 137–150.
- Fernández, R., Quiroga, A., Zorati, C., Noellemeyer, E., 2010. Carbon contents and

- respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil Tillage Res.* 109, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.05.002>
- Figuerola, E.L.M., Guerrero, L.D., Rosa, S.M., Simonetti, L., Duval, M.E., Galantini, J.A., Bedano, J.C., Wall, L.G., Erijman, L., 2012. Bacterial indicator of agricultural management for soil under no-till crop production. *PLoS One* 7, e51075. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051075>
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Amiotti, N., Quiroga, A., 2017. Vetch-rye biculture is a sustainable alternative for enhanced nitrogen availability and low leaching losses in a no-till cover crop system. *F. Crop. Res.* 214, 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.016>
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Fernández, R., Quiroga, A., 2016a. Direct field method for root biomass quantification in agroecosystems. *MethodsX* 3, 513–519. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2016.08.002>
- Frasier, I., Noellemeyer, E., Figuerola, E., Erijman, L., Permingeat, H., Quiroga, A., 2016b. High quality residues from cover crops favor changes in microbial community and enhance C and N sequestration. *Glob. Ecol. Conserv.* 6, 242–256. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2016.03.009>
- González-Chávez, M.D.C. a., Aitkenhead-Peterson, J. a., Gentry, T.J., Zuberer, D., Hons, F., Loeppert, R., 2010. Soil microbial community, C, N, and P responses to long-term tillage and crop rotation. *Soil Tillage Res.* 106, 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.11.008>
- Hamza, M., Anderson, W., 2005. Soil compaction in cropping systems A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Res.* 82, 121–145. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009>
- INTA, UNLPam, Pampa, G.D. La, 1980. Inventario de los recursos naturales de la Provincia de La Pampa.
- Kong, A.Y.Y., Six, J., 2010. Tracing Root vs. Residue Carbon into Soils from Conventional and Alternative Cropping Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74, 1201–1210. <https://doi.org/10.2136/sssaj2009.0346>
- Lal, R., 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma* 123, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
- Makhani, M., Isaac, M.E., 2014. Rhizosphere dynamics under nitrogen-induced root modification: The interaction of phosphorus and calcium. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/jpln.201300381>
- Noellemeyer, E., Frank, F., Alvarez, C., Morazzo, G., Quiroga, A., 2008. Carbon contents and aggregation related to soil physical and biological properties under a land-use sequence in the semiarid region of central Argentina. *Soil Tillage Res.* 99, 179–190. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.02.003>
- Poeplau, C., Don, A., 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 200, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>
- Quiroga, A., Fernández, R., Louise, M., Frasier, I., Noellemeyer, E., 2014. Efectos acumulados del manejo durante 20 años sobre un molisol de la region semiarida, in:

XXIV Congreso Argentino de La Ciencia Del Suelo II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas.”

- Scian, B., 2002. Variabilidad de las condiciones hídricas en la región semiárida pampeana, Argentina. *Geoacta* 27, 30–52.
- Silva, A.P., Babujia, L.C., Franchini, J.C., Souza, R.A., Hungria, M., 2010. Microbial biomass under various soil- and crop-management systems in short- and long-term experiments in Brazil. *F. Crop. Res.* 119, 20–26. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.012>
- Xu, X., Lewis, C., Liu, W., Albertson, J.D., Kiely, G., 2012. Analysis of single-ring infiltrometer data for soil hydraulic properties estimation: Comparison of BEST and Wu methods. *Agric. Water Manag.* 107, 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.01.004>
- Zárate, M.A., Tripaldi, A., 2012. The aeolian system of central Argentina. *Aeolian Res.* 3, 401–417. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.08.002>

