

EVALUACIÓN DE VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE UN SUELO BAJO CULTIVO DE COBERTURA INVERNAL (*Avena sativa* L.)



Autora: **FIÑANA, NOELY**

Docente tutor: Dra. María Celina Zabaloy

Docentes consejeros: Ing. Agr. Maximiliano Garay

Ing. Agr. María Clara Franchini



Departamento de Agronomía

Universidad Nacional del Sur

Año 2022

PREFACIO

Este trabajo es presentado como parte de los requisitos para cumplir con el trabajo de intensificación de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Sur.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi mamá Isabel por el acompañamiento de este recorrido lleno de paciencia y amor.

A mi papá porque forjó en mí el deseo de estudiar y fue mi guía desde otro lugar.

A mis hermanas y hermanos Marce, Romi, Emi y Enzo. Por ser sostén, apoyo y diversión estando lejos o cerca.

A mis sobrinxs, Francisco, Alfonsina y Emilia, porque los últimos años fueron mucho más felices con su presencia.

A mis amigas y amigos, los de la vida, los de Lamarque y los que me dejó el paso por la universidad. Con todxs compartí muchos momentos hermosos, llenos de aprendizaje, permitiendo que esta etapa sea más fácil. Su presencia fue fundamental para lograr el objetivo.

A Chin y Nati que además de amigas, son familia y mi hogar bahiense. Gracias.

A mi tutora, Celina, por su paciencia, dedicación y tiempo.

A Marianela, por compartir su experiencia doctoral con mi trabajo de intensificación.

Al Departamento de Agronomía por permitirme la formación como profesional.

A la Universidad Nacional Del Sur por brindar educación pública, gratuita y de calidad.

A todxs, gracias.

RESUMEN

Los cultivos de cobertura invernales (CCI) se establecen entre dos cultivos de verano, no son incorporados, pastoreados ni cosechados. Su inclusión en rotaciones tiene por finalidad lograr la retención del nitrógeno, mejorar la eficiencia de uso de agua, controlar malezas y prevenir la erosión del suelo. En el sudoeste de la provincia de Buenos Aires no hay información respecto a los efectos de los CCI sobre las variables microbiológicas del suelo, en comparación al manejo sin CCI. Los objetivos de este estudio fueron evaluar los efectos de la condición de un CCI (vivo, vs. senescente, post-supresión) y de los métodos de finalización sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en comparación con el barbecho tradicional químico.

Se muestreó el suelo (0-10 cm) en las parcelas para la condición del CCI sin supresión (vivo) y post-supresión (senescente), tras la aplicación de los métodos de finalización empleados: Desección Química (DQ), Rolado (R) y Barbecho Químico (BQ). Se evaluaron los efectos sobre las variables fisicoquímicas amonio ($N-NH_4$), nitrato ($N-NO_3$), fósforo extractable (Pe), humedad (H°), pH y sobre las variables microbiológicas mediante el recuento de colonias de bacterias heterótrofas aerobias cultivables (BHA), cálculo de índices relacionados y por actividad enzimática deshidrogenasa (DHA).

Las variables fisicoquímicas $N-NH_4$ y $N-NO_3$ presentaron un aumento en el suelo post-supresión del CCI, así como la H° bajo DQ. Los recuentos de BHA cultivables, estrategias r y K fueron mayores en suelo en la condición sin supresión comparados con los valores observados en el suelo post-supresión de la cobertura, aunque no hubo diferencias entre los distintos métodos de finalización (R/DQ/BQ). En contraste, la relación r/K , los índices de biodiversidad y DHA fueron mayores en el suelo post-supresión de la cobertura, si bien entre los distintos métodos de finalización tampoco hubo diferencias significativas.

La supresión de la cobertura herbácea (espontánea o CCI) reduce los recuentos de BHA cultivables, tanto como el de estrategias r y K , promoviendo cambios en la estructura de la comunidad microbiana de suelo que se ven reflejados en los índices de biodiversidad y entre grupos tróficos (r/K). El aumento de N inorgánico (NH_4^+ y NO_3^-) y la estimulación de la actividad DHA refleja un proceso de mineralización de la materia orgánica lábil proveniente de las plantas senescentes y/o del "turnover" de la biomasa microbiana muerta por la perturbación mecánica y/o química.

ÍNDICE

PREFACIO

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Importancia de los cultivos de cobertura invernales	1
1.2 Características de la avena como CCI	3
1.3 Manejo del CCI	4
1.3.1 Supresión química	4
1.3.2 Rolado	5
1.4 Impacto de los CC sobre la calidad del suelo	5
1.4.1 Propiedades fisicoquímicas.....	6
1.4.1.1 Materia orgánica.....	6
1.4.1.2 Nitrógeno.....	7
1.4.1.3 Humedad.....	7
1.4.1.4 pH.....	8
1.4.2 Propiedades microbiológicas.....	8
1.4.2.1 Biomasa y número de microorganismos	9
1.4.2.2 Diversidad y estructura de la comunidad microbiana	9
1.4.2.3 Actividad microbiana.....	10
1.5 Hipótesis y Objetivos.....	12
2. MATERIALES Y MÉTODOS	12
2.1 Sitio de estudio.....	12
2.2 Diseño experimental.....	13
2.3 Muestreo de suelo.....	17
2.3.1 Análisis fisicoquímicos del suelo	17
2.3.2 Recuento de bacterias heterotróficas aerobias	18
2.3.3 Actividad enzimática	19
2.3.4 Análisis estadístico.....	21
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
3.1 Parámetros fisicoquímicos del suelo	22
3.2 Parámetros microbiológicos BHA y actividad DHA.....	26
4. CONCLUSIONES	29
5. BIBLIOGRAFÍA	30

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia de los cultivos de cobertura invernales

El proceso de expansión e intensificación agrícola de los últimos tiempos en Argentina incluyó prácticas de labranza agresivas que en la actualidad han sido reemplazadas por prácticas de conservación, en particular por el uso de labranza cero o siembra directa (SD). Las prácticas de conservación se basan en tres principios agronómicos: la mínima perturbación del suelo, mantenimiento de cobertura en el suelo y la rotación de cultivos (FAO, 2021). La SD combinada con la rotación de cultivos se presenta como un sistema de manejo agrícola muy promisorio y sustentable. Los cultivos de cobertura invernales (CCI) son recomendados dentro del sistema de SD, reemplazando al barbecho tradicional, mejorando la calidad del suelo y contribuyendo a la sustentabilidad ambiental (Morales et al., 2021).

En este sentido, la inclusión de cultivos de cobertura (CC) en la rotación, en reemplazo del barbecho invernal, viene creciendo en Argentina a lo largo de los últimos años y muestra una tendencia positiva hacia el futuro. Si bien en la campaña 2019/20 solamente el 19% de los productores realizó cultivos de cobertura a nivel nacional, este valor se quintuplicó en sólo 5 campañas (ReTAA, 2021). El Sudoeste Bonaerense (SOB) integra el 20% de la superficie de la provincia de Buenos Aires (Figura 1). Presenta una variabilidad climática interanual muy marcada, particularmente en la distribución de las lluvias que se concentran en otoño y primavera con una estación seca a fines de invierno y a mediados de verano con alta evapotranspiración. A su vez, predominan los ambientes frágiles conformados por suelos poco profundos, con escasa fertilidad y susceptibles a la erosión. En los ambientes relativamente marginales del sur de la provincia de Buenos Aires el CCI compite con los cultivos de cosecha por el agua, limitando su utilización, pero en ambientes menos restrictivos o irrigados se transforma en una interesante alternativa para interrumpir monocultivos contribuyendo a la sostenibilidad de los agroecosistemas (Kruger et al., 2019; Cabrera, 2021). La creciente presión social por un uso sustentable de los recursos naturales y el incremento en los costos de insumos, como riego, fertilizantes, herbicidas, fungicidas, combustibles, etc. (Reboratti, 2010) permiten anticipar una adopción creciente de los CCI en las rotaciones, lo que justifica la investigación en los aspectos agronómicos y ecológicos de este manejo.

Los CCI previos a un cultivo de verano, se establecen entre dos cultivos de cosecha y no son pastoreados (a diferencia de los verdes), incorporados (a diferencia de los abonos verdes) ni cosechados. Los residuos de los cultivos de cobertura (CC) quedan en superficie protegiendo al

suelo y liberando gradualmente nutrientes como resultado de los procesos de degradación de su biomasa aérea y radical (Scianca, 2010; Ruffo et al., 2004). Entre las funciones de los CC se encuentran la protección y prevención de los procesos erosivos del suelo, la captura y posterior liberación de nutrientes móviles como el nitrógeno (N), el aporte de carbono (C), el aumento de la eficiencia del uso del agua (EUA), el control de recargas del nivel freático, la disminución de sales a la superficie. Además, reducen la compactación, atenúan las temperaturas extremas de la superficie del suelo, aplacan el estrés abiótico y contribuyen al control de malezas, plagas y enfermedades (Sá Pereira, 2013).

Las especies a utilizar como CC se seleccionan por los beneficios que aportan frente a problemas emergentes en la matriz de rotación o secuencia de cultivos en los diferentes ambientes edafoclimáticos. Entre las gramíneas más usadas como CCI se encuentran la avena (*Avena sativa*), el centeno (*Secale cereale*), la cebada (*Hordeum vulgare*), el triticale (*Triticum aestivum x Secale cereale*), el rye grass (*Lolium multiflorum.*), etc. Las mismas producen gran cantidad de biomasa, absorben los nitratos residuales y los devuelven al suelo en forma de N orgánico, aportan C y compiten con las malezas invernales (Scianca, 2010). A su vez, las leguminosas utilizadas como CC aportan N extra al suelo por fijación biológica, controlan malezas y mejoran la estructura del suelo; las crucíferas como CC, son utilizadas por su potencial para reducir la compactación de los suelos, controlar patógenos y malezas. La inclusión de mezcla de especies de CC (gramíneas, leguminosas y crucíferas) pueden aportar más beneficios que los CCI mono-específicos, contribuyendo a una mayor cobertura del suelo y acumulando más N que un cultivo mono-específico (Morales et al., 2021).

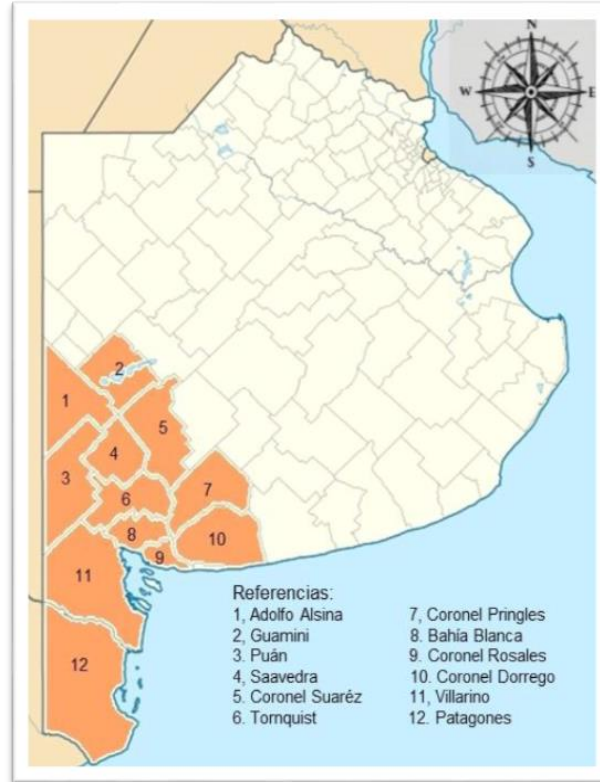


Figura 1. Partidos que conforman la región del Sudoeste Bonaerense. Fuente: Cabrera, 2021

1.2 Características de la avena como CCI

La Avena es un género perteneciente a la familia de las Poáceas. *A. sativa*, la de mayor importancia agronómica, es una planta herbácea de crecimiento anual, aunque en algunas condiciones climáticas y/o de manejo pueda comportarse como bianual.

La avena como CCI se siembra luego de la cosecha de un cultivo de verano, por lo tanto, es una gramínea invernal y las fechas de siembra más convenientes se realizan lo antes posible, desde marzo a abril, pudiéndose extender hasta fines del otoño, dependiendo del cultivo antecesor. Se trata de una gramínea con alta rusticidad, resistente a periodos de sequía y temperaturas bajas (Agroverdad, 2014).

La densidad de siembra utilizada con el fin de proteger al suelo es muy variable y dependiente de diversos factores de manejo (consociaciones de CC), de condiciones edafoclimáticas y de factores inherentes a la calidad de la semilla (pureza, poder germinativo, etc.). Por ello, la densidad puede variar entre 30 a 100 kg ha⁻¹ y el distanciamiento entre hileras varía de 19 a 21 cm (Álvarez et al., 2012).

La avena como CCI impide la compactación en la profundidad de 0,30-0,60 m, mejorando la infiltración ya que presenta un sistema radicular potente con raíces abundantes y profundas en comparación con otras gramíneas (Agroverdad, 2014).

1.3 Manejo del CCI

La preocupación acerca del agua que consume el CCI es minimizada si el manejo se realiza de forma apropiada, es decir, suprimiéndolo antes de que empiece su máximo consumo de agua (Agroverdad, 2014).

El momento de supresión del CC depende de las necesidades de manejo, sin descuidar la fecha de siembra del cultivo sucesor para no perjudicar el potencial de rendimiento del mismo. En gramíneas, el período más recomendado para el secado es durante la antesis ya que en dicho estado fenológico se minimizan tanto los riesgos de rebrote como los de mayor utilización del agua del perfil del suelo que se producen a partir de estadios reproductivos más avanzados. La finalización se realiza de forma mecánica (rolado) y/o química (herbicidas) (Baigorria et al., 2019).

1.3.1 Supresión química

La práctica más común para los productores en nuestro país es secar los CC aplicando herbicidas (Baigorria et al., 2014). Los herbicidas más utilizados son los de amplio espectro de control a base de organofosforados, como es el glifosato, cuyo principio activo es la sal de isopropilamina de glifosato. El glifosato (N- [fosfometil] glicina) es un herbicida no selectivo, sistémico, cuyo modo de acción consiste en inhibir la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS) involucrada en la producción de aminoácidos aromáticos esenciales para el crecimiento de las plantas (tirosina, fenilalanina y triptófano) (Tajnaiová et al., 2020). El herbicida ingresa a la planta a través de los tejidos verdes, penetra rápidamente la cutícula y es traslocado desde las hojas hacia todos los tejidos en crecimiento activo, particularmente el ápice del tallo y raíces (Allegrini, 2017).

Solo una pequeña parte de los químicos aplicados llegan a los organismos blanco, esto implica que el herbicida residual queda en el suelo y en el ambiente circundante. Además, una proporción de lo que llega a las plantas objetivo es exudado por las raíces de las mismas o se libera por los tejidos vegetales mediante la descomposición (Allegrini, 2017). En cuanto al destino del glifosato en el suelo, este tiene una persistencia moderada y se degrada predominantemente por procesos microbianos co-metabólicos (Zabaloy et al., 2008).

1.3.2 Rolado

El rolado es una práctica que se encuentra poco difundida en Argentina por lo cual, la información es escasa. La técnica de manejo representa una alternativa menos riesgosa para el medio ambiente porque reduce significativamente el número de aplicaciones de herbicidas (Baigorria et al., 2014). Se trata de un control mecánico ejercido sobre el CC, realizado por un rolo, permitiendo que el residuo se deposite uniformemente sobre la superficie del suelo, mejorando así la supresión de malezas y la conservación de la humedad del suelo (Figura 2) (Baigorria et al., 2019).

La susceptibilidad de una gramínea al rolado depende exclusivamente de su estado fenológico siendo mayor mientras más avanzado esté el ciclo, ya que el daño producido en los tejidos de las plantas más erguidas y desarrolladas resulta más efectivo para finalizar el cultivo. Por lo tanto, el periodo más recomendado para realizar la práctica es en antesis, minimizando los riesgos de rebrote y consumo de agua (Baigorria et al., 2014).



Figura 2. Rolada de triticales en el estado fenológico correspondiente a antesis. (Fuente Baigorria)

1.4 Impacto de los CC sobre la calidad del suelo

Los suelos representan un entorno complejo porque son una mezcla íntima de lo vivo y lo no vivo y presentan una variación espacio-temporal. Por lo tanto, una definición representativa de calidad del suelo fue dada por Doran y Parkin (1994): “Es la capacidad del suelo para

interactuar con el ecosistema a fin de mantener la productividad biológica, la calidad ambiental y promover la salud animal y vegetal”. Para definir la calidad del suelo es necesario emplear parámetros físicos (estabilidad estructural, textura, profundidad, infiltración, etc.) químicos (pH, materia orgánica, N extractable, etc.) y biológicos (actividad microbiana, biomasa microbiana, respiración del suelo, N mineralizable, etc.). Los parámetros biológicos han asumido una importancia particular en la evaluación de la calidad del suelo porque los organismos responden rápidamente a los cambios en el uso de la tierra, condición ambiental o contaminación. Los organismos del suelo juegan un papel crucial en muchos procesos que sustentan la calidad del suelo, como la descomposición de la MO y el ciclo de nutrientes, la fijación de N y la formación y estabilización de agregados. Por esta razón, el tamaño de la biomasa microbiana del suelo, la respiración, la mineralización potencial de N, las actividades enzimáticas, la abundancia de hongos, nematodos y lombrices de tierra se han utilizado como indicadores de calidad del suelo (Bloem et al., 2006).

Las implementaciones de distintas prácticas agrícolas pueden conducir a cambios significativos en las propiedades mencionadas (biológicas, físicas y químicas de los suelos). Hasta el momento, se han realizado escasos estudios para comparar el efecto de los CCI sobre el suelo en relación al barbecho tradicional sin CCI en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, particularmente que hayan incluido indicadores microbiológicos.

1.4.1 Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas son aquellas interacciones de diversos parámetros que le proporcionan al suelo la capacidad para mantener el crecimiento de las plantas y la actividad biológica que radican en sus propiedades químicas (capacidad de suministrar nutrientes, pH, contenido de sales) y físicas (porosidad, capacidad de retención de agua, estado de agregación) (Duval, 2015).

Algunos de los parámetros fisicoquímicos de interés que influyen en la calidad del suelo se describen a continuación

1.4.1.1 Materia orgánica

La Materia Orgánica (MO) del suelo es un componente clave dentro de los agrosistemas. Representa a los residuos orgánicos de diversa naturaleza e incluye compuestos simples (aminoácidos, vitaminas y ácidos grasos), biopolímeros complejos (como proteínas,

polisacáridos, celulosa, hemicelulosa, lignina, etc.) y macromoléculas altamente complejas como sustancias húmicas de diferente grado de maduración (Ridgwell y Arndt, 2015; Sá Pereira, 2013). La MO está íntimamente ligada a las características edafoclimáticas y la dinámica de degradación es gobernada a través de factores biológicos, químicos y físicos. Este proceso constituye una importante fuente de nutrientes para las plantas, proporcionando casi todo el N y una gran parte del fósforo (P) y azufre (S). Además, participa activamente en la formación de la estructura del suelo, modificando la distribución del espacio poroso y la actividad de los microorganismos, la resistencia a la compactación, susceptibilidad a la erosión eólica o hídrica, así como la dinámica y la retención de agua (Martínez, 2015).

1.4.1.2 Nitrógeno

El nitrógeno (N) es uno de los macronutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo.

Los suelos presentan distinta capacidad potencial de proveer N a las plantas a partir de la mineralización de la MO. El N en el suelo se encuentra de dos formas, N orgánico y N inorgánico (mineral). El N orgánico es la forma no disponible para las plantas y es potencialmente mineralizable en un periodo de tiempo. Luego del proceso de mineralización, (amonificación y nitrificación) el N inorgánico es el que se encuentra disponible para las plantas en forma de iones nitratos (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), por los procesos microbiológicos que se describen más adelante (1.4.2.3) (Martínez, 2015).

La disponibilidad inicial y el posterior aporte de N responden a interacciones complejas entre la descomposición y la inmovilización del N mineral, que son a su vez determinados por las condiciones ambientales y las decisiones de manejo, tales como la rotación de cultivos y la inclusión de CCI (Schmidt, 2015).

1.4.1.3 Humedad

La humedad del suelo (H°) es el contenido volumétrico de agua contenida en el suelo y se puede medir por gravimetría (secando el suelo en estufa y calculando el % de H°). Establecer el índice de humedad del suelo es de vital importancia para las actividades agrícolas.

La presencia de cobertura vegetal (viva o residual) en superficie modera las variaciones de temperatura en el suelo, reduciendo la evapotranspiración en relación a un suelo desnudo. Además, el contenido de H° entre su capacidad de campo y punto de marchitez permanente

suministra oxígeno en una cantidad adecuada cubriendo la demanda tanto de los microorganismos, como de la capacidad bioquímica del suelo. Por lo tanto, la utilización de CC en la rotación puede ser un factor que atenúe el movimiento de aire en el suelo disminuyendo la evaporación, proporcionando un ambiente adecuado para la actividad microbiana e incrementando la acumulación de agua en el suelo si son manejados correctamente, dependiendo del momento de supresión, las características edafoclimáticas y el cultivo sucesor (Montero, 2000).

1.4.1.4 pH

El pH es un indicador fundamentalmente de las propiedades químicas del suelo que influyen en su fertilidad, ya que valores de pH cercanos a la neutralidad permiten que varios nutrientes se encuentren en su máxima disponibilidad para ser absorbidos por las plantas (Fertilab, 2021). Además, es fundamental en la actividad biológica del suelo. El rango comúnmente tolerable por las bacterias del suelo es entre 4 y 10, con el óptimo ligeramente alcalino (Montero, 2000).

1.4.2 Propiedades microbiológicas

Los microorganismos del suelo y sus funciones han sido reconocidos como componentes integrales de la calidad del suelo, dado que están involucrados en procesos claves que permiten mantener las funciones edáficas, como la formación de estructura, la descomposición de la MO, el ciclado de nutrientes y la degradación de contaminantes. Además, son sensibles a factores ambientales, prácticas de manejo, tipo de suelo y especies vegetales, por lo que los indicadores microbianos son muy útiles y necesarios para monitorear la calidad del suelo (Morales et al., 2021).

Los organismos del suelo son los responsables de las transformaciones de los nutrientes en el mismo y de este modo, desempeñan un rol muy importante en la fertilidad y el funcionamiento del ecosistema.

Los métodos para el estudio de la calidad microbiológica del suelo se pueden dividir en tres grupos dependiendo de la información que aportan.

1.4.2.1 Biomasa y número de microorganismos

La biomasa microbiana edáfica es la parte viva de la materia orgánica del suelo, excluyendo las raíces de las plantas y animales. Define el componente funcional de la microbiota del suelo, responsable principalmente de la descomposición y reconversión de la materia orgánica y la transformación de nutrientes (Acosta y Paoloni, 2006).

El número de microorganismos es relativamente fácil de determinar utilizando métodos de rutina basados en medios de cultivo. Un medio de cultivo es un conjunto de nutrientes que crean condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos. El crecimiento de una población bacteriana implica el aumento de los microorganismos capaces de formar colonias indefinidamente (Bloem et al., 2006).

El recuento en placa es uno de los métodos más utilizados para determinar el número de microorganismos realizando diluciones seriadas de la muestra y la siembra posterior en un medio de cultivo donde las bacterias se desarrollarán formando colonias. Son expresadas mediante el número de unidades formadoras de colonias (UFC), el cual puede relacionarse con la ecofisiología de las comunidades microbianas presentes.

Este trabajo describe una técnica sencilla para cuantificar el crecimiento poblacional de bacterias en el suelo, basada en el concepto ecológico de estrategias r y K (De Leij et al., 1993). Los estrategias- r son organismos copiótrofos que presentan su máxima tasa de crecimiento cuando los recursos son abundantes, consumen las reservas disponibles del C orgánico y tienen altos requerimientos nutricionales. Cuando se agotan estos recursos, su actividad metabólica se reduce rápidamente (Wolińska et al., 2015). En cambio, los estrategias- K son organismos oligótrofos que se desenvuelven relativamente bien en entornos saturados que han alcanzado su capacidad de carga. Tienen un metabolismo celular más eficiente que los estrategias- r y son capaces de utilizar sustratos recalcitrantes como la lignina y la celulosa (De Leij et al., 1993).

1.4.2.2 Diversidad y estructura de la comunidad microbiana

El suelo contiene comunidades microbianas de gran diversidad que contribuyen a su capacidad para sostener el crecimiento vegetal. Precisamente, la diversidad microbiana es el número de diferentes taxones (riqueza) y la abundancia relativa de los diferentes grupos, los cuales cumplen funciones especializadas dentro del ecosistema (Morales et al., 2021).

Los microorganismos del suelo no se encuentran aislados y muchas veces resulta difícil separarlos. Muchas de estas, al no encontrarse en condiciones similares a las de sus ecosistemas naturales, no pueden cultivarse in vitro porque no es posible preparar un medio de cultivo que reúna las condiciones para el crecimiento de todos los microorganismos (Montero, 2000).

En la actualidad, la perspectiva frente a la diversidad microbiana y a la estructura comunitaria de los suelos ha mejorado considerablemente. Esto se debe al desarrollo de métodos independientes del cultivo que permiten la caracterización de las comunidades microbianas del suelo. Durante un siglo, el conteo de UFC en diferentes medios fue la técnica elegida para investigar la diversidad microbiana del suelo. Sin embargo, la proporción relativa de bacterias que crece fácilmente en placas de agar con medios de cultivo varían entre un 0,1% a 10% en suelos respecto a las que se cuentan por métodos microscópicos (Torsvik y Øvreås, 2002). Esto implica que las evaluaciones de la diversidad microbiana de estos hábitats, en términos de riqueza y abundancia de especies, están muy subestimadas (Amann et al., 1995, Torsvik y Øvreås, 2002). Las metodologías independientes del cultivo abarcan caracterizaciones bioquímicas (por ejemplo, metil ésteres de ácidos grasos, FAME) y genéticas, como por ejemplo las técnicas basadas en secuencias de ARN o ADN (PCR, secuenciación, clonación). Los nuevos enfoques, como por ejemplo la secuenciación de genes de ARN ribosómico 16S (ARNr 16S), han revelado evidencia de la existencia de una asombrosa riqueza de nuevos organismos, muchos de los cuales son bastante diferentes a los cultivables conocidos (Bloem et al., 2006).

1.4.2.3 Actividad microbiana

Las comunidades microbianas en el suelo consisten en una gran diversidad de especies que exploran sus hábitats ajustando la abundancia de la población y las tasas de actividad a los factores ambientales y al uso del suelo. Las actividades microbianas del suelo tienen como función conducir a la liberación de nutrientes disponibles para las plantas y son de crucial importancia en los ciclos biogeoquímicos. Además, estabilizan la estructura del suelo y conservan la MO para la agricultura sostenible y la calidad ambiental. Las actividades microbianas están reguladas por las condiciones nutricionales, la temperatura, la disponibilidad de agua, el suministro de oxígeno y la concentración de protones (Dilly, 2006).

Las mediciones de la actividad microbiana incluyen técnicas como por ejemplo la respiración del suelo, la mineralización del N orgánico y los ensayos enzimáticos.

La respiración del suelo es un proceso clave para el flujo de C a la atmósfera. Se encuentra estrechamente regulado por el contenido de agua del suelo, entre otros factores como disponibilidad de C y de oxígeno. Esta actividad se atribuye a una amplia gama de microorganismos, como hongos, bacterias, protozoos y algas. Además, la fauna del suelo contribuye significativamente (Dilly, 2006).

La mineralización de N orgánico es la conversión del N orgánico a las formas disponibles para las plantas, iones nitrato y amonio. La amonificación (conversión de N orgánico a NH_4^+) es realizada por microorganismos heterótrofos aerobios o anaerobios, mientras que la oxidación secuencial del NH_4^+ a NO_2^- y luego NO_3^- (nitrificación) es realizada exclusivamente por bacterias y arqueas aerobias como *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* (Dilly, 2006).

Las enzimas son un tipo especial de proteínas producidas por plantas, animales y microorganismos que se combinan con un sustrato específico y actúan para catalizar una reacción bioquímica, sin experimentar cambios en su estructura. La actividad enzimática del suelo es esencial para la transformación de energía y el reciclado de nutrientes (liberación de C, N, y P) esenciales en la nutrición de las plantas. La determinación de la actividad enzimática sirve para comprender los factores que regulan la expresión de las enzimas y caracterizar el potencial metabólico del suelo, la fertilidad, la calidad y la resiliencia del suelo cuando se somete a diversos impactos naturales y antropogénicos. A su vez, la actividad enzimática estimula la degradación de contaminantes del suelo (Henríquez et al., 2014).

Una parte de las enzimas de suelo son extracelulares, ya que son liberadas durante el metabolismo y muerte celular, y pueden persistir adsorbidas en la materia orgánica y en el sistema coloidal, mientras que otras son intracelulares y pierden actividad una vez fuera de la célula microbiana (Dilly, 2006; Montero, 2000). Alef y Nannipieri (citados por Henríquez et al., 2014), clasifican como principales enzimas en: oxidorreductasas, como por ejemplo la catalasa, glucosa oxidasa, deshidrogenasa y peroxidasa; las transferasas como la transaminasa; y las hidrolasas como la celulasa, lipasa, β -glucosidasa, fosfatasa y ureasa. Las enzimas deshidrogenasa, β -glucosidasa, fosfatasa y ureasa, por ejemplo, se han utilizado como indicadores para evaluar el efecto del manejo agronómico sobre características de calidad o estado de sanidad del suelo (Henríquez et al., 2014). Los ensayos de actividad enzimática del suelo actúan como indicadores potenciales de la calidad del ecosistema, siendo operacionalmente prácticos, sensibles, integradores, descritos como “huellas biológicas” de la gestión pasada del suelo y se relacionan con la labranza y la estructura del suelo (Cerón Rincón et al., 2005).

Las deshidrogenasas (DHA) representan la actividad oxidativa intracelular total de los microorganismos del suelo durante las etapas iniciales de descomposición de la MO (Montero, 2000). El concepto de estimar la actividad microbiana en el suelo cuantificando la actividad DHA se basa en la capacidad de una sal de tetrazolio, para actuar como un aceptor artificial de electrones en lugar del oxígeno. El tetrazolio acepta átomos de hidrógeno liberados por la enzima, se reduce a trifenilformazan (TPF) y obtiene una coloración púrpura. La cantidad producida de TPF se determina colorimétricamente (Montero, 2000).

1.5 Hipótesis y Objetivos

En base a los antecedentes expuestos en la introducción, se establecieron las siguientes hipótesis de trabajo:

1. La condición de la cobertura vegetal (sin supresión o vivo vs. post-supresión o senescente) tiene efectos diferenciales sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo.
2. El método de finalización de la cobertura vegetal tiene efectos diferenciales sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo.

Por lo tanto, se plantearon los siguientes objetivos:

1. Evaluar el efecto de la condición de un CCI (sin supresión o vivo vs. post-supresión o senescente) sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo, en comparación con la cobertura vegetal espontánea en barbecho tradicional.
2. Evaluar el efecto del método de finalización del CCI (desección química vs. rolado) sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo y en comparación con el barbecho tradicional químico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Sitio de estudio

Se realizó un ensayo en el Campo Experimental Napostá, convenio UNS y MDA-PBA en Colonia Napostá (38°25'39.67"S, 62°17'7.41"O), partido de Bahía Blanca, Argentina (Figura 3).

Dentro del predio se encuentran suelos correspondientes a la clasificación taxonómica (Soil Taxonomy) Paleustol petrocálcico (Ap-A2-AC-2Ck-3Ckm). El horizonte Ap presenta las siguientes características: MO 4,24%; pH (1:2,5 suelo: agua) 6,7; P (Bray) extractable 8 mg kg^{-1} y N total 0,246%. El edafoclima es ústico-térmico, con una precipitación promedio anual de 637,7 mm (media 1959-2010), concentrándose dos terceras partes en otoño y primavera (Amiotti et al., 2010). Se registra una estación seca a fines del invierno y una semiseca a mediados de verano (enero y febrero) (Amiotti et al., 2010). Los registros de precipitaciones del año 2019 se incluyen en la tabla 4 del anexo.

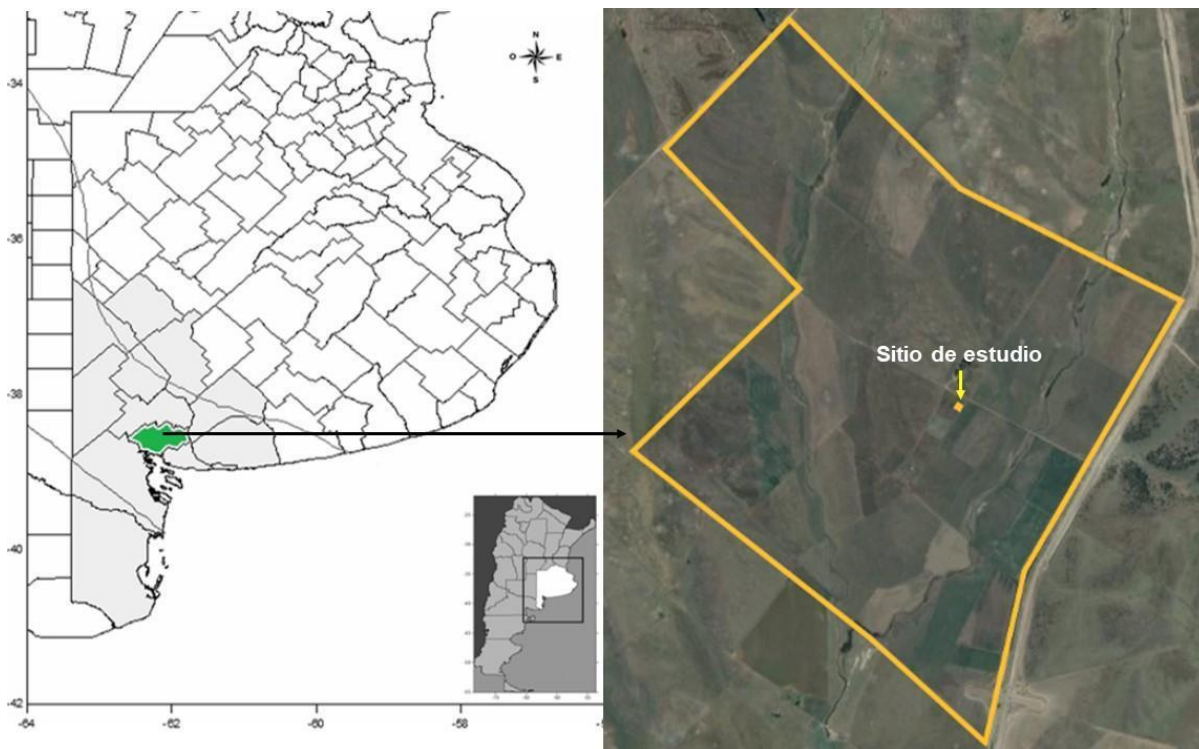


Figura 3. Ubicación del sitio de estudio. Colonia Napostá, provincia de Buenos Aires, partido de Bahía Blanca, Argentina.

2.2 Diseño experimental

Un área de $15 \times 15 \text{ m}$ fue delimitada en un pastizal natural que nunca había sido cultivado. La preparación del terreno previo a la siembra consistió en la remoción de la vegetación natural, rastreo del suelo y emparejamiento del terreno. Veinte parcelas ($2,25 \times 1,56 \text{ m}$) fueron delimitadas y arregladas en un diseño en bloques completos aleatorizados con cuatro réplicas (Figura 4), dejando 1 m entre parcelas y los bloques adyacentes, repetido en dos campañas

agrícolas (años 2018 y 2019). Dieciséis parcelas se sembraron en forma directa, a chorrillo, en hileras separadas a 15,6 cm con avena (*Avena sativa* L., variedad Cristal INTA), con densidad de siembra de 250 plantas.m⁻² el 3 de junio de 2018 y el 13 de mayo de 2019. Todas las parcelas se fertilizaron al voleo con 40 kg N ha⁻¹ (urea 46%N). El resto de las parcelas se destinaron a barbecho (sin siembra de CCI). No se controlaron las malezas durante la estación de crecimiento de los CCI.



Figura 4. Esquema representativo del diseño en bloques (B1, B2, B3, B4). Métodos de finalización: rolado (R), desecación química (DQ), barbecho químico (BQ).

A los 144 y 164 días desde la fecha de siembra en el estadio Z5.5 (Zadoks et al., 1974) se aplicaron los siguientes métodos de finalización:

- 1) Rolado (R):** se utilizó una herramienta denominada rolo, diseñada por el personal del CERZOS, consistente de un tambor de acero de 50 cm de diámetro y 120 kg, al cual se encuentran soldadas helicoidalmente una serie de cuchillas sin filo de 8 cm de alto. El rolo se pasó por el cultivo en dirección perpendicular al sentido de siembra, mediante tracción manual. Luego del rolado fue necesario cortar las plantas a nivel del suelo para asegurar el secado completo (Figura 5).



Figura 5. A: Rolo utilizado para la supresión mecánica del CCI; B: CCI rolado

- 2) **Desecación química (DQ):** Sobre las parcelas con el CCI, se utilizó el herbicida glifosato de la marca comercial CREDIT FULL, (Nufarm S. A., 700 g IA l⁻¹, mezcla de sales) (Figura 6). Se aplicó una dosis proporcional a 3 l ha⁻¹. La aplicación del herbicida se realizó con una mochila pulverizadora (GIBER, 5 litros) con boquilla abanico plano (Figura 6). Para ello, se preparó una solución al 1,5% siguiendo las recomendaciones del marbete para aplicaciones con equipos de mochila. Las parcelas a las que se les aplicó glifosato se cercaron con un nylon de 1 metro de ancho para evitar la deriva a las parcelas adyacentes (Figura 7).
- 3) **Barbecho químico (BQ):** De cada bloque, una parcela quedó sin CCI implantado y se dejó crecer la vegetación espontánea. Posteriormente, recibieron igual dosis y forma de aplicación de glifosato que el CCI bajo DQ, simulando el manejo tradicional del barbecho en la zona (Figura 7).



Figura 6. Herbicida glifosato Credit Full. Mochila pulverizadora GIBER 5 l.

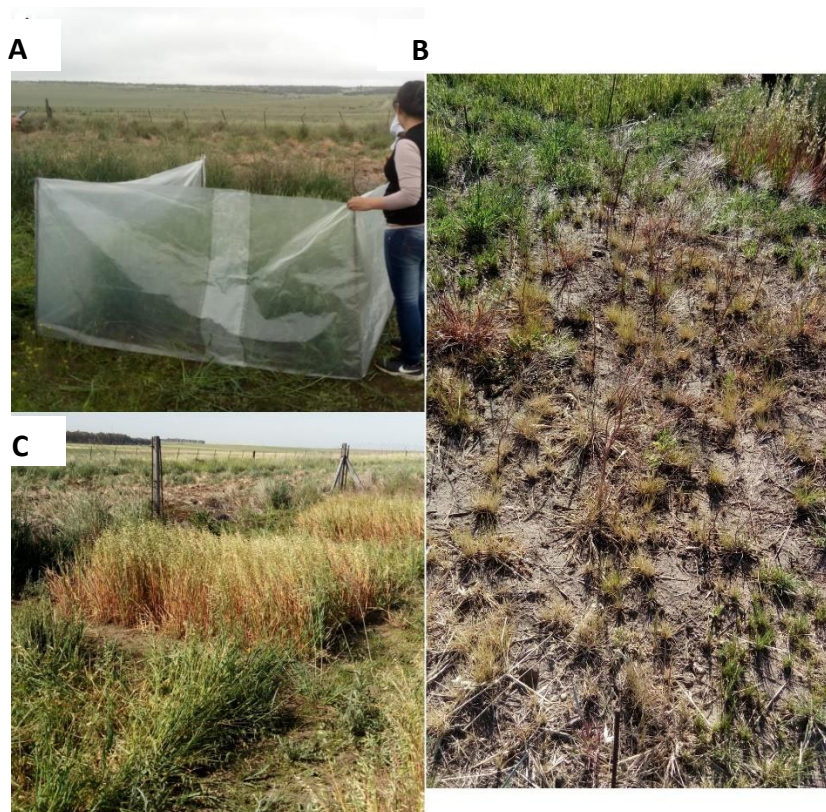


Figura 7. A: DQ aplicación de glifosato en CCI, separación entre parcelas mediante nylon; B: efecto del herbicida en parcelas con vegetación espontánea BQ; C: DQ efecto del herbicida en el CCI a los 12 días de aplicación.

2.3 Muestreo de suelo

El muestreo se realizó entre las hileras de plantas aleatoriamente, tomando 2 a 3 cilindros de 5 cm de diámetro y 10 cm de profundidad con barreno en las parcelas con CCI obteniendo una muestra compuesta. En las parcelas con vegetación espontánea (BQ) se tomó una sola muestra aleatoria, en el centro de las parcelas (Figura 8).

Se obtuvieron 24 muestras de suelo; 12 muestras sin supresión (SS) y 12 muestras post-supresión del CCI [SSDQ=4, SSR=4, SSBQ=4]; [DQ= 4, R= 4, BQ=4]. En el Laboratorio de Ecología Microbiana de Agroecosistemas (Departamento de Agronomía, UNS) se procedió a realizar el tamizado de las muestras en fresco (< 2 mm). Cada muestra fue fraccionada en tres partes, de las cuales una porción fue conservada fresca en heladera a 4°C, mientras que otra se secó al aire para ser destinada a los análisis químicos.



Figura 8. Muestra de suelo tomada con barreno.

2.3.1 Análisis fisicoquímicos del suelo

Las muestras secadas al aire fueron, remitidas al Laboratorio de Servicios Analíticos de suelos, plantas y ambiente (LABSPA, CERZOS-CONICET-UNS) para determinar el contenido de N-NH₄, N-NO₃ (semimicro Kjeldahl) y fósforo extractable (Pe) (Bray & Kurtz, 1945). Se midió el pH en una suspensión de suelo: agua (1:2,5) con pH metro y se determinó el contenido de humedad (H°) en las muestras por el método gravimétrico, mediante secado en estufa a 100°C (48 h).

2.3.2 Recuento de bacterias heterotróficas aerobias

Las bacterias heterótrofas aerobias cultivables (BHA) fueron cuantificadas por el método del recuento en placa. Se prepararon suspensiones de suelo a partir de 1 g de suelo en 9 ml de solución salina estéril (NaCl 0,85%). Las suspensiones de suelo se agitaron en frascos con perlas de vidrio estériles (180 rpm, 30 min) y se realizaron diluciones decimales seriadas con solución salina estéril (Figura 9). Luego, se sembraron 100 μ l de la dilución 10^{-4} , por triplicado, diseminando con espátula estéril en placas de Petri con medio triptéina soja (1:10) agarificado (TSA, Laboratorios Britania, Argentina). Las placas se incubaron en oscuridad a 25°C por 6 días.

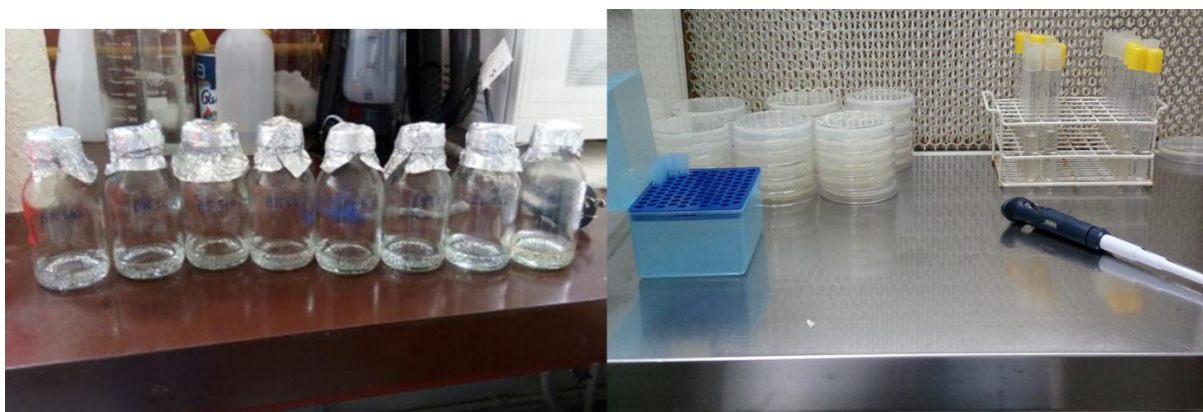


Figura 9. Frascos con perlas de vidrio estériles. Diluciones seriadas y siembra en cajas de Petri.

Se aplicó el concepto de *r/K* estrategias para determinar los cambios en la estructura de la fracción de bacterias cultivables del suelo (De Leij et al., 1993). Para ello, se contaron las colonias visibles a las 24, 48 y 144 h de incubación, en las placas que presentaron entre 30 y 300 colonias (Figura 10). Las bacterias cultivables se clasificaron como estrategias *r* cuando las colonias fueron visibles dentro de las 48 h, mientras que el resto se clasificaron como estrategias *K*. Los conteos totales de bacterias obtenidos fueron expresados en UFC por gramo de suelo (Bevivino et al., 2014).

Se calcularon los índices de biodiversidad: el índice eco-fisiológico (EP) (De Leij et al., 1993) y el índice de desarrollo de colonias (CD) (Sarithchandra et al., 1997). El índice EP, una modificación del índice de diversidad de Shannon, fue calculado de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$H = -\sum (p_i \times \log_{10} p_i)$$

donde p_i representa las UFC de cada día (1, 2 y 6 días de incubación) como una proporción de las UFC totales en la muestra después de 6 días de incubación. El índice H varía de 0 a 1. Si el valor de este índice es 1, el crecimiento de microorganismos en un ambiente dado es uniforme.

El índice de CD fue calculado de acuerdo a la ecuación:

$$CD = [N1/1 + N2/2 + N3/6] \times 100$$

donde N_1 , N_2 , N_3 representan la proporción de UFC en los respectivos días del período de incubación. El índice CD varía de 10 a 100. Un aumento en el índice de CD sugiere que la proporción de microorganismos de crecimiento rápido (estrategas- r) aumenta, mientras que la de microorganismos de crecimiento lento (estrategas- K) está disminuyendo.



Figura 10. Recuento de colonias visibles en placas de Petri

2.3.3 Actividad enzimática

Se evaluó la dinámica de la actividad de las enzimas deshidrogenasas (DHA). Para la medición de la actividad DHA se siguió el procedimiento descrito por Zabaloy et al., (2008). Se pesaron 3 g de las muestras de suelo en tubos de centrifuga de polipropileno de 50 ml, se mezclaron con 4 ml de buffer fosfato (pH 7,6) y 1 ml de solución de 1,3,5-cloruro de trifeniltetrazolio (TTC, Mallinrock). Los tubos se incubaron durante 24 h a 37 °C en la oscuridad a 150 rpm. Después de la incubación, se agitaron (200 rpm a 31°C durante 30 min), centrifugaron (2000 rpm, 8 min) y se extrajo, con 10 ml de acetona, el trifenilformazan (TPF) de la mezcla de reacción formado por la reducción de TTC (Figura 11). El blanco, sin la adición de TTC, se preparó utilizando 3 g

de suelo y 5 ml de buffer fosfato. Luego, el sobrenadante se filtró con papel de filtro (S&S N°8) y se determinó la concentración de TPF mediante espectrofotometría a 485 nm expresando los resultados como $\mu\text{g TPF g suelo}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ utilizando, para ello, una curva de calibrado preparada previamente en matraces de 50 ml con concentraciones de TPF (Sigma-Aldrich) entre 1 y 20 $\mu\text{g ml}^{-1}$ (Figura 12; Figura 13)

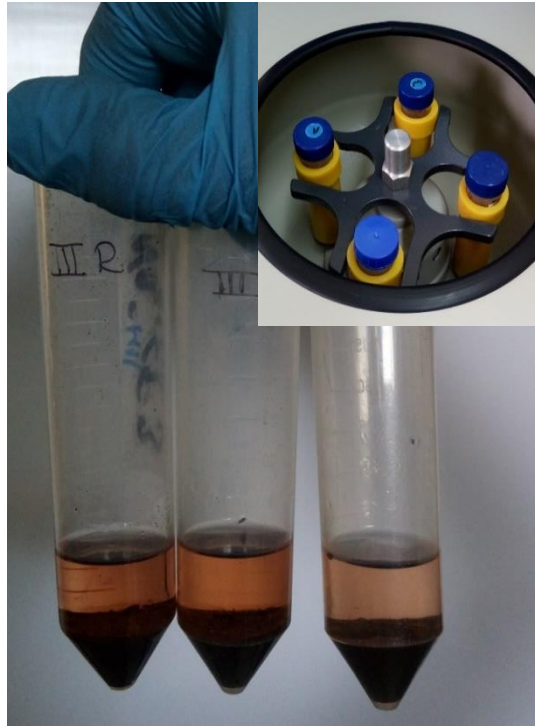
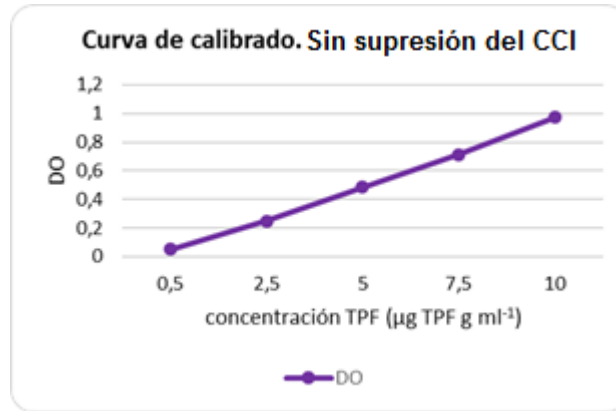


Figura 11. Tubos en centrífuga. Reacción formada por la reducción de TTC en tubos de centrífuga



Figura 12. Curva de calibrado. Concentraciones de TPF entre 1 y 20 $\mu\text{g ml}^{-1}$

A.



B.

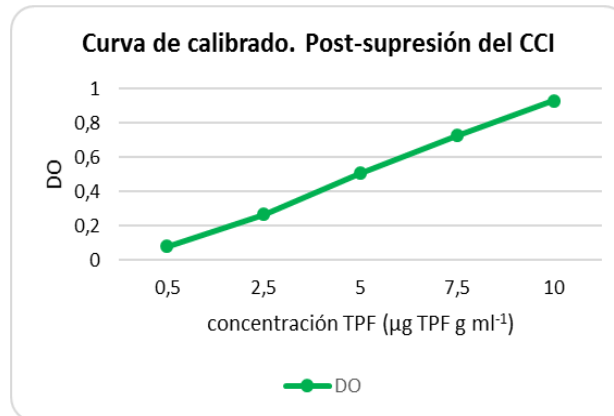


Figura 13. Curvas estándar para la determinación de la concentración de TPF en función de la absorbancia medida, utilizadas para cuantificar el producto de la actividad DHA en suelo para cada condición (A. sin supresión del CCI; B. post-supresión del CCI).

2.3.4 Análisis estadístico

Las variables fisicoquímicas (N-NH_4 , N-NO_3 , Pe, pH, H°), las variables microbiológicas (EP, CD, estrategias r y K , UFC) y actividad enzimática DHA fueron analizadas con modelos lineales generales y mixtos del software estadístico Infostat (Di Rienzo et al., 2018). Los tratamientos (condición del CCI y método de supresión) y sus interacciones fueron considerados efectos fijos, mientras que el bloque y las parcelas como efectos aleatorios en el análisis de la varianza. Las comparaciones múltiples se realizaron mediante la aplicación del procedimiento LSD Fisher ($\alpha=0,05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Parámetros fisicoquímicos del suelo

Los resultados del análisis de la varianza realizados sobre los parámetros fisicoquímicos Humedad (H°), pH, fósforo extractable (Pe), nitrógeno de amonio ($N-NH_4$) y nitrógeno de nitrato ($N-NO_3$), en respuesta a la condición del CCI (vivo, sin supresión, vs. muerto, post-supresión) y al método de finalización de la cobertura (DQ, R y BQ) se presentan en la Tabla 1.

Se observaron efectos significativos en relación a la condición del CCI (sin supresión vs. post-supresión) en el contenido de $N-NH_4$ ($P < 0.05$), $N-NO_3$ ($P < 0.01$), independientemente del método de finalización empleado (Tabla 1). Ambos parámetros tuvieron un incremento significativo post-supresión de la cobertura vegetal. En relación al efecto del método de finalización, se observaron diferencias estadísticamente significativas para $N-NO_3$, donde el contenido de $N-NO_3$ en suelo bajo CCI con desecación química (DQ) fue significativamente menor que el contenido en suelo bajo CCI rolado (R) o con vegetación espontánea (BQ), independientemente de la condición del CCI ($P < 0.05$, Tabla 1). Estos resultados contrastan parcialmente con lo reportado por Kim et al. (2020) quienes observaron un efecto significativo del uso de CCI sobre el contenido de nitrato el cual se redujo en la rotación que incluyó como CCI sólo raigrás en comparación con la rotación que incluyó centeno y vicia y el barbecho desnudo, habiendo muestreado los suelos bajo CCI 10 días después de la supresión con glifosato. Sin embargo, ese estudio fue realizado en suelos muy fértiles del oeste medio americano y no se comparó entre métodos de finalización de los CCI, por lo que los resultados no serían estrictamente comparables. El resultado observado podría atribuirse a que luego de la supresión se mineraliza en N orgánico del tejido radical de la planta senescente, y se produce el incremento del N inorgánico en el suelo.

En tanto, se detectó interacción significativa entre la condición del CCI y el método de finalización ($P < 0,05$, Tabla 2) para el contenido de H° . El análisis de la comparación de medias del contenido de H° dentro del factor “método de finalización” para el nivel sin supresión del factor “condición del CCI” no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($P > 0,05$, Tabla 2). En cambio, cuando se compararon los valores medios de los métodos de finalización para la condición “post-supresión”, los valores de H° resultaron mayores en DQ con respecto a R y BQ ($P < 0,05$, Tabla 2). Asimismo, la comparación de los valores medios de H° dentro del factor “condición del CCI” para R y BQ no mostraron diferencias significativas entre sin supresión y post-supresión, mientras que la H° resultó mayor en DQ post-supresión con

respecto al CCI sin supresión ($P < 0,05$, Tabla 2). Según Sá Pereira (2013), para evaluar convenientemente la influencia de los CC sobre la disponibilidad de agua (costo hídrico en la generación de biomasa) resulta necesario considerar la capacidad de almacenaje de agua evaluando parámetros físicos de los suelos que en el presente trabajo no se analizaron. La determinación de la H° gravimétrica del suelo en este trabajo permitió conocer el estado hídrico luego de aplicados los tratamientos (DQ, R, BQ). Estos resultados se explicarían por una muerte rápida de las plantas con DQ que deja el suelo bajo la cubierta vegetal protectora, evitando la evapotranspiración (Figura 14). En cambio, aunque el CC bajo R permaneció cubriendo el suelo, se observó un importante rebrote que produjo el consumo de agua del perfil del suelo (Figura 14). A su vez, BQ presentó una desecación inmediata de la vegetación espontánea pero el suelo presentó una cobertura insuficiente para reducir las pérdidas de H° en comparación con DQ, quedando el suelo expuesto a la demanda atmosférica de la región (Figura 14). En investigaciones realizadas por Bodner et al., (2007) utilizando un método recomendado por FAO para evaluar el riesgo de agotamiento de agua del suelo por CC, concluyó que la utilización de diferentes CC reduce la alta evaporación de un suelo desnudo y recomendaron la utilización de estos cultivos para la gestión del agua en ambientes limitantes en este recurso.

En tanto, no se observaron efectos significativos de los factores en estudio (método de finalización, condición del CCI) sobre el contenido de Pe ni sobre pH ($P > 0.05$, Tabla 1). Estos resultados coinciden con los reportados por Kim et. al (2020) quienes no encontraron cambios significativos en el pH ni el contenido de Pe del suelo con el uso de raigrás o centeno/ vicia como CCI en rotación con soja y maíz

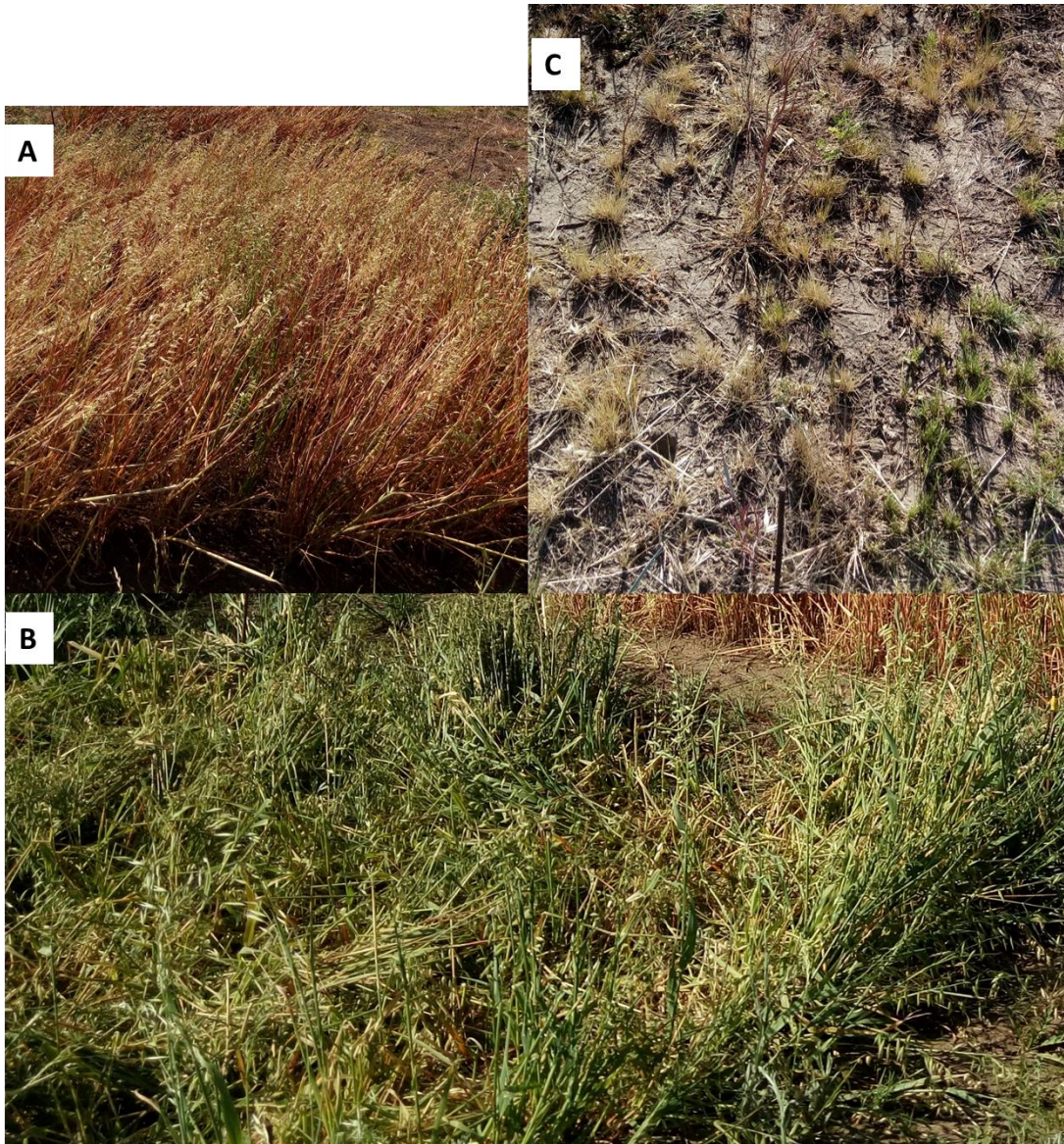


Figura 14. Diferencias observadas a campo post-supresión del CCI. A) CCI bajo DQ completamente senescente luego de la aplicación del herbicida. B) CCI bajo R donde se observaron tejidos verdes y rebrote de la avena. C) Vegetación espontánea bajo BQ desecada completamente, con escasa cobertura vegetal sobre el suelo.

Tabla 1. Valores de medias y errores estándares (ES) de la media (n=12) de la condición del CCI (sin supresión vs. post-supresión) para pH, amonio (N-NH₄), nitrato (N-NO₃), fósforo extractable (Pe) y humedad (H°). A continuación, se indican los métodos de finalización (desección química (DQ), rolado (R) y barbecho químico (BQ)), con los valores de medias y ES de la media (n=8). Al final de la tabla, se denotan los valores de probabilidad (P-valor) y

grados de libertad (*gl*) asociados a los tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas entre métodos de supresión (LSD, $P < 0.05$).

	n	pH		N-NH ₄ mg kg ⁻¹		N-NO ₃ mg kg ⁻¹		Pe mg kg ⁻¹		H %	
		Media	ES	Media	ES	Media	ES	Media	ES	Media	ES
Condición del CCI											
Sin supresión	12	6,78	0,05	8,65	0,84	3,58	0,47	14,18	1,64	16,97	0,7
Post-supresión	12	6,85	0,05	11,84	0,89	5,7	0,49	11,51	1,69	14,78	0,7
Métodos de finalización											
DQ	8	6,8	0,06	8,94	1,03	3,25 ^b	0,55	11,36	2,04	17,84	0,9
R	8	6,84	0,06	10,84	1,03	5,31 ^a	0,55	12,33	2,04	14,23	0,9
BQ	8	6,8	0,06	10,97	1,11	5,36 ^a	0,59	14,85	2,14	15,56	0,9
		<i>gl</i>					<i>P</i> - valor				
Condición del CCI	1	0,1167		0,0308		0,008		0,1283		0,044	
Métodos de finalización	2	0,7372		0,3693		0,0442		0,4317		0,0756	
Método de finalización × Condición del CCI	2	0,138		0,2826		0,7807		0,2038		0,0268	

Tabla 2. Valores de las medias (n= 4) correspondientes a la interacción de la respuesta de la H⁺ a la condición del CCI y al método de finalización.

Método de finalización	Condición del CCI		Sin supresión		Post-supresión	
DQ			14,75	aA	20,94	bB
R			14,96	aA	13,51	aA
BQ			14,64	aA	16,48	aA

Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas entre métodos de finalización (LSD, $P < 0.05$) dentro de cada condición del CCI; letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas entre la condición del CCI dentro de cada método de finalización (LSD, $p < 0,05$).

3.2 Parámetros microbiológicos BHA y actividad DHA.

Los resultados del análisis de la varianza realizados sobre las variables microbiológicas (UFC, estrategias r y K , CD, H y DHA) en respuesta a la condición del CCI (sin supresión y post-supresión) y al método de finalización de la cobertura vegetal (DQ, R, y BQ) se presentan en la Tabla 3. No se observaron interacciones estadísticamente significativas entre los factores analizados para ninguna de las variables en estudio.

En relación con la condición del CCI, se observó que los recuentos de BHA cultivables, estrategias K y r , fueron mayores en suelo bajo cobertura vegetal viva (sin supresión) comparados con la condición post-supresión de la cobertura ($P < 0.0001$, Tabla 3). Esto se explicaría por la mayor provisión de exudados radicales con compuestos carbonados de distinta complejidad en las plantas antes de la supresión, que pueden aprovechar como sustratos de crecimiento las bacterias con diferentes nichos ecológicos (De Leij et al., 1993).

En contraste, se observaron diferencias estadísticamente significativas para la relación r/K , los índices de biodiversidad ($P < 0.05$, Tabla 3) y marginalmente significativas para DHA ($P < 0.10$, Tabla 3), con valores mayores post-supresión de la cobertura vegetal (CCI o vegetación espontánea). El incremento en la relación r/K se explica por un menor impacto de la supresión sobre los organismos r -estrategas en comparación con los K -estrategas. Los primeros están más adaptados a los cambios ambientales repentinos e inestables (De Leij et al., 1993).

El aumento en el valor del índice H refleja mayor uniformidad en el metabolismo de los microorganismos que prevalecen en el suelo post-supresión del CCI (De Leij 1993), coincidente con el cambio en las poblaciones de r -estrategas en relación con los K -estrategas que se explicó anteriormente. El aumento en el índice CD, correspondería a que el desarrollo de los estrategias- r se ve favorecido luego de un disturbio, lo cual coincide con lo expuesto por Sarathchandra et al. (1997).

La estimulación de la actividad DHA estaría reflejando un proceso de mineralización de la materia orgánica lábil proveniente de las plantas senescentes y/o del "turnover" de la biomasa microbiana muerta por la perturbación mecánica y/o química. Estos resultados concuerdan con los reportados por Chavarría et al (2016), quienes observaron mayor actividad enzimática (FDA y DHA) y respiratoria en suelo bajo CCI que incluyeron avena (avena+nabo o avena+nabo+vicia) en comparación con el control sin CCI (barbecho). En una reciente revisión sistemática de la literatura realizada por Morales et al. (2021) se demostró que la actividad

enzimática del suelo se ve favorecida con la inclusión de CCI en la rotación, principalmente si estos se componen de leguminosas y mezclas de especies.

Se observó que los métodos de finalización no modificaron significativamente ninguno de los recuentos de bacterias cultivables (estrategas r , estrategias K , BHA) o su relación r/K , ni los índices de biodiversidad derivados de estos recuentos (CD y H) ($P > 0.05$, Tabla 3). La actividad microbiana del suelo, medida por actividad DHA, tampoco resultó afectada por los métodos de finalización ($P > 0.05$; Tabla 3). En contraste, Morales et al. (2019) observaron que el índice CD fue mayor y el recuento de estrategias- K fue menor en la rizosfera de avena desecada con glifosato en comparación con el tratamiento de rolado. Las diferencias encontradas con el trabajo realizado por estos autores radican en que analizaron la comunidad microbiana en la rizósfera, en tanto que en el presente trabajo se analizó el suelo del entresurco (no rizosférico).

Tabla 3. Valores de medias y errores estándares (ES) de la media ($n=12$) de la condición del CCI (sin supresión vs. post-supresión), la abundancia de bacterias heterotróficas aerobias cultivables (BHA), índices de biodiversidad (CD, índice de desarrollo de colonias y H, índice eco-fisiológico) y actividad de la enzima deshidrogenasa (DHA). A continuación, se indican los métodos de finalización (desecación química (DQ), rolado (R) y barbecho químico (BQ)), con los valores de medias y ES de la media ($n=8$). Al final de la tabla, se denotan los valores de probabilidad (P-valor) y grados de libertad (gl) asociados a los tratamientos. Letras distintas indican diferencias significativas entre métodos de supresión (LSD, $P < 0.05$)

	Estrategas <i>r</i>	Estrategas K		UFC		<i>r</i> /K		CD		H		TPF**			
		Log ₁₀ UFC* g ⁻¹ suelo				UFC/UFC				µg TPF g ⁻¹ de suelo					
	n	Media	ES	Media	ES	Media	ES	Media	ES	Media	ES	Media	ES		
Condición del CCI															
Sin supresión	12	7,8	0,04	8,07	0,07	8,22	0,05	0,58	0,15	33,13	1,3	0,38	0,01	4,75	1,33
Post-supresión	12	7,05	0,03	7,09	0,08	7,39	0,05	1,06	0,15	47,07	1,3	0,42	0,01	8,96	1,33
Métodos de finalización															
DQ	8	7,39	0,05	7,47	0,12	7,73	0,08	1,05	0,21	43,77	3,31	0,41	0,01	4,64	1,64
R	8	7,38	0,05	7,62	0,12	7,8	0,08	0,6	0,21	36,84	3,31	0,39	0,01	9,26	1,64
BQ	8	7,51	0,05	7,65	0,12	7,88	0,08	0,81	0,21	39,68	3,31	0,4	0,01	6,67	1,64
	<i>gl</i>					<i>P</i> - valor									
Condición del CCI	1	<0,0001		<0,0001		<0,0001		0,0172		0,0007		0,0166		0,0526	
Métodos de finalización	2	0,2253		0,5247		0,5086		0,3837		0,3889		0,6513		0,215	
Método de finalización x Condición del CCI	2	0,1464		0,2019		0,1224		0,6858		0,7942		0,2116		0,7635	

*UFC= unidades formadoras de colonias.

** Trifenilformazan (TPF) formado por la reducción de TTC

4. CONCLUSIONES

La supresión de la cobertura herbácea (espontánea o CCI) reduce los recuentos de BHA cultivables, tanto como el de estrategias r y K , promoviendo cambios en la estructura de la comunidad microbiana de suelo que se ven reflejados en los índices de biodiversidad y entre grupos tróficos (r/K). El aumento de N inorgánico (NH_4^+ y NO_3^-) y la estimulación de la actividad DHA refleja un proceso de mineralización de la materia orgánica lábil proveniente de las plantas senescentes y/o del “turnover” de la biomasa microbiana muerta por la perturbación mecánica y/o química. A su vez, el contenido de humedad del suelo se vio favorecido con la incorporación del CCI respecto al uso del barbecho químico tradicional, reduciendo la evaporación en el suelo cubierto.

En este estudio, el rolado no ejerció un control adecuado del crecimiento del cultivo de avena. Para realizar un control mecánico es necesario analizar alternativas de uso para lograr una finalización efectiva del CC, entre ellas, podrían utilizarse otros cultivos que sean más susceptibles al control mecánico si el objetivo es disminuir el uso de herbicidas en el contexto de adopción de prácticas agroecológicas.

En ambientes limitantes en contenido de humedad, como son los suelos del SOB, los CCI contribuyen a mejorar esta variable, proporcionando un ambiente favorable para la siembra del cultivo sucesor. Por otra parte, el SOB es un ambiente propenso a la erosión y el uso de los diversos CCI representan una alternativa potencialmente útil para evitar pérdidas del horizonte superficial del suelo. Sería importante generar más información sobre la aptitud de uso de distintos CCI y su eficiencia en el uso del agua en el período de barbecho en los ambientes limitantes de esta región. A su vez, sería conveniente evaluar el impacto de los diferentes CCI sobre la calidad (micro)biológica del suelo y sobre los cultivos de cosecha mediante modelos matemáticos, puesto que representarían una herramienta útil para promocionar el uso de los CCI por parte de los productores agrícolas del SOB con miras a mejorar la sustentabilidad de los agroecosistemas.

5. BIBLIOGRAFÍA

Acosta Y; Paolini J. (2006). Dinámica de la biomasa microbiana (C y N) en un suelo de la península de Paraguaná tratado con residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6(2)180-187.

Agroverdad, (2014). <https://agroverdad.com.ar/2014/05/12-qq-mas-de-soja-sobre-avena-como-cultivo-de-cobertura> (última visita noviembre de 2021).

Allegrini M. (2017). Análisis del impacto de glifosato sobre comunidades microbianas de suelos de la región pampeana mediante un enfoque fisiológico y molecular. Tesis Doctoral en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Rosario. Rosario, Argentina. 272 pp.

Álvarez C; Quiroga A; Santos D; Bodrero M. (2012). Contribuciones de los cultivos de cobertura a la sostenibilidad de los sistemas de producción. Ediciones INTA 1er edición, La Pampa. 170 pp.

Amann R.I; Ludwig W; Schleifer K-H. (1995). Phylogenetic Identification and in situ detection of individual microbial Cells without Cultivation. *Microbiological Reviews*, 59(1): 143–169

Amiotti N.M; Blanco M.C; Schmidt E; Díaz S. (2010). Variabilidad espacial de los suelos y su relación con el paisaje. En: Paoloni JD (ed). *Ambiente y recursos naturales del partido de Bahía Blanca*. Pp. 129-173. EdiUNS. Bahía Blanca, Buenos Aires.

Baigorria T; Alvarez C; Cazorla C; Belluccini P; Aimetta B; Pegoraro V; Boccolini M; Conde B. (2019). Impacto ambiental y rolado de cultivos de cobertura en producción de soja bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo*. 37:355-66.

Baigorria T; Cazorla C; Belluccini P; Aimeta B; Pegoraro V; Boccolini M; Alvarez C. (2014). Efecto del rolado de cultivos de cobertura sobre la dinámica de agua y malezas. *Actas del XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. II Reunión Nacional “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas” Producción sustentable en ambientes frágiles*. Bahía Blanca, Argentina.

Bevivino A; Paganin P; Bacci G; Florio A; Pellicer M.S; Papaleo M.C; Mengoni A; Ledda L; Fani, R; Benedetti A; Dalmastrì C. (2014). Soil bacterial community response to differences in agricultural management along with seasonal changes in a Mediterranean region. *PLoS ONE*, 9(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105515>

Bloem J; Hopkins D.W; Benedetti A. (2006). Defining Soil Quality. En: Burns R; Nannipieri P; Benedetti A; Hopkins W. (editores). Microbiological Methods For Assessing Soil Quality. Capítulo 2. CABI Publishing, Wallingford, UK, 15-22 pp.

Bodner G; Loiskandl W; Kaul H.P. (2007). Cover crop evapotranspiration under semi-arid condition using. FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. Agricultural Water Management. 93:85 – 98. 21 pp.

Bray R.H; Kurtz L.T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. Soil Science, 59(1): 39-46. <https://doi.org/doi:10.1097/00010694-194501000-00006>

Cabrera, C. (2021). Efecto de los sistemas de labranza y pastoreo directo sobre algunas propiedades físicas del suelo en el Sudoeste Bonaerense. Tesis de grado, Departamento de Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 59 pp.

Cerón Rincón L.E; Melgarejo Muñoz L.M. (2005). Enzimas del suelo: indicadores de salud y calidad. Acta Biológica Colombiana, 10 (1): 5-18

Chavarría D.N, Verdenelli R.A; Muñoz E.J; Conforto C; Restovich S.B; Andriulo A.E; Meriles J.M; Vargas-Gil S. (2016). Soil microbial functionality in response to the inclusion of cover crop mixtures in agricultural systems. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Spanish Journal of Agricultural Research. 14(2) 12 pp. <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2016142-8395>

De Leij FAAM; Whipps J.M; Lynch J.M. (1993). The use of colony development for the characterization of bacterial communities in soil and on roots. Microbial Ecology. 27:81-97

Dilly O. (2006). Estimating Soil Microbial Activity. En: Burns R; Nannipieri P; Benedetti A; Hopkins W. (editores). Microbiological Methods For Assessing Soil Quality. Capítulo 7. CABI Publishing, Wallingford, UK, 114-116 pp.

Di Rienzo J.A; Casanoves F; Balzarini M.G; González L; Tablada M; Robledo C.W. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar>.

Doran, J.W ; Parkin, B.T. (1994). Defining soil quality for a sustainable environment. Soil Science Society of America, inc. Special publication, N° 35. Madison, Wisconsin, USA.

Duval, M. (2015). Contenido, calidad y dinámica de las fracciones orgánicas como indicadores de calidad de suelos bajo diferentes manejos en siembra directa. Tesis Doctoral en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 165 pp.

FAO (2021). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i7480e/i7480e.pdf> (última visita noviembre 2021).

FERTILAB, (2021). <https://www.fertilab.com.mx/blog/319-que-es-el-ph-del-suelo-y-para-que-nos-sirve/> (Última visita noviembre 2021).

Henríquez C; Uribe L; Valenciano A; Nogales R. (2014). Actividad enzimática del suelo Deshidrogenasa, β -glucosidasa, Fosfatasa y Ureasa, bajo diferentes cultivos. *Agronomía Costarricense* 38(1): 43-54. www.mag.go.cr/rev_agr/index.html

Kim N; Zabaloy M.C; Riggins W.C; Rodríguez-Zas S; Villami M.B. (2020). Microbial Shifts Following Five Years of Cover Cropping and Tillage Practices in Fertile Agroecosystems. *Microorganisms*. 8:1773; doi:10.3390/microorganisms8111773 www.mdpi.com/journal/microorganisms

Kruger H.R; Zilio J.P; Frolla F. (2019). Criterios básicos para la producción agropecuaria sustentable en el sudoeste bonaerense. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/reporte_siat_no11_-_junio_julio_agosto_2019.pdf. (Última visita diciembre 2021).

Madigan M.T; Martinko J.M; Bender K.S; Buckley D.H; Stahl D.A. (2015). *Brock Biology of Microorganisms*. 14 ed. Pearson Education, Inc., Boston.

Martínez J.M. (2015). Eficiencia de uso y balance de nitrógeno en sistemas con trigo del sur bonaerense: dinámica, en el suelo y nutrición del cultivo. Tesis Doctoral en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 198 pp.

Montero, F.A. (2000). Microbiología y bioquímica de suelos cultivados bajo siembra directa. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 348 pp.

Morales M.E; Basualdo J; Iocoli G.A; Gomez E; Zabaloy M.C. (2019). Efecto de los métodos de supresión de Avena sativa I. Sobre las comunidades rizosféricas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Córdoba. IV Jornadas Nacionales de suelos de Ambientes Semiáridos.

Morales M.E; Iocoli G.A; Villamil M.B; Zabaloy M.C. (2021). Efecto de los cultivos de cobertura invernales sobre el microbioma del suelo: revisión sistemática de la literatura. *Revista Argentina de Microbiología*. RAM-452; 14 pp. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2021.02.008>

Reboratti C. (2010). Un mar de soja: La nueva agricultura en Argentina y sus consecuencias. *Rev. Geogr. Norte Gd.* 76, 63-76

ReTAA, (2021). Cultivos de cobertura. Informe mensual nº 42. <https://www.bolsadecereales.com/imagenes/retaa/2021-03/220-retaamensualn%C2%BA42-cultivoscobertura.pdf> (Última visita diciembre 2021).

Ridgwell A; Arndt S. (2015). Why Dissolved Organics Matter: DOC in Ancient Oceans and Past Climate Change. En: Hansell, D. A., Carlson, C. A. (Eds.), *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*. Academic Press: New York. pp. 1–20.

Ruffo M; Parsons A. (2004). Cultivos de Cobertura en Sistemas Agrícolas. En: *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 21. 8 pp. <http://www.ipi.net/publication/ia.-lacs.nsf/issue/IA-LACS-2004-1> (Última visita noviembre 2021).

Sá Pereira, E. (2013). Los cultivos de cobertura y la productividad del maíz en siembra directa: dinámica del nitrógeno, agua y fracciones orgánicas del suelo. Tesis de Doctor en Agronomía, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 166 pp.

Sarathchandra S.U; Burch G; Cox N.R. (1997). Growth patterns of bacterial communities in the rhizoplane and rhizosphere of white clover (*Tifolium repens* L.) and perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) in long-term pasture. *Applied Soil Ecology* 6:293-299

Schmidt, E. (2015). Modificaciones estructurales y funcionales de epipedones mólicos en suelos de la región pampeana semiárida bajo siembra directa continua. Tesis Magister en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 113 pp

Scianca, C.M. (2010). Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Producción de materia seca, eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno e incidencia sobre el cultivo de soja. Tesis Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca, Argentina. 120 pp.

Tajnaiová L; Vurm R; Kholomyeva M; Kobera M; Kocí V. (2020). Determination of the Ecotoxicity of Herbicides Roundup® Classic Pro and Garlon New in Aquatic and Terrestrial Environments. *Plants* (Basel). 14;9(9):1203. doi: 10.3390/plants9091203.

Torsvik V; Øvreås L. (2002). Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems, *Current Opinion in Microbiology*, 5(3): 240-245. [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(02\)00324-7](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(02)00324-7)

Wolińska A; Rekosz-Burlaga H; Goryluk-Salmonowicz A; Błaszczuk M; Stępniewska Z. (2015). Bacterial abundance and dehydrogenase activity in selected agricultural soils from Lublin region. *Pol. J. Environ. Stud.* 24(6): 2677-2682. DOI: 10.15244/pjoes/59323

Zabaloy M.C; Garland L.J; Gómez M.A. (2008). An integrated approach to evaluate the impacts of the herbicides glyphosate, 2,4-D and metsulfuron-methyl on soil microbial communities in the Pampas region, Argentina. *Applied Soil Ecology*, 40:1-12

Zadoks J.C; Chang T.T; Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14(6), 415–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>

6. ANEXO

Tabla 4. Precipitaciones (mm) del 2019 ocurridas en Napostá. Estación meteorológica automática (EMA).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
EMA Napostá 2019	19,6	12,3	129,4	13,1	60,8	42,5	0,5	1,5	33,9	83,9	44,1	60

Análisis estadístico

Variable dependiente: CD

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	147,36	156,26	-63,68	3,70E-04	0,51	0,51	0,69

AIC y BIC menores implica mejor

CD - Prueba de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	1,11	0,3889
Condición del CCI	1	9	24,91	0,0007
Método de finalización × condición del CCI	2	9	0,24	0,7942

CD - Medias ajustadas y errores estándares para método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05).

Método de finalización	Medias	E.E.	
DQ	43,77	3,31	A
BQ	39,68	3,31	A
R	36,84	3,31	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CD - Medias ajustadas y errores estándares para condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Post-supresión	47,07	3,08	A
Sin supresión	33,13	1,3	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

CD – Medias ajustadas y errores estándares para métodos de finalización x condición del CCI

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
DQ	Post-supresión	50,22	5,34
BQ	Post-supresión	48	5,34
R	Post-supresión	42,99	5,34
DQ	Sin supresión	37,33	2,25
BQ	Sin supresión	31,36	2,25
R	Sin supresión	30,69	2,25

Variable dependiente: LOG10_estrategas-r

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	6,04	14,94	6,98	0,14	0,92	0,92	0,95

AIC y BIC menores implica mejor

Prueba de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	1,93	0,2253
Condición del CCI	1	9	242,37	<0,0001
Método de finalización :Condición del CCI	2	9	2,4	0,1464

LOG10_estrategas r - Medias ajustadas y errores estándares. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.	
BQ	7,51	0,05	A
DQ	7,39	0,05	A
R	7,38	0,05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOG10_estrategas r - Medias ajustadas y errores estándares para Condición del CCI:

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Sin supresión	7,8	0,04	A
Post-supresión	7,05	0,03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOG10_estrategas r - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización × Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
BQ	Sin supresión	7,92	0,07
DQ	Sin supresión	7,82	0,07
R	Sin supresión	7,68	0,07
BQ	Post-supresión	7,11	0,06
R	Post-supresión	7,08	0,06
DQ	Post-supresión	6,97	0,06

Variable dependiente: LOG10_estrategas-K

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	22,63	31,54	-1,32	0,06	0,83	0,84	0,96

AIC y BIC menores implica mejor

Prueba de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	0,72	0,5247
Condición del CCI	1	9	330,76	<0,0001
Método de finalización:Condición del CCI	2	9	1,92	0,2019

LOG10_estrategas K - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.	
BQ	7,65	0,12	A
R	7,62	0,12	A
DQ	7,47	0,12	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOG10_estrategas K - Medias ajustadas y errores estándares para condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Sin supresión	8,07	0,07	A
post-supresión	7,09	0,08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LOG10_estrategas K - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización x condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
BQ	Sin supresión	8,18	0,12
R	Sin supresión	8,03	0,12
DQ	Sin supresión	7,99	0,12
R	Post-supresión	7,2	0,14
BQ	Post-supresión	7,13	0,14
DQ	Post-supresión	6,94	0,14

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable dependiente: Log UFC

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	9,78	17,79	4,11	0,1	0,88	0,88	0,98

AIC y BIC menores implica mejor

Prueba de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	0,76	0,5086
Condición del CCI	1	9	430,5	<0,0001
Método de finalización: Condición del CCI	2	9	2,68	0,1224

Log.UFC - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.
BQ	7,88	0,08
R	7,8	0,08
DQ	7,73	0,08

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Log.UFC - Medias ajustadas y errores estándares para Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Sin supresión	8,22	0,05	A
Post supresión	7,39	0,05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Log.UFC - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización × Condición del CCI. DGC (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.	
BQ	Sin supresión	8,33	0,09	A
DQ	Sin supresión	8,18	0,09	A
R	Sin supresión	8,15	0,09	A
R	Post-supresión	7,44	0,09	B
BQ	Post-supresión	7,43	0,09	B
DQ	Post-supresión	7,28	0,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable dependiente: H

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	-40,65	-32,64	29,32	0,03	0,39	0,39	0,58

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	0,46	0,6513
Condición del CCI	1	9	8,62	0,0166
Método de finalización: Condición del CCI	2	9	1,85	0,2116

H - Medias ajustadas y errores estándares para los Métodos de finalización. DGC (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.
DQ	0,41	0,01
BQ	0,4	0,01
R	0,39	0,01

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

H - Medias ajustadas y errores estándares Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Post-supresión	0,42	0,01	A
Sin supresión	0,38	0,01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

H - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización x Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
BQ	Post-supresión	0,43	0,02
R	Post-supresión	0,42	0,02
DQ	Post-supresión	0,41	0,02
DQ	Sin supresión	0,41	0,02
BQ	Sin supresión	0,37	0,02
R	Sin supresión	0,36	0,02

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable dependiente: r/K

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	52,1	60,11	-17,05	0,41	0,33	0,33	0,72

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	1,13	0,3837
Condición del CCI	1	9	8,49	0,0172
Método de finalización: Condición del CCI	2	9	0,39	0,6858

r.K - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.
DQ	1,05	0,21
BQ	0,81	0,21
R	0,6	0,21

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

r.K - Medias ajustadas y errores estándares para Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Post-supresión	1,06	0,15	A
Sin supresión	0,58	0,15	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

r.K - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización × Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
DQ	Post-supresión	1,38	0,26
BQ	Post-supresión	1,06	0,26
R	Post-supresión	0,75	0,26
DQ	Sin supresión	0,73	0,26
BQ	Sin supresión	0,55	0,26
R	Sin supresión	0,46	0,26

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable dependiente: $\mu\text{g TPF}$

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	132,53	140,54	-57,26	4,62	0,35	0,35	0,35

AIC y BIC menores implica mejor

Prueba de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	2,01	0,215
Condición del CCI	1	9	4,98	0,0526
Método de finalización:Condición del CCI	2	9	0,28	0,7635

µg.TPF - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.
R	9,26	1,64
BQ	6,67	1,64
DQ	4,64	1,64

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

µg.TPF - Medias ajustadas y errores estándares para Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Post-supresión	8,96	1,33	A
Sin supresión	4,75	1,33	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

µg.TPF - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización × Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
R	Post-supresión	10,71	2,31
BQ	Post-supresión	9,76	2,31
R	Sin supresión	7,81	2,31

DQ	Post-supresión	6,42	2,31
BQ	Sin supresión	3,59	2,31
DQ	Sin supresión	2,86	2,31

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable dependiente: pH

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	1,14	9,15	8,43	0,1	0,22	0,61	0,61

AIC y BIC menores implica mejor

Prueba de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	0,32	0,7372
Condición del CCI	1	9	3,01	0,1167
Método de finalización:Condición del CCI	2	9	2,49	0,138

pH - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.
R	6,84	0,06
DQ	6,8	0,06
BQ	6,8	0,06

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

pH - Medias ajustadas y errores estándares para Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Post-supresión	6,85	0,05	A
Sin supresión	6,78	0,05	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

pH - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización x Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
R	Post-supresión	6,93	0,07
BQ	Post-supresión	6,85	0,07
DQ	Sin supresión	6,83	0,07
DQ	Post-supresión	6,78	0,07
BQ	Sin supresión	6,75	0,07
R	Sin supresión	6,75	0,07

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable dependiente: N-NH₄

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
23	110,61	118,11	-46,3	2,91	0,42	0,42	0,42

AIC y BIC menores implica mejor

Prueba de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	1,18	0,3693
Condición del CCI	1	8	6,84	0,0308
Método de finalización: Condición del CCI	2	8	1,49	0,2826

NH₄⁺ - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.
BQ	10,97	1,11
R	10,84	1,03
DQ	8,94	1,03

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NH₄⁺ - Medias ajustadas y errores estándares para Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Post-supresión	11,84	0,89	A
Sin supresión	8,65	0,84	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NH₄⁺ - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización × Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
BQ	Post-supresión	12,23	1,68
DQ	Post-supresión	11,93	1,46
R	Post-supresión	11,38	1,46
R	Sin supresión	10,3	1,46
BQ	Sin supresión	9,7	1,46
DQ	Sin supresión	5,95	1,46

Variable dependiente: N-NO₃

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
23	87,8	95,3	-34,9	1,44	0,55	0,61	0,61

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	5,48	0,0442
Condición del CCI	1	8	12,32	0,008
Método de finalización: Condición del CCI	2	8	0,26	0,7807

NO₃⁺ - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.	
BQ	5,36	0,59	A
R	5,31	0,55	A
DQ	3,25	0,55	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NO₃⁺ - Medias ajustadas y errores estándares para Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Post-supresión	5,7	0,49	A
Sin supresión	3,58	0,47	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

NO₃⁺ - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización × Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
BQ	Post-supresión	6,63	0,86
R	Post-supresión	6,08	0,75
R	Sin supresión	4,55	0,75
DQ	Post-supresión	4,4	0,75
BQ	Sin supresión	4,1	0,75
DQ	Sin supresión	2,1	0,75

Variable dependiente: Pe

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
23	126,03	133,53	-54,02	3,73	0,27	0,49	0,72

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	0,97	0,4317
Condición del CCI	1	8	2,88	0,1283
Método de finalización: Condición del CCI	2	8	1,95	0,2038

Pe - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.
BQ	14,85	2,14
R	12,33	2,04
DQ	11,36	2,04

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Pe - Medias ajustadas y errores estándares para Condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Condición del CCI	Medias	E.E.
Sin supresión	14,18	1,64
Post-supresión	11,51	1,69

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Pe - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización x Condición del CCI

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.
BQ	pre-supresión	17,15	2,43
R	pre-supresión	14,85	2,43
BQ	post-supresión	12,55	2,74
DQ	post-supresión	12,18	2,43
DQ	pre-supresión	10,55	2,43
R	post-supresión	9,8	2,43

Variable dependiente: Humedad

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
24	109,24	117,26	-45,62	2,3	0,57	0,57	0,65

AIC y BIC menores implica mejor

Prueba de hipótesis marginales

Source	numDF	denDF	F-value	p-value
Método de finalización	2	6	4,09	0,0756
Condición del CCI	1	9	5,45	0,0444
Método de finalización: Condición del CCI	2	9	5,56	0,0268

Humedad - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización. LSD Fisher (Alfa=0,05)

Método de finalización	Medias	E.E.		
DQ	17,84	0,9	A	
BQ	15,56	0,9	A	B
R	14,23	0,9		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Humedad - Medias ajustadas y errores estándares para condición del CCI. LSD Fisher (Alfa=0,05).

Condición del CCI	Medias	E.E.	
Post-supresión	16,97	0,7	A
Sin-supresión	14,78	0,7	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Humedad - Medias ajustadas y errores estándares para Método de finalización x Condición del CCI

Método de finalización	Condición del CCI	Medias	E.E.	
DQ	Post-supresión	20,94	1,21	A
BQ	Post-supresión	16,48	1,21	B
R	Sin supresión	14,96	1,21	B
DQ	Sin supresión	14,75	1,21	B
BQ	Sin supresión	14,64	1,21	B
R	Post-supresión	13,51	1,21	B