

Sistema de evaluación y seguimiento de la calidad para suelos agrícolas de Entre Ríos

Silvia M. Benintende, María A. Sterren; Walter Uhrich; Marianela Fontana; Guillermo Rondan; Pedro Barbegalata

Autoras/es: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Ruta Pcial. N° 11 Km 10,5 Oro Verde - Entre Ríos (3100), Argentina

Colaborador: Leonardo Novelli. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos Ruta Pcial. N° 11 Km 10,5 Oro Verde - Entre Ríos (3100), Argentina

Contacto: maria.sterren@uner.edu.ar

ARK: <https://id.caicyt.gov.ar/ark:/s22504559/vm0q5hp2n>

Resumen

El objetivo de este estudio fue desarrollar un sistema de interpretación para un set mínimo de indicadores de calidad de suelo que permita monitorear el impacto de las prácticas de manejo sobre suelos de las principales zonas agroecológicas de Entre Ríos. Se seleccionaron variables: a) físicas: profundidad del Ap. y caracterización visual del horizonte, b) químicas: C orgánico (Corg), N total (NT), relación C/N, pH al agua, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), porcentaje de Na intercambiable (PSI) y c) biológicas: N mineralizable medido por incubaciones anaeróbicas (NAN), C de la biomasa microbiana (CBM) y la Respiración (Resp.) que fueron quienes reflejaron mejor las variaciones del funcionamiento del suelo para monitoreos de calidad de suelos Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos. A continuación, se generaron los niveles de referencia para cada una y un sistema de interpretación gráfico para la evaluación de calidad de suelos en sistemas de manejo agropecuario. También se generaron valores de referencia para Estabilidad de agregados en húmedo (EEH) para suelos Molisoles.

Palabras clave: salud de suelos- indicadores de calidad- monitoreo

Estado actual del conocimiento sobre el tema

El área productiva a nivel mundial es limitada y se encuentra bajo una creciente presión por la intensificación para satisfacer las demandas de alimentos, producción de energía y extracción de materias primas de una población en crecimiento. Teniendo en cuenta las tendencias demográficas actuales y el crecimiento previsto de la población mundial (que superará los 9.000 millones de personas en 2050), se calcula que la demanda de alimentos, piensos y fibras aumentarán en un 60 por ciento para el 2050. La gestión sostenible de los suelos agrícolas y la intensificación de la producción se han convertido en un imperativo para la seguridad alimentaria mundial (FAO, 2015a). Sin embargo, estos niveles de producción no pueden lograrse plenamente a menos que a los suelos se les asigne un rol prioritario.

El concepto de sostenibilidad o sustentabilidad de un ecosistema agrícola se vincula a la idea de que el mismo pueda mantener o mejorar su capacidad productiva desde un punto de vista agronómico, económico y ambiental, además de mantener la calidad de los recursos involucrados (García, 2003). El suelo es un elemento central de los ecosistemas agrícolas ya que de él dependen la productividad de plantas y animales, la calidad del agua, así como los productos y la salud de la sociedad en su conjunto. Por lo cual resulta fundamental conocer el estado del suelo para evaluar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

El proceso de intensificación productiva no sostenible, el cual involucra un uso no controlado de insumos y la expansión de la agricultura hacia áreas de mayor vulnerabilidad ambiental como medios para lograr incrementos en la producción, implica, en muchos casos, un riesgo para la preservación del ambiente e incertidumbre acerca de la sostenibilidad de los sistemas productivos en el mediano y largo plazo. En Argentina este proceso ocurre simultáneamente con cambios en la tecnología y la estructura de producción, lo que ejerce presiones crecientes sobre los recursos naturales, particularmente sobre el suelo. Además, va acompañado de un avance no planificado de la frontera agrícola. Las consecuencias que origina esta forma de producción sobre los recursos naturales, y en particular el suelo, se conocen habitualmente en forma cualitativa. Los principales efectos son la compactación, las pérdidas de materia orgánica, la disminución del contenido de nutrientes, la erosión y modificaciones en la dinámica del agua del suelo. Aunque estos procesos, generalmente, no han sido cuantificados convenientemente en la mayoría de los sistemas productivos de nuestro país.

Tal como se señaló anteriormente, el suelo ocupa un lugar preponderante entre los recursos involucrados en la producción agropecuaria, por la importancia del mismo para la vida de todos los organismos. Según USDA (2011), las funciones esenciales que cumple el suelo se pueden enumerar como:

1. **Ciclado de nutrientes:** el suelo almacena y recicla nutrientes regulando su liberación. Durante los ciclos biogeoquímicos, los nutrientes pueden ser convertidos a formas disponibles para las plantas, almacenarse en el suelo, o incluso, perderse en el aire o en el agua.
2. **Relaciones suelo-agua:** el suelo puede regular el drenaje, flujo y almacenamiento de agua y solutos, que incluye nutrientes, pesticidas, y otros compuestos disueltos en el agua. Funcionando adecuadamente, el suelo separa el agua para la recarga de aguas subterráneas y aquella que queda disponible para ser utilizada por los organismos del suelo.

3. **Biodiversidad y hábitat:** el suelo permite el crecimiento de una gran variedad de plantas, animales y microorganismos del suelo, proporcionando un hábitat diverso desde el punto de vista químico, físico y biológico.
4. **Filtrado y regulación:** el suelo actúa como un filtro para proteger la calidad del agua, el aire y otros recursos. Los compuestos tóxicos o el exceso de nutrientes pueden ser degradados o se hacen no disponibles para las plantas y animales.
5. **Estabilidad física y soporte:** el suelo tiene la capacidad de mantener su estructura porosa para permitir el paso del aire y el agua, resistir la erosión, y proporcionar un medio para el anclaje de las raíces de las plantas. Los suelos también proporcionan soporte para diversas estructuras humanas y proteger los tesoros arqueológicos.

El funcionamiento de los suelos es un fenómeno de estudio complejo para ser medido directamente, por lo que se recurre al uso de indicadores para su evaluación. Es necesario que los valores que toman los indicadores estén estrechamente correlacionados con el funcionamiento del suelo para que puedan reflejarlo correctamente, por lo que su selección es un paso fundamental.

Algunas de las aplicaciones de los indicadores de sostenibilidad en la actividad agropecuaria señaladas por Sarandon (2002) son: decidir sobre la conveniencia o no de adopción de tecnologías, evaluar la introducción de un nuevo cultivo o desplazamiento a nuevas áreas, comparar diferentes sistemas de producción (orgánico vs convencional, al aire libre vs bajo cubierta) y evaluar el riesgo de un sistema de producción en el tiempo.

En un contexto de producción agropecuaria sostenible, es imprescindible incluir el concepto de calidad o salud del suelo, tomados como equivalentes (Moebius-Clune et al., 2016). La calidad del suelo ha sido definida como la capacidad del mismo de funcionar de manera equilibrada con los demás componentes de los sistemas, ya sean estos naturales o modificados por el hombre (Doran y Safley, 1997). Acton y Gregorich (1995) definen calidad de suelos como la condición de éste para mantener el crecimiento de las plantas sin que ocurra degradación ni daño en el medio ambiente. Este concepto toma las propiedades intrínsecas del suelo y sus interacciones por un lado, y por otro, las relaciones del suelo con el medio ambiente. Al incorporar el aspecto de la producción sostenida en el tiempo, implícitamente se incluye la búsqueda de estrategias de manejo que lo permitan. La salud o calidad del suelo es la aptitud de éste para soportar el crecimiento de los cultivos sin sufrir degradación o pérdida de productividad potencial. Si bien se reconoce que el suelo tiene una calidad inherente que se relaciona con sus propiedades físicas, químicas y biológicas en un ambiente determinado por el clima y los demás componentes del ecosistema, el determinante último de la calidad del suelo es el manejo de la tierra (Doran, 2002).

Para hablar de calidad de suelos se requiere que exista un balance entre las funciones del suelo para la productividad, la calidad del ambiente y la salud animal y vegetal.

Por otra parte, existe un concepto de “calidad inherente”, que podría interpretarse como calidad para la producción de una amplia gama de cultivos con buenas expectativas de rendimientos y sin provocar daños en el suelo, el agua y el aire. A este concepto debería agregarse: “en tanto el manejo y el sistema de uso de la tierra sea el adecuado para ese suelo en relación con sus propiedades”. De este modo la determinación de calidad del suelo y la evolución de la misma en el tiempo quedarían ligadas al uso y manejo de ese suelo.

En el funcionamiento de un suelo están involucradas una gran variedad de propiedades físicas, químicas y biológicas. La selección de indicadores que reflejan mejor las variaciones en el funcionamiento del agroecosistema, permite identificar aquellos que pueden ser utilizados en monitoreos de calidad de suelos.

Las variables que se utilicen como indicadores de calidad deben satisfacer ciertos requisitos como ser:

- limitados en número y manejables por diversos tipos de usuarios;
- sencillos, fáciles de medir y tener un alto grado de agregación, es decir, deben ser propiedades que resuman otras cualidades o propiedades;
- interdisciplinarios; en lo posible deberán contemplar la mayor diversidad de situaciones y por lo tanto incluir todo tipo de propiedades de los suelos (químicas, físicas, biológicas);
- tener una variación en el tiempo tal que sea posible realizar un seguimiento de las mismas, asimismo, no deberán poseer una sensibilidad alta a los cambios climáticos y/o ambientales, pero la suficiente como para detectar los cambios producidos por el uso y manejo de los recursos;
- tener consistencia en la dirección del cambio provocado por la aplicación del agente de degradación y
- tener habilidad para reflejar diferentes grados de degradación.
- ser fáciles de medir e interpretar y ser accesibles a muchos usuarios.

Estos requisitos son analizados y sintetizados en la revisión de Büinemann et al. (2018) y evaluados en diferentes eco regiones de la República Argentina por Wilson (2017).

En relación a la selección de indicadores, diversos autores (Doran y Parkin, 1994; Arshad y Martin, 2002) proponen un conjunto mínimo de datos a ser utilizado para evaluar calidad, entre los que citan factores físicos (textura, profundidad de exploración radicular, densidad aparente, infiltración y capacidad de retención de agua), químicos (pH, C orgánico, conductividad eléctrica, nivel de nutrientes) y biológicos (C y N de la biomasa microbiana, potencial de mineralización de N y respiración). Northcliff (2002) sugiere que los atributos que pueden medirse como indicadores de calidad de suelos pueden ser físicos, como textura, densidad aparente, porosidad, estabilidad al agua de los agregados estructurales, encostramiento, compactación y espesor de la capa arable; químicos, como pH, salinidad, aireación, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, nivel de nutrientes, concentración de sustancias tóxicas y capacidad del suelo para atemperar los cambios; y biológicos, muy dinámicos y extremadamente sensibles, entre los que cita mediciones de población (micro, meso y macro organismos), tasa de respiración, caracterización de materia orgánica y otros indicadores de actividad microbiana. Queda claro entonces que un componente importante de la evaluación de la calidad del suelo es la identificación de un conjunto de atributos sensibles del suelo que reflejen su capacidad de funcionar y puedan utilizarse como indicadores de la calidad del suelo. Debido a que el manejo por lo general sólo tiene efectos limitados a corto plazo sobre propiedades inherentes como la textura y la mineralogía, se necesitan otros indicadores, incluidos los biológicos.

Rodrigues de Lima et al. (2008) sostienen que no hay consenso en la definición de un conjunto mínimo de datos para monitorear calidad de suelos, en parte, debido a que el monitoreo es específico de cada sitio y depende del propósito de uso de la tierra. Por

lo cual proponen generar un conjunto mínimo de datos para ser usados a nivel regional, y que permita discriminar entre prácticas de manejo en una misma clase de suelo. Para el monitoreo de calidad de los suelos, Arshad y Martin (2002) sugieren que se conduzcan estudios para diferentes zonas agroecológicas sobre tipos de suelos similares. Estudios realizados en distintas regiones revelan que las prácticas más adecuadas y el impacto de las mismas para cada ambiente difieren según el suelo en el que se trabaje (Fabrizzi et al., 2009; Arieche - Luna y Ruiz - Dager, 2010; Kaschuk et al., 2010; Kaschuk et al., 2011; Wilson, 2017).

Entre las variables físicas más frecuentemente incorporadas en estudios de calidad de suelos se destacan la capacidad de almacenaje de agua, la densidad, la textura, la estabilidad de la estructura y la profundidad de la capa arable (Bünemann et al. 2018).

Se ha sugerido que el nivel de materia orgánica (MO) del suelo podría ser el indicador universal de calidad de suelos (Doran, 2002). Se ha incluido esta variable en más del 90% de los trabajos en los que se proponen indicadores para integrar un set mínimo de indicadores de calidad (Bünemann et al. 2018). La MO podría ser un indicador apropiado, pero, solo si se la considera junto a otras propiedades relacionadas que se ajusten más precisamente a la calidad del suelo en relación a funciones específicas. Numerosos trabajos señalan que los cambios en el nivel de MO de un suelo ocurren muy lentamente, por lo que no se muestra como un indicador sensible y por lo tanto no es capaz de registrar ágilmente el impacto de las prácticas de manejo (Astier- Calderon et al., 2002; Marinari et al., 2006). Los pooles de materia orgánica del suelo como el carbono activo o lábil suelen ser más sensibles a las perturbaciones que la materia orgánica total del suelo y pueden dar una mejor indicación sobre los procesos del suelo.

Las variables biológicas son más sensibles y responden mejor al efecto benéfico de la aplicación de algunas prácticas de manejo comparadas con variables químicas y físicas (Biederbeck et al., 2005). Gil-Sotres et al. (2005) señalan que las variables físicas y físico-químicas muestran modificaciones solamente cuando el suelo ha sufrido un cambio muy marcado. Por lo tanto, cuando se pretende evaluar la sustentabilidad de las funciones naturales de un suelo y sus diferentes usos, los indicadores de calidad deben incluir parámetros biológicos o bioquímicos. Según Etcheverría et al. (1993), la cuantificación de variables biológicas es adecuada para indicar la tendencia de un suelo a aumentar o disminuir el nivel de materia orgánica y, por consiguiente, reflejar rápidamente el efecto que producen los cambios de manejo. Las transformaciones bioquímicas llevadas a cabo con la activa participación de las enzimas, pueden preceder a cambios detectables en propiedades físicas y químicas, constituyendo una alerta sobre la degradación que sufre el suelo y un signo temprano de su recuperación (Kandeler et al., 1999). Los microorganismos son indicadores sensibles, ya que responden a prácticas de manejo de suelos en cortos períodos de tiempo (meses, años) y resultan de fácil evaluación. Un solo indicador no permite inferir lo acontecido en un sistema determinado, por lo que es conveniente recurrir a cuantificar un conjunto de indicadores que sean complementarios entre sí (Northcliff, 2002; Frioni et al., 2003).

Una forma de cuantificar los microorganismos del suelo es la determinación de la biomasa microbiana (BM), la que representa la fracción viva de la MO. Su determinación es doblemente importante ya que no solo es catalizador primario de procesos biogeoquímicos, sino también una reserva nutritiva y energética. Es un componente lábil de la MO que constituye aproximadamente el 3% del C orgánico y el 5 % del N

total. Cumple una serie de funciones críticas en el ecosistema suelo como, por ejemplo: es tanto destino como fuente de nutrientes, participa en los ciclos del C, N, S, P entre otros nutrientes, cumple un rol activo en la descomposición de xenobióticos e inmovilización de metales pesados, participa en la estructuración del suelo, entre otras (Bueno dos Reis y Carvalho Mendes, 2007). Dada la función clave que cumple, no es extraño que haya sido ampliamente utilizada como indicador biológico de los efectos que diversas prácticas de manejo tienen sobre el suelo. Los métodos de medición de biomasa microbiana están lo suficientemente probados como para incluirlos entre los índices de rutina en la determinación de calidad. Dos métodos de medición de biomasa microbiana han sido incluidos en NORMAS ISO de determinaciones de calidad de suelos (ISO 14240- 1 y 2, 1997). La BM ha sido propuesta dentro de un número mínimo de indicadores para evaluar la calidad de suelos por algunos autores (Astier- Calderón et al., 2002) y es una de las variables que se incluyen habitualmente en Programas de monitoreo de suelos en Europa (Nielsen y Winding, 2002). En una revisión sobre las variables biológicas propuestas en sets mínimos de indicadores, la BM está presente en aproximadamente 28% de los estudios (Bünemann et al. 2018).

También se han utilizado otros indicadores para la caracterización de suelos bajo diferentes manejos, tales como aquellos que reflejan la capacidad de suministro de N. Entre ellos, se ha trabajado en determinaciones de N de la BM (NBM), N potencialmente mineralizable, o el N activo del suelo por dilución isotópica (Duxbury y Nkambule, 1994). Nuestro equipo de trabajo encontró una marcada asociación entre las mediciones de N potencialmente mineralizable y el N mineralizado en incubaciones anaeróbicas de 7 días (Benintende y Benintende, 2013). En diversos programas de monitoreo se propone al potencial de mineralización del N, junto a otros indicadores biológicos de calidad, dentro del conjunto mínimo de datos de indicadores biológicos para monitoreo de calidad de suelos (Nielsen y Winding, 2002, Bünemann et al. 2018). Astier- Calderon et al. (2002) comparan los tiempos requeridos para percibir cambios por degradaciones o mejoría de los suelos en indicadores físicos, químicos y biológicos, y señalan que el C orgánico es un indicador que toma más de 10 años en detectar el cambio, mientras que el N mineralizable refleja los cambios en menos de 2 años. Tanto la biomasa microbiana como el N mineralizable han sido seleccionados como indicadores adecuados para reflejar diferentes niveles de degradación de suelos de la provincia de Entre Ríos (Benintende et al. 2017)

Para que un conjunto de indicadores pueda ser incluido en un programa de monitoreo de calidad de suelos es necesario establecer sus niveles críticos, los que pueden ser definidos como el rango de valores deseables para un indicador, dentro de los cuales debe ser mantenido para el normal funcionamiento del suelo (Arshad y Martin, 2002). Para el establecimiento de los niveles de referencia se parte de niveles “ideales” para cada suelo, considerando estos niveles asociados a valores de los indicadores en suelos “nativos” o suelos que se consideran como suelos de referencia con buena calidad de suelos, donde se maximicen rendimientos conservando el medio ambiente (Rutgers et al., 2008; Carvalho Mendes et al., 2009). La determinación de estos límites implica la generación de valores de base de cada indicador seleccionado en cada zona agroecológica para la que se realiza el estudio, además de establecer los porcentajes tolerables de crecimiento o decrecimiento del indicador con respecto a este valor de base. Los umbrales de las variables indicadoras para gran parte de las funciones del suelo están ausentes en la mayoría de los trabajos sobre calidad.

En un trabajo sobre indicadores físicos, químicos y físico-químicos, Cantu et al. (2007) tuvieron en cuenta umbrales calculados a partir de los valores de los suelos de referencia, mientras que en otros se utilizaron criterios teóricos.

El grupo de investigación que realiza esta propuesta de trabajo, ha encontrado que la biomasa microbiana, el N-IA, la estabilidad de macroagregados, como así también el contenido de C almacenado en macroagregados, son indicadores sensibles a prácticas de manejo en Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos (Novelli et al., 2011; Benintende et al., 2017).

Para la provincia de Entre Ríos existen mediciones de las variables biológicas, químicas y físicas que constituyen una base a partir de las que podemos iniciar el trabajo para la generación de un set de indicadores de calidad junto a sus niveles de referencia. Sin embargo, si no se proporciona un sistema de interpretación, los indicadores no pueden utilizarse en la práctica. Tanto para utilizar los indicadores, como para traducir la interpretación en un asesoramiento adecuado en materia de gestión y políticas respecto del mantenimiento de la calidad de los suelos, es necesario generar a nivel zonal este sistema de interpretación.

Hipótesis o Justificación

Las mediciones e información de variables indicadoras disponibles para áreas de suelos Molisoles y Vertisoles de la Provincia de Entre Ríos permiten generar niveles de referencia y un sistema de interpretación para la evaluación de calidad de suelos en sistemas de manejo agropecuario.

Impacto socioeconómico, tecnológico y ambiental en el campo, área o temática

Desde este proyecto pretendemos desarrollar una herramienta tecnológica al alcance de profesionales y productores que desarrollan sus actividades en el ámbito de la Provincia de Entre Ríos para poder evaluar suelos respecto de la alteración de su calidad. La misma se desarrolla a partir de la incorporación de variables físicas, químicas y biológicas que pueden detectar alteraciones en la capacidad de los suelos para el cumplimiento de funciones específicas. Las variables indicadoras son integradas a un sistema simplificado y accesible a muchos usuarios para la interpretación de las condiciones de los suelos a nivel predial.

Objetivos

General

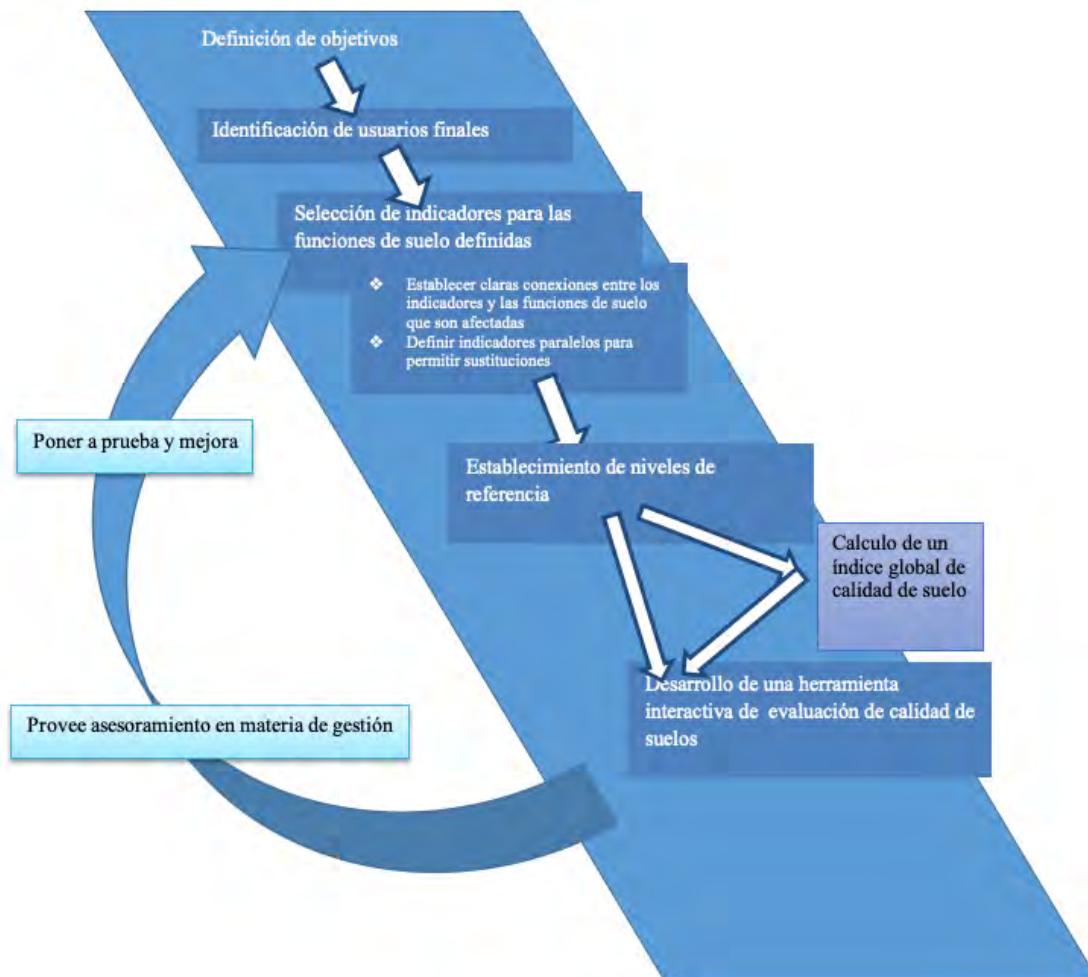
- Desarrollar un sistema de interpretación para un set mínimo de indicadores de calidad o salud de suelo que permita monitorear el impacto de las prácticas de manejo sobre suelos en las principales zonas agroecológicas de Entre Ríos.

Específicos

- Seleccionar un set mínimo de variables químicas, físicas y biológicas que puedan incluirse en un índice para la evaluación de la calidad de los agroecosistemas.
- Establecer sus niveles de referencia para dos zonas agroecológicas de la Provincia de Entre Ríos e integrarlos en índices.
- Desarrollar un sistema para interpretar las mediciones de los indicadores a nivel predial y monitorear la calidad de suelos en la Provincia de Entre Ríos.

Metodología para alcanzar los objetivos

Para el desarrollo de este Proyecto se plantean etapas basadas en el gráfico de Büñemann et al. (2018) en el que se muestran pasos para el desarrollo de un enfoque de evaluación de la calidad del suelo que se ha adaptado a esta propuesta.



Esta propuesta se desarrolló sobre suelos que tienen como destino actividades agropecuarias del área de la Provincia de Entre Ríos que ocupan los suelos de los órdenes Molisol y Vertisol.

En una primera etapa se definieron los indicadores de calidad que podrán integrar la herramienta de evaluación. Se utilizó un enfoque participativo para seleccionar indicadores del suelo de una lista de indicadores potenciales de acuerdo a las metodologías descriptas por Ritz et al. (2009) y Stone et al. (2016). Se trabajó, inicialmente, a partir de un listado sintetizado de Büñemann et al. (2018) quienes identifican los indicadores de calidad más frecuentemente utilizados en 62 publicaciones sobre el tema.

Para la generación de los niveles de referencia, se trabajó a partir del establecimiento de funciones de puntuación no lineales estándar, que, para la ciencia del suelo normalmente presentan una de las siguientes formas: i) más es mejor, ii) rango óptimo, iii) menos es mejor. La forma de esas curvas se establece sobre la base de una com-

binación de valores literarios y juicios de expertos (Andrews et al., 2004). Además, se chequearon los valores de algunas de las variables en el Laboratorio de Microbiología Agrícola de la FCA UNER, que cuenta con el equipamiento adecuado para realizar estas mediciones.

Se trabajó con curvas de puntuación basadas en datos regionales, donde las puntuaciones son relativas a los valores medidos en la región de estudio. Luego, cada medición de indicadores se transformó en un valor entre 0 y 100 utilizando un algoritmo de puntuación (Karlen y Stott, 1994). El valor de referencia se estableció entre los valores umbrales.

Se calculó un índice compuesto de calidad de suelos a partir de las funciones afectadas por la degradación.

Finalmente, para facilitar la adopción del sistema, se dejaron plasmados los aspectos a tener en cuenta para el desarrollo de una herramienta interactiva en la que se utilizará una codificación por colores para diferentes los indicadores por sí solos o agregados según las funciones del suelo. La aplicación de la herramienta en diferentes lotes, permitirá poner a prueba la herramienta desarrollada y retroalimentará el proceso permitiendo corregir defectos.

Resultados

Selección de variables indicadoras para suelos Molisoles y Vertisoles de Entre Ríos

Para realizar la selección de las variables químicas y biológicas utilizamos una matriz de priorización, sobre la cual se trabajó por medio de reuniones del equipo de trabajo del PID.

Se le dio un peso diferencial a cada uno de los criterios y se les asignó un valor de ponderación. En las reuniones del equipo de investigación se asignaron valores a cada variable. En esta etapa, fue de gran utilidad la experiencia que los integrantes del PID volcaron en las jornadas de discusión.

Cada valor asignado fue multiplicado por el valor de ponderación. Luego, sumamos los puntajes ponderados asignados a cada criterio por cada una de las variables y realizamos la priorización a partir del mayor puntaje alcanzado.

Para seleccionar posibles variables físicas a incorporar en el sistema de monitoreo de suelos y dadas las características del equipo de investigación en el cual no hay especialistas en el tema, se consultó con colegas que sí lo son en suelos de nuestra provincia. A partir de estas consultas se consideró que las variables físicas a incorporadas en esta primera aproximación en el proyecto, fueron: - profundidad enraizable (Profundidad del horizonte A, Ap.), - caracterización visual *in situ* de la estructura del horizonte superficial (variable cualitativa) y - estabilidad de los agregados según el método de tamizado en húmedo (EEH).

Con las variables que consideramos que se podían incorporar en primera instancia en nuestra propuesta de sistema de monitoreo, hicimos un análisis sobre la capacidad del conjunto de variables para reflejar cambios del suelo para cumplir funciones clave. En la Tabla 1 se muestra el resultado de este trabajo.

Tabla 1. Matriz de variables seleccionadas en relación a las funciones que reflejan del suelo fue:

Funciones del suelo	Biológicas		Químicas						Físicas		
	CBM	NAN	Corg.	Ntot	pH	CIC	PSI	CE	Horizonte A	Estructuración	Estabilidad
Ciclado de nutrientes	X	X	X	X	X	X					
Capacidad de suministro de agua				X			X		X	X	X
Biodiversidad y hábitat	X		X	X	X			X		X	
Filtrado y regulación	X		X	X	X	X		X			
Estabilidad física y soporte				X			X		X	X	X

CBM: Carbono de la Biomasa Microbiana, NAN: Nitrógeno Mineralizable por Incubaciones Anaeróbicas, Resp.: Actividad Respiratoria, CIC: Capacidad de intercambio Catiónico, Ntot: Nitrógeno total, Corg., PSI: porcentaje de sodio intercambiable, PSI: porcentaje de sodio intercambiable, CE: conductividad eléctrica, Horizonte A: profundidad del Horizonte A, Estructuración: caracterización visual de propiedades físicas de suelo y Estabilidad: estabilidad de los agregados según el método de tamizado en húmedo.

Generación y chequeo de valores de referencia para las variables seleccionadas. Análisis e interpretación de resultados

Para incorporar los datos y los análisis realizados en el último año de proyecto, hemos rescatado los puntos más importantes de la metodología para que hubiera una continuidad en la presentación de los resultados obtenidos.

Generación de valores de referencia

Para establecer niveles críticos de las variables C orgánico (Corg), N total (NT), relación C/N, pH al agua, capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), porcentaje de Na intercambiable (PSI) y profundidad del horizonte A (Ap), se trabajó a partir de datos de las cartas de suelo de la Provincia de Entre Ríos. Las variables biológicas N mineralizable medido por incubaciones anaeróbicas (NAN), C de la biomasa microbiana (CBM) y la respiración (Resp.) fueron obtenidas de datos de trabajos previos de este grupo de investigación. En esta primera instancia de la investigación se generaron niveles de referencia a nivel de orden. Se decidió trabajar con la Mediana para evitar efectos distorsivos en los casos que se presentaran valores atípicos.

Para realizar gráficos unificados se procede a relativizar los valores de los cuartiles en relación a la mediana (Tabla 2).

Tabla 2. Proporción de las variables químicas medidas en los perfiles modales para los cuartiles establecidos en relación a la Mediana.

Orden	Quartiles	Variables						
		Corg	NT	C/N	pH	CIC	CE	PSI
VERTISOL	Q3	1,15	1,17	1,08	1,11	1,08	1,53	1,02
	Q2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Q1	0,86	0,87	0,93	0,89	0,88	0,55	0,42
MOLISOL	Q3	1,16	1,15	1,12	1,07	1,16	1,25	1,30
	Q2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Q1	0,86	0,85	0,94	0,93	0,85	0,49	0,70
ALFISOL	Q3	1,15	1,35	1,18	1,05	1,13	1,03	1,35
	Q2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Q1	0,90	0,85	0,91	0,94	0,88	0,30	0,65

Con las variables biológicas se trabajó de la misma manera que con las anteriores.

Tabla 3. Proporción de las variables biológicas de los perfiles modales para los cuartiles establecidos en relación a la Mediana.

Orden	Quartiles	Variables		
		CBM	NAN	Resp
VERTISOL	Q3	1,06	1,15	1,45
	Q2	1,00	1,00	1,00
	Q1	0,86	0,85	0,79
MOLISOL	Q3	1,16	1,06	1,26
	Q2	1,00	1,00	1,00
	Q1	0,72	0,89	0,50
ALFISOL	Q3	1,25	1,48	1,46
	Q2	1,00	1,00	1,00
	Q1	0,76	0,69	0,53

Con estos valores que representaron los valores de los perfiles modales de las series que incluyen los tres órdenes de suelo construimos gráficos para evaluar orientativamente la calidad de los lotes.

Se separaron las variables en tres grupos de acuerdo a que si el mejoramiento de la calidad del suelo se percibe por incrementos, decrementos u oscilación entre ciertos valores de cada una de las variables.

Entre las variables cuyos valores dan idea de “más es mejor” agrupamos a: Corg, NT, CIC, Ap, CBM, NAN y Resp. (esta variable no siempre se comporta de esta manera en todos los casos). Entre las variables cuyos valores dan idea de “menos es mejor” agrupamos a: CE y PSI. Y entre las variables que siguen un patrón de intervalo óptimo agrupamos a: pH y C/N. De acuerdo a este agrupamiento se realizan tres gráficos que

presentan las variables (Figura 1, Figura 2 y Figura 3).

Se presentan a continuación los gráficos preparados para los órdenes Molisol y Vertisol.

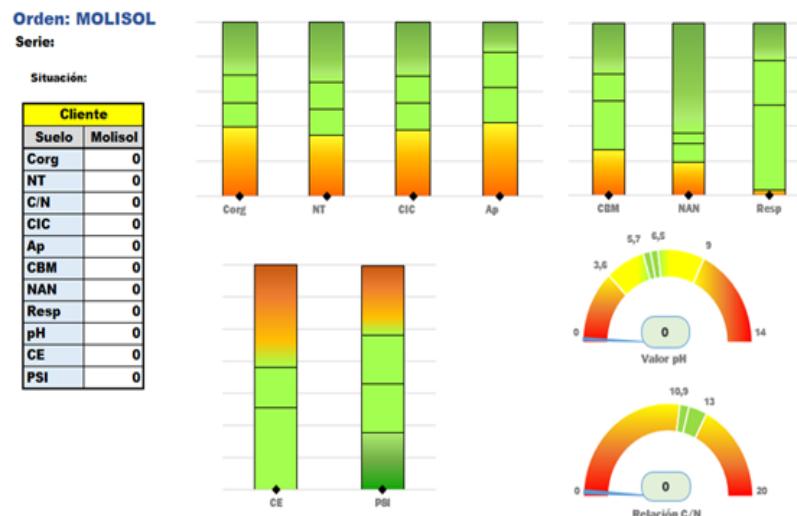


Figura 1. Gráficos para cada una de las variables indicadoras de calidad de suelos generados con los niveles críticos establecidos para el orden MOLISOL.

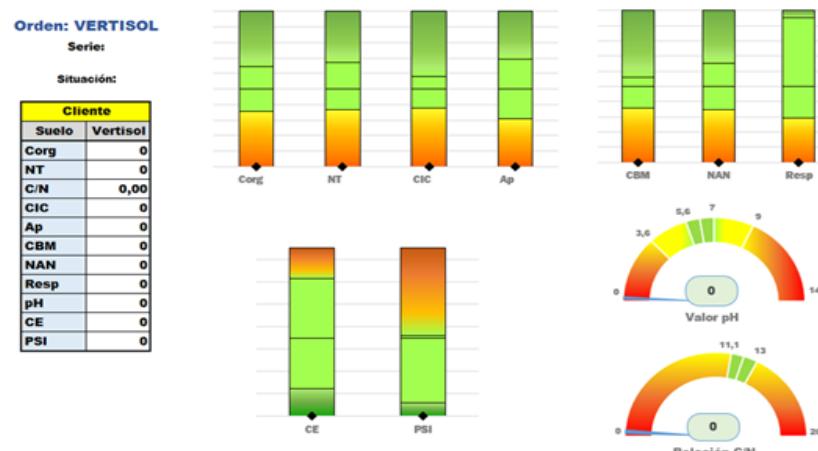


Figura 2. Gráficos para cada una de las variables indicadoras de calidad de suelos generados con los niveles críticos establecidos para el orden VERTISOL.

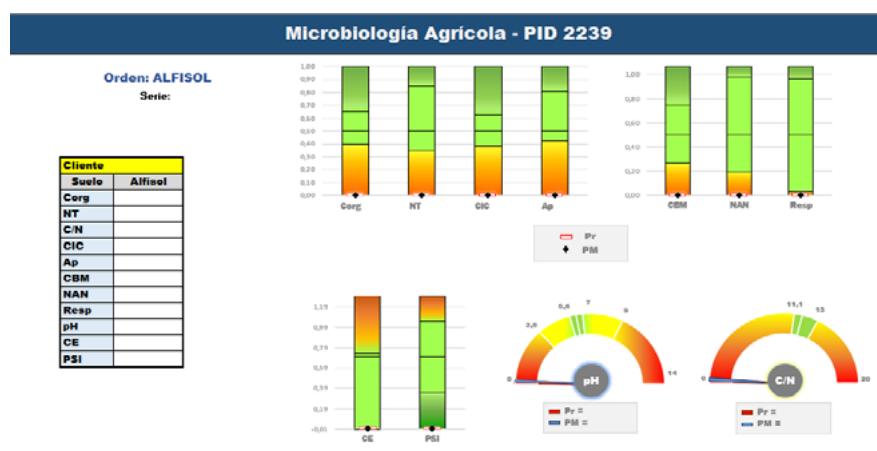


Figura 3. Gráficos para cada una de las variables indicadoras de calidad de suelos generados con los niveles críticos establecidos para el orden ALFISOL.

Chequeo de valores tomados para cada serie de suelo

Los gráficos propuestos permitirán visualizar la condición del suelo que se desea conocer, cargando en una planilla de cálculo el valor de cada una de las variables de la muestra que se está analizando.

Para realizar un chequeo del funcionamiento de estos gráficos se seleccionaron sitios de la Provincia de Entre Ríos en los que se encuentran 2-3 series tipo de cada uno de los subgrupos de suelo mayoritariamente distribuidos en las áreas productivas de la Provincia. Cabe destacar que hemos circunscripto nuestra etapa de chequeo a los Órdenes Molisol y Vertisol. Si bien deseábamos incluir el orden Alfisol en el desarrollo de la Aplicación informática, los escasos recursos con los que contamos para las determinaciones de laboratorio han impedido incluir este orden. En la Tabla 3 se presentan las series seleccionadas.

Tabla 3. Ubicación de las series de suelos muestreadas para el orden Molisol y Vertisol.

Orden	Subgrupo	Series muestreadas
MOLISOL	Argiudolácuico	Tezanos Pinto La Emiliana
	Argiudolvértico	Crespo Escriña
VERTISOL	Peluderteárgico	María Dolores Santiago La Concordia
	Peluderteargiudólico	La Paulina San Simón Sauce Pinto
	Peluderteargiacuolico	Yeruá General Campos

A continuación se presentan los resultados encontrados del chequeo en cada una de las series muestreadas. En cada serie se trabajó con dos situaciones: una en la que se muestreó un sitio lo más cercano a una **situación prística Pr.** (bajo alambrado de muchos años, monte nativo, arboledas, entre otros) y otra, relacionada a una **práctica de manejo PM.**

A continuación se muestra para Pr. y PM en cada serie de suelos: i) ubicación del sitio de muestreo (georreferenciación), ii) estabilidad de agregados, iii) estructura del horizonte superficial: caracterización visual in situ y iv) chequeo de valores tomados para cada sitio donde se indica la posición que toman las variables en Pr. y PM en relación a los valores de referencia. De esta manera se muestra con una serie de imágenes cómo ha funcionado este chequeo para todas las series de suelos muestreadas:

ORDEN: MOLISOL

SUBGRUPO: ARGIUDOL ACUICO

SERIE: TEZANOS PINTO

I) MAPA DE UBICACIÓN

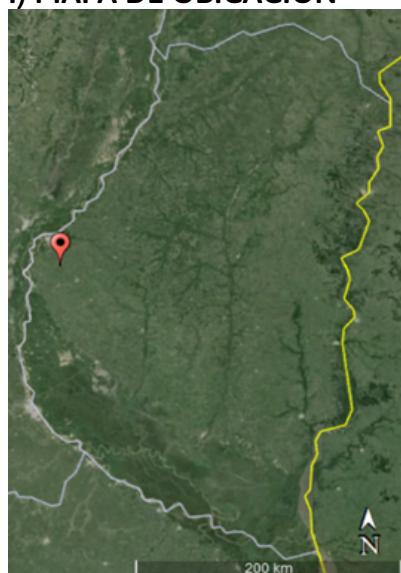


Figura 4. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 31°55'49.11"S - 60°26'16.04"O.
PM: 31°55'39.50"S - 60°26'18.76"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 3,38 mm

PM: 1,73 mm

La EEH mostró resultados según lo esperado: mayores diámetros de agregados en Pr. y menores diámetros de agregados para PM.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTORIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Bajo Alambrado.

Horizonte A: 18 a 19 cm.

Facilidad de ruptura (suelo húmedo): los agregados se deshacen fácilmente con los dedos (Ce1).

Tamaño y apariencia de los agregados: Los tamaños son menores a 6 mm. Agregados finos (Ce1)

Desarrollo de raíces: las raíces ocuparon el Horizonte A y continuaron al horizonte siguiente (Ce1).

**A**

PM: Situación Agrícola (Media loma, cultivo de trigo)

Horizonte A: 12-13 cm.

Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Se deshace fácil con la mano (Ce1).

Desarrollo de raíces: Raíces en toda la profundidad (Ce1).

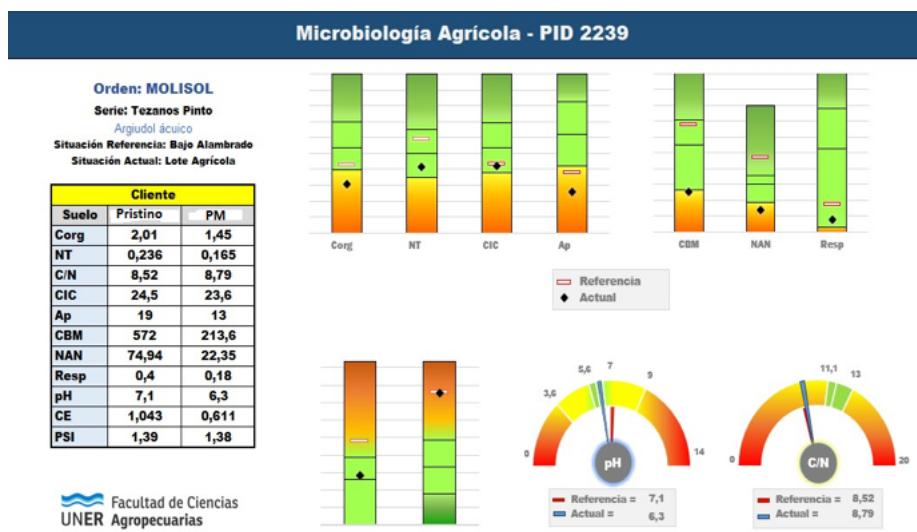
**B**

Figura 5. Chequeo de valores para las variables físicas, químicas y biológicas en Serie Tezanos Pinto. Línea blanca: Referencia. Prístino (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

El sitio muestreado en estado Pr., ubica a las variables cuyo comportamiento es del tipo: “más es mejor” por encima del 1^{er}. cuartil, excepto para Ap. Para el sitio PM, las mismas variables toman valores menores, mostrando el efecto del manejo. La CE y el PSI, variables cuyo comportamiento es del tipo “menos es mejor”, tomaron valores inusuales en los sitios Pr., y tampoco mostraron variación lógica de acuerdo a lo esperado por la aplicación de la PM. Sin embargo, deseamos señalar que la PM evaluada en este sitio no debería impactar sustancialmente en la modificación de estas variables.

Para las variables que presentan los valores en un rango óptimo (pH y C/N), los valores determinados en Pr. no estuvieron en dichos rangos.

ORDEN: MOLISOL

SUBGRUPO: ARGIUUDOL ACUICO

SERIE: LA EMILIANA

I) MAPA DE UBICACIÓN

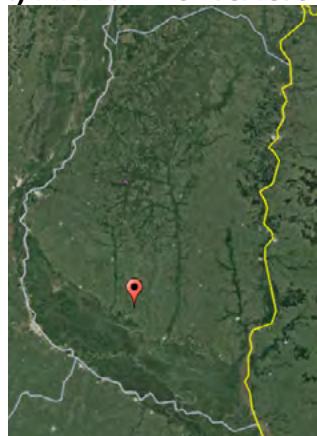


Figura 6. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 32°50'43.73"S - 59°36'28.37"O
PM: 32°50'43.67"S - 59°36'24.48"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 1,72 mm

PM: 1,18 mm

La EEH mostró mayores diámetros de agregados en Pr. y menores diámetros de agregados para PM.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr: Arboleda

Horizonte A: 27 cm.

a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)

b) Tamaño y apariencia de los agregados: Principalmente de tamaño menor a 6 mm después de desmenuzarse (Ce1)



C

PM: agrícola (Cultivo Actual: Trigo. Cultivo Antecesor: Soja).

Horizonte A: 0- 12 cm.

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Principalmente de tamaño menor a 6 mm después de desmenuzarse (Ce1)
- e) Características distintivas: Suelo seco.



D

No se observa que la PM se traduzca en variaciones en la caracterización visual de propiedades físicas de suelo. Posiblemente en suelos muy secos esta apreciación se torna mucho más dificultosa que en condiciones de humedad óptima.

Hay diferencia en la profundidad del horizonte A entre ambas situaciones, siendo la profundidad mayor en Pr.

IV) CHEQUEO DE VALORES

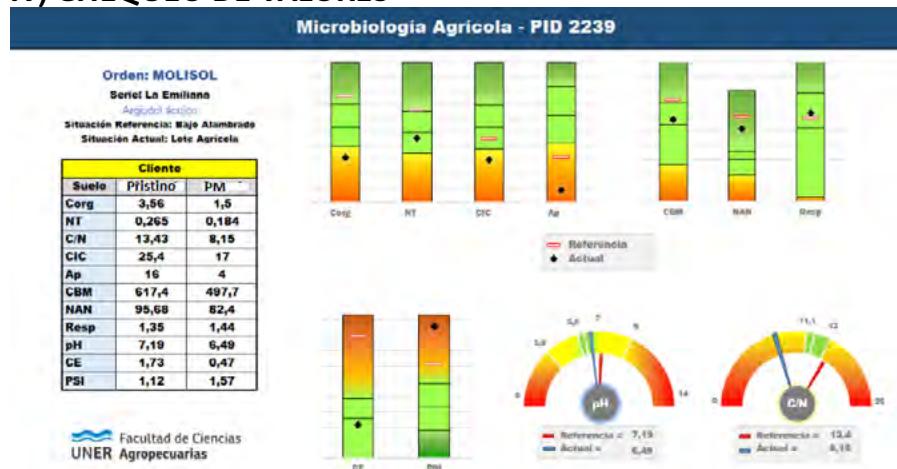


Figura 7. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie La Emiliana. Línea blanca: Referencia. Prístico (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

El sitio muestreado correspondiente al estado Pr., se ubica en las variables bajo el concepto: “más es mejor” por encima del 1^{er} cuartil, excepto para Ap. En PM, en las mismas variables, a excepción de Resp., se observa un descenso de los valores mostrando de alguna manera el efecto de la PM. La CE y el PSI de Pr. no se encuentran ubicados en la zona correspondiente al óptimo ni muestran variación lógica de acuerdo a PM.

Para las variables de rango óptimo C/N y pH, los valores de Pr. estuvieron cercanos al óptimo sin embargo el valor de pH para PM no fue el esperado.

ORDEN: MOLISOL

SUBGRUPO: ARGUDOL VÉRTICO

SERIE: CRESPO

I) MAPA DE UBICACIÓN



Figura 8. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 32° 3'52.06"S - 60°20'29.14"E
PM: 32° 3'52.96"S - 60°20'22.34"E

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 2,18 mm

PM: 0,64 mm

La EEH mostró mayores diámetros de agregados en Pr. y menores diámetros de agregados para PM.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Bajo Alambrado.

Horizonte A: 0-21 cm

a) Facilidad de ruptura: calidad de estructura: Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2), no es difícil de romper (Ce3)

b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3).



E

PM: lote agrícola: rotación del lote Trigo/Soya - Maíz (muestreo cultivo de trigo).

Horizonte A: 0-14 cm.

a) Facilidad de ruptura: calidad de estructura: Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2), no es difícil de romper (Ce3)

b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3).



F

No se observa que PM se traduzca en variaciones en la caracterización visual de propiedades físicas de suelo.

Se encontraron diferencias en la profundidad del Horizonte A, siendo mayor en la situación Pr.

IV) CHEQUEO DE VALORES

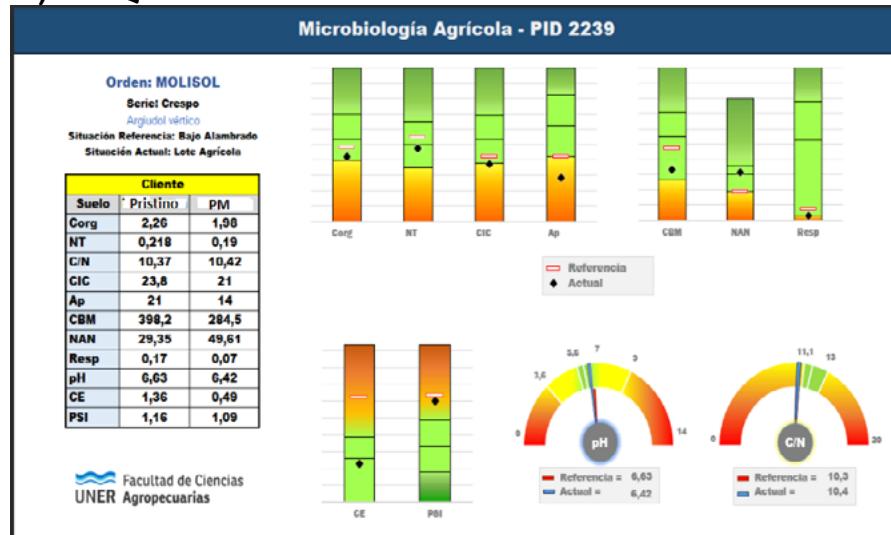


Figura 9. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie Crespo. Línea blanca: Referencia. Prístino (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

El sitio Pr., se ubica en las variables cuyo comportamiento es del tipo: “más es mejor” por encima del 1^{er}. cuartil. Para las mismas variables en PM se observa un descenso de los valores, mostrando el efecto del manejo. La CE y el PSI de Pr. no se encuentran ubicados en la zona correspondiente al óptimo ni muestran variación lógica de acuerdo a PM.

Las variables pH y C/N, ubican el sitio Pr. y PM cerca del intervalo óptimo. La relación C/N no muestra variación entre las situaciones

ORDEN: MOLISOL

SUBGRUPO: ARGUDOL VÉRTICO

SERIE: ESCRIÑA

I) MAPA DE UBICACIÓN

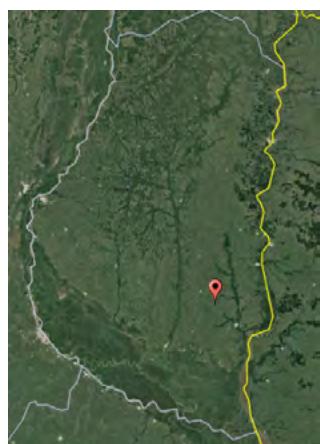


Figura 10. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 32°48'35.66"S - 58°44'25.01"O
PM: 32°48'43.76"S - 58°44'22.94"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 4,18 mm

PM: 2,89 mm

La EEH reflejó mayor estabilidad de agregados en Pr. y menor en PM.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Área Natural Inalterada

Horizonte A: 0-18 cm.

- Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)
- Tamaño y apariencia de los agregados: Principalmente de tamaño menor a 6 mm después de desmenuzarse (Ce1)
- Característica distintiva: Muy seco



G

PM: Lote agrícola Cultivo antecesor Maíz. Rotación Trigo/soja-Maíz.

Horizonte A: 10 cm.

- Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)
- Tamaño y apariencia de los agregados: Principalmente de tamaño menor a 6 mm después de desmenuzarse (Ce1)
- Característica distintiva: presenta humedad.



H

No se observa que el efecto del manejo se traduzca en variaciones en la caracterización visual de propiedades físicas de suelo.

Se observan diferencias en la profundidad del Horizonte A entre ambas situaciones, siendo mayor la profundidad en la situación Pr.

IV) CHEQUEO DE VALORES

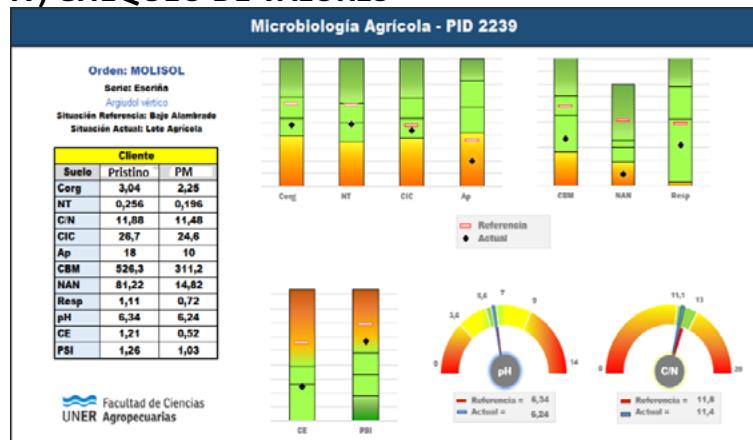


Figura 11. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie Escriña. Línea blanca: Referencia. Prístino (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

El sitio muestreado correspondiente a Pr. se ubicó para las variables del tipo “más es mejor” por encima del 1^{er}. cuartil excepto para la variable profundidad del Ap. En estas mismas variables se muestra un descenso de los valores para PM mostrando el efecto del manejo. La CE y el PSI de Pr. y PM no se encuentran ubicados en la zona correspondiente a lo esperado ni muestran variación lógica de acuerdo al manejo aplicado.

Las variables pH y C/N, ubican a Pr. dentro del intervalo óptimo no mostrando diferencias con PM.

ORDEN: VERTISOL

SUBGRUPO: PELUDERTE ARGICO

SERIE: MARIA DOLORES

I) MAPA DE UBICACIÓN

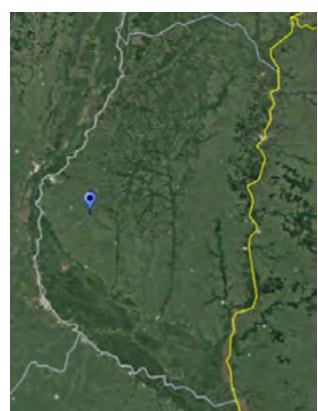


Figura 12. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 32° 6'34.73"S - 60° 5'15.60"O
PM: 32° 6'34.97"S - 60° 5'21.03"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 4,03 mm

PM: 2,26 mm

La EEH también mostró mejor diámetro de agregados en Pr. que en PM.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Bajo Alambrado

Horizonte A: 9,5 cm

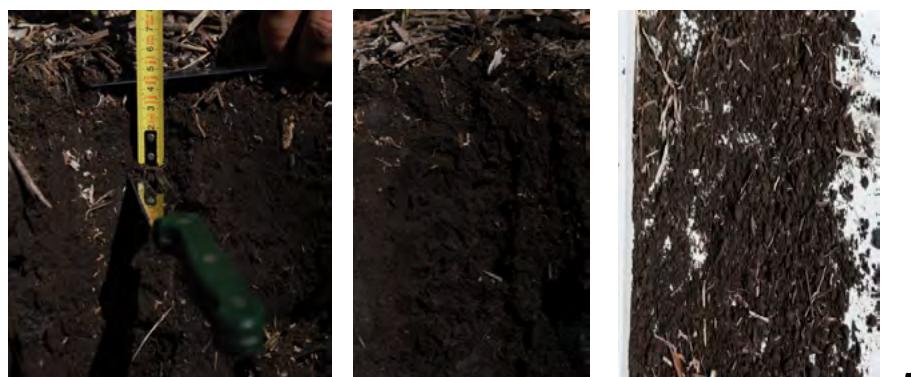
- a) Facilidad de ruptura: Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Principalmente de tamaño menor a 6 mm después de desmenuzarse (Ce1).



PM: Media Loma, erosionada, lote con cultivo antecesor de sorgo.

Horizonte A: 4 cm.

- a) Facilidad de ruptura: los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: una mezcla de agregados porosos y redondeados de 2-70 mm. No hay terrones presentes (Ce2)



Se observa diferencia entre ambas situaciones en el Horizonte A, con una mayor profundidad en la situación Pr.

IV) CHEQUEO DE VALORES

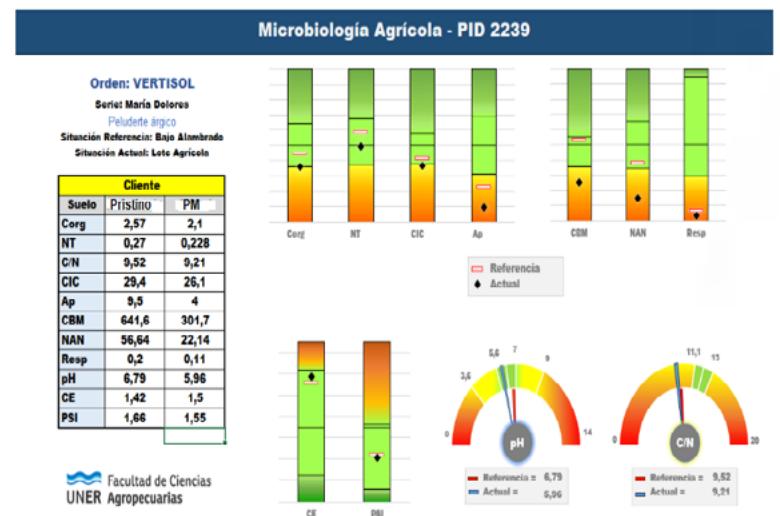


Figura 13. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie María Dolores. Línea blanca: Referencia. Prístino (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

En el sitio Pr. las variables del tipo “más es mejor” se ubican por encima o cercanas al 1er. cuartil excepto para la variable Resp. y Ap. En PM las variables CE y PSI se comportaron erráticamente. La C/N en ambos sitios se modificó levemente.

ORDEN: VERTISOL

SUBGRUPO: PELUDERTE ARGICO

SERIE: SANTIAGO

I) MAPA DE UBICACIÓN

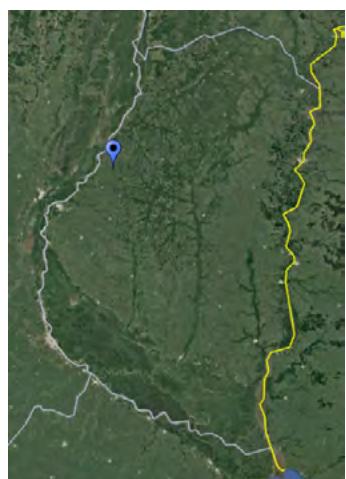


Figura 14. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 31°24'56.77"S - 59°57'4.38"O
 PM: 31°24'52.83"S - 59°57'4.86"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: SD

PM: 4,65 mm

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Bajo Alambrado

Horizonte A: 17 cm

- a) Facilidad de ruptura: No es difícil de romper (Ce3).
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3).
- c) Porosidad visible: Existen macroporos y grietas. Alguna porosidad dentro de los agregados se muestra como poros o raíces (Ce3).
- d) Desarrollo de raíces: La mayoría de las raíces están alrededor de los agregados (Ce3).

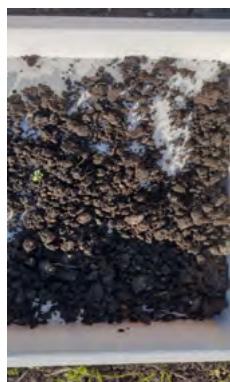


K

PM: Actualmente el lote tiene implantado una pastura de primer año con raigrás, anteriormente el lote tenía implantado un maíz.

Horizonte A: 6 cm

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): No es difícil de romper (Ce3)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3).
- c) Porosidad visible: Existen macroporos y grietas. Alguna porosidad dentro de los agregados se muestra como poros o raíces (Ce3)
- d) Desarrollo de raíces: No se evaluó porque estaba el trigo recién implantado
- e) Característica distintiva: Baja porosidad en agregados (Ce3).



L

No se encontraron diferencias entre las características excepto en el desarrollo de raíces. Sí se encontraron diferencias en la profundidad del Horizonte A, siendo mayor en la situación Pr.

IV) CHEQUEO DE VALORES

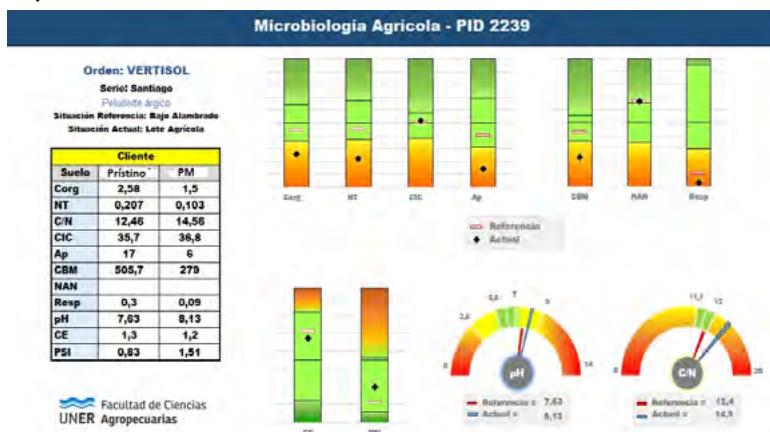


Figura 15. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie Santiago. Línea blanca: Referencia. Próstino (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

El sitio Pr. se ubicó para las variables de tipo “más es mejor” por encima del 1^{er}. cuartil excepto para la variable Resp. En estas mismas variables se muestra un descenso de los valores para PM mostrado el efecto del manejo, excepto en CIC y NAN donde los valores de Pr. y PM son similares. Dentro de las variables “menos es mejor” el PSI no se comportó según lo esperado ni muestra variación lógica de acuerdo al manejo aplicado.

Para aquellas variables con rango óptimo, podemos rescatar que el pH para Pr. no estuvo dentro de los rangos óptimos y en la situación PM no toma un valor esperado. El C/N sí estuvo en el rango óptimo aunque PM tampoco se comportó como se esperaba.

ORDEN: VERTISOL

SUBGRUPO: PELUDERTE ARGICO

SERIE: LA CONCORDIA

I) MAPA DE UBICACIÓN

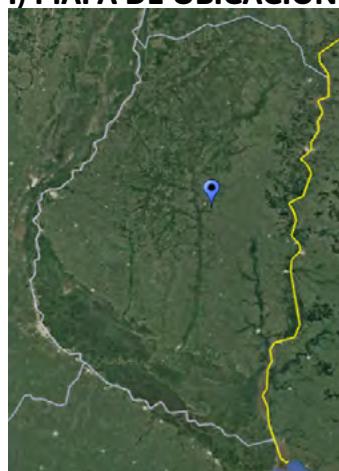


Figura 16. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr: 31°55'49.11"S - 60°26'16.04"O
PM: 31°54'46.25"S - 58°58'8.04"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 2,24 mm

PM: 3,60 mm

En la EEH el tamaño de los agregados fue mayor en PM con respecto a Pr. Estos valores pueden darse en este tipo de suelos, ya que el muestreo se realiza a 15 cm de profundidad y se puede muestrear parte del Bt, lo cual afecta el tamaño de los agregados debido a la alta presencia de arcillas en este horizonte.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Monte

Horizonte A: 22 cm

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1).
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Principalmente de tamaño menor a 6 mm después de desmenuzarse (Ce1).
- c) Porosidad visible: Altamente poroso (Ce1).
- d) Desarrollo de raíces: Raíces en todo el suelo (Ce1).



M

PM: manejo intermedio. Trigo

Horizonte A: 12 cm

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son menores a 1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3)
- c) Porosidad visible: La mayoría de los agregados son porosos (Ce2)



Aquí se observa el efecto del manejo que se traduce en variaciones en la caracterización visual de propiedades físicas de suelo. Se observa una mejor calidad de la estructura en Pr. para todos los aspectos evaluados, con respecto a PM donde la calidad disminuye en la facilidad de ruptura, el tamaño y apariencia de los agregados y la porosidad visible.

IV) CHEQUEO DE VALORES

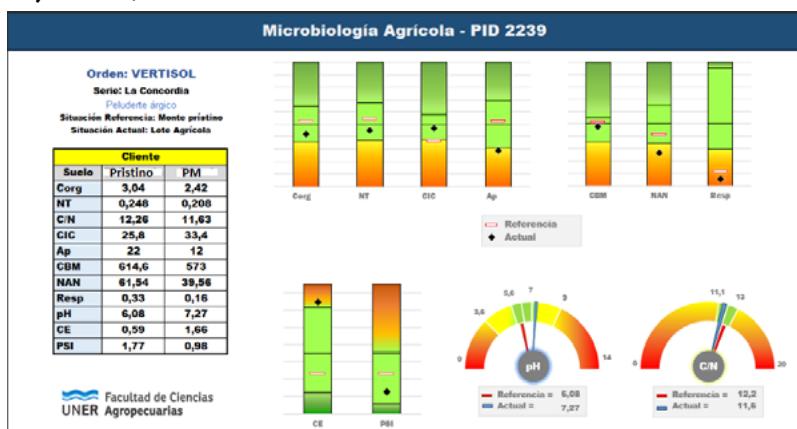


Figura 17. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie La Concordia. Línea blanca: Referencia. Prístico (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

En Pr. las variables del tipo “más es mejor” se ubican por encima del 1^{er} cuartil y de acuerdo a lo esperado excepto para la variable CICyResp. Las variables de intervalo óptimo se modificaron pero en el caso del pH, no ocurrió de acuerdo a lo esperado.

En aquellas del tipo “menos es mejor” la CE y PSI en suelos Pr. se ubican bajo el 3er. cuartil y, el manejo aplicado generó variaciones aleatorias.

ORDEN: VERTISOL

SUBGRUPO: PELUDERTE ARGUDÓLICO

SERIE: LA PAULINA

I) MAPA DE UBICACIÓN

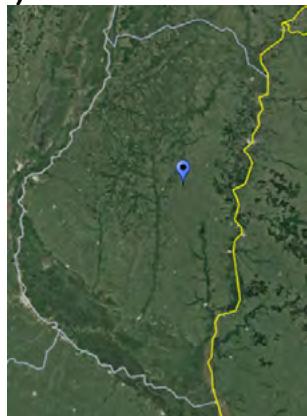


Figura 18. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 31°49'53.29"S - 58°47'33.78"O
PM: 31°49'50.85"S - 58°47'36.52"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: SD

PM: SD

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTORIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Bajo Alambrado

Horizonte Ap: 16 cm

- Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2)
- Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3)
- Porosidad visible: Existen macroporos y grietas. Alguna porosidad dentro de los agregados se muestra como poros o raíces (Ce3)
- Desarrollo de raíces: La mayoría de las raíces están alrededor de los agregados (Ce3)



Ñ

PM: lote en barbecho. Sin cultivo antecesor por sequía (Imágenes perdidas)

Horizonte Ap: 8 cm.

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3)
- c) Porosidad visible: Existen macroporos y grietas. Alguna porosidad dentro de los agregados se muestra como poros o raíces (Ce3)/Todas las raíces están agrupadas en los macroporos y alrededor de los agregados- (Ce4)
- d) Desarrollo de raíces: Pocas. Si las hay, están restringidas a las grietas(Ce5)

IV) CHEQUEO DE VALORES

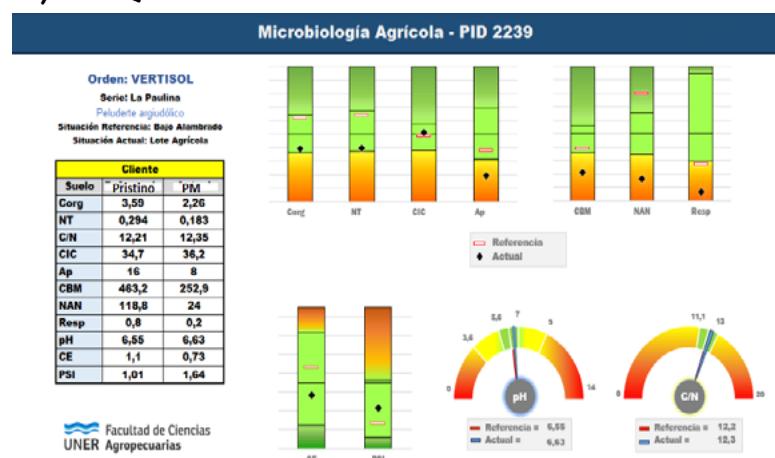


Figura 19. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie La Paulina. Línea blanca: Referencia. Prístico (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

En el sitio muestreado correspondiente al estado Pr., las variables del tipo “más es mejor” se ubican por encima del 1^{er}. cuartil. El impacto del manejo se refleja en las variables de acuerdo a lo esperado, a excepción de CIC donde no hubo variación con respecto a Pr. Las variables pH y C/N de intervalo óptimo, estuvieron en dicho intervalo óptimo pero no se modificaron entre Pr. y PM.

En aquellas del tipo “menos es mejor” CE y PSI el manejo aplicado generó variaciones aleatorias.

ORDEN: VERTISOL
SUBGRUPO: PELUDERTE ARGIUODÓLICO
SERIE: SAN SIMÓN

I) MAPA DE UBICACIÓN

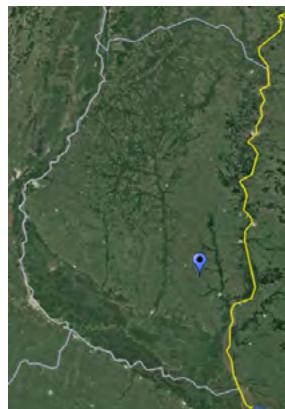


Figura 20. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 31°55'49.11"S - 60°26'16.04"O
PM: 32°49'11.05"S - 58°44'14.08"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 4,78 mm

PM: 4,36 mm

La EEH mostró poca diferencia entre Pr. y PM, aunque el diámetro de los agregados fue un poco mayor en Pr.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr: Bajo Alambrado

Características: Estaba húmedo por lluvias de hace 15 días (35 mm).

Horizonte A: 11 cm

- Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2)
- Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos y redondeados de 2-70 mm. No hay terrones presentes (Ce2)



O

PM: Cultivo antecesor Maíz. Rotación Trigo/soja-Maíz. A los 28-30 cm. hay presencia de carbonatos de Ca.

Horizonte A: 7 cm

- Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2).
- Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos y redondeados de 2-70 mm. No hay terrones presentes (Ce2).



P

IV) CHEQUEO DE VALORES TOMADOS PARA CADA SERIE DE SUELO

Microbiología Agrícola - PID 2239

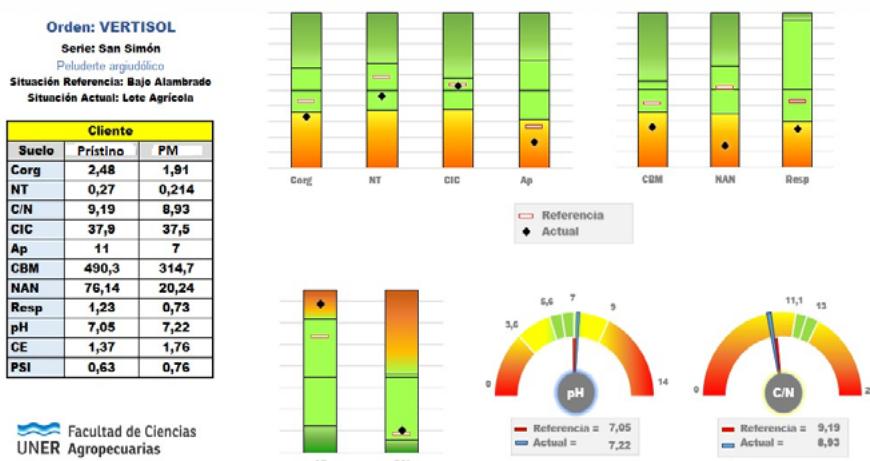


Figura 21. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie San Simón. Línea blanca: Referencia. Prístico (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

En el sitio muestreado correspondiente al estado Pr., las variables del tipo “más es mejor” se ubican por encima del 1^{er}. cuartil excepto para la variable Ap. El impacto del manejo se refleja en las variables de acuerdo a lo esperado sin embargo el CIC no mostró variación con respecto a Pr. El pH se ubicó cercano al intervalo óptimo pero sin variación con el valor de PM. La relación C/N no estuvo en el rango óptimo y no sufrió variación con el manejo.

En aquellas del tipo “menos es mejor” Pr. estuvo en la zona óptima para CE y PSI,

pero en PSI el PM no varió con respecto a Pr.

ORDEN: VERTISOL

SUBGRUPO: PELUDERTE ARGIUUDÓLICO

SERIE: SAUCE PINTO

I) MAPA DE UBICACIÓN

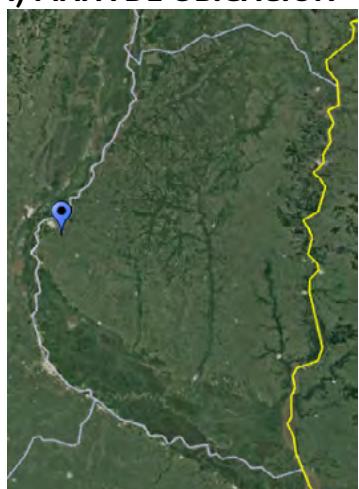


Figura 22. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 31°50'55.51"S - 60°26'9.53"O
PM: 31°50'55.92"S - 60°26'8.34"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 4,02 mm

PM: 3,70 mm

La EEH mostró poca diferencia entre Pr. y PM, aunque el diámetro de los agregados fue un poco mayor en Pr.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERRIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Bajo Alambrado

Horizonte A: 17 cm.

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2).
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos y redondeados de 2-70 mm. No hay terrones presentes (Ce2)
- c) Porosidad visible: La mayoría de los agregados son porosos (Ce2)
- d) Desarrollo de raíces: Raíces en todo el suelo (Ce2)



Q

PM: cultivo actual trigo, antecesor soja

Horizonte A: 6-7 cm

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Bastante difícil de romper (Ce4)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3)
- c) Porosidad visible: Existen macroporos y grietas. Alguna porosidad dentro de los agregados se muestra como poros o raíces (Ce3)
- d) Desarrollo de raíces: La mayoría de las raíces están alrededor de los agregados (Ce3)



R

IV) CHEQUEO DE VALORES

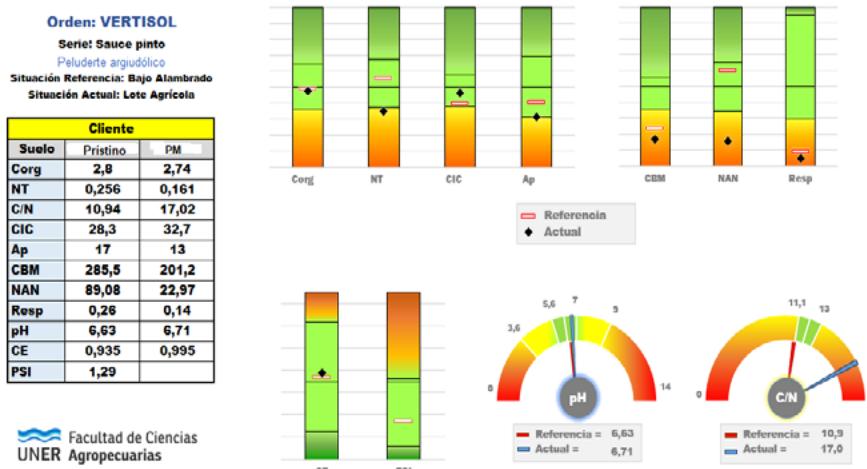


Figura 23. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie Sauce Pinto. Línea blanca: Referencia. Prístico (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

En general este suelo mostró variaciones no esperadas con respecto a algunas variables. En el sitio muestreado correspondiente al estado Pr., las variables del tipo “más es mejor” se ubican por encima del 1^{er}. cuartil excepto para la variable CBM y Resp. El impacto del manejo se refleja en las variables de acuerdo a lo esperado, a excepción de Corg. y CIC donde la variación con respecto a Pr. no fue lo esperado. La CE no mostró variaciones con la PM. El PSI del Pr. se ubicó dentro de los valores óptimos. Las variables de intervalo óptimo pH y C/N estuvieron en dicho intervalo o cercano al mismo, aunque para pH la situación PM no se modificó y para C/N no fue la variación esperada.

ORDEN: VERTISOL
SUBGRUPO: PELUDERTE ARGIACUOLICO
SERIE: YERUÁ

I) MAPA DE UBICACIÓN

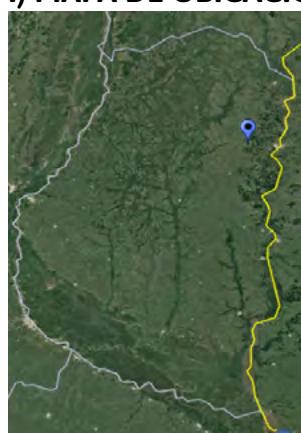


Figura 24. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 31°21'8.09"S - 58°18'10.31"O
PM: 31°21'10.49"S - 58°18'15.00"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 2,82 mm

PM: 2,44 mm

La EEH mostró poca diferencia entre P y PM, aunque el diámetro de los agregados fue un poco mayor en Pr.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Bajo Alambrado

Horizonte A: 21 cm.

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos y redondeados de 2-70 mm. No hay terrones presentes (Ce2)
- c) Porosidad visible: La mayoría de los agregados son porosos (Ce2)



S

PM: Trébol blanco, cultivo antecesor soja

Horizonte A: 0- 12 cm.

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)/Los agregados son fáciles de romper con una mano (Ce2)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3)
- c) Porosidad visible: Existen macroporos y grietas. Alguna porosidad dentro de los agregados se muestra como poros o raíces (Ce3)
- d) Desarrollo de raíces: La mayoría de las raíces están alrededor de los agregados (Ce3)



T

IV) CHEQUEO DE VALORES

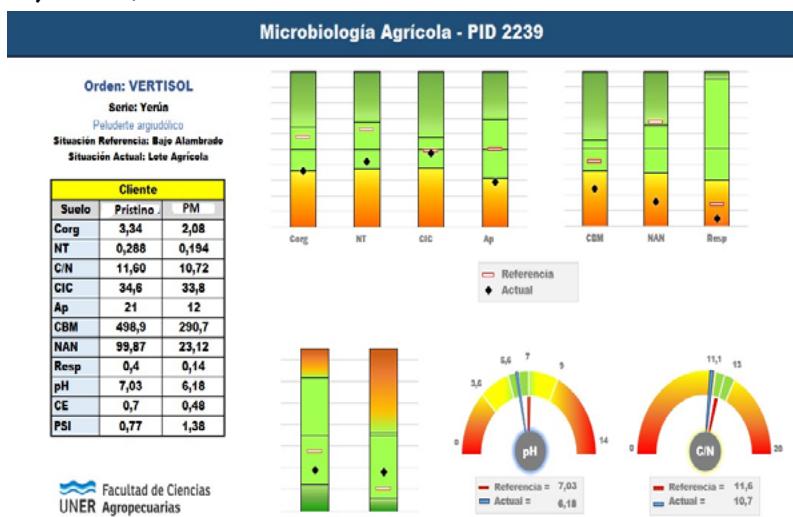


Figura 25. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie Yerúá. Línea blanca: Referencia. Prístino (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

En el sitio muestreado correspondiente al estado Pr., las variables del tipo “más es mejor” se ubican por encima del 1^{er} cuartil excepto para Resp. En todos los casos el impacto del manejo se refleja en las variables de acuerdo a lo esperado, a excepción del CIC donde los valores de Pr. y PM fueron similares. Las variables de intervalo óptimo pH y C/N estuvieron en dicho intervalo o cercano al mismo, y las PM indicaron el efecto de los mismos.

En aquellas del tipo “menos es mejor” la CE y PSI generó variaciones aleatorias en PM.

ORDEN: VERTISOL
SUBGRUPO: PELUDERTE ARGIACUOLICO
SERIE: GENERAL CAMPOS

I) MAPA DE UBICACIÓN

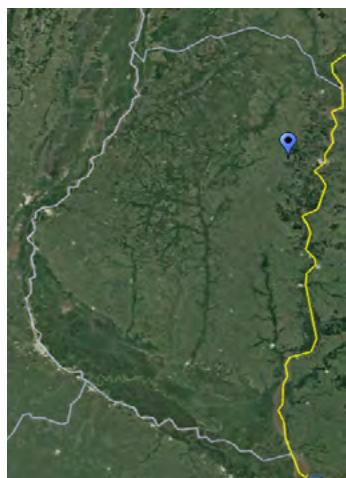


Figura 26. Georreferenciación de los sitios de muestreo. Pr.: 31°21'10.86"S - 58°19'4.70"O
PM: 31°21'14.72"S - 58°19'0.78"O

II) ESTABILIDAD DE AGREGADOS (Diámetro medio ponderado -DMP-)

Pr.: 2,84 mm

PM: 4,80 mm

La EEH no mostró la diferencia esperada y se encontraron mayores tamaños de agregados en PM que en Pr.

III) ESTRUCTURA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL: CARACTERTIZACIÓN VISUAL IN SITU

Pr.: Bajo Alambrado

Horizonte A: 0-29 cm

- Facilidad de ruptura (suelo húmedo): Los agregados se deshacen fácilmente al ser manipulados con los dedos (Ce1)
- Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos y redondeados de 2-70 mm. No hay terrones presentes (Ce2)
- Porosidad visible: La mayoría de los agregados son porosos (Ce2)
- Desarrollo de raíces: Raíces en todo el suelo (Ce2)



U

PM: Lote abandonado para la producción agrícola se ven restos de cultivo de sorgo implantado con Eucaliptus

Horizonte A: 0-22 cm

- a) Facilidad de ruptura (suelo húmedo): No es difícil de romper (Ce3)
- b) Tamaño y apariencia de los agregados: Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos del 30% son <1 cm. Algunos agregados angulares y no porosos (terrones) pueden estar presentes (Ce3)/ Principalmente grandes > 10 cm y subangulares no porosos; también pueden ser horizontales/planos; menos del 30% son <7 cm (Ce4).
- c) Porosidad visible: Muy baja. Pueden haber macroporos presentes; puede contener zonas anaeróbicas (Ce5)
- d) Desarrollo de raíces: Todas las raíces están agrupadas en los macroporos y alrededor de los agregados (Ce4).



V

IV) CHEQUEO DE VALORES

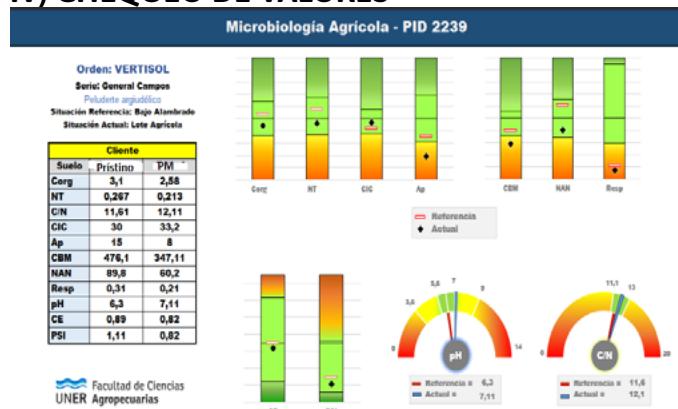


Figura 27. Chequeo de variables físicas, químicas y biológicas en Serie General Campos. Línea blanca: Referencia. Prístino (Pr.). Punto negro: Actual. Práctica de Manejo (PM)

En el sitio muestreado correspondiente al estado Pr., las variables del tipo “más es mejor” se ubican por encima del 1^{er}. cuartil, excepto para la Resp. En todos los casos el impacto del manejo se refleja en las variables de acuerdo a lo esperado, a excepción del CIC donde los valores de Pr. y PM estuvieron cercanos. Las variables de intervalo óptimo pH y C/N estuvieron en dicho intervalo, y la PM indicó su efecto en ambas variables, aunque fue más notorio en el pH.

En aquellas del tipo “menos es mejor” la CE y PSI, la PM fue menor al Pr.

CONSIDERACIONES GENERALES A PARTIR DEL AVANCE DEL CONOCIMIENTO EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

Los chequeos realizados con suelos Pr. y PM mostraron diferencias entre ambas situaciones para las variables: Corg., Ntot., CBM, NAN, pH, C/N.

En cuanto a las variables químicas y biológicas:

La variable biológica **Resp.** en algunos casos no se comportó como se esperaba para Pr y PM, ya que no siempre fue del tipo “más es mejor”. Con respecto a esto podemos decir que este metabolismo puede aumentar en condiciones de estrés y no reflejaría mejores condiciones edáficas para la actividad de los microorganismos.

Si bien se decidió evaluar la **CIC**, ya que apareció en la bibliografía como un indicador de salud de suelos, en términos generales no se observaron cambios significativos como resultado de la PM. Esto tiene lógica ya que la CIC está determinada, entre otros factores, por la mineralogía del suelo (textura), enmiendas, o la adición de materia orgánica (compost), erosión muy grave, etc. Por esta razón consideramos que esta variable sólo sería de utilidad para impactos muy marcados, lo que no fue incluido en el chequeo realizado. Lo mismo ocurre con la **CE y PSI**.

A partir de los chequeos realizados consideramos que es indispensable incluir variables biológicas en la evaluación de salud o calidad ya que son las que más reflejan el impacto del manejo.

Respecto de las variables físicas evaluadas en este trabajo:

La caracterización visual in situ de la estructura del horizonte superficial en los suelos estudiados en este PID presentó un alto nivel de dificultad y subjetividad, lo que consideramos un obstáculo para su aplicación por parte de técnicos en el campo.

La **EEH** fue sensible y mostró diferencias entre las situaciones P y PM en suelos Molisoles, sin embargo en suelos Vertisoles esta variable fue mucho más errática, y en algunos casos no mostró diferencias entre las situaciones e incluso valores diferentes a los esperados.

Indicadores de producción

Artículos publicados en revistas de difusión científica

2024. FONTANA, MARIANELA B.; NOVELLI, LEONARDO E.; STERREN, MARÍA A.; UHRICH, WALTER G.; RONDÁN, GUILLERMO A.; BARBAGELATA, PEDRO A.; BENINTENDE, SILVIA M.
2024. “Cover crop benefit bacteria and increase aggregate-associate soil C and N storage”. Geoderma Regional, 36: e00743. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00743>
2023. STERREN, M. A., & BENINTENDE, S. Estudio de la aplicación del herbicida glifosato en suelos agrícolas de Entre Ríos: Impacto sobre la biota del suelo. Ciencia, Docencia Y Tecnología Suplemento, 13(14). Recuperado a partir de <https://pcient.uner.edu.ar/index.php/Scdyt/article/view/1591>
2021. FONTANA, MARIANELA B., NOVELLI, LEONARDO E., STERREN, MARÍA A., UHRICH WALTER G., BENINTENDE SILVIA M. AND PEDRO A. BARBAGELATA. 2021. Long-term fertilizer application and cover crops improve soil quality and soybean yield in the Northeastern Pampas region of Argentina. Geoderma. Geoderma 385(1-2):114902. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114902>

SERVICIOS ESPECIALIZADOS Y ASISTENCIA TÉCNICA A TERCEROS

Laboratorio de Servicios. Microbiología Agrícola. Evaluaciones de calidad biológica de suelo.

<https://fca.uner.edu.ar/servicios-a-terceros/microbiologia-agricola/>

Convenios

Convenio con la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República del Uruguay. Se trabaja en análisis de indicadores de calidad de suelos en el marco de la Red mundial de observación de la biodiversidad del suelo (Soil BON).

Cursos dictados como consecuencia de la investigación realizada

Curso de posgrado: INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE SALUD Y CALIDAD DE SUELOS. Maestrías en Ciencias Ambientales y en Ciencias Agrarias. Posgrados PEDECIBA (sub-áreas Microbiología, Ecología, Bioquímica) y Biotecnología. 2021-2022 Uruguay

Disertación tema: Indicadores microbianos de salud del suelo y posibles usos. Taller y conversatorio: Indicadores de salud de suelos. (SILVIA BENINTENDE) 2022-2023 Uruguay

Temas de disertación: "Dinámica de algunos indicadores biológicos en suelos agrícolas con aplicación de glifosato" (MARIA ALEJANDRA STERREN) 2022-2023 Uruguay
"Indicadores microbianos de salud del suelo y posibles usos. Taller y conversatorio: Indicadores de salud de suelos" (SILVIA BENINTENDE) 2022-2023 Uruguay

Curso para graduados: "Bioquímica aplicada a la degradación de herbicidas en el suelo".

Tema de disertación: "Aplicación de glifosato en sistemas agroproductivos: efecto sobre los microorganismos del suelo". 2022-2023-2024 FCA-UNER, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

Otras actividades que crea importante consignar

El grupo de investigación participa de otras actividades de investigación, a considerar:

Otros proyectos vinculados a la temática

2022-2023. Proyecto Federal de Innovación – PFI 2022: "Calidad de suelos agroproductivos de Entre Ríos: desarrollo de un sistema integral de evaluación". Aprobado. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Consejo Federal de Ciencia y Tecnología – COFECyT. (Marianela Fontana- María Alejandra Sterren- Silvia Benintende-Walter Uhrich- Guillermo Rondan)

Participación en grupos de investigación

Grupo de Investigación Grupo I+D+i "Salud de suelos y sostenibilidad ambiental", formalmente constituido en el año 2022 ante la UNER. (Marianela Fontana- María Alejandra Sterren- Silvia Benintende-Walter Uhrich- Guillermo Rondan).

Grupo de Investigación Grupo I+D+i "Manejo, fertilidad y conservación de suelos" (Pedro Barbagelata- Marianela Fontana)

Movilidad internacional docente

PROMID

2022. Silvia Benintende. Aprobación de la propuesta de estancia de la docente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNER en la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República del Uruguay.

2023. Montañez Massa, Adriana (CI 1962987-9). Estancia en la Universidad Nacional de Entre Ríos. Universidad de origen: Universidad de la República, Uruguay. Duración: 15 días. RESOLUCIÓN No 277/23

Programa ARFAGRI 3a Convocatoria 2023-2025, denominado “Smart Farming: Nuevas Tecnologías al servicio de una producción agrícola y agroalimentaria más sostenible (Smartagro)”. Resolución decanato N° 9577/24 2024. Marianela Fontana. Del 6 Al 15 de Junio.

Propuesta de posgrado

ESPECIALIZACIÓN. En el marco de la Internacionalización de la Enseñanza que propone la UNER, se trabaja en una Propuesta de Posgrado binacional a realizarse en convenio entre la Universidad de la República (Uruguay) y la Universidad Nacional de Entre Ríos (Argentina). La propuesta es una Especialización en Salud de Suelo que pretende dar una mirada holística de la salud de los suelos, en la perspectiva de mejorar su uso y manejo para un desarrollo sostenible y equitativo. Presentada en noviembre del 2024. Expediente 569/24.

MAESTRÍA. Fruto de la formación de un grupo de investigadores que integran el PID, se ha presentado en la

FCA UNER una propuesta de “Maestría en Producción Agropecuaria Sostenible” dirigida por la Dra. Silvia Benintende, y que se encuentra aprobada por CONEAU. En la misma se han integrado la mayor parte del equipo de investigación quienes actúan como docentes de diferentes cursos. En el año 2024 comienza la primera cohorte.

Otras líneas de investigación en las que se participa

PID 2250: “Ocupación de nódulos por rizobios provenientes del inoculante en distintas secuencias agrícolas con soja”. Aprobado Res. CS 115/23. Duración: 24 meses. Inicio 1/06/2023. Fin: 31/05/2025. (MARIANELA

FONTANA, MARIA ALEJANDRA STERREN, SILVIA BENINTENDE, WALTER UHRICH, GUILLERMO RONDAN, PEDRO BARBAGELATA)

Bibliografía

ACTON, D.F.; GREGORICH, L.J. (1995). Understanding soil health. (pp. 5-10). En: ACTON D.F.; GREGORICH, L.J. (Eds.). The Health of our Soils: Toward Sustainable Agriculture in Canada. Ottawa: Centre for Land and Biological Resources Research, Research Branch, Agriculture and Agri-Food Canada.

ANDREWS, S.S., KARLEN, D.L., CAMBARDELLA, C.A., 2004. The soil management assessment framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal 68, 1945–1962.

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems, en: Agric. Ecosyst. Environ., 88: 153-160.

- BENINTENDE, S.; BENINTENDE M. (2013). Incubaciones anaeróbicas para la determinación de N mineralizable: su aplicación para establecer necesidades de fertilización (pp. 111-122). En: ALBANESI, A. (Ed). Microbiología Agrícola. Un aporte de la Investigación en Argentina. 2^a. Edición. Tucumán, Argentina: Ediciones Magna.
- BENINTENDE, S.M.; BENINTENDE, M.C.; STERREN, M.A.; SALUZZIO, M.F.; BARBAGELATA, P.A. 2017. Indicadores biológicos: selección, determinación de niveles de referencia y utilización en la construcción de índices. Revista Ciencia de Suelo. 35 (1) 11-20.
- BIEDERBECK, V.O.; ZENTNER, R.P.; CAMPBELL, C.A. (2005). Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate, en: Soil Biol. Biochem., 37: 1775-1784.
- BUENO DOS REIS, F.; CARVALHO MENDES, I. (2007). Biomassa microbiana do solo. Documento 205. Embrapa Cerrados.
- BÜNEMANN, E.K., BONGIORNO, G., BAI, Z., CREAMER, R.E., DE DEYN, G.B., DE GOEDE, R.G.M., FLESKENS, L., GEISSEN, V., KUYPER, T.W., MÄDER, P., PULLEMAN, M., SUKKEL, W., VAN GROENIGEN, J.W., BRUSSAARD, L., 2018. Soil quality – A critical review. Soil Biology and Biochemistry 120, 105-125.
- CANTÚ, M. P.; BECKER, A.; BEDANO, J.C.; SCHIAVO, H.F. (2007). Evaluación de la calidad del suelo mediante el uso de indicadores e índices, en: Ci. Suelo (Argentina), 25 (2): 173-178.
- DORAN, J.W. (2002). Soil health and global sustainability: translating science into practice, en: Agric. Ecosyst. Environ. 88, 119-127.
- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. (1994). Defining and assessing soil quality (pp. 3-21). En: DORAN, J.W. y otros (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wisconsin: SSSA Special Publication 35.
- DORAN, J.W.; SAFLEY M. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. (pp. 1-28). En: PANKHURST, C. y otros (Eds.) Biological indicators of soil health. Wallingford: CAB international.
- DUXBURY, J.; NKAMBULE, S. (1994). Assessment and significance of biological active soil organic nitrogen. (pp.125-146). En: DORAN, J.W. y otros (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wisconsin: SSSA Special Publication 35.
- ECHEVERRÍA, H.; BERGONZI, R.; FERRARI, J. (1993). Carbono y nitrógeno de la biomasa microbial de suelos del sudeste bonaerense, en: Ci. Suelo (Argentina), 10 – 11: 36–41.
- FABRIZZI, K. P.; RICE, C. W.; AMADO, T. J. C.; FIORINI, J.; BARBAGELATA, P.; MELCHIORI, R. (2009). Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: effect of native and agroecosystems, en: Biogeochemistry, 92: 129-143.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015a). La Agenda de Desarrollo Post-2015 y los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Agricultura sostenible. Disponible en: <<http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/sustainable-agriculture/es/>> [Junio de 2015].
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2015b). La Agenda de Desarrollo Post-2015 y los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Tierra y Suelos. Disponible en: <<http://www.fao.org/post-2015-mdg/14-themes/land-and-soils/es/>> [Septiembre de 2015].
- FRIONI, L.; SICARDI, M.; PEREIRA, CH. (2003). Indicadores biológicos de la calidad del suelo sensibles a diferentes prácticas de manejo. (pp. 23-37). En: ALBANESI, A. y otros (Eds.). Microbiología Agrícola: Un aporte de la investigación Argentina. Santiago del Estero, Argentina: UNSE.

- GARCÍA, F.O. (2003). Agricultura sustentable y material orgánica del suelo; siembra directa, rotaciones y fertilidad. INPOFOSS Cono sur, en: III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. [CD-ROM].
- GIL-SOTRES, F.; TRASAR-CEPEDA, C.; LEIRÓS, M.; SEOANE, S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties, en: *Soil Biol. Biochem.*, 37: 877 – 887.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). (2011). Suelos y ambientes de Entre Ríos. Disponible en: <<http://inta.gob.ar/imagenes/Entre%20Rios.jpg>> [Enero 2015].
- ISO 14240-1. (1997). Soil quality - Determination of soil microbial biomass - Part 1: Substrate-induced respiration method.
- ISO 14240-2. (1997). Soil quality. Determination of soil microbial biomass Part 2: Fumigation-extraction method.
- KANDELER, E.; TSCHERKO, D.; SPIEGEL, H. (1999). Long- term monitoring of microbial biomass, N mineralization and enzyme activities of a Chernozem under different tillage management, en: *Biol. Fertil. Soils*, 28: 343-351.
- KARLEN, D.L., STOTT, D.E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Madison, WI, pp. 53–72.
- KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. (2010). Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability, en: *Soil Biol. Biochem.*, 42: 1-13.
- KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. (2011). Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality, en: *Plant Soil*, 338: 467-481.
- MARINARI, S.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E.; GREGO, S. (2006). Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy, en: *Ecol. Indic.*, 6: 701-711.
- MOEBIUS-CLUNE, B.N., MOEBIUS-CLUNE, D.J., GUGINO, B.K., IDOWU, O.J., SCHINDELBECK, R.R., RISTOW, A.J., VAN ES, H.M., THIES, J.E., SHAYLER, H.A., MCBRIDE, M.B., WOLFE, D.W., ABAWI, G.S., 2016. *Comprehensive Assessment of Soil Health. The Cornell framework manual.* third ed. Cornell University, Geneva, NY.
- NIELSEN, M.; WINDING, A. (2002). Microorganisms as Indicators of Soil Health. Denmark: National Environmental Research Institute, Technical Report No. 388. Disponible en: <http://www.neri.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapparter/rapporter/FR388.pdf> [Agosto de 2015].
- RITZ, K., BLACK, H.I.J., CAMPBELL, C.D., HARRIS, J.A., WOOD, C., 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators* 9, 1212–1221.
- RODRIGUES DE LIMA, A.C.; HOOGMOED, W.B.; BRUSSAARD, L. (2008). Soil quality assessment in rice production systems: establishing a minimum data set, en: *J. Environ. Qual.*, 37: 623–630.
- SARANDÓN, S.J. (2002). El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas (pp. 393-414). En: SARANDÓN, S.J. (Ed.). *Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable*. Buenos Aires: Ediciones Científicas Americanas.

- STONE, D., RITZ, K., GRIFFITHS, B.G., ORGIAZZI, A., CREAMER, R.E., 2016. Selection of biological indicators appropriate for European soil monitoring. *Applied Soil Ecology* 97: 12-22.
- USDA (Natural Resource Conservation Service). (2011). Soil quality for environmental health. Soilfunctions. Disponible en: <<http://soilquality.org/functions.html>> [Mayo de 2015].
- WILSON, M.G. (Ed.). (2017). Manual de indicadores de calidad del suelo para las ecorregiones de Argentina. 1^a Edición Entre Ríos: Ediciones INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/manual_ics_final.pdf

PID2239

Denominación del Proyecto

Sistema de evaluación y seguimiento de la calidad para suelos agrícolas de Entre Ríos.

Directora

Ing. Agr. Dra. Benintende, Silvia Mercedes

Codirectora

Ing. Agr. Dra. Sterren, María Alejandra

Unidad de Ejecución

Universidad Nacional de Entre Ríos

Dependencia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Contacto

maria.sterren@uner.edu.ar

Cátedra/s, área o disciplina científica

Microbiología Agrícola y Tecnología de Tierras

Integrantes del proyecto

Docentes UNER: Ing. Agr. Walter Uhrich. Microbiología Agrícola

Ing. Agr. Dra. Marianela Fontana Tecnología de Tierras/Microbiología Agrícola

Ing. Agr. Guillermo Rondan Microbiología Agrícola Ing. Agr. PhD. Pedro Barbagelata Tecnología de Tierras

Colaborador: Ing. Agr. Dr. Leonardo Novelli Tecnología de Tierras

Fechas de iniciación y de finalización efectivas

26/04/2021 y 25/04/2024

Aprobación del Informe Final por Resolución C.S. N° 146 (30-05-2025)