



---

## **Informe técnico de ensayo en establecimiento “Las Tres Hermanas”**

### **Conociendo las limitantes para actuar**

El presente trabajo fue elaborado por Romina Fernández (EEA INTA Anguil) Y Cristian Alvarez (AER G Pico, INTA Anguil).

Deseamos agradecer tanto al establecimiento “Las Tres Hermanas” como a su personal, por permitir realizar la experiencia.

La compactación es una problemática cada vez más recurrente en la región, se adjunta en otro documento el proyecto de trabajo referido a esta temática, 8 de cada 10 consultas responden a este proceso que genera gran preocupación entre los productores y colegas de diferentes regiones del país. El mismo en general, no está acompañado de estudios que aborden las diferentes prácticas/manejo para la recuperación del suelo. Debido a ello, es que el presente trabajo tratará de dar respuestas, a largo plazo, acerca de si existe la posibilidad que diferentes estrategias de manejo permitan revertir la compactación (perdida de poros) /densificación (dureza asociada a bajos contenidos de humedad).

Instalación del ensayo:

Durante el mes de junio 2019, se establecieron ensayos de descompactación en una transecta edafoclima-secuencia norte-sur de 400 km abarcando desde B Larroude, Trenel, Anguil y Guatraché. Mientras que, en el 2020, se instalaron dos experiencias más, en Trili y Anguil. El presente, corresponde a los datos del lote del establecimiento “Las Tres Hermanas” en cercanías de Trilí departamento Quemú Quemú, donde se persigue como principal objetivo:

I-Determinar la magnitud y la perdurabilidad de los cambios en las propiedades físico-hídricas de un suelo compactado a través del uso de un descompactador mecánico. II-Cuantificar el efecto de la inclusión de gramíneas invernales (cultivos de cobertura o

trigo), sobre propiedades físico-hídricas y desarrollo de los sistemas radiculares y rendimiento de los cultivos.

Se instalaron diferentes tratamientos/manejos:

- 1- Testigo, sin gramínea y sin descompactador mecánico (S/D).
- 2- Trigo, utilizado como descompactador biológico (S/D trigo)
- 3- Descompactador mecánico sin gramínea (S/D).
- 4- Combinación de Descompactador mecánico y gramínea (D+trigo).

Se muestreó suelo para evaluar la condición inicial de estructura, diferentes índices de compactación mediante test proctor, cilindros para evaluar porosidad total, conductividad hidráulica y densidad aparente.

En junio, a la siembra del cultivo de trigo y diciembre a la cosecha de trigo/primeros estadios del cultivo de maíz de 2020 se determinó infiltración de agua en todos los tratamientos (Foto 1).



Foto 1: Determinación de Infiltración.

Además, en junio se realizaron determinaciones de resistencia a la penetración y humedad de suelo, y se tomaron muestras de suelo en cilindros de acero inoxidable a fin de determinar algunas propiedades físico- hídricas del suelo en su estado inicial.



Foto 2: Muestreo de suelo a diferentes profundidades para determinar porosidad total, conductividad hidráulica y densidad aparente.



Foto 3: Determinación de conductividad hidráulica en laboratorio.

A continuación, se presentan datos de diferentes indicadores evaluados para caracterizar el estado del suelo al inicio de la experiencia. Cada dato volcado en Tablas o Figuras corresponde a un promedio de 4 o más réplicas.

La Tabla 1 presenta las características edáficas del suelo donde se desarrolla la experiencia y de otro suelo bajo una pastura perenne de alfalfa, considerada como una situación de referencia para las propiedades físico hídricas. Ambos suelos se encuentran a 500 metros entre sí

Tabla 1: Caracterización del suelo (0-20 cm de profundidad). A+L: arcilla + limo. MO: materia orgánica. IMO: relación MO/ A+L. P: fósforo, pH. **A SEGUIR COMPLETANDO**

	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	A+L (%)	Textura	MO (%)	IMO	P (ppm)	pH
Ensayo				38	FA	1,89	4,9	20	6,6
Pastura									

El movimiento del agua y de los solutos en el suelo depende de propiedades físico-hídricas, tales como porosidad total (PT), conductividad hidráulica (K), densidad aparente (DA) e infiltración, las cuales están condicionadas por la estabilidad del sistema poroso. Estos indicadores que reflejan la condición física del suelo se presentan en la Tabla 2. Un valor óptimo de PT se encuentra alrededor del 50%, no obstante, para el suelo en estudio, se encontró, que en general la PT fue baja, el mayor valor se encontró en los 0-6 cm, mientras que el menor valor se encontró a los 6-12 y 12-18 cm. Justamente a estas profundidades el valor de densidad aparente (DA) fue el mayor y el menor valor de conductividad hidráulica (K). La K es una medida que refleja la mayor o menor facilidad con la que el suelo deja pasar el agua a través de él en un periodo de tiempo, y se determina en laboratorio, utilizando cilindros con suelo sin disturbar. La K presenta una variabilidad muy alta, a modo de ejemplo para entender esta propiedad se encontró que si bien el promedio en 0-6 fue 53,2, el menor valor fue 12 y el mayor 90 cm/h. Si bien el uso del suelo afecta la K, los valores hallados de esta variable se encontraron por encima del rango considerado crítico (de baja permeabilidad) entre 0,6 a 2 mm h<sup>-1</sup>. No obstante resulta necesario monitorear este indicador a través del tiempo, ya que el manejo intensivo, afecta su funcionamiento.

Estudios realizados por el grupo Suelos indican que la pérdida de la PT normalmente se da a expensas de pérdidas en la macroporosidad (poros mayores a 30 micrones) lo cual podría estar condicionando el comportamiento hidráulico del suelo, causando desuniformidad en el crecimiento radicular.

Es importante considerar que, los cambios en la porosidad se dan de manera heterogénea en el suelo. En el estrato 6-12 y 12-18 cm se encontraron valores muy bajos de PT (estos muestreos se siguen monitoreando en el tiempo, espacio y espesor de suelo, ya que resultaron muy bajos), mayor DA y menor K. Estos valores diferentes en el perfil del suelo se traducen en que la velocidad de entrada de agua y la colonización de raíces se alteran. La Foto 4 ilustra el crecimiento de raíces cuando la PT es baja.

Las densificaciones en general no son uniformes, varían en cuanto a su espesor, profundidad y resistencia a la penetración en cortas distancias (efecto típico de compactaciones en los lotes). En ocasiones, se visualizan como manchoneos en el cultivo el cual puede además presentar estrés hídrico por sectores e incluso senescencia anticipada.

El efecto de la compactación sobre el rendimiento de los cultivos depende de las condiciones climáticas que interactúan con las propiedades del suelo. Por este motivo, el efecto de la compactación sobre el cultivo es más grave en condiciones de estrés hídrico, mientras que, con condiciones climáticas favorables, en muchos casos, no se observan efectos perjudiciales sobre ellos.

Si bien los valores absolutos son menores a los deseados para PT y DA, el valor de conductividad sigue siendo alto respecto al umbral citado por diferentes trabajos. Por ello, la interpretación puede ser por menorizada. Sin embargo cuando el análisis de la información se realiza comparando capas de muestreos, es importante destacar que cuando la porosidad total disminuye en el perfil un 21% respecto al estrato superior muestreado (0-6 vs 6-12), en el mismo espesor la densidad aparente aumenta un 7%, mientras que la conductividad hidráulica se reduce un 77%. Estos valores marcan un efecto cascada en el movimiento del agua que puede condicionar la disponibilidad de la misma por tasa de entrega (mm/día) y/o por estratificación y reducción de diámetro de raíces.

Tabla 2: Porosidad total (PT). Densidad aparente (DA). Conductividad hidráulica (K)

Profundidad (cm)	PT (%)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	K (cm/h)
0-6	34,1	1,38	53,2
6-12	26,6	1,48	12,4
12-18	27,4	1,49	10,7
18-24	30,3	1,44	38,4



Foto 4: Crecimiento radicular en suelo con problemas de compactación.

La resistencia a la penetración es otro indicador físico de suelo y se encuentra en estrecha relación con la humedad. Debido a ello, cada vez que se realizan determinaciones con el penetrómetro se debe muestrear suelo para medir y corregir por el contenido de agua. Cuando el suelo se encuentra en óptimo estado de conservación los valores de RP no guardan relación al contenido de agua, lo que significa que a bajo o alto contenido hídrico el valor de RP es similar. Contrariamente, cuando el suelo se encuentra en vías de degradación (pérdida de materia orgánica, porosidad, etc) se evidencia relación negativa entre RP-humedad. En este ensayo se está construyendo esta relación.

En la Figura 1 se presenta la RP en 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm de profundidad. Claramente se puede observar que la mayor RP se encontró en estratos medios del

perfil. No obstante, es necesario destacar que el contenido hídrico fue óptima al momento de realizar esta determinación en todas las profundidades (Tabla 3).

Los valores de RP hallados en ese momento bajo ese estadio hídrico no resultarían perjudiciales, debido a que no superaron los valores críticos que causan disminución en el crecimiento radical (entre 1 a 1,7 MPa), y valores entre 3 a 4 MPa causarían una reducción del 90 % en el crecimiento de la raíz. No obstante, se están construyendo las curvas que relacionan la RP y la humedad, esto implica que se debe medir la RP en diferentes contenidos hídricos del suelo.

Tabla 3: Humedad de suelo el 2 de junio cuando se determinó resistencia a la penetración.

Prof (cm)	Humedad (%)
0-10	11,7
10-20	12,6
20-30	14,0
30-40	14,6

Al igual que las variables consideradas (DA, K, PT) la resistencia mostró aumentos en los espesores de 10 a 20 cm. Si bien los mimos, en valores absolutos no llegan a los valores críticos presentados anteriormente. La estratificación de entre capas en el perfil aumentan en un 60% respecto del valor en superficie, con buen contenido de humedad del suelo. Motivo por el cual podría estar marcando cierta estratificación sobre el desarrollo de raíces.

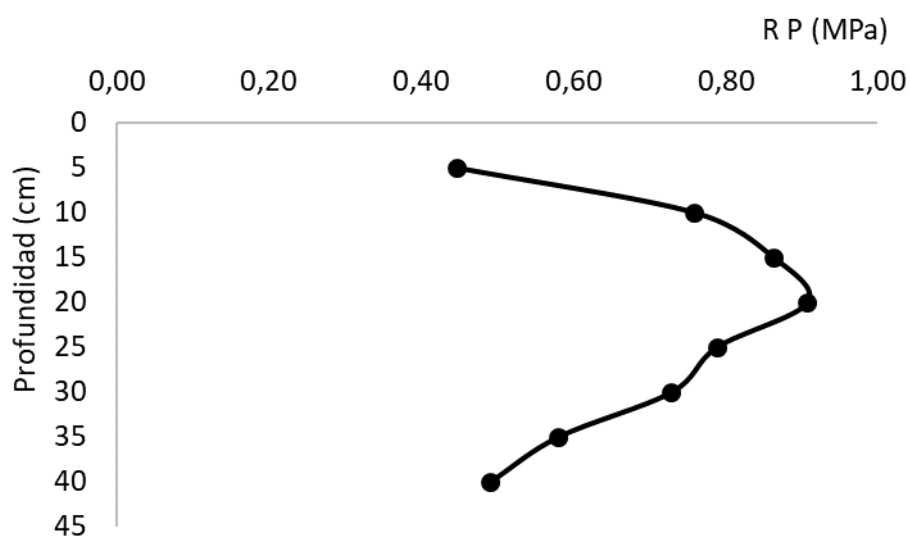


Figura 1: Resistencia a la penetración en función a la profundidad.

El descompactador mecánico utilizado fue un subsolador, la separación entre púas fue de 40 cm a una profundidad de 25 a 35 cm. y se pasó antes de la siembra de trigo con una condición óptima de humedad. En el presente trabajo se lo definió con la letra D (descompactador), además, se dejó una franja sin subsolar que se identificó S/D (sin descompactar).

El suelo descompactado con subsolador no invierte ni mezcla los horizontes y deja los residuos sobre el suelo. Las púas de acero producen fuerzas laterales y verticales que producen la ruptura de las capas compactadas siguiendo las líneas de fragmentación natural del suelo.

Sumando tecnología:

El 2 de junio (2020) se sembró trigo var Algarrobo a razón de 100 kg/ha. A la siembra se fertilizó con 100 kg MAP/ha y el 16 de junio al voleo con 150 kg/ha de Urea. Además se utilizó un bioestimulante "Fertiactyl" de TIMAC Agro en la semilla (150cm<sup>3</sup>/ha) resultando en 4 manejos diferentes del cultivo de trigo.

1. Sin subsolar (S/D)
2. Subsulado (D)
3. Sin subsolar +bioestimulante (S/D+B)
4. Subsulado+bioestimulante (D+B)

Paralelamente, se dejó una franja sin sembrar trigo, la cual se mantuvo en barbecho.

En la Figura 2 se presenta el contenido de agua desde el inicio de la experiencia hasta la cosecha de trigo. Al inicio, el perfil de suelo se encontró completo de agua y con exceso en 140 y 160 cm de profundidad, en cambio en las demás fechas de muestreo el agua se mantuvo por debajo de punto de marchitez permanente (PMP).



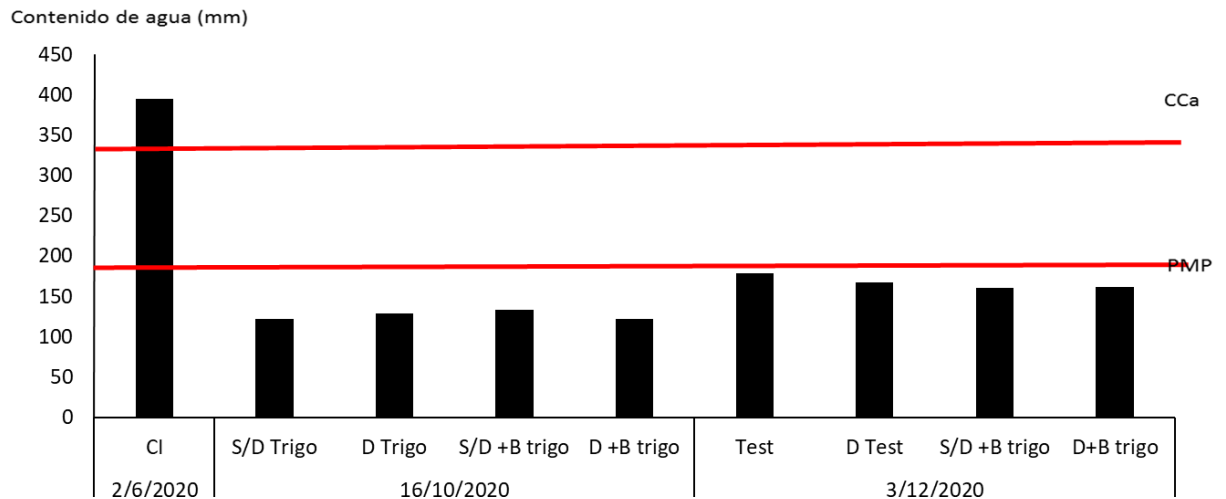


Figura 2: Contenido de agua (0-160 cm de profundidad) al inicio, floracion y cosecha de trigo.

Existen métodos para diagnosticar el status de nitrógeno (N) en el cultivo de trigo, que se basan en mediciones sobre el tejido vegetal. Entre éstos, el medidor de clorofila Minolta SPAD® se presenta como una alternativa promisorio para el monitoreo del status de N durante el ciclo del cultivo, a través de la cuantificación no destructiva del verdor de la hoja o índice de verdor (IV). El medidor de clorofila es un método rápido y fácil de utilizar, permitiendo realizar muestreos más frecuentemente y explorar en mayor medida la variabilidad en un sitio comparado con otros métodos.

Las lecturas de clorofila fueron realizadas en 10 plantas representativas en cada manejo, efectuando las mediciones en octubre, en la última hoja expandida y aproximadamente en la mitad del largo de la lámina.

El índice de verdor fue mayor en el manejo descompactado con bioestimulante (D+B), y el menor correspondió al trigo sin descompactar (S/D) (Tabla 4). Este índice permite monitorear el status de N del cultivo de trigo ya que normalmente a valores mayores le corresponde mayor fertilidad nitrogenada.

Durante octubre se contabilizó macollos en 1 m lineal. De la mano a lo expresado con el índice de verdor, la cantidad de macollos fue mayor en el manejo descompactado con bioestimulante (D+B), y el menor correspondió al trigo sin descompactar (S/D) (Tabla 5).

Tabla 4: Medición del índice verde mediante SPAD.

SPAD			
S/D	D	S/D+B	D+B
41	41,6	43,1	44,8

Tabla 5: Macollos por m<sup>2</sup> en los diferentes manejos

Macollos m2			
S/D	D	S/D+B	D+B
177	182	182	211

La evaluación de los rendimientos de grano fue realizada mediante muestreo manual de espigas y posterior desgranado de las mismas con trilladora estacionaria ubicada en la EEA INTA Anguil. En todos los casos el peso de grano fue corregido a un contenido de humedad de 13,5%.

El rendimiento de trigo se presenta en la Figura 3. El mismo fue superior en el manejo D con respecto a los demás. Si consideramos que este manejo alcanzó el 100 % de rendimiento relativo, S/D, S/D+B y D+B presentó el 82, 84 y 96% de rendimiento, respectivamente. El uso consuntivo (UC) y la eficiencia en el uso del agua (EUA) también mostraron mayores valores en el manejo descompactado. La diferencia entre el trigo sin descompactar fue de 1,4 kg de grano/mm ha (Tabla 6).

Rendimiento (kg/ha)

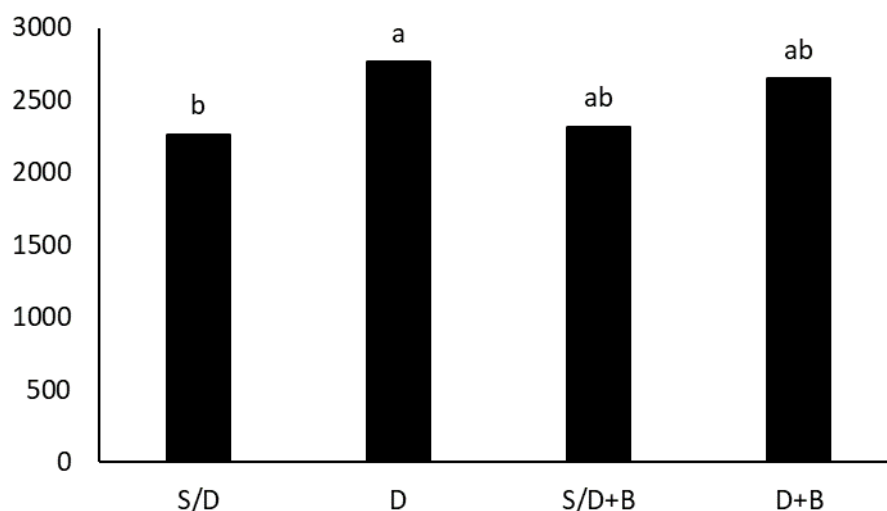


Figura 3: Rendimiento de trigo en manejos: S/D (sin descompactar), D (descompactado), S/D+B (sin descompactar con bioestimulante en semilla) y D+B (descompactado con bioestimulante en semilla).

Tabla 6: Uso consuntivo (UC), eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de trigo.

	S/D	D	S/D+B	D+B
UC (mm)	516	528	534	534
EUA (kg/ha mm)	4,4	5,2	4,3	5,0

Estos resultados preliminares mostraron cambios considerables en los primeros 6 meses del paso del descompactador, ya sea tanto en propiedades físico hídricas, como variables asociadas al cultivo de trigo.

El efecto del subsolado se manifiesta en las etapas tempranas del crecimiento de las raíces de cultivos, ya que posteriormente se produce la recompactación de las capas aflojadas. Esta recompactación es motivo de estudio en todos los sitios donde se instalaron estos ensayos.

El descompactado, provoca una reestructuración del suelo, donde a partir de las fisuras generadas por el implemento la entrada de agua se incrementa, sumado a ello y no menor los procesos biológicos ocurren a mayor tasa debido a mayor oxígeno en la matriz porosa y un mejor contenido hídrico.

Un suelo con inadecuadas condiciones físicas (sin agregación, masivo, duro, anaeróbico), puede ser transformado, temporalmente, a través de la labranza, en un suelo con estructura aparentemente cercana a la óptima (cama de siembra con agregados entre 1-5 mm de diámetro, sobre un subsuelo flojo y bien drenado). Sin embargo, esta estructura está lejos de encontrarse en equilibrio, siendo inestable mecánicamente, con posibilidades de colapsar cuando se humedece, pudiendo quedar físicamente tan mal o a veces peor que antes del laboreo.

A largo plazo el objetivo también se centra en evaluar si la gramínea sin descompactar puede ser una alternativa viable (descompactador biológico) a ser usada para mitigar este problema.



Foto 5: Estado del cultivo en las diferentes situaciones experimentadas.



Foto 6: Cosecha del cultivo



Foto 7: Estado del maíz a principios de febrero 2021. Se observa mayor desarrollo sobre el manejo subsolado, fotografía derecha.

Con respecto a la variable de captación de agua-entrada de agua en el perfil del suelo, medida a través de infiltrómetros de carga constante, en junio se midió el doble de infiltración básica en la pastura (96,8 mm/h) con respecto al suelo donde se ensaya la experiencia (46 mm/h). Se consideró a la pastura como un suelo de referencia en el establecimiento ya que la misma se encuentra en óptimo estado de producción, en su tercer año, lo que indica que ha logrado mejorar condición estructural del suelo. En diciembre 2020, tanto el suelo descompactado en barbecho, el suelo con trigo sin descompactar y trigo descompactado presentaron valores mayores con respecto a la situación inicial (junio 2020). Los resultados se pueden observar en el gráfico xx de esta variable físico hídrica, donde se comprueba que la infiltración acumulada depende de la humedad al momento de su determinación y la infiltración básica que es independiente de la humedad, que indica que el agua se conduce por los macroporos y por lo tanto es un indicador de poros mayores a  $30 \mu m$ .



## Infiltración de agua

JUNIO. Pastura alfalfa: 96,8 mm/h

JUNIO. Condición inicial lote: IB junio 46 mm/h

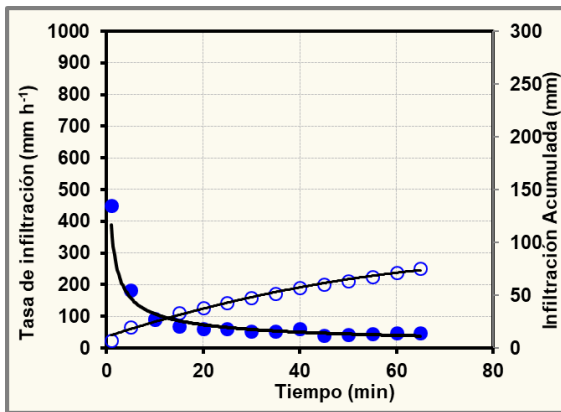
DICIEMBRE

Descompactado Barbecho: IB 156 mm/h

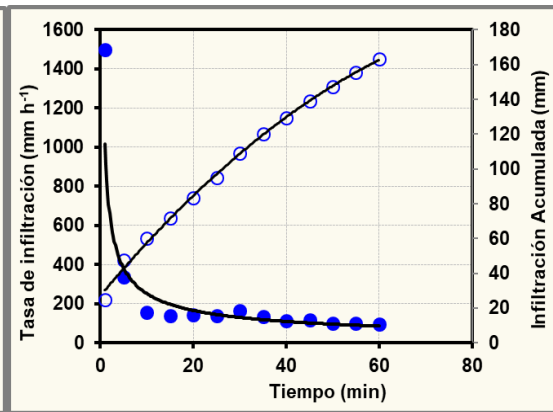
Sin descompactar Trigo: IB 122 mm/h

Descompactado Trigo: IB 201 mm/h

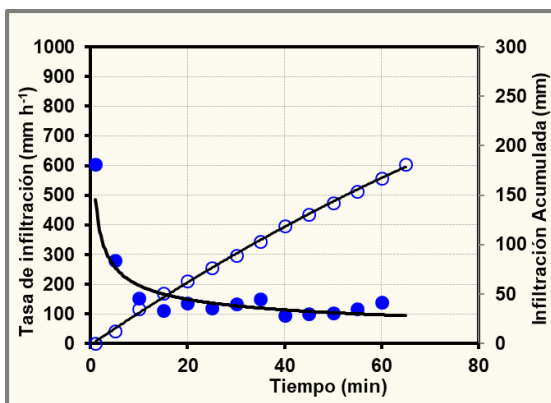
Junio 2020. Testigo, estado del lote



Junio 2020. Pastura de alfalfa

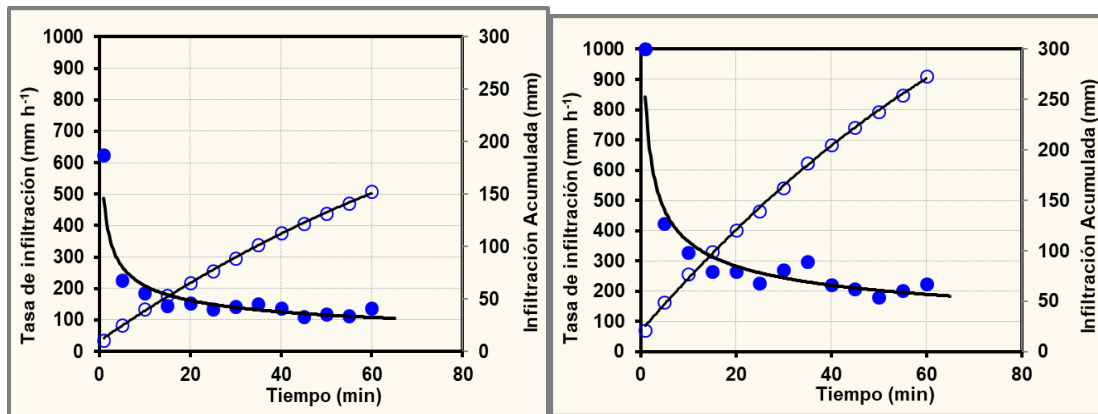


Diciembre 2020. Descompactado-Barbecho



Diciembre 2020. Sin descompactar-Trigo

Diciembre 2020. Descompactado- Trigo



### Trabajo a futuro.

Se prevé cosechar el maíz en los diferentes manejos, y seguir monitoreando los indicadores físico hídricos a través del tiempo. El tiempo será “el condicionante” de futuros trabajos. Cuando el rendimiento y los indicadores físico hídricos ya no tengan el efecto positivo del descompactador mecánico (tiempo de perdurabilidad), nos retiraremos del lote. ¿Qué indicador será más sensible a la recompactación? El rendimiento de los cultivos? O Las variables físicas K, IB, PT o la DA? Estas son preguntas que nos planteamos en el ensayo de descompactación a largo plazo.