

■ ■ Comportamiento de Suelos Vertisoles al Tráfico en Sistemas de Siembra Directa y Convencional

Pozzolo, O. R.^{1,2}; Gange, J. M.²; Ferrari, H. J.¹; Hegglin, J. P.¹; Rivarola, S.²; Curró, C.¹ y De Battista, J. J.¹

¹Estación Experimental Agropecuaria INTA Concepción del Uruguay, Ruta P. 39, Km 143,5, CP 3260, CC 6, Entre Ríos, Argentina. E-mail: opozzolo@correo.inta.gov.ar

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Paraná, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

■ ■ Resumen

Contar con información sobre la reología de suelos vertisoles al tránsito, es importante para determinar futuros manejos y armonización de equipos, particularmente en sistemas de siembra directa. Para ello se definieron los siguientes tratamientos: tractor pesado en siembra directa y convencional (TPSD y TPSC respectivamente) y tractor liviano en siembra directa y convencional (TLSD y TLSC respectivamente). Se simularon tres intensidades de tránsito, 23 Mg.km.ha⁻¹, 36 Mg.km.ha⁻¹ y 80 Mg.km.ha⁻¹ de carga, midiéndose la resistencia media mediante penetrometría (RMP) y densidad aparente (Dap) entre 0 – 10 cm (P1) y entre 10 y 30 cm (P2). Los valores para las diferentes intensidades variaron de la siguiente forma: Para TPSD la RMP a P1 evolucionó de 1,29 a 1,63 Mpa mientras que para TLSD los valores fueron de 1,27 a 1,78 Mpa. A P2 los valores fueron de 1,26 a 1,44 Mpa (TPSD) y de 1,27 a 1,28 Mpa (TLSD). De manera similar en SC los valores de RMP a P1 fueron para de 0,87 a 1,13 Mpa (TP) y de 0,88 a 1,14 Mpa para (TL). A P2 los valores fueron de 1,14 a 1,38 Mpa (TP) y de 1,12 a 1,34 Mpa (TL). Los valores de Dap se comportaron similares a los de RMP aumentando con la intensidad del tránsito.

Palabras Claves: Vertisoles - Tráfico - Compactación.

■ ■ Introducción

La tendencia de la agricultura actual, muestra una clara inclinación hacia el incremento de la potencia y, fundamentalmente, del tamaño de los equipos fabricados con el fin de mecanizar las labores agrícolas, al punto que si bien en los tractores la relación peso/potencia ha bajado en los últimos años, el peso total se ha incrementado significativamente a partir de la voluntad de buscar equipos más económicos en sus prestaciones al reducir los costos operativos y permitir aumentar la superficie cultivada (Oskoui y Voorhees, 1990; Jorajuría *et al.*, 1997).

Estas tendencias han conducido al desarrollo de cosechadoras de cereales automotrices que tienen más de 16 Mg de carga en el eje frontal, tractores que pesan en el orden de 200 kN y acoplados cerealeros de un solo eje capaces de transportar 353 kN de granos. Una consecuencia del tráfico con estos niveles de carga sobre los ejes es el riesgo de sobrecompactación del suelo productivo, con los correspondientes efectos sobre el crecimiento de las raíces, rendimiento de los cultivos y calidad del agroecosistema.

La compactación edáfica es definida como la modificación del volumen de poros así como de la estructura de la porosidad del suelo. Los cambios en las propiedades volumétricas pueden no ser tan importantes para el crecimiento de las plantas, como sí aquellos asociados al incremento de la consistencia y a la reducción de la conductividad,

permeabilidad, difusividad del agua y del aire a través del sistema poroso (Soane *et al.*, 1980). Puede definirse también a la compactación, como la compresión de una masa de suelo hasta lograr un volumen menor, produciéndole por tanto un incremento en la densidad como resultado de las presiones externas aplicadas, según Adebisi *et al.* (1991). La compactación es el resultado de tensiones generadas por el peso de los vehículos que transitan sobre el suelo, las vibraciones originadas en el motor y el producto del patinamiento activo de las ruedas motrices.

En una primera distinción de efectos corresponde diferenciar compactación superficial de subsuperficial. La primera, involucra a la capa arable y normalmente ocurre por el empleo de maquinaria de bajo peso y presión sobre el suelo (acción agregativa remanente) utilizadas en condiciones de alta humedad o sobre suelos con mayor susceptibilidad a la compactación, (Håkanson *et al.* 1988; Håkanson *et al.* 1994).

La compactación subsuperficial es la que se trasmite hasta el subsuelo, en profundidades de alrededor de 40 cm pudiendo profundizarse bastante más por efecto del peso y la potencia de los equipos, su vibración en la marcha, el elevado valor de inflado de las cubiertas, la alta presión de contacto suelo-cubiertas (lastre agregado), como también por el patinamiento. Todos estos, son siempre efectos negativos, deletéreos, de larga duración pudiendo llegar a comportarse como casi permanentes, tal como la situación buscada para las construcciones viales.

El fenómeno de compactación producido por el tráfico agrícola es de compleja solución y/o prevención, ya que se realiza con independencia de que se haya logrado dotarlo de suficiente tamaño de rodado, u otro mecanismo motriz de alta flotación, que le permita el tráfico con baja presión superficial en el área de contacto rueda/suelo. Se ha demostrado que si bien la compactación superficial es principalmente dependiente de la presión específica, la subsuperficial lo es de la masa de los equipos (Håkansson & Reeder, 1994).

Oskoui y Voorhees (1990), demostraron efectos negativos del tráfico como, pérdidas de rendimiento de los cultivos debido a la sobrecompactación del suelo, reducción del drenaje e incrementos en las pérdidas del agua utilizable, aumento de la erosión del suelo debido a la reducción de la infiltración y mayores costos energéticos producto del incremento en la reacción del suelo ante los trabajos de labranza.

El objetivo del presente trabajo es conocer la reacción de compactabilidad de los suelos vertisoles de Entre Ríos a las acciones del tránsito vehicular bajo los sistemas de siembra directa y siembra convencional. Contar con información sobre la reología de suelos vertisoles al tránsito, es importante para determinar futuros manejos y armonización de equipos, particularmente en sistemas de siembra directa.

■ Materiales y Métodos

La experiencia se llevó a cabo en el campo experimental del INTA Concepción del Uruguay, situado en el departamento Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina (32° 29' S, 58° 21' W), sobre un suelo Argiudol vértico perteneciente a la serie Clara.

El ensayo contó con dos tratamientos principales, suelo laboreado en forma convencional (LC) y suelo bajo siembra directa (SD), con dos repeticiones de 5 has cada uno totalizando así 20 has. Cada una de ellas poseía implantada una pradera polifítica. Sobre los tratamientos principales se implementaron cuatro intensidades de tránsito, sobre la base de probar las dos alternativas posibles de alcanzar las intensidades propuestas en (Mg km ha^{-1}): en base a usar como variable de ajuste el mayor número de pasadas de un tractor y equipo pequeño versus el menor número de pasadas de un equipo de mayor peso. Se hizo un arreglo factorial completo con tres repeticiones, totalizando de esta manera 48 parcelas. Las parcelas tendrán una dimensión de aproximadamente 30 metros por cuatro. Las intensidades de tráfico, fueron determinadas por: la menor de las intensidades dentro del sistema, estimada en 23 Mg km ha^{-1} , la mayor intensidad que el sistema real registre estimada en 36 Mg km ha^{-1} y una por encima, inferida a partir del incremento esperable en la intensidad de tráfico, como función de una futura intensificación de la producción que se encontrará en el orden de las 80 Mg km ha^{-1} , producida por la incorporación de actividades supuestas como cosecha y conservación de forraje y la cuarta a modo de testigo que no recibirá tránsito alguno.

Las variables experimentales respuesta vinculadas a la compactación fueron, Densidad

aparente en seco (Dap) y Resistencia a la Penetración (RP). La Dap fue medida por el método del peso específico aparente con cilindros estandarizados, registrando las medias de cinco repeticiones por tratamiento, y por repetición, a profundidades de 0–10, 10–20 y 20–30 cm. La RP fue medida por medio de penetrometría o resistencia a la penetración por índice de cono, para el cual se utilizó un penetrómetro Eijkelkamp con *datta logger* incorporado y medición de la profundidad por ultrasonido, registrando los valores de impedancia del perfil hasta los 80 cm, utilizando las medias de 10 repeticiones por tratamiento.

Las variables experimentales independientes, fueron dos suelos contiguos, pertenecientes a la misma taxa serial, con historias de seis años, de LC y SD respectivamente, dichos lotes, tuvieron con anterioridad a estos sistemas comunidades serales siendo dedicados a pastoreo extensivo.

Los tratamientos incluirán también la evaluación previa de la situación de partida como condición cero, a partir de la que los cambios serán considerados como resultado de la reacción del suelo a los tratamientos de tráfico.

■ Resultados y Discusión

Al analizar estadísticamente la situación inicial de los tratamientos se encontró que, el valor de referencia de la situación testigo fue de 1,12 Mpa al momento del ensayo y la humedad (H^0) correspondiente a ese estrato del perfil fue de 11,3% consideradas muy bajas, a pesar de ello, se puede verificar un aumento de la compactación en la parte superior del perfil para ambos tractores. Sin embargo el patrón de compactación fue diferente en ambos, mientras que para el tractor pesado (TP) la compactación siguió un patrón lineal $y = 0,19x + 1,1133$ con un r^2 de 0,9854, en el liviano (TL) fue del tipo polinomial, $y = 0,195x^2 - 0,535x + 1,62$ con un $r^2 = 0,99$, (figura 1), lo que indica que la compactación medida como RP en los estratos superiores del perfil fue función del número de pasadas y no de la intensidad del tránsito, alcanzando incluso valores mayores, 1,63 vs 1,78 Mpa, los que difirieron en forma significativa, al igual que en la situación de tránsito intermedio, siendo probable que los valores mostrados se vean aumentados en situaciones de mayor contenido de H^0 edáfica.

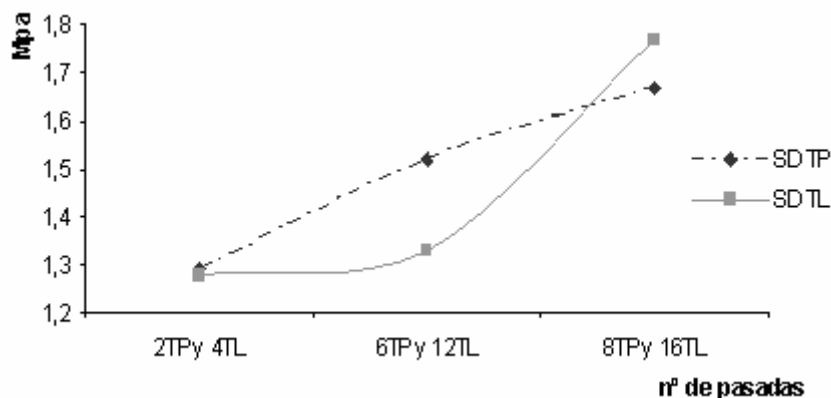


Figura 1. Evolución de la impedancia del suelo provocada por el pasaje de tractor liviano (TL) y pesado (TP) en siembra directa (SD). Valores entre 0 y 10 cm del perfil.

Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay, 2006.

Si se analiza la figura 2, se visualiza lo ocurrido a mayores profundidades, entre los 10 y 30 cm, con contenidos de H^0 de 16,1%, las tendencias de compactación cambian su pendiente $y = -0,15x^2 + 0,86x + 0,18$, con un $r^2 = 0,98$ para el tractor liviano e $y = -0,14x^2 + 0,98x + 0,04$ con $r^2 = 0,99$. Se observa como el tractor liviano llega a valores de compactación menores que los del pesado 1,38 vs 1,73 Mpa los que difieren significativamente entre sí y con respecto al valor testigo de 0,86 Mpa. Estos resultados son coincidentes con los encontrados por Håkansson & Reeder, 1994 y Oskoui & Voorhees 1990, donde verifican que la compactación en profundidad es función de la masa del vehículo, por otro lado es importante visualizar que los aumentos relativos de compactación fueron mayores en profundidad que en superficie, mientras que para los

primeros 10 cm se aumentó alrededor del 40% la impedancia a los 30 cm los aumentos fueron del orden del 90%.

Es interesante observar el menor grado de impedancia existente en el suelo en profundidad respecto al estrato superior, estas diferencias se deben seguramente a las prácticas de pastoreo que los lotes recibían donde se produjo compactación en superficie principalmente.

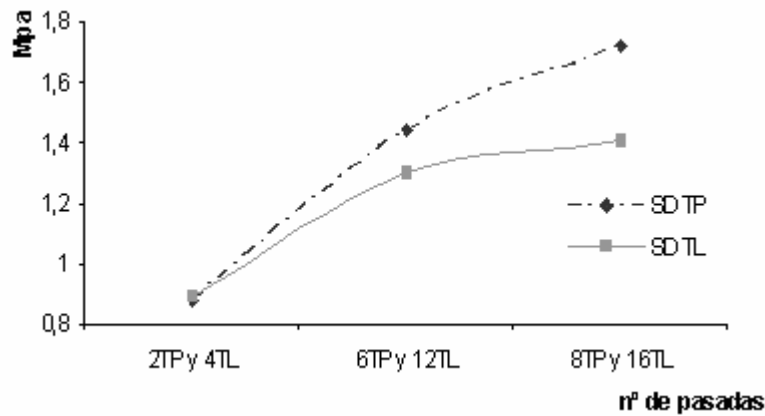


Figura 2. Evolución de la impedancia del suelo provocada por el pasaje de tractor liviano (TL) y pesado (TP) en siembra directa (SD). Valores entre 10 y 30 cm del perfil.

Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay, 2006.

Tomado los valores de densidad se puede observar que las tendencias son similares en el sentido de que ambos tractores aumentan los valores de Dap con el número de pasadas, tanto en el estrato superficial, figura 3, como a mayor profundidad, figura 4, sin embargo, para esta variable el tractor liviano no supera al pesado en superficie, observándose una tendencia al no aumento de densidad al elevar el número de pasadas a partir del tratamiento intermedio (6 y 12 pasadas) para ambos tractores, mientras que en el pesado la tendencia continúa en aumento en profundidad. En ambos casos, a 10 y a 30 cm los valores difieren significativamente del valor testigo de 1,05 g/cm³ para la superficie y de 1,22 g/cm³ en profundidad.

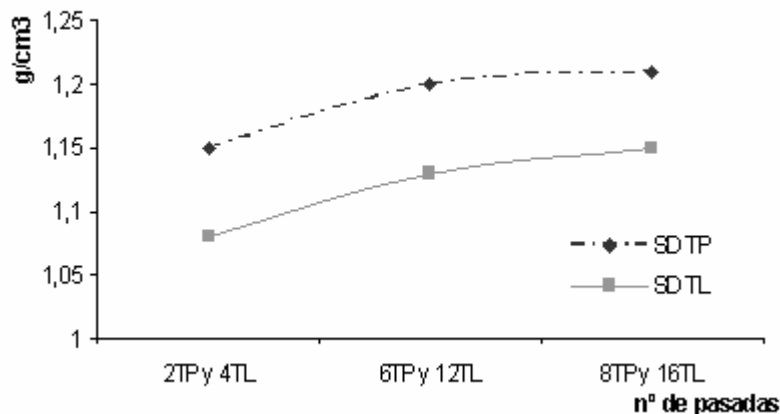


Figura 3. Evolución de la densidad aparente en función del número de pasadas del tractor liviano (TL) y pesado (TP) en siembra directa (SD) entre 0 y 10 cm.

Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay, 2006.

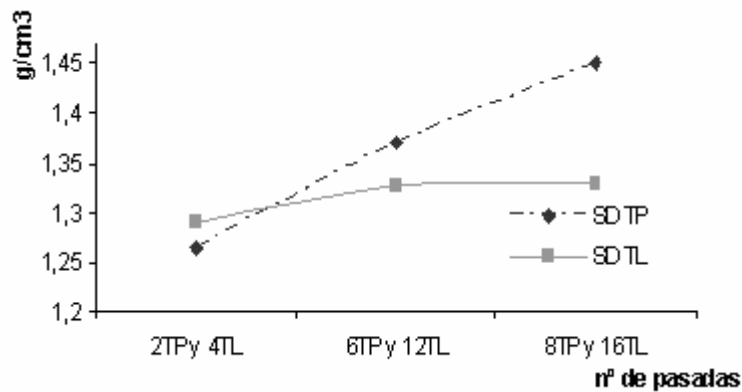


Figura 4. Evolución de la densidad aparente en función del número de pasadas del tractor liviano (TL) y pesado (TP) en siembra directa (SD) entre 10 y 30 cm.
Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay, 2006.

Al analizar el tránsito de los tractores sobre suelo sometido a LC se detecta que el pasaje del tractor liviano invierte la tendencia con respecto a la SD, $y = -0,08x^2 + 0,47x + 0,48$, $r^2 = 0,98$, mientras que el pesado se comporta de forma similar, $y = 0,015x^2 + 0,075x + 0,81$, $r^2 = 0,99$; (figura 5). Esto se debe probablemente a la diferente estructura del suelo provocada por la labranza, que continúa su efecto, lo que se puede observar al comparar los valores de inicio del testigo 0,81 Mpa vs 1,12 Mpa en SD al momento del ensayo con tractores, sin embargo porcentualmente los aumentos provocados por el tránsito fueron similares del orden del 34% para los 10 primeros cm, a pesar de tener contenidos de H^o algo mayores, 13,7%.

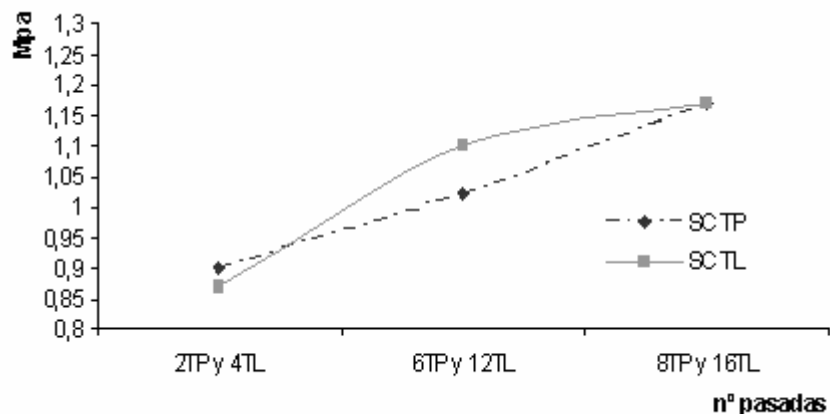


Figura 5. Evolución de la impedancia del suelo ante el pasaje de tractor liviano (TL) y pesado (TP) en siembra convencional (LC). Valores entre 0 y 10 cm.
Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay, 2006.

A mayores profundidades, entre 10 y 30 cm, los contenidos de H^o eran de 16,1% y las curvas de los dos tractores se comportaron con tendencias similares, $y = 0,08x^2 - 0,2x + 1,26$; $r^2 = 0,99$ para el pesado e $y = 0,105x^2 - 0,305x + 1,32$, $r^2 = 0,98$ para el liviano, a pesar de que este último siempre presenta los menores valores, (figura 6). A diferencia del sistema de directa, los aumentos de compactación se verifican a partir de las 6 y 12 pasadas. Probablemente sea debido a que este suelo se encuentra estabilizado en profundidad con niveles de compactación más altos derivados de la labranza, lo que puede provocar, que si bien, presenta mayores valores de impedancia al inicio, se comporte como menos susceptible.

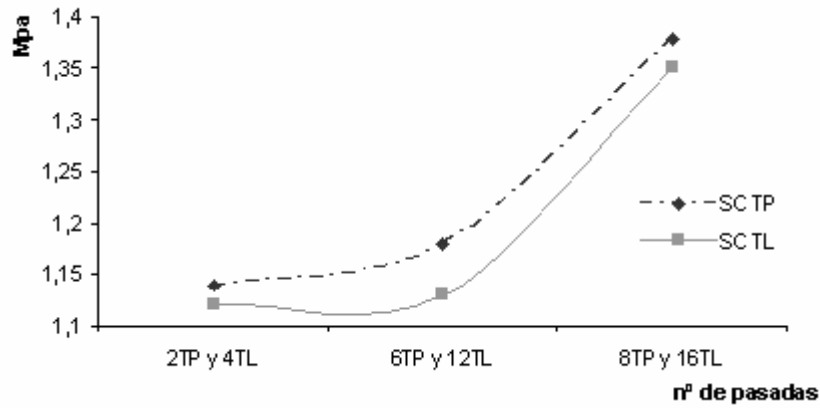


Figura 6. Evolución de impedancia del suelo ante el pasaje de tractor liviano (TL) y pesado (TP) en siembra convencional (LC). Valores entre 10 y 30 cm. Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay, 2006.

Con respecto a los valores de Dap en los primeros estratos, figura 7, el tractor liviano causa todo el efecto en las primeras pasadas para luego comportarse en forma constante a diferencia del pesado que sigue una tendencia similar a la de RP. Los aumentos de Dap para ambos son importantes al relacionarlos con el valor testigo 1,12.

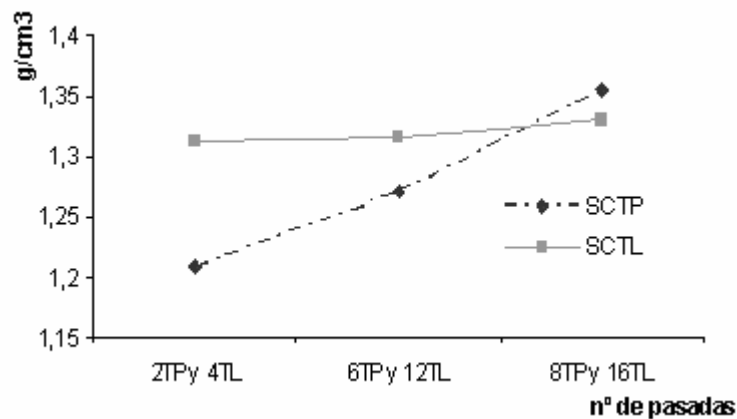


Figura 7. Evolución de la densidad aparente en función del número de pasadas del tractor liviano (TL) y pesado (TP) en siembra directa (SD) entre 0 y 10 cm. Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay, 2006.

En profundidad, figura 8, el comportamiento respecto a aumentos de Dap es más estable aunque se siguen observando aumentos con respecto al valor testigo de 1,14 g/cm³ para esta profundidad, lo que indica que aún a esta profundidades y con bajos contenidos de H^o, 16,1%, se producen efectos de disminución de porosidad.

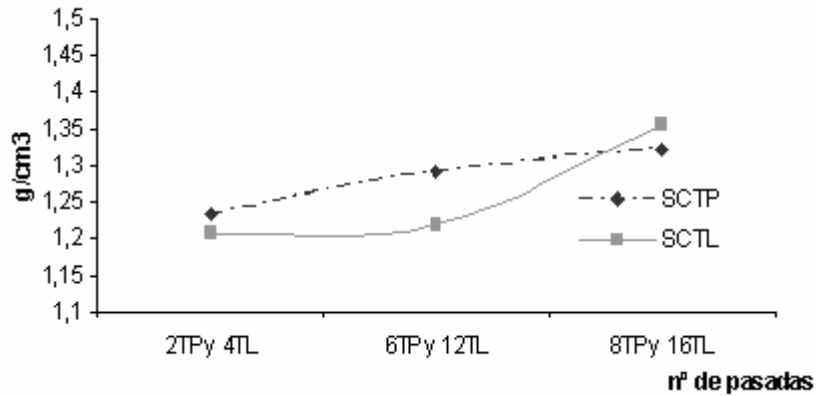


Figura 8. Evolución de la densidad aparente ante el número de pasadas del tractor liviano (TL) y pesado (TP) en siembra convencional (LC) entre 10 y 30 cm.
Fuente: INTA PRECOP Concepción del Uruguay, 2006.

■ Conclusión

La impedancia superficial del suelo bajo siembra directa, esta afectada por el número de pasadas y no por la intensidad del tránsito vehicular.

En labranza convencional, la impedancia superficial del tractor pesado, se comportó de manera similar a lo sucedido en siembra directa, en cambio, el tractor liviano mostró un comportamiento similar al tractor pesado, pero de forma inversa a lo ocurrido en directa.

En siembra directa la compactación subsuperficial, medida como resistencia a la penetración, es función de la masa del vehículo. Contrariamente, en labranza convencional, es función del número de pasadas del vehículo.

La densidad aparente en siembra directa no es afectada por el número de pasadas del vehículo sino por la masa del mismo.

En labranza convencional la densidad aparente superficial del tractor liviano aumenta con las primeras pasadas para luego comportarse como estable, en cambio el tractor pesado aumenta en forma progresiva. En siembra directa, el aumento de densificación es más estable.

En todos los casos los niveles de compactación difirieron significativamente del valor testigo.

Autores: Pozzolo, O. R.^{1,2}; Gange, J. M.²; Ferrari, H. J.¹; Hegglin, J. P.¹; Rivarola, S.²; Curró, C.¹ y De Battista, J. J.¹

¹Estación Experimental Agropecuaria INTA Concepción del Uruguay, Ruta P. 39, Km 143,5, CP 3260, CC 6, Entre Ríos, Argentina. E-mail: opozzolo@correo.inta.gov.ar

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Paraná, Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

EEA INTA Manfredi. Ruta Nac. 9, km. 636. Manfredi, Córdoba. TE: (03572) 493039