



## EVALUACIÓN DEL IMPACTO DEL TRÁNSITO DE MAQUINARIA EN LA COSECHA FORESTAL

Federico LAROCCA<sup>1</sup>; Miguel NEIFERT; Ayrton LUNA

### RESUMEN

La operación y el tránsito de maquinaria en el aprovechamiento forestal ocasionan importantes impactos en propiedades físicas del suelo y consecuencias en la productividad posterior. En esta publicación se presentan los lineamientos generales y algunos resultados iniciales del proyecto "Impacto de la cosecha de plantaciones de *Eucalyptus grandis* sobre el suelo y la sustentabilidad de la producción", llevado adelante por el grupo de investigación de Licenciatura en Administración Rural de UTN Concordia, con la colaboración de Forestal Argentina S.A. Los objetivos del mismo son: *i)* Evaluar el impacto ocasionado por el tránsito de maquinaria en el aprovechamiento del raleo de forestaciones de *Eucalyptus grandis* sobre la productividad de la forestación; *ii)* Evaluar la evolución en el tiempo de algunos parámetros físicos y su recuperabilidad natural; *iii)* Valorar económicamente estos impactos. Como resultados preliminares se observan: incremento de la Densidad Aparente del suelo y de la Resistencia Mecánica a la Penetración en la vía de saca que se van recuperando con el pasar del tiempo, pero que se mantiene por varios años, y mermas en la productividad posterior de la forestación en las áreas impactadas. Estos efectos intentan valorarse económicamente por tres métodos diferentes.

**Palabras clave:** cosecha, compactación, valoración económica, costos ambientales

### 1. INTRODUCCIÓN

Cuestiones operativas -como la demanda continua de materia prima por parte de las industrias y la necesidad de mantener una oferta laboral estable a quienes prestan servicios de cosecha- llevan a los productores forestales a continuar las operaciones en condiciones de suelo que no son las adecuadas, generando incrementos en la Densidad Aparente (mermas en la porosidad del suelo), que traen consecuencias como disminución de la capacidad de infiltración y almacenamiento de agua, incremento del escurrimiento superficial y/o encharcamientos, incrementos en la dureza del suelo y su correlato en la menor capacidad de exploración de las raíces en la próxima rotación, todo lo que deriva en menores expectativas de productividad y a su vez mayores dificultades y requerimientos de potencia y consumo para preparar el suelo, menor transitabilidad, roturas, etc.

Muchas veces, al tomar la decisión de continuar la operación aún a costo de compactar o interrumpirla para proteger el suelo, no se conoce con precisión los efectos que tendrá una u otra decisión y no se cuenta con una herramienta que permita valorarlas en los mismos términos para compararlas, se entiende que la valoración económica del impacto podría contribuir en tal sentido.

La relación entre la densidad del suelo y el crecimiento de las plantas es una asociación compleja, más que una simple relación de causa – efecto. La interpretación de los efectos de la compactación debe ser efectuada considerando su variación relativa. En suelos de zonas con clima templado, son considerados perjudiciales incrementos de alrededor del 15 – 20% de la densidad media del suelo (Seixas, 2002). Fernández et al. (1998) estudiaron los cambios en la densidad aparente y la resistencia mecánica en los 50 cm superiores para tala rasa de pinos, desmonte reciente y monte nativo, concluyendo que en las áreas de tala rasa los mayores impactos del tránsito se concentran en las vías de extracción y en menor medida en áreas de elaboración y acopio. Encontraron incrementos de cerca del 33% en la Densidad Aparente (Dap) para los 5 cm superficiales comparando vías de

<sup>1</sup> UTN Facultad Regional Concordia. Grupo LAR. Contacto: [federicol1968@gmail.com](mailto:federicol1968@gmail.com)



saca con áreas no transitadas.

En lo que hace a los métodos de medición de estos impactos la mayoría son determinaciones gravimétricas y penetrométricas. Hay penetrómetros estáticos disponibles comercialmente, consisten en un eje rígido terminado en un cono vinculado a un dispositivo de medición de la presión y registros de datos (convirtiéndolos en penetrógrafos). Los penetrómetros dinámicos, por su parte, no funcionan a través de la aplicación de una fuerza a velocidad constante como los anteriores, sino a través de la aplicación de una cantidad conocida de energía cinética, proporcionada por la caída de una pesa que se desplaza libre hasta un tope vinculado rígidamente al eje que termina en un cono que penetra en el suelo. Ante la multiplicidad de sistemas y métodos para evaluar estos impactos Herrick y Jones (2002) y Jones y Kunze (2004) concluyen que los Penetrómetros Dinámicos de Cono (PDC) son un método práctico, económico, eficiente y aplicable a un amplio rango de condiciones. La determinación de RMP evalúa directamente el esfuerzo que deben hacer las raíces para penetrar en el suelo, los valores obtenidos con los PDC serían de tres a diez veces más altos que la fuerza mecánica ejercida por las raíces. Si bien la máxima fuerza que son capaces de realizar los vegetales para expandir sus raíces variará dependiendo de múltiples factores (del suelo y de las plantas), algunos autores citan valores entre 0,9 y 3 MPa, tomándose como valor de referencia 2 MPa (Camargo Correa y Daniluk 2006; Micucci y Taboada 2006). Estos mismos autores afirman que es esperable que la elongación de las raíces de muchos cultivos decline con valores mayores a 2,5-3 MPa.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se instalaron Parcelas Permanentes de Medición (PPM) en pares de situaciones con huellas y sin ellas en campos forestales del Departamento Paso de los Libres (Corrientes) donde se habían raleado recientemente forestaciones de *Eucalyptus grandis*, extrayendo con Forwarder los productos de la cosecha lo que ocasionó huellas de importantes dimensiones en las vías de saca (1 cada 4 filas).

Se evalúan semestralmente en 15 puntos de monitoreo apareados: Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP), Contenido de Humedad (CH) y Densidad Aparente (Dap) del suelo en la huella y fuera de ella, en capas de 0 a 10 y de 10 a 20 cm de profundidad. Se utiliza el Sacamuestras de Uso Extendido (SUE) desarrollado y validado por Larocca (2006), que permite estimar el primero de los parámetros mientras se extraen en la misma operación muestras de suelo para determinar en laboratorio los demás.

Se miden anualmente cinco pares de parcelas permanentes de medición de árboles, en las que se evalúa: supervivencia, diámetro a la altura del pecho y altura total, a partir de ello se calcula el área basal y el volumen y su evolución, pretendiendo deducir el efecto de las huellas a partir del seguimiento de los pares de parcelas desde el momento del impacto hasta tres años posteriores.

A partir de los resultados de las mediciones, además del registro de datos operativos, consultas y entrevistas se pretende valorizar el impacto por tres métodos diferentes (según Tomasini, 2008):

- *Merma de la productividad*, se estima el valor a partir de la diferencia de crecimiento entre parcelas con y sin huellas.
- *Costo de reparación*, se estima el costo de las labores que se requerirían para “descompactar” el suelo
- *Valoración contingente*, consiste en valorar la “disposición a pagar” diferencial en función de consultas y/o encuestas a una muestra de la población interesada y con conocimiento.

## 3. RESULTADOS PRELIMINARES

**Evaluación del crecimiento en las PPM.** Se realizó la primera medición apenas producidas las huellas del raleo, cuando aún no deberían notarse efectos en el crecimiento, los diámetros medios de los árboles remanentes del raleo resultaron alrededor de los 25 cm, las alturas medias alrededor de los 28 m y las densidades post raleo en 320 árboles por hectárea. Esto determinó un volumen (promedio de las 5 parcelas) de 180 y 181 m<sup>3</sup>/ha para los tratamientos Sin y Con Huella respectivamente.



Se realizó una segunda medición a los 19 meses resultando mayores crecimientos en volumen en todas las parcelas Sin Huella respecto a su par Con Huella que en promedio fueron del 17,5% (55,3 m<sup>3</sup>/ha vs 47,1 m<sup>3</sup>/ha). La tercera medición, a los 31 meses de la inicial, no pudo completarse en los 5 pares ya que algunas parcelas habían sido taladas, no obstante, quedaron dos pares completos y otra parcela sin par y con ellas se corroboró que la diferencia continuaba incrementándose, dependiendo de cómo se tomaran las parcelas -si sólo los pares o todas- las Sin Huella volvieron a crecer alrededor del 16% más en este último año de evaluación (43,6 m<sup>3</sup>/ha vs 37,6 m<sup>3</sup>/ha), es decir que la diferencia continuó acrecentándose acumulándose cerca de 14 m<sup>3</sup>/ha de mayor crecimiento en poco más de 2,5 años desde el impacto.

**Propiedades Físicas del suelo.** Se realizó la primera medición de propiedades físicas del suelo (RMP, CH y Dap) dentro del mes de la cosecha (raleo). Se repitió la medición a los 4 o 6 meses -dependiendo del lote, ya que los lotes no fueron cosechados en la misma fecha y la primera medición se hizo al mes del raleo y la segunda se hizo toda en la misma campaña de campo-. Posteriormente se repitieron las mediciones cada 6 meses.

**Densidad Aparente (Dap).** En la primera medición, resultan notorias diferencias que demarcan la densificación y consecuente disminución de la porosidad en el suelo de la huella respecto a la entrelínea que no la tiene. Aunque se debe hacer notar que ambos sitios presentan valores absolutos relativamente altos (Cuadro 1), tanto donde hay huella como donde no la hay, parecería estar compactado el suelo, en la huella los valores son entre 6,5% y 9% mayores que en el sector sin huella, siendo mayores las diferencias de 10 a 20 cm que en los 10 cm superficiales. Al aplicar la prueba de t para medias apareadas las diferencias resultaron significativas tanto entre "Con Huella" y "Sin Huella", como también entre las dos profundidades analizadas. En agosto de 2015 se realizó la segunda medición (Cuadro 2), para los 10 cm superficiales habría una aparente recuperación parcial de la porosidad, al disminuir la Dap seis meses después de la compactación, en la segunda capa de profundidad (de 10 a 20 cm) la recuperación se produciría más tardíamente. Hacia abril y agosto de 2017 (31 meses después de la cosecha), los valores continúan recuperándose ya en ambas profundidades, no obstante conservan niveles altos y siguen siendo mayores en el área compactada, a su vez la deformación superficial sigue siendo notoria así como el encharcamiento en el sector de huella.

**Cuadro 1.** Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) en la huella y en la entrelínea para dos capas de profundidad. Primera medición (enero y marzo 2015)

Situación	0 a 10 cm	10 a 20 cm	Total general
Con Huella	1,767	1,875	1,821
Sin Huella	1,660	1,722	1,671

**Cuadro 2.** Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) en la huella y en la entrelínea para dos capas de profundidad. Segunda medición (agosto 2015)

Situación	0 a 10 cm	10 a 20 cm	Total general
Con Huella	1,651	1,910	1,780
Sin Huella	1,545	1,777	1,661

**Cuadro 3.** Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>) en la huella y en la entrelínea para dos capas de profundidad. Quinta medición (abril 2017)

Situación	0 a 10 cm	10 a 20 cm	Total general
Con Huella	1,604	1,811	1,708
Sin Huella	1,500	1,748	1,624



**Resistencia Mecánica a la Penetración (RMP).** Del promedio de los 15 pares de micrositos muestreados en la primera medición con huella y sin ella resultan notorias diferencias en el número de golpes (Cuadro 4) necesarios para penetrar 10 cm de suelo y en consecuencia en la Resistencia Mecánica a la Penetración (Cuadro 5) para las dos capas de profundidad muestreadas. No obstante estos valores requieren ser ajustados a un contenido de humedad (CH) del suelo de referencia, requiriendo una función que aún está siendo determinada, para esta primera medición el CH era similar en ambas situaciones y siendo el contraste entre los resultados tan grande, se entiende que las diferencias se van a mantener o aumentar con el ajuste. En las mediciones posteriores, la huella se mantuvo prácticamente siempre en condiciones de anegamiento mientras que el resto no, lo que hace que para compararlas sea indispensable la mencionada transformación.

**Cuadro 4.** Número de golpes cada 10 cm de profundidad. Primera medición. (enero y marzo de 2015)

Situación	0 a 10 cm	10 a 20 cm	Total general
Con Huella	15,2	37,9	26,6
Sin Huella	12,6	21,7	17,2

**Cuadro 5.** Resistencia Mecánica a la Penetración en MPa. Valores sin ajustar por CH. Primera medición. (enero y marzo de 2015)

Situación	0 a 10 cm	10 a 20 cm	Total general
Con Huella	1,598	3,987	2,792
Sin Huella	1,324	2,284	1,804

Los resultados de esta medición muestran que la Resistencia Mecánica a la Penetración es sensiblemente diferente. En los primeros 10 cm la diferencia no es tan grande (21%) como de 10 a 20 cm de profundidad (70%), esto probablemente se deba a la ruptura que provoca el rodado.

**Valorización económica.** La valoración económica de estos impactos forma parte del trabajo final de carrera de dos de los autores de esta publicación y serán difundidos posteriormente a la defensa del mismo, no obstante se adelanta que fue posible valorizarlos, y que si bien los valores resultan diferentes según el método elegido, aparentan cierta consistencia o sus diferencias son justificadas y se ubican en promedio en el orden del 10 al 20% del valor de mercado de la tierra en esa zona.

#### 4. CONCLUSIONES

El tránsito de maquinaria de cosecha y transporte forestal ocasiona incrementos significativos de la Densidad Aparente y de la Resistencia Mecánica a la Penetración del suelo, llevando estos parámetros por encima de los citados en la bibliografía como limitantes para el desarrollo de cultivos posteriores.

Los valores de presión necesaria para penetrar el suelo son elevados, sobre todo de 10 a 20 cm, y según la bibliografía disponible indicarían importantes impedimentos para el desarrollo de las raíces, esto más los daños mecánicos a las mismas, la menor porosidad y la alteración de la dinámica y disponibilidad de agua y aire en el suelo explicarían el menor crecimiento de las parcelas Con Huella.

Las áreas impactadas con huellas presentaron menor crecimiento en el año y medio después de producidas las huellas y ese efecto continuo acrecentándose al año siguiente llegando a acumular una merma significativa en la cantidad de madera producida como consecuencia del impacto.

La compactación no se da sólo en la huella del rodado, sino también en otros sectores, tanto por



el tránsito como por otras operaciones.

La RMP es un parámetro mucho más sensible que la Dap, por ello las diferencias proporcionales son mucho mayores, no obstante en su determinación tiene mucho más variabilidad, los datos obtenidos son más dispersos y el error de muestreo es mayor, por lo tanto también es necesario realizar un mayor número de muestras para obtener valores estadísticos adecuados.

Es posible asignarle valor económico a estos impactos de modo de poder incorporarlos al sistema de decisiones.

## 5. LITERATURA CITADA

CAMARGO CORREA C.; DANILUK G. 2006. Evaluación de la compactación del suelo causada por maquinaria Forestal. Universidade Federal do Paraná (BR) Universidad de la República (ROU). Tacuarembó, Uruguay, Octubre de 2006.

FERNÁNDEZ R; LUPI A.M; REIS H.D; PAHR N.M.; BERNIO J. 1998. Compactación de suelos. Efecto del desmonte y la cosecha forestal sobre un ultisol. Avances en el Manejo del Suelo y Agua en la Ingeniería Rural Latinoamericana. PP: 105-112. Balbuena, RH, Benez S. G.; Jorajuria, D, Eds. Editorial de la UNLP. 1ra Ed. La Plata 1998

HERRICK J.E.; JONES T.L. 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. Soil Science Society of America Journal 66 (4): 1320-1324.

JONES D.; KUNZE M. 2004. Guide to sampling soil compaction using Hand-held soil penetrometers. CEMML TPS 04-1. Center for environmental management of military lands, Colorado State University. [www.cemml.colostate.edu/files/](http://www.cemml.colostate.edu/files/)

LAROCCA F. 2006. Desarrollo y ajuste de un sistema para monitrear el efecto ocasionado por el tránsito de maquinaria de cosecha en suelos de plantaciones forestales. Tesis de Magister en Ingeniería Ambiental. UTN Facultad Regional Concepción del Uruguay.

MICUCCI F.G.; TABOADA M.A. 2006. Soil physical properties and soybean (*Glicine max, Merrill*) root abundance in conventionally –and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina. Soil and tillage research 86 (2): 152-162.

SEIXAS F. 2002. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Gonçalves de Moraes, J.L. and Stape J.L. Eds. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Piracicaba – SP – Brasil. Cap 9, p. 313-350.

TOMASINI D. 2008. Valoración económica del ambiente. En: Agrosistemas: Impacto ambiental y sustentabilidad. R. J. Fernández, V. Cervio, A. Ferrazzino, S. Formento, L. Giuffré, S. Ratto, M. I. Puentes, & L. Giuffré (Eds.). Facultad de agronomía UBA. p. 187-214.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no hubiera sido posible sin la colaboración de numerosas personas entre ellas: Diego Longhi, Gabino Vale, Cecilia Pizzini, José Pietrantuono, Daniel Miño, Amadeo Minhondo, Luís Torres y los laboratorios de Geotecnia y de Hormigón de UTN Concordia que nos permiten utilizar sus instalaciones y equipamiento.