

Tráfico de Equipos de Cosecha, Compactación y Efectos Superficiales

Luis A. Rodríguez - Jhon J. Valencia - José G. Bolívar

El tráfico de equipos durante la cosecha de caña de azúcar afecta seriamente el suelo, la superficie y el cultivo. En explotaciones comerciales es una buena práctica cuantificar la distribución vertical y horizontal de los efectos del tráfico, para lo cual se requiere conocer la capacidad compactante de los equipos y la compactabilidad del suelo con cada evento de tráfico. La capacidad compactante de una rueda depende de la carga, su presión de inflado, su rigidez, su estructura y la altura del grabado de la banda de rodadura de la llanta (Kuipers y Van de Zande, 1994). La compactabilidad de un suelo está relacionada con la máxima densidad a la cual puede ser comprimido por una cantidad de energía dada, según su textura, estructura, contenido de materia orgánica y contenido de humedad, y se determina mediante la prueba de Proctor (González, 2009). En sentido vertical, la compactación es uno de los componentes de la degradación del suelo y puede ser superficial, si es originada por la presión de contacto suelo-llanta, o subsuperficial, por la carga sobre los ejes. En sentido horizontal el efecto del tráfico se debe a su intensidad. En consecuencia, el análisis del efecto del tráfico durante la cosecha de caña involucra cargas, presiones de contacto e intensidades de tráfico.

Intensidad de tráfico

El tránsito de máquinas sobre el campo altera las propiedades físicas del suelo debido especialmente a la compactación inducida. Aunque los efectos y el área afectada pueden ser bien conocidos, se tiene poca información sobre la distribución del tránsito en el campo durante determinadas labores o en el ciclo del cultivo. La distribución del tránsito es muy importante en labores que transportan altas cargas, como la cosecha de caña. Conocer esa distribución implica el seguimiento del tránsito de los equipos de cosecha, que se cuantifica mediante la intensidad de tráfico (IT), la cual integra el efecto de cargas, las distancias recorridas y el área de la superficie afectada o beneficiada que se expresa en $Mg \cdot km/ha$ o $t \cdot km/ha$.

El seguimiento al tráfico de equipos en el lote de cosecha consiste en la georreferenciación de los puntos del recorrido de cada vagón: entrada al lote, inicio de llenado, fin de llenado y salida del lote. Con estos puntos se calculan tres distancias correspondientes a un número igual de estados del vagón en el lote: vacío, en proceso de llenado y cargado. Cada una de las distancias recorridas por el vagón tiene asociada una carga que varía desde el

- 1 Ing. Mec., MSc., Ph.D., Cenicaña;
- 2 Ing. Agrícola, Cenicaña;
- 3 Estudiante en práctica, Cenicaña

peso propio del vagón hasta su peso total cargado con caña o peso bruto. Cenicaña, con la cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, viene desarrollando un proyecto para determinar los efectos del tránsito de equipos durante la cosecha. En el trabajo se ha realizado el seguimiento a las labores de cosecha en los Ingenios Manuelita, Riopaila-Castilla y Cauca. En la Figura 1 se muestra el registro de puntos en una cosecha mecanizada con vagones de autovolteo.

Los datos de seguimiento a cada vagón son procesados para determinar las distancias de recorrido en vacío (entrada), llenando (cosecha) y lleno (salida), las distancias asociadas con las respectivas cargas dan origen a las intensidades de tráfico. Los datos georreferenciados se pueden graficar como se muestra en la Figura 2, en la que cada línea es el recorrido de un vagón entre los puntos de entrada y salida. Las líneas horizontales inferiores representan el recorrido del vagón vacío; las horizontales superiores son el recorrido del vagón lleno

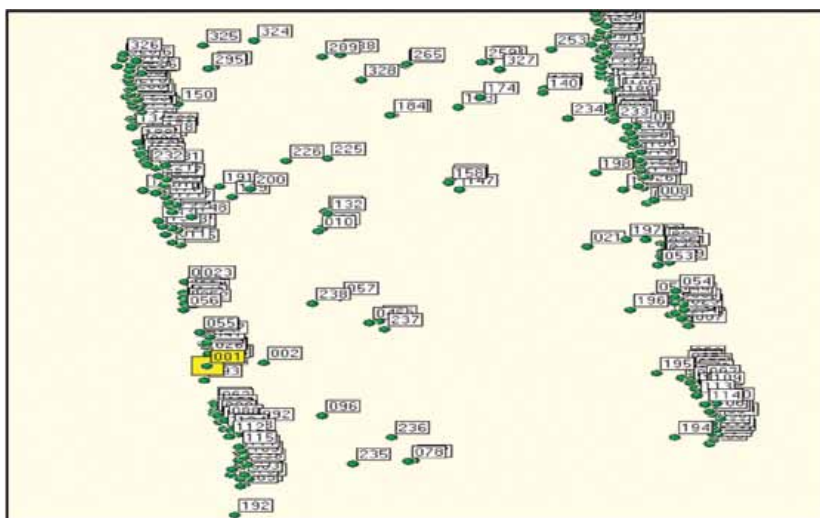


Figura 1. Registro con GPS del tránsito de vagones de autovolteo en el campo de cosecha. Ingenio Riopaila-Castilla. Hacienda Carrizal.

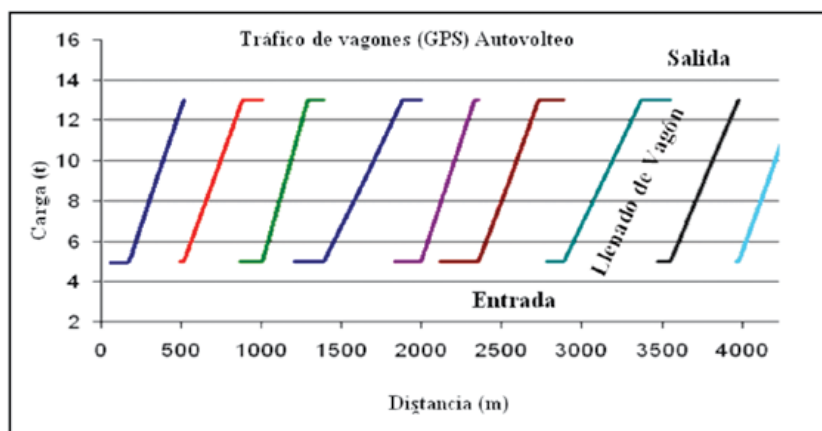


Figura 2. Variación de recorridos y cargas en un lote de cosecha para ocho vagones de autovolteo. Ingenio Riopaila-Castilla. Hacienda Carrizal.

en la distancia de salida; las líneas inclinadas representan la fase de llenado. La pendiente de esta línea es un indicador de la rata de llenado con respecto a la distancia recorrida y de la productividad del lote.

El monitoreo del tráfico de los vagones permite determinar la relación entre distancias y cargas para cada vagón; así, para los ocho vagones de la Figura 2 se tienen los promedios siguientes: distancia de entrada = 140 m, distancia de cosecha = 388 m, distancia de salida = 87 m, distancia promedio transitada por un vagón = 615

m en un lote de 250 m de longitud de surco. En promedio, 23% corresponde a recorrido vacío en el campo, 63% es recorrido efectivo cosechando, y 14% recorrido para la salida del lote. Desde el punto de vista de la eficiencia, los recorridos de entrada y salida deben ser mínimos. Esto si hay concordancia entre la capacidad de los vagones y la longitud de los surcos (diseño de campo). Además, el tonelaje de caña/ha (TCH) también tiene influencia en los recorridos del vagón. El desplazamiento de las máquinas cosechando es el recorrido efectivo durante la labor. Los recorridos de entrada y salida representan consumos, emisiones y tiempos extra de trabajo de máquinas, que pueden ser reducidos mediante diseños de campo y supervisión del tráfico de los equipos.

La IT es un buen indicador de los efectos causados por los equipos de cosecha o por un sistema de cosecha. La compactación es causada por la alta IT de tractores y máquinas durante las labores de protección del cultivo y operaciones de cosecha, en especial cuando se realizan en condiciones de suelo húmedo y alta presión de contacto

suelo-llanta (Botta *et al.*, 2007). La IT se determina para cada vagón como la sumatoria de los productos (peso*distancia) ponderada sobre el área afectada por el tráfico del vagón. La intensidad de tráfico total debe incluir, además, el efecto del tractor y la máquina cosechadora o alzadora.

En la Figura 3 se observa la IT causada por vagones HD20000, HD12000 y autovolteo en una cosecha mecanizada en la cual los vagones fueron operados por el mismo modelo de tractor. Además de considerar cargas, distancias recorridas y áreas, la IT tiene en cuenta el pase

repetido de los equipos durante la cosecha mecanizada.

Los vagones HD20000 generan la mayor IT (141 t*km/ha) a causa de su tara y capacidad; su peso bruto puede llegar a 39 t al transitar sobre el campo. El peso de los vagones sigue siendo el factor determinante en la IT. Los vagones de autovolteo, con peso propio de 5.4 t y capacidad de carga hasta de 9.5 t, son la mejor opción desde el punto de vista de la compactación, con IT de sólo 58t*km/ha. El vagón HD12000 con tara y capacidad intermedias produce IT de 97 t*km/ha. El tractor y la cosechadora generan IT iguales en los tres sistemas de cosecha (87t* km/ha y 126 t*km/ha, respectivamente). La IT total con valores 348, 304 y 265 t*km/ha deben sus diferencias sólo al efecto del peso de su respectivo vagón. Además del menor peso bruto, el vagón de autovolteo transfiere peso al tractor y ayuda a disminuir los problemas de compactación (Villegas *et al.*, 1987). El tractor, por su peso y su sistema de rodamiento, transfiere al piso menores cargas por eje, genera menor presión de contacto y causa menor compactación superficial y en el subsuelo.

$$\text{(Cosechadora)} \quad IT_c = \frac{w_c (L_c)}{\text{Área cosechada}}$$

$$\text{(Tractor)} \quad IT_t = \frac{w_t (L_e + L_c + L_s)}{\text{Área afectada o beneficiada}}$$

$$\text{(Vagon)} \quad IT_v = \frac{(w_i * L_e) + (w_p * L_c) + (w_f * L_s)}{\text{Área afectada o beneficiada}}$$

L_e = Longitud de entrada o longitud recorrida en vacío.

L_c = Longitud cargando o de cosecha.

L_s = Longitud de salida o longitud recorrida por el vagón cargado.

L_t = Distancia total recorrida por el vagón = $L_e + L_c + L_s$.

w_i = Peso de entrada del vagón vacío.

w_p = Peso promedio del vagón cargando.

w_f = Peso final del vagón (cargado) o peso bruto.

w_t = Peso del tractor.

w_c = Peso de la máquina cosechadora.

Área Cosechada = $L_c * S$

Área Afectada = $(L_e + L_c + L_s) * S$

S = Distancia entresurcos

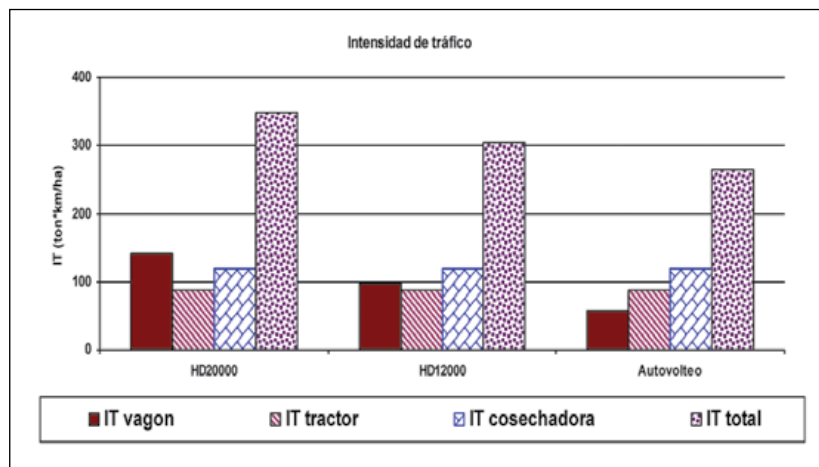


Figura 3. Intensidad de tráfico causada por diferentes sistemas de cosecha (vagón, tractor, cosechadora). Ingenio Riopaila-Castilla. Hacienda Carrizal.

Pisoteo sobre la cepa

El tráfico de equipos durante la cosecha causa efectos por 'pisoteo' o tráfico directo sobre la cepa, que pueden reducir la producción hasta en 45%. Por compactación causada por tráfico confinado al entresurco las pérdidas llegan a 10% (Torres y Villegas, 1993). El pisoteo de los equipos sobre la cepa se presenta en las cabeceras y a lo largo del surco.

En las cabeceras el pisoteo se debe básicamente, a la longitud de los equipos, a aspectos relacionados con el diseño de campo, como el ancho de los callejones, y finalmente a la forma y cuidados en la operación de los equipos. En la Figura 4 se observan las longitudes de surco pisadas en las cabeceras por tres vagones diferentes en una cosecha mecanizada en callejones de 8 m. En promedio, la longitud pisada por el surco alcanza hasta 35 m para el caso del vagón HD20000. El vagón de autovoltteo, por su menor longitud,

favorece los giros en los extremos con menor longitud de surco pisado en las cabeceras.

El pisoteo a lo largo del surco tiene origen en las diferencias entre la trocha de los equipos y la distancia de los entresurcos del cultivo. Los entresurcos de 1.75 m se ajustan más a las trochas modernas de vagones y tractores, reduce las pérdidas por compactación y pisoteo y asegura una mayor longevidad de la soca (Franco *et al.*, 2009). En la Figura 5 se observa el porcentaje de cepa pisado por algunos equipos de

cosecha. El mayor daño es causado por el dumper con vagón de autovoltteo de 2.45 m de trocha y llantas 23.1-26, que llega a pisar hasta el 66% del ancho de la cepa. Además, se debe tener en cuenta que por ser un vagón autopropulsado transporta cargas totales que se aproximan a 28 t y más de 9 t/eje. El vagón Caucaseco pisa 16% del ancho de la cepa con sus llantas traseras. Otro aspecto que contribuye al pisoteo es la necesidad de mantener una determinada posición relativa entre el vagón y la cosechadora, lo cual en algunos períodos obliga a cambios en la línea de desplazamiento del vagón.

Para disminuir el pisoteo por la maquinaria hay algunas recomendaciones, entre ellas, utilizar vagones cuya trocha se ajuste al entresurco de los cultivos comerciales, reducir el tamaño y peso muerto de los equipos (lo que además ayuda a reducir problemas de compactación) y confinar el tráfico al entresurco para evitar daño directo a la cepa (Villegas *et al.*, 1987).

El tránsito directo sobre la cepa afecta también la zona de raíces, incrementa la densidad aparente y la resistencia a la penetración y disminuye la conductividad hidráulica saturada (Braunack *et al.*, 2006).

Compactación

La compactación del suelo es una consecuencia directa de la intensidad de tráfico, especialmente en labores que requieren el pase repetido de cargas. Una de las mediciones para evaluar la compactación inducida en la

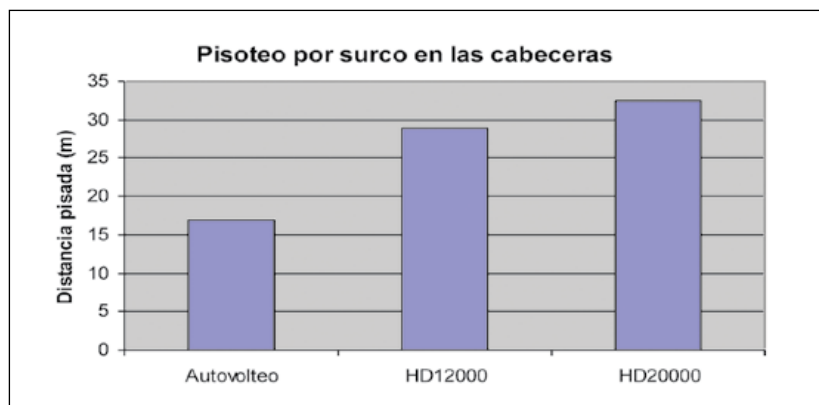


Figura 4. Pisoteo en las cabeceras en cosecha mecanizada. Ingenio Riopaila-Castilla. Hacienda Carrizal.

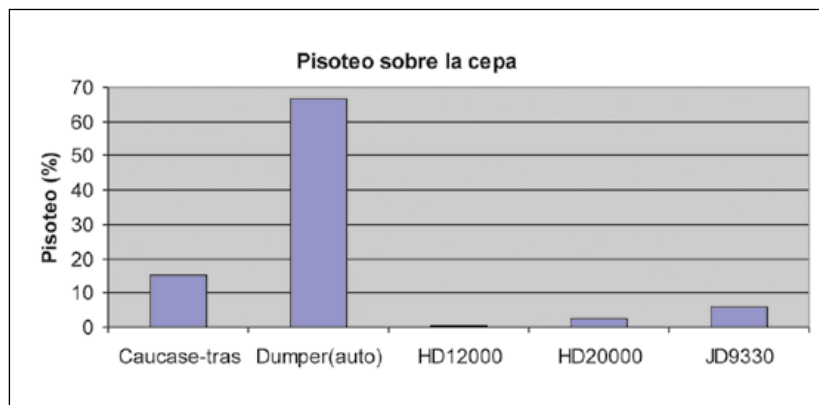


Figura 5. Pisoteo sobre la cepa a lo largo del surco. Ingenio Manuelita. Hacienda Real.

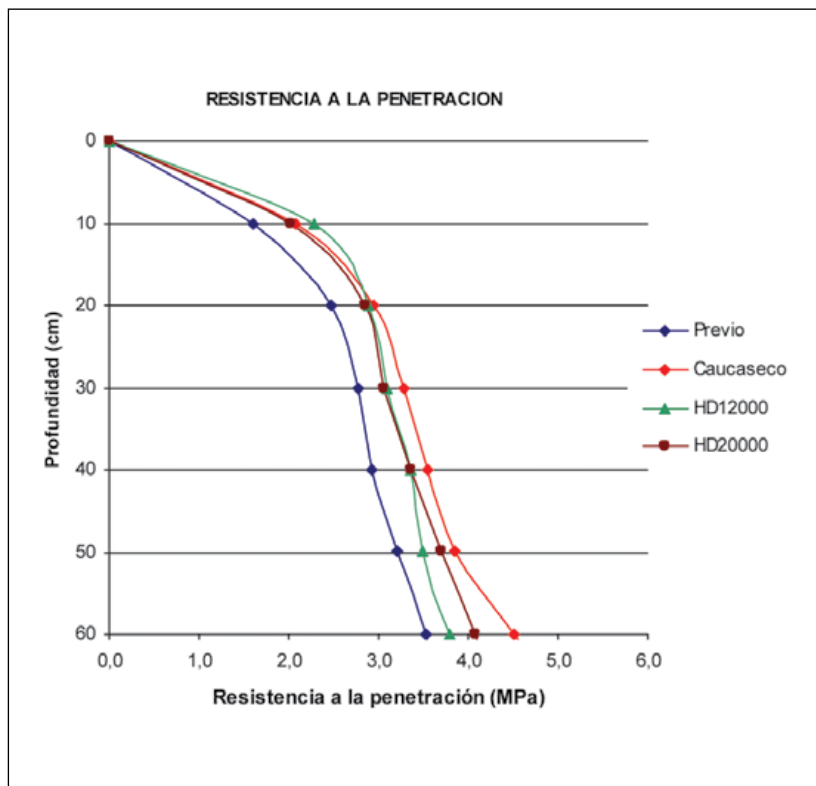


Figura 6. Mediciones de resistencia a la penetración antes y después de cosecha semimecánica con trenes de vagones. Ingenio Manuelita. Hacienda Florencia.

masa de suelo es la resistencia a la penetración (RP), que depende de propiedades del suelo, como densidad, contenido de humedad, potencial del agua en el suelo, textura, agregados, cementación y mineralogía. Su valor es un indicador de la interacción suelo-raíces; los valores de RP > 2 MPa son considerados limitantes del desarrollo de raíces (Kulkani *et al.*, 2010). En la Figura 6 se ilustra la resistencia a la penetración medida antes y después de la cosecha con trenes de vagones de cinco Caucaseco, tres HD12000 y tres HD20000, en un suelo corintias de textura fina con 23% de contenido promedio de humedad. Por textura, humedad y condición estructural (cohesión), el suelo en su estado previo mostraba una alta resistencia debida princi-

palmente a compactación natural. En general se presentó poco efecto de los trenes de vagones en la resistencia a la penetración. La cosecha en época seca favorece el suelo contra el deterioro de sus propiedades físicas y la superficie contra la alteración de su geometría.

Referencias

Botta, G.; O. Pozzolo; M. Bomben; M. Tourn; E. Soza; H. Rossato; A. Gili; J. Ressa; D. Rivero; J. Vázquez; y S. Stadler. 2007. Aplicación del tráfico controlado en la cosecha de maíz (*Zea mays* L.): Efecto sobre rendimientos del cultivo y las propiedades físicas del suelo. Buenos Aires, AgroCiencia. 23(1):13 p.

Braunack, M.V.; J. Arvidsson; e I. Hakansso. 2006. Effect of harvest traffic position on soil conditions and sugarcane response to environmental conditions in Queensland, Australia. *Soil Tillage Res.* 89:103-121.

Franco, R.; Torres J.S. y J.E. Pantoja. 2009. Impacto de la siembra a 1.75 m en la productividad de la caña de azúcar en el Ingenio Mayagüez. VIII Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar. Tecnicaña. Cali. Colombia.

Kuipers, H. y J.C. Van De Zande. 1994. Quantification of traffic systems in crop production. *Soil compaction in crop production.* Elsevier Science Ltd. Holanda. p. 417-445..

Kulkani, S. S; S.G. Bajwa y G. Huitink. 2010. Investigation of the effects of soil compaction in cotton. *Transactions of the ASABE* 53(3):667-674.

Torres, J.S. y F. Villegas. 1993. Differentiation of soil compaction and cane stool damage. *Sugar Cane* 1:7-11.

Villegas, F.; S. J. Yang; R. Franco W. Varela. 1987. Efecto de la compactación del suelo causada por el tráfico durante la cosecha de caña de azúcar, sobre la producción del cultivo siguiente. Programa de Agronomía. Documento de trabajo no. 121. Cenicafá. Colombia.