

**SOCIEDAD COLOMBIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO COMITÉ REGIONAL
DEL VALLE**

SEMINARIO

**MANEJO INTEGRAL DE SUELOS PARA UNA
AGRICULTURA SOSTENIDA**

Seminario realizado en el CIAT, Palmira Agosto 26 -28 de 1992

Fecha de Publicación: Enero de 1994

**EVALUACIÓN DE LA COMPACTACION
INDUCIDA POR LOS EQUIPOS DE
TRANSPORTE DE CAÑA**

Jorge Torres*
Fernando illegas*

RESUMEN

Dentro de la industria azucarera a nivel mundial existe un gran interés hacia el uso de equipos de transporte de caña de gran capacidad de carga montados en llantas de alta flotación, con el propósito de reducir los daños de compactación especialmente cuando la cosecha se realiza en período húmedo. Resultados experimentales obtenidos hasta ahora indican que los diferentes sistemas de transporte de caña usados en el Valle del Cauca compactan los suelos en magnitudes similares. Gran parte de los efectos de la compactación del suelo se concentran en los primeros 30-45 cm del suelo superficial. También se ha observado, que los daños directos a las cepas de caña pueden reducir la producción del cultivo siguiente hasta en un 45%.

INTRODUCCIÓN

La siembra y cosecha de la caña de azúcar es una operación continua durante todo el año. Normalmente se presentan dos períodos lluviosos en el año: el primero cubre los meses de marzo-mayo, y un segundo período de septiembre a noviembre. Los suelos cultivados con caña de azúcar en su mayoría corresponden a Mollisoles, Vertisoles, Inceptisoles o Alfisoles. Los campos de cultivo generalmente están organizados en forma de bloques rectangulares con surcos de 100-150 m de longitud y 400-600 m de ancho. El espaciamiento

entre surcos más utilizado es de 1.50 m y con unas pocas excepciones de siembra a 1.40 m de espaciamento. Actualmente, a partir de los resultados encontrados por CENICAÑA, algunos ingenios y cultivadores están ensayando la siembra a 1.75m entre surcos.

La caña de azúcar es un cultivo denso caracterizado por presentar una alta producción de biomasa, por lo cual se requiere el uso de maquinaria pesada para la cosecha y transporte de la caña a los Ingenios. El uso de equipos pesados, especialmente en período húmedo, provocan daños a las condiciones físicas del suelo, además de las posibles pérdidas en producción provocadas por el pisoteo de las cepas de caña. La cosecha de la caña en Colombia es una operación semi-mecanizada. Los campos comerciales generalmente son quemados el día anterior al corte manual. Durante la cosecha, los corteros apilan la caña de cinco ó seis surcos formando chorras de caña que son colocadas a lo largo del campo de cultivo. La caña de las chorras es recogida posteriormente por alzadoras mecánicas que la cargan en vagones con capacidad entre 3 y 8 toneladas. Existe la creencia general de que solamente al reducir las cargas superficiales que ejercen las llantas de los vagones sobre la superficie del suelo se logra reducir el impacto de los equipos sobre la compactación del suelo. Sin embargo, en la medida en que los tractores y vagones han aumentado su potencia y capacidad de carga, se están usando llantas de alta flotación y en algunos casos orugas con cadenas metálicas o de caucho que aumentan el área de contacto a niveles que pueden ser lo suficientemente altos como para

•Funcionarios CENICAÑA. A.A. 9138 Cali.

provocar daños al cultivo. El uso de la ecuación de Froehlich para predecir la compactación causada por la maquinaria, se observa que la compactación del suelo depende de la magnitud de las cargas superficiales j en mayor escala la carga total es la que determina la profundidad hasta la cual llega el efecto de la compactación (Taylor et al. 1980). Smith y Dickson (1990), estudiaron la contribución del peso vehicular y de las cargas superficiales a la compactación resultante, del tráfico de diferentes combinaciones de cargas en los ejes y de presión superficial. Sus evaluaciones concuerdan con las predicciones teóricas en cuanto a que al aumentar la carga superficial se incrementa significativamente la densidad aparente en el suelo superficial, mientras que no se observan efectos a mayor profundidad. Al aumentar la carga sobre las llantas a determinado valor de presión superficial se produjo un incremento significativo en la compactación del suelo a mayor profundidad.

Al usar prácticas adecuadas de laboreo, se pueden reestablecer las condiciones físicas del suelo a condiciones cercanas a las normales. Experimentos realizados por Hakansson (1985) sobre compactación del subsuelo debido a diferentes cargas sobre los ejes demostraron que la carga máxima sobre los ejes, para un suelo agrícola con alto contenido de arcillas, es inferior a 10 toneladas. El tráfico de los vehículos con altas cargas en los ejes resultó en un aumento de la densidad y resistencia del suelo hasta profundidades de 50 cm, el efecto de la compactación perduró por 7-8 años después del tráfico.

El uso de vagones para el transporte de caña con llantas de alta flotación ha permitido reducir las cargas superficiales hasta en un 75%. Sin embargo, a nivel de campo, los problemas asociados con la compactación* de los suelos como lo son las reducciones en la capacidad de infiltración y los efectos negativos sobre el crecimiento, continúan siendo serios (Taylor et al, 1980). El tráfico de los equipos de transporte sobre los campos húmedos pueden provocar zonas de hundimiento de 30-40 cm de profundidad con 110-120 cm de ancho. Estas huellas son difíciles de borrar usando las prácticas normales de cultivo. Bajo condiciones de suelo húmedo, las llantas de alta flotación desplazan el suelo en forma lateral, moviendo las cepas y dejando el suelo en un estado pastoso y formando una capa compacta en la superficie que restringe el drenaje y retarda el desarrollo de la caña (Fuelling, 1979, Humbert, 1968). En el valle del Río Hebert en Australia las producciones de caña han venido declinando a un ritmo de 0.5 toneladas de caña por hectárea durante los últimos 15 años. Wood indica que los suelos cultivados continuamente con caña de azúcar son más compactos, más ácidos, contienen menos materia orgánica y poseen una menor capacidad de intercambio catiónico que zonas en otros cultivos, lo cual sugiere una degradación de los suelos debido al uso intensivo de la maquinaria agrícola.

La compactación del suelo tiende a aumentar la resistencia a la penetración, reduce la velocidad de infiltración de los suelos, aumenta la cantidad relativa de microsporos y reduce la porosidad aérea y el agua disponible de los suelos. Yang et al (1976) estudiaron los efectos de la cosecha semi-mecanizada en Taiwán y encontraron que al aumentar el número de pases de las máquinas se aumentó la densidad aparente y la resistencia a la penetración. Al mismo tiempo, el efecto de la compactación fue más severo cuando la cosecha se realizó en período húmedo.

Las reducciones en producción de caña y azúcar son la resultante del efecto integrado de la compactación del suelo, daños directos al cultivo y deterioro de las capas de caña debido a un envejecimiento de la plantación. Los efectos anteriores son difíciles de diferenciar, hecho por el cual se adelantó la presente investigación para medir el efecto de diferentes sistemas de transporte de caña sobre la compactación y producción del cultivo siguiente, cuando la cosecha se realiza en período húmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las evaluaciones iniciales de campo fueron realizadas en plantaciones comerciales de caña de azúcar del Cauca. El suelo correspondió a un Mollisol sembrado con la variedad MZC 74275, la cual se por ser una variedad temprana, de alta producción de caña. Inicialmente se evaluó el tráfico y daño a la plantación provocado por tres sistemas de transporte comúnmente usados en el Valle del Cauca: Sistema convencional, vagones de autovolteo y el sistema Dumper. Los tratamientos incluyeron tráfico de equipos:

- 1.-Tractor (Volvo, 82 kw) + 3 vagones convencionales (capacidad 4 toneladas) + tráfico de la alzadora.
 2. Tractor (Cameco 235B, 123kw) + 2 vagones de auto-volteo (capacidad 7 toneladas) + tráfico de la usadora.
 3. Tractor (Steiger puma 1000, 152 kw) 4- 2 vagones de autovolteo (capacidad 7 toneladas) + tráfico de a alzadora.
 4. Dumper (Volvo BM 5350, 179 kw) 4- 4 vagones (capacidad 7 toneladas) + tráfico de la alzadora. Cameco
- La alzadora Cameco sp 3000 fue incluida en todos los tratamientos.

El experimento fue planteado a nivel de campo siguiendo una distribución de bloques al azar con tres. Las parcelas usadas tenían una longitud de 140 m y el número de surcos se ajustó teniendo en radio de giro de los diferentes equipos de transporte estudiados. Los tres primeros tratamientos integrados por parcelas de 24 surcos espaciados a 1.5 m (36 m de ancho) y las parcelas del tratamiento 4 correspondiente al sistema Dumper tuvieron un ancho de 36 surcos (54 m). Las evaluaciones se realizaron bajo condiciones de suelo húmedo. La humedad del suelo en los primeros 20 cm estuvo por el valor de capacidad de campo (37.9%). El día anterior al tráfico del equipo de transporte se una precipitación de 100 mm. EN LA Tabla 1 se presentan las características más importantes de la maquinaria usada en el estudio. El tractor Volvo de 82 kw usado para halar los vagones convencionales presentó el menor peso y la menor distancia entre llantas, la trocha delantera es de 1.62 m y la trasera de 1.94 m. Los tractores CAMECO y STEIGER son de alta potencia y, consecuentemente, sus pesos son mayores y están cercanos a las 12 toneladas. El Dumper, el primer vagón incorporado al cuerpo del tractor, lo cual hace que su peso sea el mayor. La presión y estática de las llantas ó presión superficial ejercida sobre el suelo por los diferentes equipos, presentó un valor de 456 kpa para el vagón convencional cargado. Este valor es el más alto debido a la pequeña superficie de contacto del vagón convencional que está montado en llantas ref. 11.25 x 28. Los otros sistemas de transporte presentaron cargas superficiales entre 70-100 kpa, debido a que usan llantas de

alta flotación referencia 23.1 x 26. En cuanto al vagón convencional, tiene una capacidad de 4 toneladas y gran parte de su peso se transfiere sobre las dos llantas traseras. Dependiendo de la producción de caña y del período de cosecha, un tractor por lo general hala entre 2 y 8 vagones por viaje. En el período húmedo, solamente uno o dos vagones son halados por un tractor a causa del exceso de humedad en el suelo. Los vagones de auto-volteo; el sistema Dumper tienen una gran capacidad de carga y su peso está distribuido sobre 4 a 6 llantas de alta flotación, lo cual reduce la presión de contacto superficial a 76-90 kpa.

Tabla 1. Características más importantes de los equipos de transporte de caña.

| PARÁMETRO | CONVENCIONAL | | AUTO - VOLTEO | | | DUMPER | | ALZADORA CAMECO |
|------------------------------------|------------------|----------|-------------------|--------------------|-----------|------------------|-----------|--------------------|
| | Tractor Volvo | Vagón | Tractor Cameco | Tractor Steiger | Vagón | Tractor Volvo | Vagón | |
| Potencia (kw) | 82 | - | 123 | 152 | - | 179 | - | 75 |
| Peso máquina (kg) | | | | | | | | |
| Vacía | 6250 | 2060 | 11630 | 11420 | 8500 | 11700 | 7870 | 8390 |
| Cargada | - | 6248 | - | - | 14997 | 24960 | 15130 | 8990 |
| Número de llantas | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 |
| Ref. llanta delantera | 11 x 16 | 6 x 16 | 23.1 x 26 | 23.1 x 34 | 23.1 x 26 | 23.1 x 26 | 23.1 x 26 | 23.1 x 26 |
| Ancho trocha (m) | 1.62 | 1.23 | 1.82 | 2.56 | 2.73 | 2.02 | 2.02 | 2.00 |
| Ref. llanta trasera | 23.1x30 | 11.25x28 | 23.1 x 26 | 23.1 x 34 | 23.1 x 26 | 23.1 x 26 | 23.1 x 26 | 23.1 x 26 |
| Ancho trocha (m) | 1.94 | 2.22 | 1.82 | 2.56 | 2.73 | 2.02 | 2.02 | 2.00 |
| Area de contacto (m ²) | 0.7048 | 0.1344 | 1.7888 | 2.0296 | 1.9264 | 2.3976 | 1.6576 | 1.1200 |
| Presión superficial (kpa) | | | | | | | | |
| Vacía | 87 | - | 63 | 55 | - | - | - | - |
| Cargada | - | 150 | - | - | 43 | 73 | 46 | 74 |
| | - | 456 | - | - | 76 | 102 | 89 | 78 |

DESPUÉS DE la cosecha se excavó una calicata por repetición, en donde se tomaron muestras para determinarles el contenido de humedad, densidad aparente y porosidad total. Posteriormente, se tomaron lecturas de resistencia a la penetración, usando un penetrómetro de mano y se midió la velocidad de infiltración con cilindros infiltrómetros.

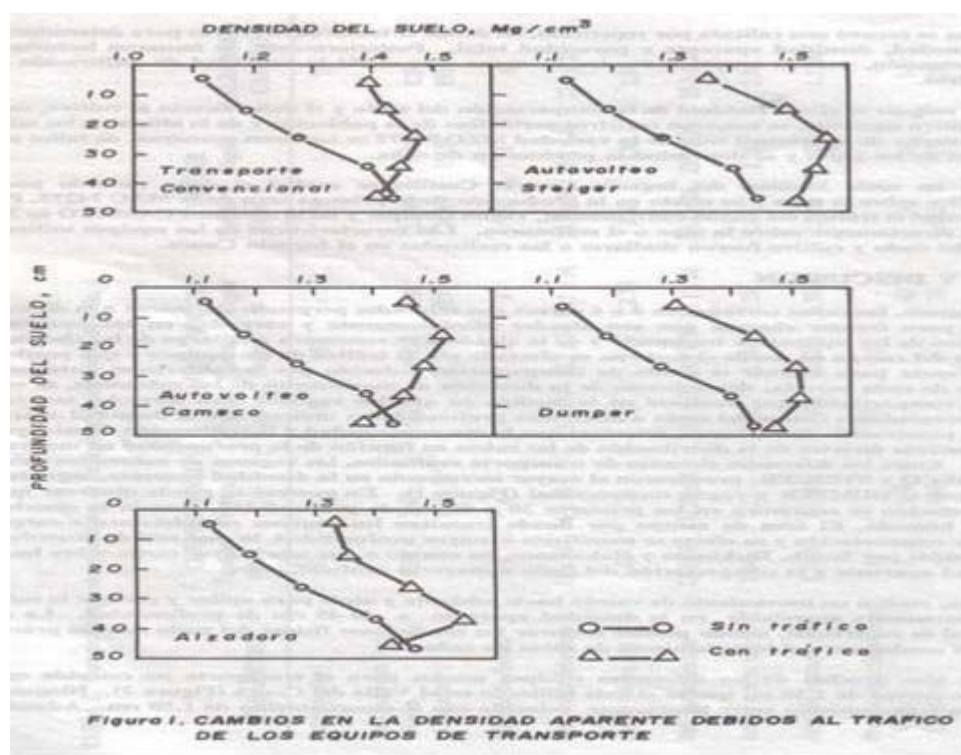
Con el propósito de asignar el efecto residual de la compactación del suelo y el daño directo al cultivo, sobre la producción del cultivo siguiente, se tomaron registros periódicos de la población y de la altura de los tallos, de la cosecha de la primera soca de la variedad MZC 74275 se tomaron muestras de tallos para la calidad de los jugos y se determinó la producción de caña.

Posteriormente, en un suelo Mollisol del Ingenio Central Castilla se evaluó el daño causado por la comparación y tráfico sobre la cepa y su efecto en la producción de la primera soca de la MZC 74275. Para este propósito, se evaluó el tráfico del vagón convencional, vagón Dumper y de la alzadora CAMECO sp 3000 con tráfico dirigido directamente sobre la cepa o el entresurco. Las características de los equipos utilizados y las evaluaciones del suelo y cultivo fueron similares a las realizadas en el Ingenio Cauca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

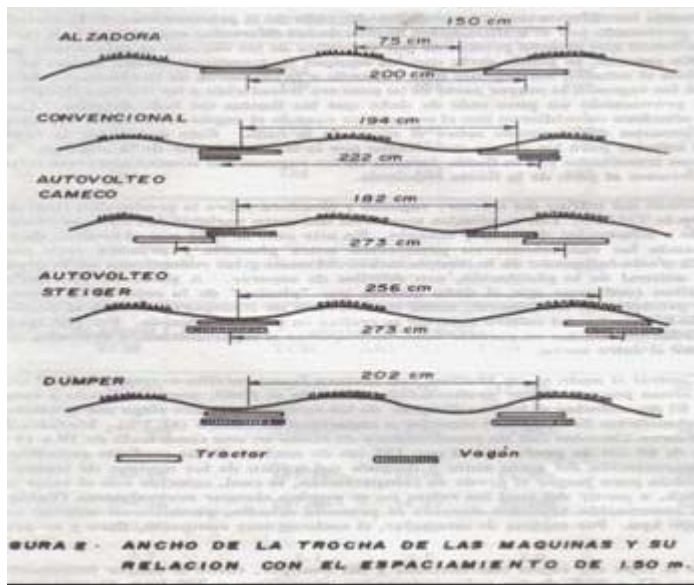
Dependiendo del Ingenio, las cañas cortadas de 4 a 6 surcos son colocadas perpendicularmente a la dirección del surco de caña para formar chorras que son alzadas mecánicamente y cargadas en los equipos de transporte. El tráfico de los equipos de transporte y de la alzadora se concentra a lo largo de las

churras de caña dejando áreas del campo en donde el suelo no es afectado por el tráfico de los equipos y que puede ser tomando como referencia para asignar el grado de compactación inducido por los diferentes sistemas de transporte. Dentro de cada parcela, dependiendo de la dirección de movimiento de las máquinas, se causó un gradiente en la compactación que aumentó en la medida en que los vagones eran cargados con caña. Mediciones de las propiedades físicas del suelo a diferentes profundidades indican que la densidad aparente y la resistencia a la penetración aumentaron, mientras que la macroporosidad y la infiltración disminuyeron con el tráfico. Muestreos directos de la distribución de las raíces en función de la profundidad no mostraron un airón definido. Entre los diferentes sistemas de transporte evaluados, los vagones de autovolteo halados por a tractor CAMECO y STEIGER, provocaron el mayor incremento en la densidad aparente, seguidos en orden decreciente por el DUMPER y vagón convencional (Figura 1). En general se puede observar que el efecto de la compactación se concentra en los primeros 30 a 45 cm de profundidad, cuando la cosecha se realiza en período húmedo. El área de campo por donde transitan los vagones completamente cargados una mayor compactación y su efecto se manifiesta a mayor profundidad, lo cual está de acuerdo con o resultados obtenidos por Smith, Dickinson y Hakansson, en cuanto a que una mayor carga sobre los ejes aumentan la densidad aparente y la compactación del suelo a mayores profundidades.



La alzadora de caña, realiza un movimiento de vaivén hacia adelante y atrás para apilar y recoger la caña lo cual provoca un incremento apreciable en la densidad aparente a 40-45 cm de profundidad. La zona compacta en general es superficial, siendo posible mejorar las condiciones físicas del suelo con las prácticas normales de cultivo usadas para el levantamiento de socas de caña.

La distancia entre ejes (trocha) de los diferentes equipos usados para el transporte no coincide con el espaciamiento entre surcos de 1.50 m, que es el más utilizado en el Valle del Cauca (Figura 2). Ninguno de los equipos tiene un espaciamiento entre llantas que coincida con el espaciamiento de 1.50 m. Además,



algunos equipos presentan diferencias entre el ancho de las trochas delantera y trasera. Cuando una de las llantas pasa por el entre surco, la otra llanta pasa cerca o sobre la cepa de caña. Por lo tanto, el daño directo a las cepas es una condición casi inevitable.

La Tabla 2 presenta las diferencias en producción de caña de la primera soca de la variedad MZC 74275 a causa del daño provocado por el tráfico de las llantas de las diferentes máquinas. Los valores promedios de producción confirman que el daño producido por el tráfico de los vagones es más severo que el inducido por la alzada. En general, se puede decir que los equipos de transporte nunca siguen un patrón de tráfico definido. Durante el estudio, los vagones iban rodando a la izquierda de la alzada. Mientras la alzada estaba cargando los vagones, la mayor parte de su peso era transferido a las llantas colocadas al lado izquierdo de la máquina provocando un poco más de daño que las llantas del lado derecho. Las llantas del lado izquierdo de la alzada coincidieron con el entresurco cuando el vagón del Dumper era cargado. Las llantas de la derecha pasaron directamente sobre el surco de la caña. Esta puede ser la razón por la cual la producción fue inferior para los surcos transitados por la llanta derecha de la alzada. La producción de caña de los surcos transitados por la llanta derecha de los vagones fue consistentemente inferior a la obtenida en los surcos cercanos al paso de la llanta izquierda.

El efecto combinado del tráfico del tractor, vagones y alzada sobre la producción final de la primera soca es presentado en la Tabla 3. Los resultados muestran una gran variabilidad en la producción de caña de la plantilla, debido a diferencias de suelo y manejo. En este caso se optó por el análisis de varianza y prueba de Duncan usando las reducciones en producción entre plantilla y primera soca para los diferentes tratamientos. El efecto integrado de la compactación del suelo y las reducciones en la producción debido al envejecimiento natural de la plantación, son difíciles de separar. A pesar de este hecho, los resultados obtenidos permiten confirmar que el daño directo por "pisoteo" de la cepa es la causa principal de las reducciones en producción. En general, todos los sistemas de transporte afectan la producción del cultivo siguiente cuando la cosecha del cultivo anterior se realiza en período húmedo. Por consiguiente, es necesario minimizar las áreas cosechadas en período húmedo y ajustar el espaciamiento o la trocha de los equipos para que transiten por el entre surco.

En el Ingenio Central el suelo es un Mollisol con textura franco-arcillo-arenosa de 0-30 cm, franco-arenosa de 30-60 cm y arena pura a mayor profundidad. El suelo es fértil, poco profundo y muy susceptible a la compactación. El día anterior al tráfico dirigido de los equipos se aplicó riego por gravedad garantizándose un contenido volumétrico de humedad superior a capacidad de campo (32.3%). Medidas de la resistencia a la penetración fueron tomadas con un penetrómetro de mano en una cuadrícula de 10 x 10 cm, dentro de un perfil del suelo de 60 cm de profundidad por 150 cm de ancho. Estas medidas permitieron cuantificar el estado de la compactación del suelo antes y después del tráfico de los equipos de transporte. Una escala arbitraria fue usada para juzgar el grado de compactación, la cual, coincide con el valor crítico de 200 kpa

sugerido por Dick, a partir del cual las raíces no se pueden elongar normalmente (Tabla 4). Lecturas de resistencia a la penetración tomadas durante el presente estudio, permitieron asignar como valor crítico superior el de 300 kpa. Por encima de este valor, el suelo es muy compacto, duro y no proliferan las raíces de caña.

El tráfico sobre la cepa del vagón convencional y del Dumper, causó el mayor incremento en el grado de compactación con 63 y 90% de los valores tomados, superiores a 300 kpa, lo cual corresponde a zonas compactas o muy compactas. El tráfico de la alzadora sobre el entresurco aumentó el porcentaje de áreas compactas en mayor proporción que el tráfico mismo de la alzadora sobre la cepa. La alzadora ejerce una baja presión sobre la superficie del suelo y cuando transita sobre la cepa de caña, parece que la resistencia mecánica del suelo se incrementa debido al anclaje de la cepa, la cual es suficiente para soportar el peso de la alzadora. El movimiento hacia adelante y atrás de la alzadora cuando transita sobre el entresurco provoca un gran aumento en la compactación.

Tabla 2. Diferencias en producción de caña (t/ha) a causa del tráfico de las llantas de los equipos de transporte

| SISTEMA | CONVENCIONAL | VAGÓN DE T.Cameco | AUTOVOLTEO T.Steiger | DUMPER | PROMEDIO |
|--------------------------|--------------|----------------------|-------------------------|---------|----------|
| <u>ALZADORA</u> | 131 197 | 234 139 | 157 181 | 209 101 | 183 155 |
| Llanta izquierda | | | | | |
| Llanta derecha | | | | | |
| <u>TRACTOR + VAGONES</u> | | | | | |
| Llanta izquierda | 137 | 127 78 | 145 | 200 43 | 152 |
| Llanta derecha | 116 | 73 | 73 | | 78 |
| Sin tráfico | 161 | 152 | 172 | 183 | 167 |

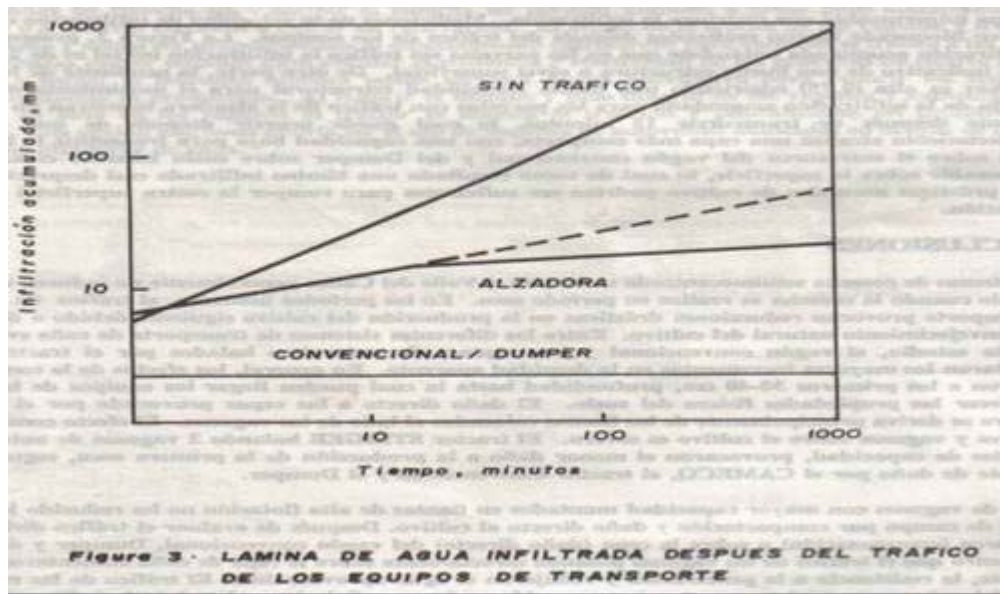
TABLA 3. Reducción en la producción de caña asociada con el tráfico de los equipos de transporte.

| SISTEMA | PLANTILLA TCH | PRIMERA SOCA | | | REDUCCIÓN PRODUCCIÓN DE CAÑA (%) |
|-------------------------------|------------------|--------------|---------|--------|--|
| | | TCH | ARE (%) | TAH | |
| Convencional | 229.6a | 138.5b | 11.45 | IS.SOb | 40.0a |
| V. Autovolteo + T. Cameco | 215.0ab | 135.6b | 11.51 | 15.98b | 36.9ab |
| V. Autovolteo + T. Steiger | 202.8b | 147.7a | 11.78 | 17.39a | 29.1b |
| DUMPER | 236.7a | 137.4b | 11.20 | 15.39b | 42.0a |
| X | 222.5 | 139.8 | 11.49 | 16.06 | 37.0 |

| | | | | | |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| CV(%) | 3.7 | 2.1 | 5.5 | 2.0 | 9.3 |
| Significancia(%) | 1.2 | 1.0 | NS | 0.2 | 1.4 |

TABLA 4. Porcentaje del área del perfil del suelo bajo diferentes grados de compactación, después del tráfico de los equipos.

| SISTEMA | TRAFICO | RESISTENCIA A LA COMPACTACION, kpa | | | | INCREMENTO COMPACTACION RELATIVA (%) |
|--------------|------------|------------------------------------|----------------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|
| | | Normal (<200) | Mod. (200-300) | Compacto (200-400) | Muy compacto (>400) | |
| Sin tráfico | - | 30 | 29 | 21 | 20 | 100 |
| Alzadora | Entresurco | 17 | 12 | 27 | 44 | 173 |
| | Cepa | 50 | 25 | 13 | 12 | 61 |
| Convencional | Entresurco | 18 | 42 | 35 | 5 | 98 |
| | Cepa | 8 | 25 | 34 | 33 | 163 |
| Dumper | Entresurco | 17 | 42 | 26 | 15 | 100 |
| | Cepa | 7 | 15 | 14 | 64 | 190 |



El uso de equipos con llantas de alta flotación, las cuales se caracterizan por presentar grandes diámetros y mayor superficie de contacto, desplazan el suelo lateralmente comprimiéndolo al lado de la cepa y creando una capa impermeable que restringe la infiltración. Mediciones de la velocidad de infiltración con el método del surco bloqueado fueron realizadas después del tráfico de los equipos. La Figura 3, presenta las curvas de infiltración acumulada notándose que en las parcelas sin tráfico la infiltración inicial es de 253 mm/hr, lo cual es indicativo de una buena estructura a nivel superficial. De otra parte, la pendiente de la ecuación de Kostiakov es alta (0.75) sugiriendo una buena estabilidad estructural para el movimiento del agua. La ecuación de la infiltración acumulada para las parcelas con tráfico de la alzadora muestran un cambio en U pendiente después de transcurrir

15 minutos, lo cual puede ocurrir después de que el frente de humedecimiento alcanza una capa más compacta, con una capacidad baja para transmitir la humedad. El tráfico sobre el entresurco del vagón convencional y del Dumper sobre suelo húmedo crean una costra impermeable sobre la superficie, lo cual da como resultado una lámina infiltrada casi despreciable. El uso de las prácticas normales de cultivo podría ser suficiente para romper la costra superficial y mejorar la infiltración.

CONCLUSIONES

Los sistemas de cosecha semimecanizada usado en el Valle del Cauca generalmente no inducen compactación del suelo cuando la cosecha se realiza en período seco. En los períodos húmedos, el tráfico de los sistemas de transporte provoca reducciones drásticas en la producción del cultivo siguiente debido a daños directos y por envejecimiento natural del cultivo. Entre los diferentes sistemas de transporte de caña evaluados en el presente estudio, el vagón convencional y los vagones de autovolteo halados por el tractor CAMECO presentaron los mayores incrementos en la densidad aparente. En general, los efectos de la compactación se limitaron a los primeros 30-40 cm, profundidad hasta la cual pueden llegar los equipos de labranza para restablecer las propiedades físicas del suelo. El daño directo a las cepas provocado por el tráfico de la alzadora se deriva principalmente de las llantas colocadas al lado de los vagones. El efecto combinado de los tractores y vagones sobre el cultivo es severo. El tractor STEIGER halando 2 vagones de autovolteo con 7 toneladas de capacidad, provocaron el menor daño a la producción de la primera soca, seguido en orden creciente de daño por el CAMECO, el tractor Convencional y el Dumper.

El uso de vagones con mayor capacidad montados en llantas de alta flotación no ha reducido los problemas a nivel de campo por compactación y daño directo al cultivo. Después de evaluar el tráfico dirigido sobre el entresurco (compactación) o sobre la cepa (daño directo) del vagón convencional, Dumper y de la alzadora se encontró que el tráfico de los vagones pasando directamente sobre la cepa de caña aumentaron la densidad aparente, la resistencia a la penetración y redujeron el agua aprovechable. El tráfico de las máquinas a lo largo del entresurco creó una costra impermeable en la superficie lo cual redujo la infiltración a valores despreciables.

El tráfico de los diferentes sistemas de transporte induce diferencias significativas en producción de caña y azúcar de la primera soca de la variedad MZC 74275 y los daños guardan relación con el tamaño y peso de los vagones. Se observó una reducción máxima en producción del 10% cuando el vagón convencional o el Dumper transitan directamente sobre el entresurco o calle de toda el área cultivada. Así mismo, el sistema

Dumper y los vagones convencionales pasando directamente sobre todos los surcos (cepas) provocaron una reducción máxima en producción de caña equivalente al 45 y 22%, respectivamente. La alzadora es una máquina relativamente liviana que ejerce una presión superficial baja, la carga sobre los ejes es pequeña y por consiguiente no provoca daños serios por compactación o daño directo al cultivo.

Como una consecuencia de los estudios relacionados anteriormente, se estima necesario concentrar el tráfico de los equipos sobre el entresurco para evitar el daño directo a la cepa. También se sugiere la sistematización de los programas de cosecha para limitar la cosecha en período húmedo a áreas poco susceptibles a la compactación o a cultivos cercanos a entrar en renovación. El ancho de la trocha de los vagones y tractores debe ser la misma y deben ser proporcionales al espaciamiento entresurcos para confinar el tráfico a las calles. Se estima necesario iniciar estudios para evaluar la eficiencia y efectividad de las prácticas de cultivo usadas a plantillas y socas; la labranza mínima puede ser una buena alternativa para reducir los costos de producción sin afectar la producción. Al reducir el tamaño y peso muerto de los vagones y aumentando la transferencia de peso de los vagones al tractor se mejora la tracción y posiblemente los problemas de compactación. Una opción adicional podría ser el uso de vagones de autovolteo montados en orugas de caucho que las alzadoras de caña.

BIBLIOGRAFÍA

1. DICK, R.G. 1987. Developers aun for optimum high flotation, high capacity vehides. *ESES Buletin* No. 20, p 10-15.
2. FUELLING, T.G. 1979. Cañe transport from wet cañe fidds. *Proc. Aust. Soc. Sug. Cañe Technol.* p 81-87.
3. HAKANSSON, I. 1985. Swedish experímets on subsoil compaction by vehides with high axle load. *Soil use and Management*. Yol 1, Number 4. p 113-116.
4. HUMBERT, R.P. 1968. *The growing of Sugarcane*. Elsevier Publishing Co., Amsterdam. p 441 y 628.
5. SMITH, D.L.O. y J.W. Dickinson. 1990. Contribution of vehide weight and ground pressure to sofl compaction. *J. Agrie. Eng. Res.* 46. p 13-29.
6. TAYLOR, J.H., E.C. BURT y A.C. BAILEY. 1980. Effect of total Load on subsurface soil compaction. *TRANS.ASAE*.p 568-570.
7. YANG, S.J. H.F. WEI y P.C. YANG. 1976. *Compaction Studies on mechanized cañe riel soils. U: Effect on mechanical harvesting on soil compaction and yield of ratoon crop*. Report of Taiwan Sugar Research Institute, No. 72. JUNE.
8. WOOD, A.W. 1985. Soil degradation and management under intensive sugarcane cultivation in North Queensland. *Soil use and Management*, Yol 1, No. 4 p 120-124.