

USO DE EXPLOSIVOS EN LA AGRICULTURA: UNA ALTERNATIVA EN EL CASO DE SUELOS COMPACTADOS

LUIS JORGE MESA LOPEZ¹ Y HARVEY NOVOA TORRES²

Resumen. La compactación del suelo afecta el medio físico del mismo, lo cual determina cambios en su comportamiento disminuyendo su productividad. La compactación, originada por causas antrópicas y/o geoquímicas reduce la permeabilidad del suelo a fluidos (agua y aire), impidiendo la recarga de agua al disminuir la tasa de infiltración, favoreciendo la formación de agua de escorrenta y consecuentemente la erosión del suelo. La reducción de la aireación de la atmósfera edáfica interfiere en la actividad metabólica de las raíces y el crecimiento de éstas al aumentarse la resistencia mecánica del suelo. La eficiencia en el uso de agua por la planta también está relacionada con problemas de compactación, siendo necesaria mayor cantidad de agua por unidad de materia seca producida; la eficiencia de la fertilización resulta menor en suelos compactados que en suelos sueltos y friables. De esta manera, el uso del suelo se restringe y se incrementan los costos de producción al ser necesario utilizar maquinaria agrícola de mayor potencia y equipo de labranza no convencional (subsoladores, arado de cincel) y labores de poca duración. El incremento en la utilización de maquinaria agrícola y su excesivo costo hace necesaria la investigación para aplicar técnicas más efectivas y económicas para resolver el problema de la compactación de los suelos y una de estas técnicas es la utilización de materiales explosivos los cuales presentan aplicación en otras actividades agrícolas.

La experiencia personal de los autores en trabajos preliminares de campo, permite recomendar la aplicabilidad de los explosivos en la remoción de tocones de árboles y la descompactación de suelos.

Abstract. Soil compaction is a dynamic soil behavior by which the state or compactness of soil is increased. Forces that cause compaction originate from two main sources; forces applied to soil by machines and animals and natural forces such as dry formation process (geochemical reactions). In crop production, soil compaction effects the quality of plants and their products. Compaction reduces the permeability of soil to water, consequently runoff and erosion may occur and soil's water storage will be limited. Compaction reduces aeration of the soil and increase the mechanical strength of the soil, so root growth is impeded. Soil's water and fertilizer applied shows very low efficiency. Use of tillage and traction machines requires bigger and more powerful increases costs of production. Therefore, the goal of the research leading to solve the problem of compaction must try to applied more efficient and less expensive methods and techniques such as the use of explosives. Field experience of the authors shows the applicability of the proposed technique.

INTRODUCCIÓN

La compactación del suelo es importante porque afecta la aprovechabilidad de los suelos para un uso propuesto. La importancia económica varía porque el valor del suelo está asociado con el uso, y el uso del suelo varía continuamente como cambia la forma de vida del hombre. La compactación del suelo afecta el medio físico debido a las relaciones

1. Profesor Asistente, Facultad de Agronomía Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, A.A. 14490.

2. Estudiante último semestre, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá.

directas entre uso de maquinaria y compactación del suelo, entre compactación del suelo y rizófera y entre ésta y producción del cultivo.

En términos generales la principal limitante que se observa en el suelo es la formación de una capa compacta a unos pocos centímetros de profundidad, causada principalmente por el uso de maquinaria agrícola pesada e inadecuada y por el pisoteo de animales (FENALCE, 1987).

La compactación del suelo es un problema presente y ha sido materia de estudio hace mucho tiempo; en 1925 se proponía un modelo matemático de predicción de dicha compactación, basado en la proporción de espacios vacíos dentro del suelo (Moroto, 1982).

Este problema ha sido detectado en muchas zonas agrícolas del país, (Cundinamarca, Tolima, Valle, Costa Atlántica) abarcando cerca de 300.000 hectáreas y reduciendo sensiblemente la capacidad productiva de los suelos. Las principales limitantes en el crecimiento y desarrollo de las plantas causadas por compactación son: 1) reducción de la capacidad efectiva para un buen desarrollo radical, 2) Reducción del área disponible con nutrientes, 3) Reducción de la capacidad de almacenaje de humedad en el suelo, 4) Reducción en el aprovechamiento de aguas subsuperficiales 5) reducción de la aireación del suelo en épocas húmedas y 6) baja la respuesta de los cultivos a los fertilizantes aplicados (FENALCE, 1987).

La función principal de la labranza es preparar y mantener un ambiente que elimine la mayor cantidad posible de obstáculos al óptimo desarrollo de raíces. Resulta paradójico, que mientras se desenvuelve el proceso de lograr condiciones físicas casi ideales en la capa próxima a la superficie del suelo, ocurra una condensación gradual de material a profundidades mayores de las de labranza, que podrían inhibir el desarrollo normal de raíces.

Cualquier operación de labranza requerirá cierta cantidad de energía o de potencia nada más para mover el implemento a través del suelo suelto. A medida que se presenta

mayor dificultad para la operación se requerirá mayor cantidad de energía. General Electric de Colombia, 1969, demostró que con cuatro pasadas del tractor antes de las operaciones de labranza, en un suelo seco, posteriormente se necesitó más potencia para las labores. Sin embargo, no es posible establecer para el productor un costo para esa potencia adicional requerida. Garner et al, 1987, demostraron que la potencia requerida y el consumo de combustible se incrementaron al incrementar la profundidad de subsolación.

Aunque la subsolación requiere de más energía permite el crecimiento de raíces en horizontes más profundos, pero los patrones de dureza pueden ser vistos al año siguiente, lo que ocasiona que las raíces crezcan lateralmente antes de penetrar por la capa subsolada; por ello se sugiere la subsolada anual como práctica integral de todos los sistemas de preparación mecánica de los suelos (Busscher et al, 1986).

Esto crea la necesidad de estudiar y desarrollar nuevas técnicas de manejo de capas sub-superficiales compactadas de suelos agrícolas, como parte de las investigaciones tendientes a facilitar la adecuación de suelos, reduciendo costos de producción y adecuar técnicas de manejo de suelos para zonas de difícil acceso. Dentro de las nuevas técnicas para este propósito se sugiere el uso de materiales explosivos, atendiendo no sólo aspectos económicos sino benéficos adicionales sobre las condiciones físicas del suelo.

CAUSAS DE LA COMPACTACION

La compactación es causada por fuerzas producidas por: a- fuerzas mecánicas originadas por el paso de maquinaria agrícola y animales; estas fuerzas son aplicadas por cortos períodos de tiempo y pueden ser medidas sin mucha dificultad; y b- fenómenos naturales, por ejemplo, el secamiento del suelo y ciertos procesos genéticos tales como Silicificación, Eluviación, etc. (Gill et al, 1967). Probablemente la compactación se ha aumentado con el incremento en el uso de maquinaria agrícola pesada e incremento en la frecuencia de cultivo involucrando el uso de herramientas muy pesadas (Greenland repor-

tado por Katou, 1987). La dispersabilidad de los suelos arcillosos puede ser una propiedad de compactación y de reducción de la infiltración por el alto porcentaje de partículas que pueden moverse en los poros del suelo (Miller et al, 1986). Las pérdidas de volumen de suelo por humedecimiento y secado, se deben principalmente a que el espacio desalojado por el agua, no es llenado por aire, con el consiguiente aumento en la densidad del mismo (McGarry et al, 1987). El secamiento de capas profundas del suelo también puede ser realizado por cultivos de plantas que secan el suelo, como la alfalfa, que no se recomienda para rotar con ningún cultivo semestral en zonas de baja pluviosidad (Grecu et al, 1988). El grado de compactación es diferencial de acuerdo al tipo de presión a que se someta el suelo correspondiente (Nimmo et al, 1988).

El empleo de maquinaria agrícola y vehículos de transporte en la preparación de la cama para la semilla en la producción y recolección de cosechas entrafia la aplicación de presiones sobre el suelo. La distribución de la presión bajo la llanta depende de

1. La cantidad de carga, que determina la presión total ejercida.
2. El tamaño del área de contacto entre la llanta y el suelo y,
3. La distribución de la presión en el área de contacto (Bayer et al, 1973). Randall et al, 1987, estudiaron esa interfase llanta suelo y determinaron que la presión de las llantas actúa de dos formas diferentes, crea picos tangenciales y picos normales en el suelo, estos últimos antes que los tangenciales o de empuje. Los picos tangenciales adquirieron mayor importancia al ver mayor compactación con cargas activas, llantas en movimiento, que con cargas estáticas (Bailey et al, 1988).

Busscher et al, 1987, describen como la dureza del suelo es menor antes de la arada que después de ella, esto visto un año después de haber sido subsolado el respectivo suelo.

Diferentes investigadores reportados por Frye, (1986), han demostrado la existencia y formación de capas de arado en suelos cultivados intensamente y por otro lado, que las

llantas del tractor y las cultivadas excesivas comprimen y compactan el suelo. Cuando una presión mecánica es aplicada al suelo éste tiende a decrecer en volumen e induce la compactación. Probablemente la compactación ha sido aumentada con el uso de maquinaria pesada e incremento en la frecuencia de cultivo involucrando el uso de herramientas muy pesadas (Greeland, reportado por Katou, 1987). Las fuerzas distintas de las mecánicas también causan compactación, pero medir esas fuerzas es extremadamente difícil, los datos muestran que la compactación causada por secamiento y contracción del suelo puede ser tan grande como la causada por fuerzas mecánicas (Baver et al, 1973, Gill et al, 1967). La presión y apelmamiento causados por los animales es mayor pero menos continuo que el causado por las llantas del tractor (Heinin, reportado por Frye, 1986).

El tránsito de vehículos (tractores) y uso de herramientas son los dos factores que más contribuyen a producir un efecto acumulativo de la compactación. Las herramientas de labranza han sido consideradas como un factor de compactación, se les atribuyen diferentes papeles como parte del proceso; entre otros su elevado peso, y que el borde de ataque o cuchilla del implemento, a pesar de que esta afilado, es mucho más grueso que el diámetro de las partículas del suelo a través del cual se desplaza. Además se considera que las partículas en la capa labrada suelta se desplazan, al drenarse el exceso de humedad a través del perfil del suelo (General Electric de Colombia, 1969).

En recientes años el interés de estudio de modelos de compactación del suelo y predicción de la misma se ha incrementado drásticamente dado el incremento en el tamaño de la maquinaria agrícola (Grisso et al, 1987). El incremento en el tamaño de las máquinas agrícolas les da cada día mayor participación en el proceso de compactación de suelos agrícolas y baja en la producción de los cultivos (*Grisso et al, 1987).

Hulagalle et al, (1984), demostraron que los métodos que involucran el uso de maquinaria, incrementaron la densidad aparente y la proporción del tamaño medio de poros y disminuyeron la velocidad de infiltración,

la infiltración acumulada, la conductividad hidráulica, la porosidad total y la proporción de macroporos respecto del despejamiento manual, posteriormente, detectaron incremento en la erosión y pérdida de nutrientes.

En el trabajo de Saini et al, 1984, los datos muestran que para cierto suelo la densidad aparente resultante es función del contenido de humedad y de las fuerzas compactivas ejercidas. El grado de compresión del suelo por pesos mecánicos se ha determinado por factores tales como: 1. Propiedades del suelo, 2. contenido de humedad en el suelo y 3. La magnitud de los pesos de compactación depende, también de los anteriores factores; el período varía desde unos pocos minutos bajo presiones menores de 1 Kf/cm^2 hasta más de 120 minutos bajo presiones mayores de 10 kf/cm^2 (Katon et al 1987). Vepaskas, 1988, encontró que los valores críticos variaron de acuerdo a las características de los suelos en cuestión. Los suelos arcillosos tienen más cambio en el volumen bajo una presión que los suelos arenosos (*Grisso et al, 1987).

Nakajo et al, reportados por Katou et al, 1987, mostraron que con aumentos en la fuerza aplicada los poros de mayor rango se perdieron o colapsaron, su trabajo también muestra que los poros pequeños colapsados son consecuencia directa de la fuerza aplicada.

El tráfico pesado normal para la producción de alfalfa produjo compactación hasta los 65 cm. de profundidad y con más tráfico, se incremento la profundidad y se disminuye la producción, si se puede disminuir el tráfico, y al hacerlo tener cuidado con el contenido de humedad, se disminuye la compactación (Meek et al, 1988).

Van es et al, 1988, determinó que la compactación puede resultar de fuerzas aplicadas a la preparación misma del suelo, paradójicamente puede reducirse el potencial de reducción desde la preparación del suelo; el rompimiento de la estructura del suelo y reordenamiento de las partículas en él, puede ser causado por remoción, almacenamiento y transporte del material y excesivo tráfico de vehículos durante la preparación.

Mientras el suelo se labore mecánicamente las herramientas de labranza y tractores continuarán contribuyendo a la compactación del mismo (General Electric de Colombia, 1969).

MANEJO DE LA COMPACTACION

Es una experiencia común en muchos suelos mecanizados encontrar una zona compactada en el fondo del horizonte de labranza. Esta capa ha sido llamada piso de arado o fondo de labor. La compactación es el aumento en la densidad aparente del suelo como resultado de cargas o presiones aplicadas; esto indica que el suelo tiene una cierta densidad o estado de compactación antes de la aplicación de la fuerza (Baver et al, 1973).

En un estudio de resistencia al esfuerzo cortante por compresión y la compactación, reportado por Baver et al, 1973, se presentaron hechos para demostrar que la aplicación de fuerzas de compresión y cortadura a un suelo cohesivo disminuye la proporción de espacios vacíos y aumenta la resistencia y la densidad del suelo. La compactación destruye los poros más grandes y los llena parcialmente de partículas sólidas.

Culley et al, (1987), describen muchos estudios desarrollados sobre la degradación de la estructura del suelo resultante del tráfico de máquinas agrícolas, y observaron que la presión del contacto de las llantas, el número de pases y el contenido de humedad del suelo afectaban los valores de densidad del suelo cerca a la superficie.

Hovanesian et al, reportados por Gill et al, (1967), diseñaron un aparato para estudiar el efecto de ciclos repetitivos de impactos con presiones, sobre la compactación del suelo, mostraron que la compactación se incrementaba con cada ciclo de presión, pero que entre el 70 y el 90% de la compactación total ocurrió con el primer impacto. Adicionalmente mostraron, que la resistencia del suelo y la tensión de humedad fueron incrementados con los incrementos en la compactación que la proporción de vacíos es una medida de compactación y que la disminución en la proporción de espacios porosos vacíos indica que menos espacio es aprovechable; también observaron que con la compactación se reduce la velocidad de infiltra-

ción de agua, la permeabilidad del suelo al agua, y por ello se incrementa la erosión y se reduce la aireación del suelo todos estos factores pueden reducir la calidad y cantidad de las plantas cultivadas.

El contenido de humedad y la densidad del suelo influyen las condiciones creadas para la preparación del mismo y tráfico de vehículos. Sólo la compactación por vehículos influye en la infiltración de agua y drenaje del suelo y en el crecimiento de los cultivos (Erbach, 1987).

El estado de compactación puede ser expresado en diferentes maneras densidad aparente, relación de vacíos, porosidad y gravedad específica entre otras (Gill et al, 1967), una evidencia de compactación puede ser el mayor índice de fase sólida que fase gaseosa (Higashida et al, 1988).

Son muchos los factores que inciden sobre el desarrollo de un sistema de raíces, entre otros, la fertilidad adecuada produciría un sistema de raíces sano y vigoroso siempre y cuando no se vea impedido por condiciones físicas y químicas desfavorables del suelo; la distribución de enmiendas en el suelo, la resistencia del suelo a la penetración del aire y la humedad, pueden limitar el desarrollo de las raíces (General Electric de Colombia, 1969). En el ensayo desarrollado por Mahler et al, (1983), la preparación del suelo influyó en la incorporación de Nitrógeno y consecuentemente en la localización y profundidad de la acidificación del perfil del suelo.

Lipiec et al, (1988), estudiaron el uso de agua por la planta, determinaron que el uso de agua por gramo de raíces fue significativamente mayor en los tratamientos con compactación que en los suelos no compactados, además, el peso de las raíces fue mayor en los tratamientos con compactación que en el suelo control. La succión de agua por la planta es proporcional a la correspondiente densidad acumulada de raíces, esta relación funcional es usada para mostrar que para condiciones restrictivas de almacenamiento de humedad en la zona de raíces, es función lineal de la humedad volumétrica en cada profundidad, el rango de extracción es proporcional al perfil de densidad de raíces, el

cual es presentado por el número de raíces activas en una profundidad alta. El manejo de la fuerza del flujo de agua del suelo a la raíz es controlado por la diferencia de energía potencial entre el agua del suelo y el agua en la planta; el potencial en la planta es una respuesta a la función de demanda en la atmósfera (Camillo et al, 1983).

Cassel et al, (1987), determinaron la importancia de la práctica de subsolación, por su efecto en el almacenamiento de agua en el suelo para las plantas, y la mayor significancia de ello en las zonas de baja pluviosidad.

Vepraskas, 1988, encontró diferencias significativas en la producción de tabaco en suelos subsolados y suelos no subsolados, pero para estimar la necesidad de la subsolación se basó principalmente en la frecuencia de lluvias, predicciones hechas sobre los datos de 57 años.

Van es et al, (1988), anota que la labranza profunda se aplica para destruir o modificar horizontes responsables del crecimiento radical restringido; ha sido aplicada principalmente a suelos para destruir capas naturales compactas, y establecer caminos para las raíces dentro de capas más profundas. En suelos compactados, solo las raíces que crecen en la profundidad de manejo mecánico se benefician de la porosidad aumentada y la firmeza disminuida, las capas densas no son asequibles a las raíces. Con el ensayo de preparación profunda no hubo diferencias significativas entre tratamientos con subsolación, pero éstos comparados con el tratamiento control con preparación superficial convencional, hubo diferencias significativas en la producción de maíz. La producción de los cultivos es afectada si la compactación produce "stress" a las plantas por agua o por nutrientes, los estudios de crecimiento de la raíz de maíz, mostraron crecimiento restringido en los suelos compactos; en adición, las raíces crecidas en suelos no compactos se extendieron dentro de capas más profundas por lo tanto, admitieron un volumen mayor de suelo explotado por agua y nutrientes.

Miller, (1987), en un ensayo de subsolación de suelos agrícolas dedujo que ésta práctica efectivamente reducía la dureza del suelo, y producía enraizamiento más profun-

do capaz de obtener más agua entre los riegos intermitentes que los tratamientos sin subsolar. La subsolación causó una visible respuesta en el crecimiento del cultivo y del canopi, este cerró una o dos semanas antes en los tratamientos subsolados que en los que no recibieron dicha práctica, la producción fue significativamente mayor en los tratamientos con subsolación, durante el primer año, pero no en los posteriores.

El algodónero es característico del tipo de plantas con raíces profundas, y se ha comprobado que al tener condiciones ideales durante toda la temprada de crecimiento, la restricción de la profundidad de raíces en el

cultivo, resulta una producción inferior al óptimo (General Electric de Colombia, 1969). Si los suelos son muy compactos las raíces no penetran en absoluto, existe un valor de densidad límite sobre la cual las raíces no penetran, límite que varía con el tipo de planta y de suelo (Vehimeyer et a, citados por Gavande, 1976). Al correlacionar el crecimiento del algodónero con la densidad aparente del suelo a lo largo del perfil del suelo, se obtuvo una correlación inversa de tipo cuadrático, alta significancia. Para el algodón la densidad del suelo debe ser inferior al 1.5 gr/cm^3 (varios autores reportados por Frye, 1986).

LA COMPACTACION EN COLOMBIA

Mientras otros países convierten las zonas de desiertos en suelos productivos, aquí fácilmente se logra lo contrario por el desconocimiento de cómo manejarlos y conservarlos adecuadamente. Ya se observan preocupantes indicios de esta clase de desastres en la Costa Norte y otras regiones de nuestro país (FENALCE, 1987).

El país cuenta con variedades de plantas de cultivo de alto poder productivo, insumos adecuados y una tecnología que podrían elevar sustancialmente los rendimientos; sin embargo, muchas veces no se logra obtener el potencial productivo de una variedad por los problemas de compactación del suelo (FENALCE, 1987).

La compactación en el país se presenta en suelos de textura media a pesada, aunque

también se ha encontrado en suelos livianos de topografía plana y condiciones climáticas con períodos marcados de lluvias y sequías; por otro lado, las capas compactas naturales pueden llegar a ser un problema mayor con el uso de maquinaria, además que las mismas condiciones naturales los hacen propensos a la erosión o formación de capas endurecidas. La utilización inadecuada, inoportuna y excesiva de maquinaria incrementan el problema (FENALCE, 1987).

Entre los reportes de problemas naturales del suelo en Colombia tenemos las limitantes físicas del suelo más importantes son la baja retención de humedad disponible en muchos Oxisoles y la susceptibilidad a la compactación de muchos Ultisoles con textura arenosa en la capa superficial (Sánchez et al, reportado por Salinas, 1985). La presencia de un horizonte arcilloso (ClayPan) en los Alfisoles que geográficamente se localizan en la Sabana de Bogotá, Terraza de Fusagasugá, Abanico del Espinal y Guamo, Llanura de Ibagué, Valle del río Cauca, los hacen pobremente drenados y limitan su uso (IGAC, 1980).

Algunos grandes grupos de los Molisoles con horizonte endurecido (duripan) implican tratamiento especial en su manejo y menores posibilidades en la gama de su utilización, no se puede olvidar que el agua es esencial para el desarrollo de procesos físico-químicos y biológicos en el suelo; la presencia de un horizonte Argílico, en estos suelos, indica la discontinuidad en la velocidad de movimiento vertical del agua, lo cual tiene incidencia en la exigencia de mecanización, las características del riego, las posibilidades de uso del suelo y la utilización de prácticas especiales de manejo tendientes a mejorar la condición física del suelo para mayor facilidad de penetración por las raíces de las plantas, estos suelos se deben preparar con cincel profundo y en forma de rombo para lograr una mejor aireación bajo la superficie.

El uso de arado y rastras pesadas en los cultivos de caña, soya y sorgo, propicia en suelos medianos la formación de capas compactas en las cuales se produce acumulación de carbonatos y aún sodio, que implica variación en el riego y disminución de rendimientos. En los Vertisoles el rasgo más co-

mún en su desarrollo es la llamada "sequía estacional del perfil del suelo", la preparación de estos suelos para caña en el Valle del Cauca implica la utilización de topo, aradas profundas y construcción de drenaje profundo. Por debajo del horizonte Nátrico de los Alfisoles (Natrustalf), se ha desarrollado un horizonte Petrocálcico el cual impide la penetración de las raíces, estos suelos, requieren la construcción de drenajes, subsolación, aradas profundas con cincel y en muchos casos la ruptura del horizonte Petrocálcico existente (Forero, 1985). En los departamentos de Tolima, Huila y Valle del Cauca estos suelos están siendo utilizados para el cultivo de frutales perennes lo cual hace necesario un manejo adecuado técnica y económicamente como única alternativa para lograr una alta productividad.

En el cultivo del algodón en la Costa Norte, donde se notó un crecimiento reducido y baja producción, el suelo presentaba bloques muy duros y compactos a poca profundidad; en cultivos con crecimiento y producción normales no se encontró compactación en el suelo, presentando mayor cantidad de macroporos y mayor actividad biológica y el cultivo con mayor cantidad de raíces, este menor rendimiento estuvo asociado con la baja disponibilidad de humedad en el suelo, debida a la baja permeabilidad de las capas superiores (Frye, 1986).

Entre los resultados presentados por el Dr. M.J. Hann de Silsoe College (Inglaterra) invitado por Fenalce a la Sabana de Bogotá, (Octubre y Noviembre de 1988), se destaca, 1. La mayoría de los agricultores, ganaderos y agrónomos no abren calicatas para ver el perfil del suelo e identificar los problemas existentes, 2. existen niveles freáticos muy altos que conducen a otro tipo de problemas en el manejo de suelos y aguas, 3. mala conservación de humedad debido a la poca profundidad efectiva, poca macroporosidad y una combinación de clima y almacenamiento de humedad que pueden producir sequía en la zona de raíces, 4. erosión de suelos, 5. daños en la estructura del suelo relacionados con el tráfico de maquinaria y prácticas de labranza, 6. **compactación del suelo** y 7. suelos que se encharcan fácilmente por falta de conductividad hidráulica (Hann, 1988).

Además para trabajar el problema durante 1989, se introdujo en el mercado nacional, un modelo de arado de cinceles vibratorios, con requisitos de potencia mínima del tractor de 50 H.P., para un ancho de corte de 1.50 m. y un peso de 300 Kg, y potencias del tractor entre 150 y 170 H.P. para un ancho de corte de 4.50 m. y un peso de 1200 K., sin incluir el sistema de transporte. Respecto a la potencia requerida reportada, son simplemente indicativos y pueden variar de acuerdo con el tipo de suelo, altitud, nivelación, estado del tractor, etc. (INTALL, 1989).

MATERIALES EXPLOSIVOS

Las sustancias explosivas son sistemas de uniones químicas de poca estabilidad que por influencia de acciones externas (golpes, fricción, calor, explosión de otra sustancia, etc.) tienen la capacidad de transformarse rápida y espontáneamente en un sistema más estable (Osorio, 1976).

Se llama explosión al paso extremadamente rápido de una sustancia de un estado físico (sólido o líquido) a otro (gaseoso), acompañado por la emisión de una cantidad considerable de energía en forma de calor, que se convierten en trabajo mecánico de destrozamiento; la acción destrozante de los gases de la explosión sobre el medio circundante está determinada por la gran velocidad de su expansión, a consecuencia de la alta temperatura, y se manifiesta principalmente en forma de golpe (Osorio, 1976).

La velocidad de liberación de energía es el hecho que hace notables los explosivos frente a otras fuentes de energía, no la cantidad misma de energía almacenada en ellos; por ejemplo, se sabe que un kilogramo de gasolina desprende al quemarse 11,000 calorías (al hacer arder ese kilogramo se disipan las 11.000 calorías), mientras que la descomposición explosiva de un kilogramo de Nitroglicerina, que se constituye en uno de los explosivos más potentes, no se desprenden más que 1.485 calorías (Fernández-Ladreda, 1951).

Para ocasionar la transformación explosiva, de la sustancia explosiva, es necesario aplicar a éste, cierta cantidad de energía externa que recibe el nombre de impulso ini-

cial, que puede ser en forma de recalentamiento, golpe o fricción, la acción de una cápsula detonadora o la acción por simpatía (Osorio, 1976).

La acción de los explosivos como fuente de energía para trabajo mecánico de destrozamiento, depende de algunas características intrínsecas de ellos, tales como: densidad, volumen de gases de la explosión, calor de explosión, energía, temperatura de encendido, temperatura de la explosión, velocidad de la detonación y sensibilidad al golpe, entre otras (Escuela de Ingenieros Militares, 1979; Osorio, 1976).

Los explosivos civiles para demoliciones y trabajos de ingeniería deben reunir en lo posible las siguientes características para ser considerados como un buen explosivo, entre otras tenemos:

- Gran estabilidad química.
- Relativa insensibilidad al choque o fricción.
- Detonación rápida.
- Seguridad de no reacción química con otras sustancias.
- Gran potencia por unidad de peso.
- Gran densidad.
- Baja higroscopicidad
- Fácil manejo
- Económicos y disponibles.

Estas características son necesarias para la seguridad y eficiencia en los trabajos con ellos realizados (Escuela de Ingenieros Militares, 1979).

Cuando se produce el estallido de un explosivo, una onda llamada "onda detonadora explosiva", se transmite por el total de la masa del explosivo convirtiéndolo casi instantáneamente en gases. Estos gases ocupan durante un instante un espacio ligeramente mayor que el ocupado por el explosivo. Los gases que ocupan un espacio anormalmente pequeño y están sometidos a una tremenda presión, tienden naturalmente a dilatarse, cuando esto sucede tienden a vencer cualquier resistencia que se oponga a su explosión, produciendo repentinamente una con-

moción (Escuela de Ingenieros Militares, 1979).

En la explosión se ocasionan dos fases la primera por onda de detonación, representativa del poder rompedor del explosivo, pero no alcanza a ser el 10% del total del explosivo, y la segunda por la formación de gran cantidad de gases a alta temperatura, que con su presión al sobrepasar el punto de resistencia se convierte en energía traccional (Unión de Explosivos Río Tinto, 1982). (Fig. No. 1).

Por otro lado, el desprendimiento vertiginoso de energía y la altísima presión de los gases recalentados y comprimidos, que llegan a centenares de miles de atmósferas, dan un carácter especialmente destrozador a la acción de la explosión, esta acción destrozante de la explosión depende de tres factores fundamentales 1.) Velocidad de transformación química, 2) Cantidad de Gases formados y 3.) Cantidad de calor emitido. Cuanto mayor es la velocidad de transformación del explosivo tanto mayor es el efecto de la explosión, de la misma manera, cuanto mayor es la cantidad de gases que se forman en la explosión, en relación con la sustancia explosiva, tanto mayor es la fuerza de la explosión (Osorio, 1976).

La Industria Militar de Colombia, INDUMIL, es la entidad encargada de fabricar y distribuir todo tipo de explosivos en nuestro país; como explosivos de tipo civil esta produciendo entre otros los siguientes materiales: 1.) Cordón detonante, 2.) Mecha de seguridad, 3.) SuperANFO, 4.) Dinamita y 5.) Slurry. Este último tipo de explosivo es compuesto por un agente oxidante y uno combustible, que tiene la deficiencia necesaria de Oxígeno para reaccionar violentamente con el exceso de Oxígeno para reaccionar violentamente con el exceso de Oxígeno del oxidante (INDUMIL, Unión de Explosivos Río Tinto, 1980).

Las formulaciones de los slurries son prácticamente infinitas en número, los slurries mejorados que continuamente aparecen por la investigación del mercado mundial prometen desarrollar la aparición de formulaciones nuevas (Dick, 1972).

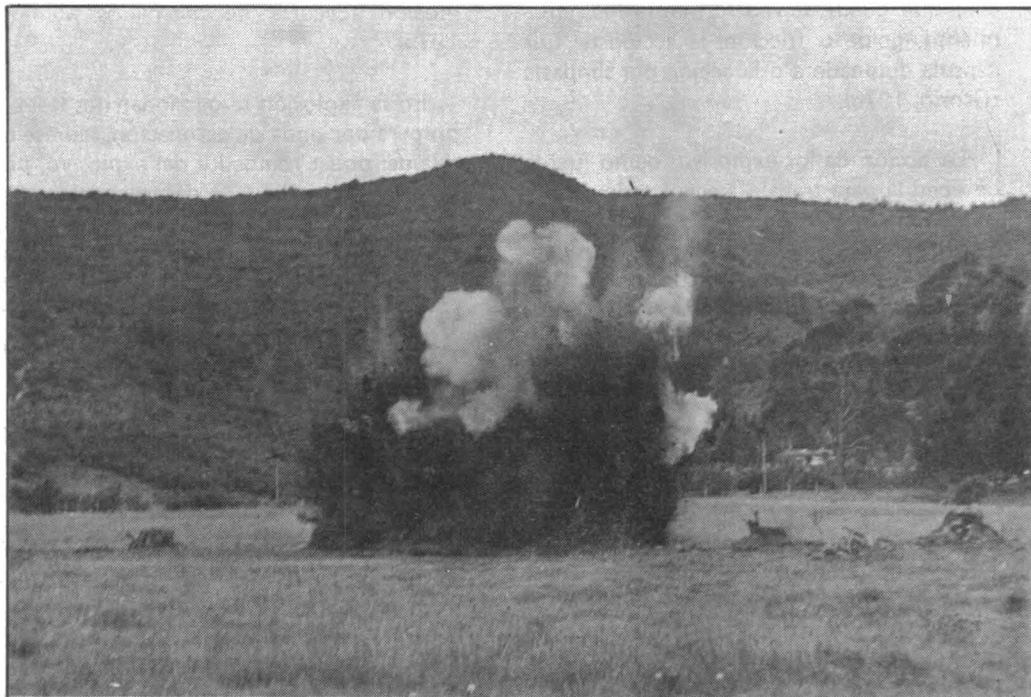


Figura 1. La expansión de los gases producidos en la explosión impulsa el material ha ser removido (tocón de acaulipto).

A pesar de que los slurries son productos seguros por no tener nitroglicerina, tienen potencia análoga, buen comportamiento en agua, sensibilidad solamente a efectos supersónicos, no a los subsónicos como impacto, calor, fricción, etc. (Unión de Explosivos Río Tinto, 1984).

EXPLOSIVOS EN LA AGRICULTURA

Los materiales explosivos tienen un lugar y utilización bien definido en agricultura, justamente como lo tienen en minería, explotación de canteras, y en construcciones civiles. Como fuente de energía hace más fácil el trabajo pesado y lento de tumba de árboles, remoción de tocones y rocas, labores que se pueden realizar en una fracción del tiempo y a menor costo que realizada a mano. El drenaje de patanos, desviación de cauces, de ríos, subsolación y transplante de árboles son otras de las operaciones en las cuales los explosivos pueden ser empleados exitosamente.

En los trabajos agrícolas, la cantidad requerida de explosivos para cualquier opera-

ción en particular varía considerablemente, según las condiciones locales; en consecuencia, resulta difícil recomendar cantidades y estas deberán ser obtenidas por ensayos reales bajo condiciones de campo dirigidas por personal capacitado en la materia.

Los principales usos de los explosivos en agricultura son los siguientes:

1. Remoción de tocones de árboles;

El método utilizado en esta labor varía de acuerdo a la edad, tamaño y tipo de tocón, la naturaleza del suelo y subsuelo, características del sistema radical y del equipo disponible. Todos los factores anteriores se deben tener en cuenta para la escogencia del método más adecuado y económico a aplicarse.

Mientras más resistencia presente el suelo a la fuerza de la explosión mayor será la fuerza ejercida contra el tocón. Suelos sueltos (arenosos secos) son menos eficientes que los suelos pesados, firmes y húmedos.

El trabajo reciente de campo realizado por los autores en la zona de Tocancipá se efectuó la remoción de catorce tocones de aproximadamente 3 m de diámetro cada uno, mediante la utilización de ANFO, labor realizada eficiente y de manera segura al no haber sufrido daño alguno instalaciones de invernaderos localizados a menos de 10 m de algunos de los tocones. (Fig. No. 2).

2. Transplante de árboles

El uso de explosivos para esta labor tiene un doble propósito; primero, abrir el hueco para el trasplante y segundo, soltar el subsuelo en un área considerablemente mayor que aquella alcanzada por la pala. Al igual que otras labores agrícolas, la profundidad de colocación y la cantidad de material explosivo dependerá de características específicas del suelo y subsuelo y de la especie a transplantar.

3. Subsólido con explosivos

Una capa u horizonte impermeable (clay pan) o compacta (hard pan) puede ser mejorada físicamente con resultados satisfac-

torios utilizando explosivos, especialmente en zonas de difícil acceso para el equipo mecanizado (tractores). A parte de descompactar, la explosión tiene un efecto en profundidad mucho mayor que aquella que pueda alcanzarse por el uso de cualquiera de los implementos convencionales o no de labranza del suelo. Por este efecto adicional en profundidad la práctica del uso de explosivos se puede recomendar para cualquier agricultor que desee acondicionar sus suelos con problema de drenaje interno o compactación subsuperficial. Para mejores resultados el suelo debe estar seco, pues cuando se realiza la práctica con el suelo húmedo puede causar compresión del suelo vecino, agravando por consiguiente el problema en lugar de mejorarlo.

La operación consiste en abrir barrenos (huecos) a profundidad e intervalos calculados de acuerdo con la dureza (compactación) y profundidad de la capa u horizonte a mejorar y colocando cargas de materiales explosivos en cada barreno de peso variable determinado previamente según el espesor, profundidad y grado de compactación del



Figura 2. Raíces y parte del tocón de gran tamaño removidos con plena seguridad en un área próxima a invernaderos (Queen's Flowers de Colombia, en el municipio de Gachancipá, Cundinamarca).

horizonte. La carga es activada con detonador o cordón detonante.

Las experiencias preliminares realizadas en un Alfisol localizado en la finca "Aguazuque", Municipio Soacha permiten recomendar la práctica propuesta como segura y efectiva. Los resultados preliminares muestran variaciones significativas en los valores de densidad aparente, resistencia al penetrometro; por ese cambio en las condiciones físicas del suelo se ocasionó un crecimiento diferencial en plantas de cebada crecidas dentro y fuera del área tratada con explosivos, como se aprecia en la Figura 3.

Los resultados preliminares se registran en los Cuadros 1 y 2.

CONCLUSIONES

Tanto la revisión bibliográfica, como las pruebas preliminares de campo, realizadas, por los autores permiten recomendar la aplicación de materiales explosivos como fuente de energía más económica y eficiente, para la realización de labores agrícolas y en particular para la descompactación de suelos y la remoción de tocones de grandes árboles.

Una de las ventajas notadas en esta experiencia, es la sensible reducción en el tiempo de ejecución comparada con las prácticas convencionales utilizadas para tales labores. En el caso de la descompactación usando explosivos, se aprecia además un incremento notable en los efectos mejoradores en profundidad (hasta 1 m) de características como la penetrabilidad y la densidad aparente, las cuales no se pueden lograr mediante el uso de ningún implemento de labranza.

La remoción de tocones mostró efectividad en la economía de tiempo de labor comparado con la maquinaria (bulldozer) (se requerían aproximadamente 60 hs); usando explosivos la misma labor requirió solo de 30 hs. De otra parte, se causó una mínima afectación al área próxima comparada con la que causaría el tránsito repetitivo de maquinaria.

Sobre estas experiencias preliminares y previos ajustes en cantidad de material y profundidades de colocación de cargas, se adelantan trabajos de experimentación sobre descompactación de suelos en la Finca "Aguazuque" del Municipio de Soacha. (Figura 4) y cuya evaluación agronómica se está desarrollando.



Figura 3. Plantas de cebada (*Hordeum vulgare*) creciendo en un Haplustalf típico. A) Suelo compactado, B) Suelo descompactado con explosivo. Finca "Aguazuque", Soacha, Cundinamarca.

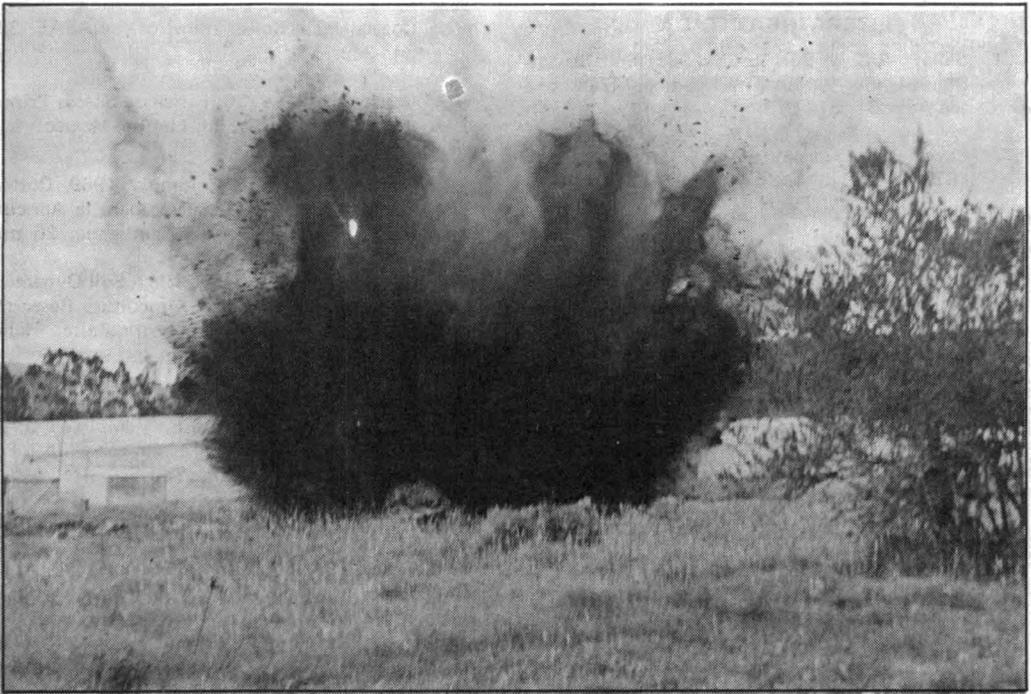


Figura 4. La cantidad y profundidad de colocación de las cargas explosivas depende del material a removerse y de características físicas del suelo.

Cuadro 1. Resistencia al penetrómetro.

Profundidad	TRATAMIENTOS		
	Suelo sin disturbar	Suelo arado	Suelo con explosivos
5 cm	5.64	4.07	2.35
15 cm	19.54	16.80	3.08
30 cm	+ 200.00	+ 200.00	3.28
45 cm			5.20
60 cm			55.17

Cuadro 2. Densidad Aparente. Método de campo.

Profundidad	TRATAMIENTOS		
	suelo sin disturbar	suelo arado	suelo con explosivos
5 cm	1.22	1.28	1.01
15 cm	1.51	1.24	0.87
30 cm	1.83	1.86	1.03

Los datos están dados en g/cc

LITERATURA CITADA

1. Bailey, A.C. y Burt E.C., 1988. Soil Stress States Under Varous Tire Loadings. *Trans. of the ASE.* 31: 672-676.
2. Baver, L.D., Gardner W.H. y Gardner W.R., 1873. *Física de suelos.* 4a. ed. J.M. Rodríguez, trad. U.T.E.H.A. México. 592 pp.
3. Busscher W.J., Sojka R.E., 1987. Enhancement of Subsoiling effect on soil strength by Conservation Tillage. *Trans. of the ASAE* 30: 888-892.
4. Busscher W.J., Sojka R.E. y Doty C.W. 1986. Residual Effects of Tillage on Coastal Plain Soil Strength. *Soil Sci.* 141: 144-148.
5. Camillo P. y Schimuge T.J., 1983. Estimating Soil Moisture Storage in the Root Zone from Surface Measurements. *Soil Sci.* 135: 245-264.
6. Cassel D.K. y Edwards E.C., 1985. Effects of Subsoiling and Irrigation on Corn Production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:996-1001.
7. Culley J.L.B. y Patni N.K. 1987. Soil Compaction from Liquid Manure Tanker Traffic. *Trans. of the ASAE.* 30: 1214-1218.
8. Dick R.A., 1972. *The Impact of Blasting Agents and Slurries on Explosives Technology.* (Washington) U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines. 45 pp.
9. Erbach D.C., 1987. Measurement of Soil Bulk Density and Moisture. *Trans of the ASAE.* 30:922-931.
10. Escuela de Ingenieros Militares, 1979. *Manual de Empleo de Explosivos en Canteras.* Fuerzas Militares de Colombia. 179 pp.
11. Fenalce, 1987. *La mecanización y el manejo de Suelos en Colombia.* Ponencia presentada al XII Congreso Nacional Cerealista. 50 pp.
12. Fernández, Ladreda y M.V.J.M. 1951. *Symposium de Temas Básicos de Química Aplicada.* Ed. Aguilar, Madrid. 697 pp.
13. Forero C.J., 1985. Vertisoles, Molisoles y Alfisoles del Valle del Cauca Características Diagnósticas Implicadas en su Uso y Manejo. *Suelos Ecu.* 15:1, 30-15.
14. Frye, C.A., 1986. Relación entre características y Manejo de Algunos Suelos Cultivados con Labranza Mínima y el Crecimiento del Algodonero. *Rev. Univ. Tol. Cienc. y Tec.* II: 7, 57-86.
15. Garner T.H., Reynolds W.R., Musen, H.L., Miles G.E., Davis J.W., Dan Wolf y Peiper U. M., 1987. Energy Requirement for Subsoiling Coastal Plain Soils. *Trans. of the ASAE.* 30: 343-349.
16. Gavande, S.A., 1976. *Física de Suelos Principios y Aplicaciones.* Ed. Limusa, México.
17. General Electric de Colombia, 1969. *Costos de Compactación de Suelos para la Agricultura.* Caterpillar, Depto. Maquinaria. 26 pp.
18. Gill W.R., Vanden G.E., 1967. *Soil Dynamics in Tillage and tractions.* Agriculture Research Service. U.S. Dept. of Agriculture, Handbook No. 316.
19. Grecu S.J., Kirkham M.B., Kanemasu E.T., Sweeney D.W. Stone L.R. y Milliken G.A., 1988. Root Growth in a Claypan With a Perennial-Annual Rotation. *Soil Sci. Am. J.* 52: 488-494.
20. Grisso R.D., Johnson C.E. y Bailey A.C., 1987. Soil Compaction by Continuous Deviatoric Stress. *Trans. of the ASAE.* 30: 1293-1301.
20. Grisso R.D., Johnson C.E. y Bailey A.C., 1987. Soil Compaction by Continuous Deviatoric Stress. *Trans. of the ASAE.* 30: 1293-1301.
21. Hann M.J., 1988. Problemas del suelo y del agua en la Sabana de Bogotá. *El Cerealista Nacional, Sep. Tec.* 16 pp.
22. Higashida S. y Nishimune A., 1988. Factors Affecting CO₂ Evolution from the Lower Plow Layer of Grassland Soil. *Soil Sci and Plant Nut.* 34.
23. Hulugalle, N.R., Lal R. y Terkuile Ch. h., 1984. Soil Physical Changes and Crop Root Growth Following Different Methods of Land Clearing in Western Nigeria. *Soil Sci.* 138:
24. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1980. *Estudio General de los Suelos de la Cuenca Alta del Río Bogotá, para Fines Agrícolas.* Min. Hacienda y Crédito Público. *Seg Ec.* 235 pp.
25. Intall, 1989. *Arados de Cíncel Vibratorios y Lista de Precios, Folletos,* 5 pp.
26. Katou H., Miyaji K. y Kubota T., 1987. Susceptibility of Undisturbed Soils to Compression as Evaluated from the Changes in the Soil Water Characteristic Curves. *Soil Sci. and Plant Nut.* 33:539-554.
27. Kazunori S., y Tomio Y., 1986. In Situ Measurement of Soil Respiration Rate by a Dynamic Method. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 34: 195-202.

28. Lipiec, J., Kubota T., Iwama H. y Hirose J., 1988. Measurement of Plant Water Use Under Controlled Soil Moisture Conditions by Negative Pressure Water Circulation Technique. *Spil Sci. and Plant Nut.* 34:417-428.
29. Mahler R.L. y Harder R.W., 1984. The Influence of Tillage Methods, Cropping Sequence, and N Rates on The Acidification of a Northern Idaho Soil. *Soil Sci.* 137:52-60.
30. McGarry D. y Malafant K.W.J., 1987. The Analysis of Volume Change in Unconfined Units of Soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:290-297.
31. Meek B.D., Rechel E.A., Carter L.M. y Detar W.R., 1988. Soil Compaction and its Effect on Alfalfa in Zone Production Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:232-236.
32. Miller W.P. y Baharuddin M.K., 1986. Relationship of Soil Dispersibility to Infiltration and Erosion of Southeastern Dispersibility to Infiltration and Erosion of Southeastern Soils. *Soil Sci.* 142:235-240.
33. Miller, D.E., 1987. Effect of Subsoiling and Irrigation Regime on Dry Bean Production in the Pasific Northwest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:784-787.
34. Nimmo J.R. y Akstin k.c., 1988. Hidraulic Conductivity of a Sandy Soil a Low Water Content after Compaction by Varius Methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:303-310.
35. Moroto N., 1982. An Aplication of Mogami Strength Formula to the Clasification of Granular Soils and Found. 22: 82-90.
36. Osorio V.O., 1976. Nociones Fundamentales Sobre Explosivos y Voladuras. Sec. Obras Públicas. Depto. Antioquia, 172 p.
37. Randall K.W. y Burt E.C., 1987. Soil-Tire Interfase Stress Measurements. *Trans of the ASAE.* 30: 1254-1258.
38. Saini, R.R., Chow T.L. y Ghanem I., 1984. Compactibility Index of some Agricultural Soils of New Brunswick Canada. *Soil Sci.* 137:33-38.
39. U.S. Bureau of mines. 1973. Explosives for North America Engeneers, Series on Rock and soil Mechanics Trans Tech Publication.
40. Unión de Explosivos Río Tinto, 1980. Uso de Riogel en Labores de Interior, Jornadas Técnicas ERT, 19. pp.
41. Unión de Explosivos Río Tinto, 1982. Voladuras. Documento de Trabajo División de Explosivos Río Blast S.A. 120 p.
42. Unión de Explosivos Río Tinto, 1984. Uso de Riogeles Verticales en Explotaciones a Cielo Abierto. Jornadas Técnicas ERT. 14 pp.
43. Van Es H.M., Heining S.J. Horton R. y Thompson M.L., 1988. Effect of Deep Tillage and Microtopography on Corn Yield on Reclaimed Surface-mined Lands. *Soil Sci.* 145: 173-179.
44. Vepraskas M.J., 1988. Bulk Density Values Diagnostic of Restricted Root Growth in Coarse-Textured Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52:1117-1121.

