

EVALUACION DE LA EROSION CAUSADA POR LABRANZA CON ARADO Y RASTRA EN CARCHI - ECUADOR

Juan Córdova¹, Franklin Valverde¹

INIAP, Sta. Catalina, Departamento de Suelos. Quito-Ecuador

RESUMEN

La agricultura de la sierra ecuatoriana se caracteriza por desarrollarse en suelos de ladera, con pendientes superiores a 12% en su mayoría. La mecanización bajo estas condiciones se realiza a favor de la pendiente, ocasionando arrastre de suelo con los diferentes sistemas de labranza. En particular en la provincia del Carchi es generalizado el uso del tractor en la preparación del suelo, llegando a utilizarse en pendientes de hasta el 55%; por lo tanto, la erosión por efecto del sistema de labranza es tan importante como la erosión hídrica.

El área de trabajo se ubicó en la provincia del Carchi, cantón Montufar, parroquia Santa Marta de Cuba y en el cantón San Gabriel, parroquia La Matriz-El Salado, en suelos de origen volcánico (Andisoles) y con altitudes entre 2700 a 3000 msnm.

La medición del arrastre de suelo se realizó mediante el método de la malla; el que consta de un marco metálico de 3 m. de lado y una red móvil para medir la ubicación de los trazadores en las tres direcciones (X, Y y Z).

El estudio se realizó para dos sistemas de labranza con tractor: arado y rastra, siendo cada uno un experimento individual. Para evaluar el arrastre de suelo con el arado se seleccionaron lotes con manejo similar en las diferentes pendientes; después de cultivos de ciclo corto, en los que es común la preparación del suelo con tractor, un pase de arado y uno o dos de rastra. Los rangos de pendiente definidos para la evaluación de los 2 sistemas de labranza fueron: 0 a 10, 20 a 30 y 40 a 50 %, con dos repeticiones.

Para este tipo de suelos (Andisoles del Carchi), el mayor flujo de suelo se produce con el arado; en pendientes con 25° el flujo es de 776 kg./m y con 1° de pendiente el flujo es de 132.8 kg./m. Considerando una longitud del terreno de 100 m, el flujo de suelo variaría de 77.6 a 13.28 t/ha, respectivamente.

El desplazamiento de suelo por efecto del arado de discos se produce en dos direcciones; en sentido del arado y hacia la derecha del tractor.

El arrastre de suelo con la rastra fluctúa entre 6 a 170 kg./m, el que es mínimo comparado al provocado con el arado. Asumiendo una longitud del terreno de 100 m el flujo de suelo por efecto de la rastra varía de 0.6 a 17.0 t/ha.

Las diferencias en el flujo de suelo tanto para arado como para rastra dependen de algunos factores que están relacionados con la pendiente del terreno, tipo y manejo del suelo, capacidad del tractor, velocidad de laboreo, número de discos y tamaño de los implementos.

INTRODUCCION

Los agudos procesos erosivos que soportan la gran mayoría de los suelos agrícolas, ganaderos y forestales en el mundo han tenido su inicio en la pérdida gradual de la capa arable y su contenido de materia orgánica debido a varios factores. Los mas importantes son el agua, el viento, la deforestación, el sobrepastoreo, los barbechos, la labranza del suelo y la quema de residuos de cosecha. En consecuencia las herramientas que han contribuido a la pérdida del suelo y su contenido de materia orgánica han sido el fuego, el hacha y el arado.

La agricultura de la sierra ecuatoriana se caracteriza por desarrollarse en suelos de ladera, con pendientes superiores a 12% en su mayoría. La mecanización bajo estas condiciones se realiza a favor de la pendiente, ocasionando arrastre de suelo con los diferentes sistemas de labranza En particular en la provincia del Carchi

es generalizado el uso del tractor en la preparación del suelo, llegando a utilizarse en pendientes de hasta el 55%; por lo tanto, la erosión por efecto del sistema de labranza es tan importante como la erosión hídrica.

Al momento no existe información para estos suelos, sobre la cantidad que es removido por efecto de labranza con maquinaria agrícola.

OBJETIVO GENERAL

- Determinara la cantidad (flujo) de suelo que es desplazado con el arado y rastra, para predecir mejor la erosión.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Describir los sistemas de labranza utilizados en la zona de estudio.
- Calibrar la metodología para el sistema de labranza con maquinaria agrícola en condiciones de manejo y suelos del Carchi.
- Evaluar la pérdida de suelo en volumen y peso por efecto del arado y rastra, en pendientes que van de 0 a 50%; determinar las curvas de flujo de suelo por labranza con tractor para arado y rastra

MATERIALES Y METODOS

El área de trabajo se ubicó en la provincia del Carchi, cantón Montufar, parroquia Santa Marta de Cuba y en el cantón San Gabriel, parroquia La Matriz-El Salado, en suelos de origen volcánico (Andisoles) y en altitudes que fluctúan entre 2700 a 3000 msnm.

La medición del arrastre de suelo se realizó mediante el método de la malla; el que consta de un marco metálico de 3 m de lado y una red móvil para medir la ubicación de los trazadores en las tres direcciones (X, Y y Z) a la instalación del experimento y el desplazamiento después de la labranza, esto con el fin de determinar exactamente cuanto se han movido los trazadores que simulan los terrones de suelo.

La instalación de la malla se realizó de la siguiente manera: la parte superior e inferior de la malla (Y) debe colocarse a nivel y la parte lateral de la malla (X) debe tener la pendiente del terreno; luego, en la parte superior interna de la malla y perpendicular a la dirección del tractor se barrenan 10 hoyos en los cuales se depositan los trazadores con arena a distintas profundidades, en un número de 7 por hoyo. Para cada trazador se debe registrar la ubicación exacta en las tres dimensiones X, Y y Z, en base a lo cual se determina el desplazamiento provocado con el paso del arado o la rastra.

Después se retira la malla, pasa el tractor con el arado o rastra y posteriormente se vuelve a instalar la malla en el mismo sitio en base a puntos de referencia y se procede a buscar los trazadores registrándose los valores de X, Y y Z, los mismos que sirven para calcular la distancia desde el punto inicial (antes de realizar la remoción del suelo) al final (después de arar o rastrar).

La distancia promedio de traslación, se calculó en base a la distancia horizontal de traslación obtenida con la fórmula siguiente:

$$\delta X = (X_i - X_f) \cos \alpha \text{ donde:}$$

δX = distancia horizontal de traslación del trazador (m)

X_i = X inicial del trazador

X_f = X final del trazador

α = ángulo de la pendiente

Para los cálculos del flujo de suelo por metro lineal es necesario determinar la distancia promedio del desplazamiento de los trazadores que han sido movidos por el paso del arado o la rastra para lo cual se utiliza la siguiente fórmula:

$$\Delta X = (\Sigma \delta X) / n \quad \text{donde,}$$

$\Sigma \delta X$ = Sumatoria de las distancias horizontales de traslación del trazador (m)
n = número de trazadores desplazados por el sistema de labranza (arado o rastra)

Otro parámetro necesario para el cálculo del flujo de suelo es la profundidad promedio (D promedio). Los cálculos se realizan de la siguiente manera:

$$D = (D1 + D2 + D3 + \dots + D9 + D10) / 10 \quad \text{donde:}$$

D1 = Es la profundidad desde la superficie del suelo hasta el promedio entre la piedra movida y la no movida para el agujero 1. De la misma manera se calcula para los 10 agujeros u hoyos.

Como existe una distorsión (error) en la reinstalación de la malla luego de pasar el tractor; es decir no coinciden los valores de X y Y finales con los iniciales; por tanto, antes de calcular la profundidad promedio y el desplazamiento promedio de los trazadores, se debe corregir X y Y por agujero, a través de las piedras no movidas.

El flujo de suelo se calculó con la siguiente fórmula:

$$Q = da \cdot D \text{ promedio} \cdot \Delta X \text{ promedio} \cdot 1$$

donde: Q = flujo de suelo (kg./m)
da = Densidad aparente (kg./m³)
D = Profundidad de labranza promedio (m)
 ΔX = Distancia horizontal promedio de traslación ajustado por el $\cos \alpha$ del ángulo de la pendiente (m)
1 = Constante

Factores en estudio

1. Sistemas de Labranza

El estudio se realizó para dos sistemas de labranza con tractor: arado y rastra, siendo cada uno un experimento individual. Para evaluar el arrastre de suelo con el arado se seleccionaron lotes con manejo similar en las diferentes pendientes; después de cultivos de ciclo corto, en los que es común la preparación del suelo con tractor, un pase de arado y uno o dos de rastra.

2. Pendiente

Los rangos de pendiente definidos para la evaluación de los 2 sistemas de labranza fueron: 0 a 10, 20 a 30 y 40 a 50 %, con dos repeticiones.

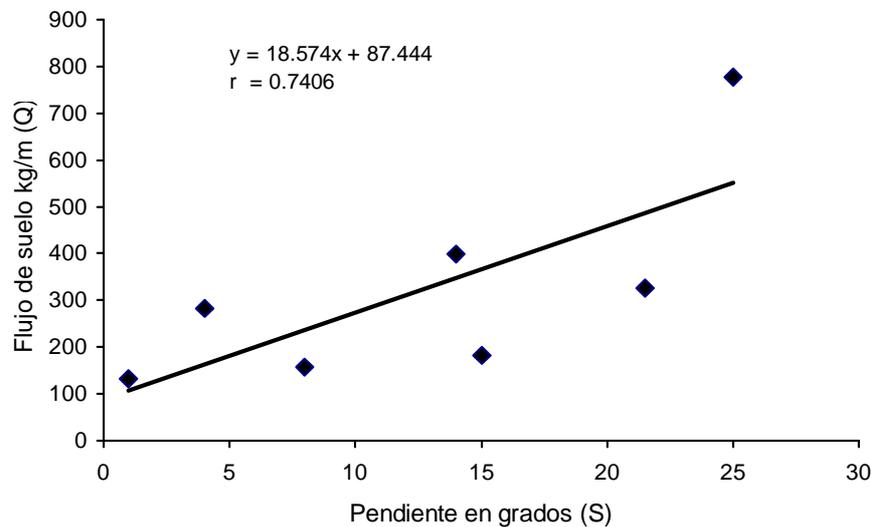
RESULTADOS Y DISCUSION

Erosión por el arado

En la Figura 1 se presentan los resultados de erosión por labranza con el arado, el flujo de suelo se incrementa con la pendiente, al usar el mismo tractor y arado en una repetición para las tres pendientes, la tendencia fue lineal con una alta correlación ($r = 0.964$) entre estas variables.

Al analizar en conjunto con las dos repeticiones, la correlación disminuye considerablemente ($r = 0.7406$), esto se atribuye a la gran variabilidad que existe entre capacidad del tractor, velocidad de laboreo, número de discos del arado, diámetro de los discos, ya que se ha encontrado discos de diferente diámetro incluso en un mismo arado, esto con respecto a la maquinaria agrícola; otro factor importante a considerar son principalmente las características físicas del suelo como compactación, densidad aparente, contenido de humedad del suelo, etc.

Figura 1. Efecto del arado de discos sobre el arrastre de suelo y su correlación con la pendiente. Modelo lineal.



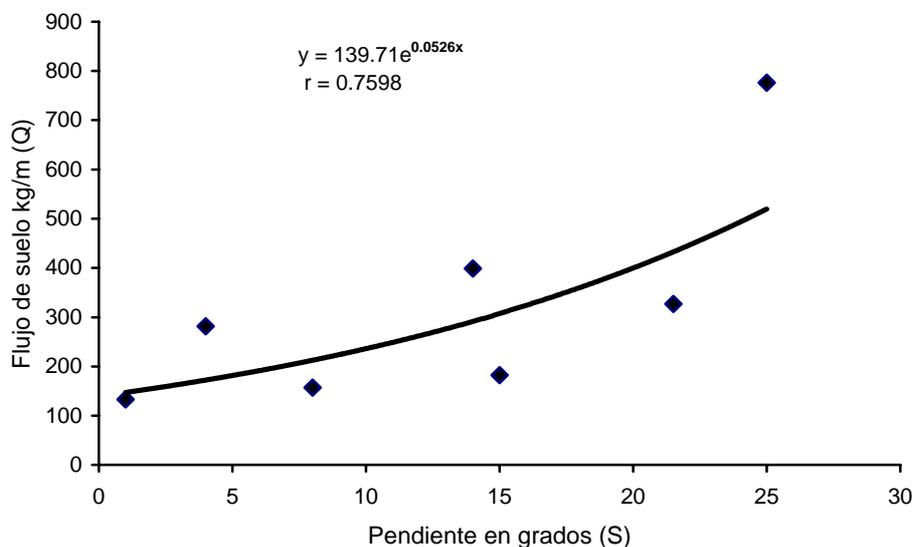
La cantidad de suelo removido se incrementa con la pendiente del terreno, obteniéndose el máximo flujo de suelo (776 kg./m) con 25 grados de pendiente. Este gran volumen de suelo removido (flujo de suelo) cada vez que se prepara el terreno con el arado de discos provoca el continuo arrastre de suelo de las partes altas de las laderas hacia las partes bajas, ocasionando con esto la reducción y desaparición de la capa arable del suelo de las partes altas; mientras, en la parte baja existe acumulación en algunos casos; este comportamiento de redistribución del suelo, considerando como supuestos que no existe ni ingreso ni salida de material y que la erosión hídrica no es relevante; sin embargo, conocemos que la erosión hídrica en la sierra ecuatoriana es alta cuando el suelo está desprotegido y removido, incluyendo a los suelos de origen volcánico (Andisoles) que tienen una alta capacidad de infiltración y retención de agua.

La Figura 2 se presenta los datos observados y los ajustados en base al modelo exponencial, el mismo que tiene un coeficiente de correlación $r = 0.7598$. Este valor indica una alta correlación entre las variables flujo de suelo y pendiente del terreno. Al comparar los coeficientes de correlación entre el modelo lineal (Figura 1) y el exponencial (Figura 2) observamos que el modelo exponencial tiene el mayor coeficiente de correlación; esto indica que existe un mejor ajuste de los datos al modelo exponencial, el que podría ser utilizado para los cálculos.

La remoción del suelo con el arado es en dos direcciones; la una en sentido del arado y la otra hacia la derecha del tractor, según se observa la dispersión de las piedras en la Figura 3. Por tal motivo, es importante

considerar la ubicación de los hoyos dentro de la malla, los mismos que se localizaron en la parte superior derecha.

Figura 2. Efecto del arado de discos sobre el arrastre de suelo y su correlación con la pendiente. Modelo exponencial.



En la misma Figura se aprecia que un buen número de piedras se salieron del cuadrante de 3 m (malla), tanto hacia la parte inferior como hacia la parte lateral izquierda de la malla. Este experimento fue instalado en una pendiente de 25 °, en el cual la velocidad del tractor es mayor que en sitios con menor pendiente; además el suelo no presentó compactación, lo cual influyó en el desplazamiento de las piedras, obteniéndose el flujo mas alto de arrastre de suelo (776 kg./m), correspondiendo al desplazamiento vertical de suelo; sin embargo en la (Figura 3) se observa claramente que existe un desplazamiento lateral hacia la derecha, siguiendo la dirección del tractor, el mismo que es importante ya que se estima que el valor promedio debe estar entre 1.5 m. Este efecto es importante considerar para la preparación del suelo, ya que en Conservación de suelos se recomienda arar en sentido contrario a la pendiente; pero en el caso del arado de discos se debe considerar la dirección del tractor, ya que de esto depende para que exista desplazamiento de suelo hacia abajo o hacia arriba de la pendiente.

El número de piedras movidas en este experimento fueron 55; quedando de 1 a 3 piedras en cada hoyo, las mismas que sirvieron para los cálculos de corrección. La distancia horizontal promedio de traslación de los trazadores (ΔX) ajustada por el coseno del ángulo fue de 2.093 m y la profundidad promedio de arado fue de 0.39605 m y la densidad aparente del suelo de 936.66 kg./m³. Con estos datos se aplicó la fórmula para calcular el flujo de suelo, así:

$$Q = da \cdot D \text{ promedio} \cdot \Delta X \text{ promedio} \cdot 1$$

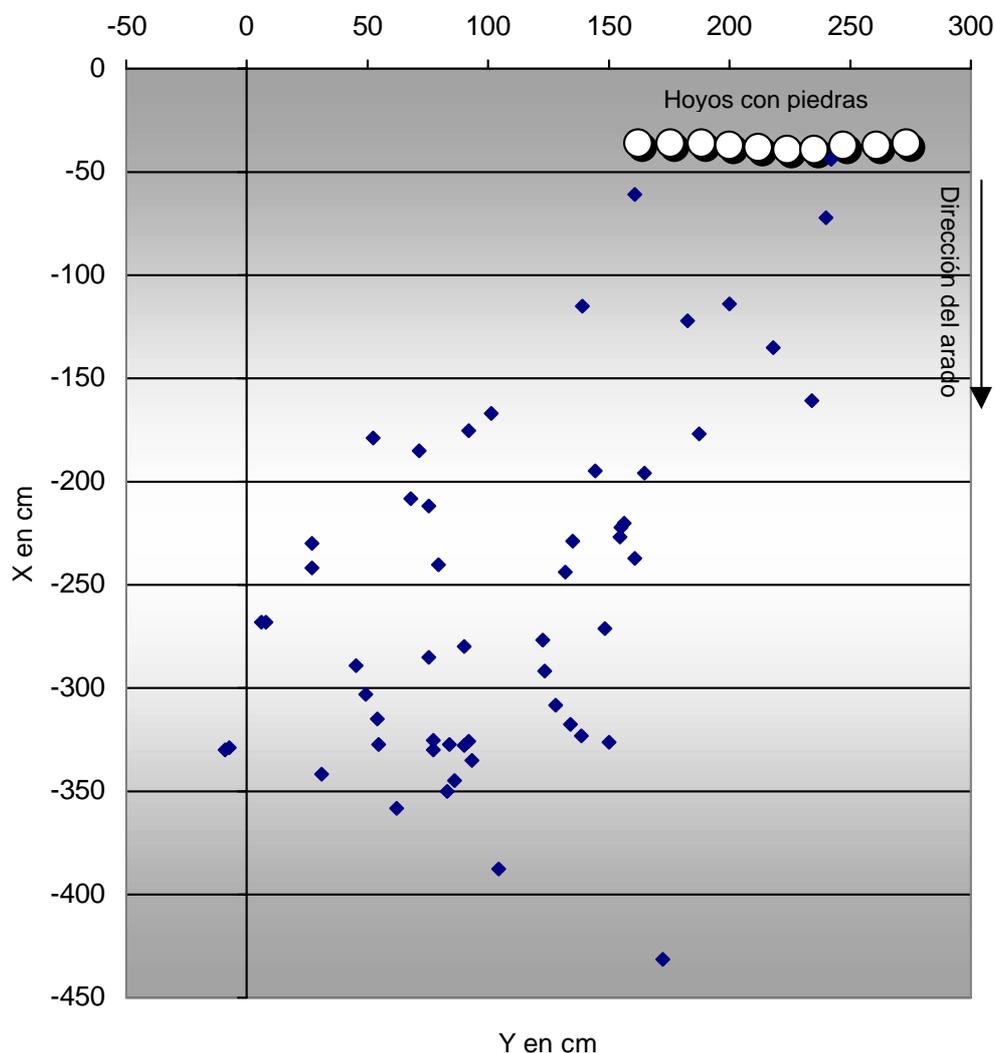
$$Q = 936.66 \text{ kg./m}^3 \times 0.39605 \text{ m} \times 2.093 \text{ m} \times 1$$

$$Q = 776.4 \text{ kg./m.}$$

La variabilidad encontrada entre repeticiones se debe a las diferencias entre la maquinaria agrícola como la capacidad del tractor, características del arado de discos, velocidad de operación, calibración del equipo; condiciones del terreno como densidad aparente, compactación, pendiente, humedad del suelo y tipo de suelo. Esto se observa al mirar las curvas por separado para cada repetición, al usar el mismo equipo en las 3 pendientes, la regresión lineal presentó una alta correlación.

Para evaluar el flujo de suelo por el arado es importante tomar en cuenta el manejo del suelo en el tiempo; si es un lote en descanso, si está con pastos o con cultivos de ciclo corto; por tanto estos resultados no deben ser interpolados para otras condiciones que no sean cultivos de ciclo corto.

Figura 3. Ubicación de los hoyos y desplazamiento de las piedras después de pasar el arado de discos, en la pendiente de 25°.



Erosión por la rastra

La evaluación del arrastre de suelo por la rastra se realizó en lotes que estuvieron con cultivos de ciclo corto. Los agricultores tienen la costumbre de arar e inmediatamente pasar la rastra; por lo que los ensayos fueron instalados después del arado y en los rangos de pendiente definidos.

El arrastre de suelo causado por la rastra es inferior al ocasionado con el arado de discos, en la Figura 4 se observa que la cantidad de suelo removida es inferior a 40 kg./m, no existiendo mayores diferencias hasta la pendiente de 22 grados; cuando se evaluó en un lote con pendiente de 28 grados, el arrastre de suelo se incrementó considerablemente lo cual se atribuye a que con esta pendiente estamos sobre el ángulo de descanso del suelo, en el cual las partículas de suelo se deslizan por gravedad a favor de la pendiente.

En las Figuras 4 y 5 tenemos las correlaciones para los modelos matemáticos lineal y exponencial, los que presentan una alta correlación para las variables flujo de suelo y pendiente, con un coeficiente de correlación más alto para el modelo exponencial.

Figura 4. Efecto de la rastra de discos sobre el arrastre de suelo y su correlación con la pendiente. Modelo lineal.

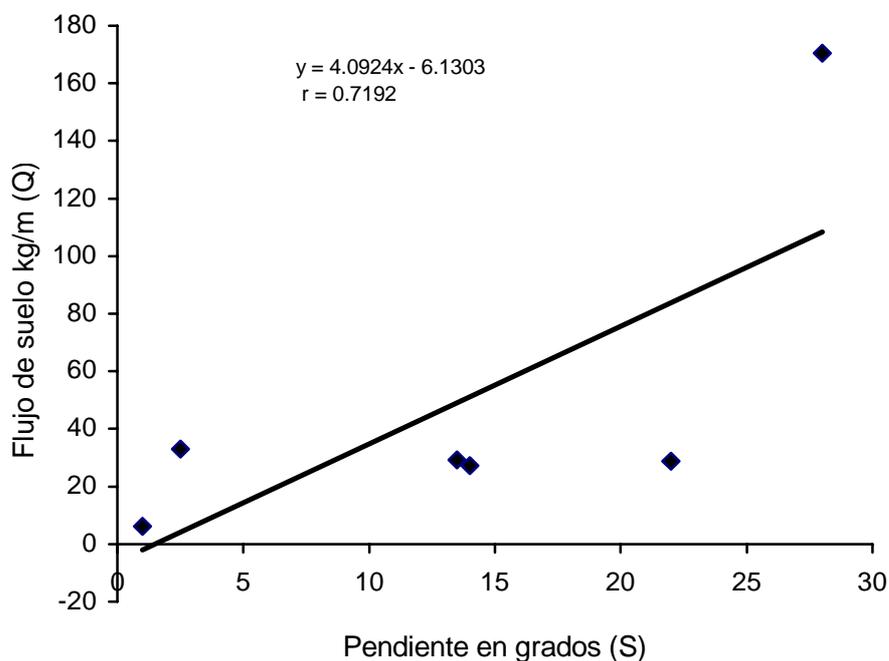
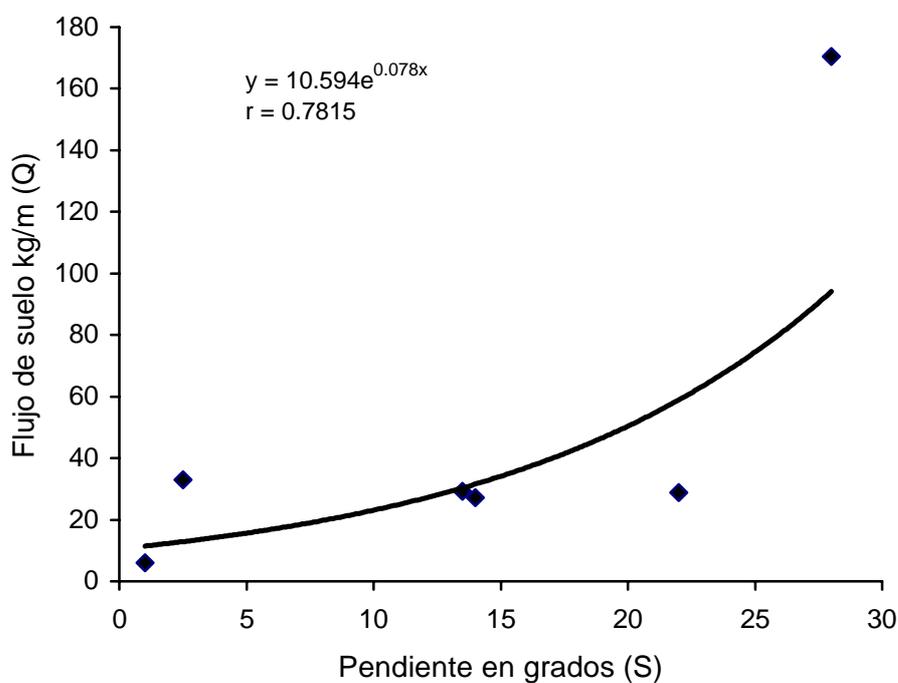


Figura 5. Efecto de la rastra de discos sobre el arrastre de suelo y su correlación con la pendiente. Modelo exponencial.



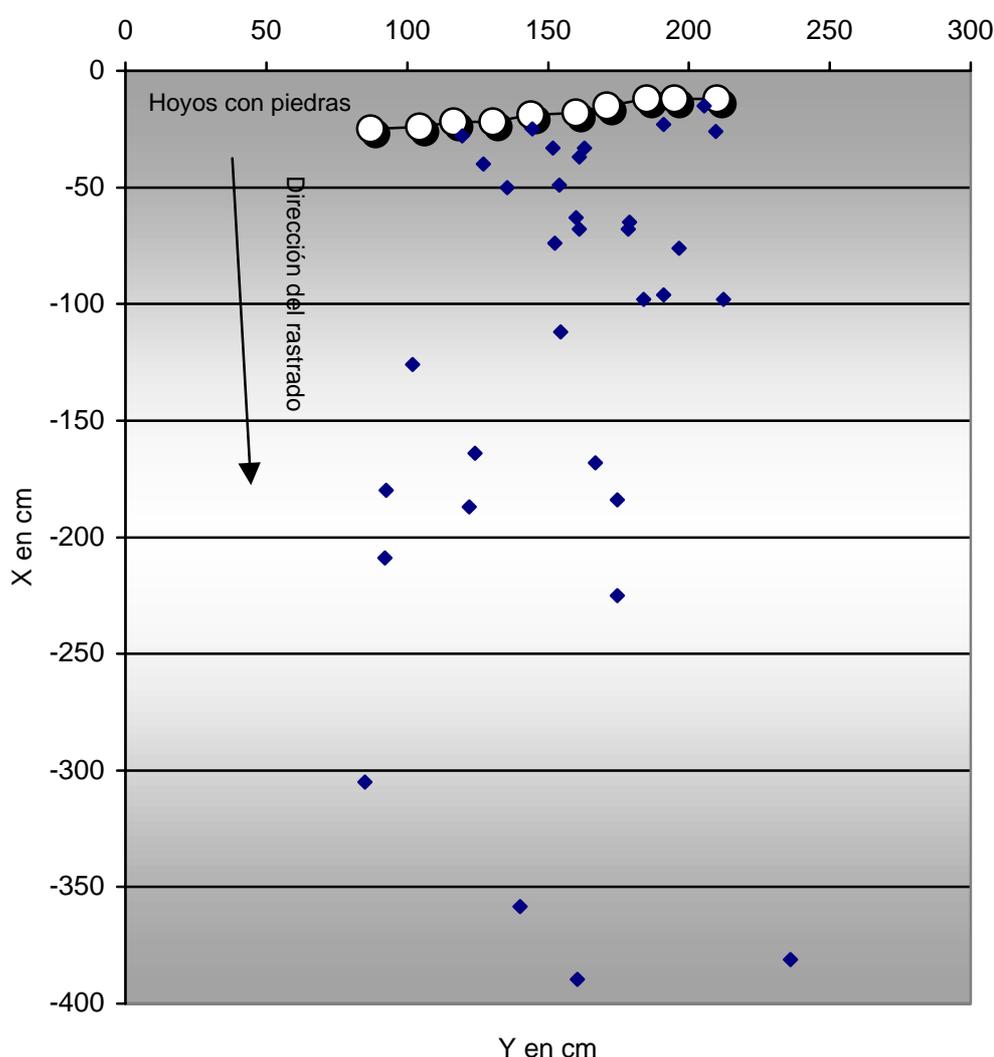
El bajo número de piedras movidas con la rastra se debe a que el laboreo del suelo es superficial y como éste se encuentra removido (suelto); con el paso de la llanta del tractor sobre las piedras, se produce

compactación y hundimiento del suelo junto con las piedras, impidiendo la remoción de las piedras que se encuentran en el sitio de rodaje del tractor.

La remoción de suelo con la rastra se realiza siguiendo la dirección del tractor (Figura 6). En este ensayo fue donde se desplazaron el mayor número de piedras (34) debido a la fuerte pendiente del terreno de 28 grados, en el cual las piedras de la zona de rodaje se desplazaron por la fricción con las llantas del tractor. Este fue el único ensayo de rastra en el cual algunas piedras se salieron de la malla de 3 m y se obtuvo el máximo flujo con 170.5 kg./m.

Según los resultados obtenidos entre los dos sistemas de labranza existen diferencias marcadas, siendo el arado el que erosiona el suelo en mayor grado.

Figura 6. Ubicación de los hoyos y desplazamiento de las piedras después de pasar la rastra de discos, en la pendiente de 28 °.



Los cálculos para determinar el flujo de suelo se realizaron de igual manera que para el caso del arado.

CONCLUSIONES

1. Para este tipo de suelos (Andisoles del Carchi), el mayor flujo de suelo se produce con el arado; en pendientes con 25° el flujo es de 776 kg./m y con 1° de pendiente el flujo es de 132.8 kg./m.

Considerando una longitud del terreno de 100 m, el flujo de suelo variaría de 77.6 a 13.28 t/ha, respectivamente.

2. El desplazamiento de suelo por efecto del arado de discos se produce en dos direcciones; en sentido del arado y hacia la derecha del tractor.
3. El arrastre de suelo con la rastra fluctúa entre 6 a 170 kg./m, el que es mínimo comparado al provocado con el arado. Asumiendo una longitud del terreno de 100 m el flujo de suelo por efecto de la rastra varía de 0.6 a 17.0 t/ha.
4. Las diferencias en el flujo de suelo tanto para arado como para rastra dependen de algunos factores que están relacionados con la pendiente del terreno, tipo y manejo del suelo, capacidad del tractor, velocidad de laboreo, número de discos y tamaño de los implementos.
5. Con la rastra a 28° de pendiente el flujo de suelo fue de 170.5 kg./m y en pendientes menores a 22 grados el flujo de suelo es inferior a 40 kg./m. Esto determina que el ángulo de descanso se encuentra entre los 25°.
6. El modelo matemático que mejor se ajusta a los datos es el exponencial con un mayor coeficiente de correlación para los dos sistemas de labranza, comparado a los coeficientes de correlación obtenidos con el modelo lineal.

BIBLIOGRAFIA

- Crowwetto, C. 1992. Rastrojos sobre el suelo. Una introducción a la cero labranza. Concepción- Chile.
- Meier, H. 1986. Perfil Nacional de la Mecanización para el pequeño productor. Universidad de la Molina. Lima- Perú
- Maezono, L. 1986. Fabricación de implementos agrícolas. La experiencia de Bolivia, Honduras y Perú. Herrandina, Lima- Perú.
- Sánchez, H. 2000. Estudio de la pérdida de suelo por laboreo con azadón y alternativas de control. Resumen de Taller, Riobamba - Ecuador.
- Violic, A. 1989. Labranza de conservación en maíz. CIMMYT- PROCIANDINO. México, D.F. México. Citado por Barreto, H. 1989.