

FISICA DE SUELOS Y SU RELACION CON LOS PROBLEMAS AMBIENTALES

Marcelo Calvache¹

¹ Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Correo electrónico: calvache@uio.satnet.net

Aplicar al estudio del suelo, los principios de la física, para definir propiedades y entender los procesos de transferencia de masa y energía, en relación con los problemas ambientales, es el gran objetivo de la física del suelo. En lo referente a los procesos de transferencia, en especial el movimiento del agua, los primeros trabajos en Ecuador surgieron en los años 70, en experimentos de laboratorio y de campo, utilizando los cilindros infiltrómetros, los tensiómetros y la sonda de neutrones. Estudios de la dinámica del agua en el suelo, a lo largo del tiempo, de modo no destructivo, fueron estimados por las ecuaciones del flujo, conforme a los trabajos pioneros de Darcy (Francia), Buckingham y Richardts (USA). Otros equipos para la medida de la humedad del suelo como el FDR (década del 2000), sondas de rayos gamma para la medida de la humedad y densidad del suelo, han permitido grandes avances en la investigación de los Suelos Ecuatorianos. Muchos otros procesos como compactación, retención de agua, disponibilidad de agua para las plantas, han sido estudiados hace mucho tiempo y en las últimas décadas con más intensidad con el desarrollo de modelos matemáticos para cuantificarlos. Estos asuntos, como métodos de determinación de las propiedades físicas e hídricas del suelo y su variabilidad temporal, así como trabajos de erosión en suelos de laderas se presentan en este artículo.

INTRODUCCION

La Física de suelos es una parte de la ciencia del suelo que se encarga del estudio de las propiedades físicas y de los procesos de transporte de materia y/o energía que ocurren en él. Los límites del estudio de los aspectos físicos de un suelo no están bien definidos, y a menudo se trasladan con aspectos de la química, mineralogía, tecnología y conservación de suelos, y con otras ramas de la ciencia del suelo.

Las propiedades físicas del suelo se refieren a cómo se ve, se siente o se comporta un suelo en procesos que no implican modificaciones químicas. Entre las propiedades físicas del suelo más importantes para la agricultura y el ambiente están la densidad aparente, la densidad real, la textura, la estructura, la porosidad y el calor, y dentro de los procesos de transporte que se verifican en el suelo son de gran interés para la agricultura el movimiento del agua, la renovación constante del aire, el movimiento de solutos y la transmisión de calor.

La capacidad de un suelo para generar altos rendimientos en los cultivos depende principalmente de su fertilidad, es decir, de la capacidad para suministrar a las plantas los nutrientes necesarios, en las formas, proporciones y tiempos adecuados, y dependen además, de la "fertilidad física" del suelo, o sea, de la capacidad para suministrar: agua en cantidad suficiente y tensiones relativamente bajas; aire, especialmente el oxígeno requerido para la respiración de las raíces, removiendo el bióxido de carbono producido; calor, proporcionando una temperatura adecuada para la germinación de semillas, crecimiento de raíces, etcétera, y anclaje, para lo cual el suelo debe presentar baja resistencia a la penetración de las raíces.

Los propósitos del estudio de la física de suelos aplicada a los problemas ambientales son: conocer el rango de valores de las propiedades físicas y procesos físicos del suelo y sus efectos sobre el ambiente; desarrollar métodos sencillos y económicos para evaluar esas propiedades, aprender a manejar el complejo físico del suelo de acuerdo con los problemas ambientales, utilizando los métodos de labranza, adiciones de mejoradores de suelo, o con base en otras prácticas que generen cambios

temporales o permanentes que favorezcan a la conservación ambiental. Además, se incluye la evaluación de los cambios en las propiedades físicas del suelo debidas a la influencia de los elementos del ambiente y de las prácticas de manejo de suelo que realiza el hombre.

PROPIEDADES Y CARACTERISTICAS FISICAS DEL SUELO RELACIONADAS CON EL AMBIENTE

Densidad aparente (da): La densidad aparente se ve afectada por la estructura del suelo, es decir que su grado de compactación, así como por sus características de expansión y contracción, que dependen a su vez del contenido de agua.

La densidad aparente es la expresión de la relación entre la masa del suelo seco a 105° C por 24 horas y el volumen total, incluyendo los espacios porosos de suelo. Tomado tal como aparece en el perfil del terreno; en este volumen se incluyen no sólo las partículas de suelo, sino también los espacios de aire y materiales orgánicos. En definitiva, este valor depende de la textura, la estructura y el grado de compactación del suelo. En suelos arenosos la (da) puede ser tan alta como 1.6 g/cm³. En francos cercana a 1.2 g/cm³ y en suelos arcillosos cercana a 1.0 g/cm³. Los suelos orgánicos o suelos volcánicos tienen densidades menores a 1.0 g/cm³ (suelos humíferos de 0.7 a 1.0 g/cm³, suelos de turba de 0.2 a 0.5 g/cm³). Un suelo agrícola promedio, cultivado, puede tener un valor de densidad aparente de 1,3 - 1.35 g/cm³. La determinación se realiza por medio de la fórmula: da = Ms / Vt. Donde: Ms = Masa sólida (gr). Vt = Volumen total (cm³). La determinación de la densidad aparente es especialmente útil para calcular la capacidad de retención de agua del suelo y para estimar su grado de compactación. Actualmente existen métodos basados en la radiación gamma, que permiten medir este parámetro en el campo. (Calvache, 1982, Calvache, 2009)

Densidad real (dr): A veces la densidad se expresa como peso específico. Siendo la relación entre la masa de sólidos y el volumen ocupado por esos sólidos. En la mayoría de los suelos la densidad promedio de partículas oscila entre 2.6 y 2.78 g/cm³, siendo bastante confiable el valor de 2,65 g/cm³. Para suelos con contenido de materia orgánica mayor al 5% este valor no es adecuado. La determinación se realiza mediante la fórmula: dr = Ms / Vs. Donde: Ms = Masa sólida. Vs = Volumen de sólidos. (Calvache, 2009)

Porosidad. La porosidad es un índice del volumen relativo de poros en el suelo. Este valor se encuentra por lo general en el rango 0.3 – 0.7 (30 – 70 %). Los suelos de texturas gruesas tienden a ser menos porosos que aquellos de textura fina, aunque el tamaño promedio de los poros individuales es mayor en el primero que en el segundo tipo de suelo. En los suelos con alto contenido de arcilla, la porosidad es muy variable, a medida que el suelo se expande o contrae, se agrega o dispersa, se compacta y se parte. La porosidad total no revela nada acerca de la distribución de poros por el tamaño, que es por sí misma una importante propiedad del suelo, en relación al riego. Se determina por medio de la fórmula:

$$P [\%] = \left(1 - \frac{Da [g/cm^3]}{Dr [g/cm^3]} \right) \times 100$$

Donde: P = Porosidad total de la muestra del suelo, [%] Da = Densidad aparente del suelo, [g/cm³]; Dr = Densidad real de las partículas [g/cm³]

Se consideran por separado los macroporos que representan los poros más grandes, que son los que contribuyen a la aireación del suelo y que se utilizan para la circulación del agua, mientras que los microporos se refieren a los poros más pequeños que se utiliza para el almacenamiento del agua. La porosidad de aireación es separada de los poros del agua en base al tamaño de los poros que retiene el agua con una succión de 1/3 de atmósferas. Existiendo una relación entre la porosidad y la capacidad de campo, donde los microporos están repletos de agua. La Porosidad total se determina con la formula: $P [\%] = P_{ma} [\%] + P_{mi} [\%]$ Donde: P = porosidad total de la muestra de suelo %; P_{ma} = macroporosidad %; P_{mi} = microporosidad %. Actualmente se puede determinar la porosidad del suelo en condiciones de campo, utilizando Sondas de Neutrones o DIVINER y los tensiómetros. (Calvache,2009)

Los poros pueden clasificarse en función de su tamaño medio en: macroporos (más de 0,2 mm); poros medios (de 0,2 a 0,02 mm); poros finos (de 0,02 a 0,002 mm) y muy finos (menores de 0,002 mm). Para que el suelo esté bien aireado el tamaño de los poros es muy importante, ya que el agua drena por gravedad a través de los de tamaño superior a 0,05 mm. Es decir, para el crecimiento de las plantas el tamaño de los poros resulta de mayor importancia que la porosidad total. En conjunto, ambas características están directamente relacionadas con las propiedades de aireación del suelo. Para la agricultura son deseables porosidades con tamaños de poros que supongan un equilibrio entre las necesidades de aireación del suelo y de capacidad de retención de agua a 1/10 o 1/3 de atmosfera. (Calvache, 2003)

En general, los suelos de estructuras granular y migajosa y de texturas francas son los que presentan porosidades más equilibradas. En cambio, los suelos sin estructura o con estructura poco definida y los de texturas extremas suelen tener porosidades inadecuadas; las texturas arenosas suponen buena aireación pero poca capacidad de retención de agua, al contrario que las texturas arcillosas.

FORMAS DE EXPRESAR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

Existen diferentes maneras de expresar el contenido de humedad del suelo, que se hallan dentro de los espacios porosos, en condiciones normales. El agua como compuesto químico, se encuentra formando parte de la estructura cristalina de algunos minerales de la fase sólida, pero tan fuertemente retenida que se requiere de temperaturas muy elevadas para retirarlas. Para trabajos prácticos, se considera agua del suelo, la que puede ser liberada por desecación en una estufa a 105 - 110° C hasta su peso constante. Aplicando este procedimiento se consiguen valores reproducibles, aunque todavía queda cierta cantidad de agua ligada a las partículas coloidales, y algunos compuestos, como por ejemplo la materia orgánica, puede sufrir pérdidas por oxidación.

Humedad gravimétrica

Es el porcentaje de agua que contiene el suelo con relación al peso del suelo seco. Se expresa en la fórmula: $Hg = (Pa / Pss) \times 100$ Donde: Hg = Humedad gravimétrica expresada en porcentaje; Pa = Peso del agua ; Pss = Peso del suelo seco.

Humedad volumétrica

La relación entre el volumen de agua y el volumen total del suelo se le conoce como contenido volumétrico de agua o fracción volumétrica de agua en el suelo. En suelos arenosos el valor a saturación es del orden de 40 a 50% y en suelos arcillosos de 60%, en este último caso, el volumen relativo de agua a saturación puede exceder la porosidad total del suelo seco, debido a que los suelos

arcillosos se hinchan, sobrehumedeciéndose. (Calvache, 1998).

El uso de la H_v para expresar el contenido de agua es más conveniente que la H_g , debido a que se puede usar directamente en el cálculo de flujos y cantidades de agua agregadas al suelo por el riego o por la lluvia, y en el cálculo de cantidades extraídas del suelo por evapotranspiración o drenaje. También la H_v representa la profundidad de agua por unidad de profundidad del suelo (cm/cm). (Calvache, 1997)

La humedad volumétrica puede ser fácilmente obtenida a partir de la humedad gravimétrica (H_g) y de la densidad aparente, mediante la siguiente relación:

$$H_v = H_g (d_a/d_w)$$

Donde : d_w = densidad del agua (M_w/V_w), aproximadamente es igual a 1.0 g/cm^3

Humedad expresada en altura de agua (Lámina)

De igual modo como se expresa el agua precipitada en una lluvia, la cantidad de agua del suelo se puede expresar en longitud de altura de agua (Lámina). La relación de longitudes es la misma que la de volúmenes, ya que en ambos casos la superficie de la base es la misma. La expresión de la humedad en longitud se expresa en fracción, así por ejemplo, la humedad volumétrica de 9.4 %, significa que el volumen del suelo con base la unidad y altura de un metro, el agua ocuparía una altura de 0.094 m. Por lo tanto, la humedad expresada en longitud sería: 0.094 m de agua por metro de suelo.

Conocida la cantidad de agua expresada en mm de altura de agua, se puede conocer fácilmente la cantidad de agua, expresada en litros o en m^3 , contenida en la superficie unitaria (metros cuadrados o hectáreas)

Para una altura de 1 mm, el m^2 contiene un volumen:

$$V = 10 \times 10 \times 0.1 = 1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litro}$$

En esas mismas condiciones una hectárea contiene un volumen:

$$V = 1 \times 10.000 = 10.000 \text{ litros} = 10 \text{ m}^3$$

Por estas razones: 1 mm de altura de agua = $1 \text{ litro} / \text{m}^2 = 10 \text{ m}^3 / \text{ha}$. (Calvache, 1998)

Estado energético del agua en el suelo

Desde el punto de vista de FÍSICA DE SUELOS Y AMBIENTE, junto con el conocimiento del agua en el suelo, es imprescindible conocer la energía con que el agua está retenida, ya que los movimientos de la misma hacia la atmósfera y hacia otras zonas del suelo son procesos regulados por diferencias de estados energéticos

Potencial del agua

De las dos principales formas de la energía del agua, (**Cinética y Potencial**), la cinética puede despreciarse, ya que depende de la velocidad del agua en el suelo, y ésta es extremadamente baja. Por consiguiente, en la relación suelo – planta – agua el estado energético en cada punto viene determinado únicamente por la energía potencial, expresada por la diferencia de potencial con respecto

a un nivel de referencia. Por comodidad se emplea el término **potencial** en lugar de energía potencial.

El potencial del agua en el suelo se lo puede expresar como energía libre, que es la energía que puede transformarse en trabajo. Se puede medir en unidades de presión: pascal (Pa), kilopascal (kPa), atmósfera (atm), kg/cm² o metros de columna de agua (mca).

Equivalencias: 1 atm = 1 kg/cm² = 1 bar = 10 mca = 100.000 Pa = 100 kPa

El potencial de referencia vale CERO, que corresponde al agua pura (sin solutos ni impurezas) libre (no está sometida a fuerzas exteriores, excepto la gravedad) y a la presión atmosférica. Al moverse el agua por los poros del suelo interacciona con las partículas sólidas (matriz del suelo) y con los iones en disolución quedando sometidas a un conjunto de fuerzas., además el agua está sometida a la acción de la gravedad y otras fuerzas externas. Las fuerzas actuantes son: Gravedad. Derivadas de la matriz sólida. Derivadas de los iones en disolución. Externas (Presión hidrostática, presión de los gases en disolución).

Cada una de estas fuerzas dan lugar a un potencial parcial que actúan con independencia unas de otras siendo una magnitud escalar, se pueden descomponer en suma algebraica de tantos componentes como fuerzas distintas contribuyen al potencial total, y así isotérmico las constituyen los siguientes componentes. (Calvache, 1998)

$$\Psi_T = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_o$$

Donde: Ψ_T = potencial total del agua en el suelo.; Ψ_p = potencial de presión.; Ψ_g = potencial gravitacional.; Ψ_m = potencial matricial; Ψ_o = potencial osmótico

A.- Potencial Gravitacional. Es la parte potencial del agua que se debe a la fuerza de la gravedad, mediante el cual al añadir agua a un suelo seco, ésta se mueve hacia abajo debido a la acción de la gravedad. Este potencial desempeña un papel importante en la eliminación de los excesos de agua del suelo. Es positivo para los puntos situados encima del sistema de referencia, y negativo para los puntos situados debajo del sistema de referencia.

La sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo lo define como “La cantidad de trabajo que debe realizarse por unidad de cantidad de agua para transportar de manera reversible e isotérmica, una cantidad infinitesimal de agua desde un depósito que contiene una solución de idéntica composición del suelo, situado a una altura especificada, hasta el agua del suelo en el punto considerado”.

Según elegimos la altura a que se sitúa el depósito de referencia, generalmente la superficie del suelo, los potenciales gravitacionales serán positivos si están arriba o negativos si están abajo del nivel de referencia. Se puede medir con una cinta métrica

B.- Potencial matricial. Debido a la interacción del agua con las partículas sólidas del suelo (matriz del suelo). Como consecuencia de estas interacciones se reduce la movilidad de las moléculas de agua cercanas a la superficie sólida y, por o tanto se reduce también su energía libre. Tiene valor nulo cuando hay interacciones (en suelo saturado) y valor negativo cuando las hay (suelo no saturado).

Otro autor considera como la parte potencial del agua que se debe a las fuerzas de atracción del agua por las superficies sólidas del suelo (matriz del suelo) y a las fuerzas de atracción molecular entre las propias moléculas del agua. El conjunto de estos dos tipos de fuerzas hace que el agua sea retenida por adsorción por capilaridad en los suelos por debajo del nivel de saturación.

La sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo lo define como “El trabajo que debe realizarse por unidad de cantidad de agua pura, para transportar de manera isotérmica y reversible, una cantidad infinitesimal de agua desde un depósito que contiene una solución de idéntica composición a la del suelo, situado a una altura y con presión gaseosa externa similar al punto considerado, hasta el agua del suelo”.

Hay ocasiones que se emplea la expresión “tensión” o “succión matricial”, indicando con ello la succión necesaria para liberar el agua retenida en el suelo. Su valor es el mismo que el potencial matricial pero de signo opuesto. Se puede medir con tensiómetros

C.- Potencial de presión. Se debe sobre todo, a la presión hidrostática en los suelos saturados. Expresa la presión de la columna de agua por encima del sistema de referencia.

La sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo lo define como “La cantidad de trabajo que debe realizarse por unidad de cantidad de agua pura, para transportar de manera isotérmica y reversible, una cantidad infinitesimal de agua desde un depósito que contiene una solución de idéntica composición a la del suelo, sometida a la presión atmosférica, hasta el agua del suelo en el punto considerado”.

De acuerdo con el convenio de signo antes expuesto, si el punto en cuestión está por debajo del nivel freático, es positivo, mientras que en suelos no saturados se hace nulo. Es la parte del potencial del agua que resulta de la existencia de presiones distintas a las del punto de referencia, como por ejemplo ocurre en suelos saturados, por la presión hidráulica existente por debajo del nivel freático. Se puede medir con un piezómetro y una cinta métrica.

D.- Potencial osmótico. Se debe a la interacción del agua con los iones en disolución. Como consecuencia de estas interacciones se reduce la movilidad de las moléculas de agua que rodean al soluto. Cuanto mayor sea la concentración del soluto tanto menor será la movilidad de las moléculas de agua y su energía libre, Tiene valor nulo para el agua pura y valor negativo cuando hay sustancias disueltas, en la práctica, en vez de medir la presión osmótica se mide conductividad eléctrica, ya que ambas están relacionadas.

La sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo lo define como “La cantidad de trabajo que debe realizarse por unidad de cantidad de agua pura, para transportar de manera reversible e isotérmica, una cantidad infinitesimal de agua desde un depósito de agua pura situado a una altura determina y a presión atmosférica, hasta otro depósito que contiene una solución idéntica a la del suelo, en el punto que se considera y que está situado a la misma altura y a la misma presión que el depósito de referencia”.

De acuerdo a este concepto siempre el valor será negativo, ya que el agua fluiría espontáneamente desde un depósito de agua pura hasta otro con solución similar a la del suelo. Al igual que en el caso del potencial matricial, se designa como tensión o succión osmótica, al valor del potencial osmótico cambiando de signo.

E.- Potencial Total. Comúnmente se elige como estado de referencia (e. d. r.) un depósito de agua pura (sin solutos) y libre (con interface agua-aire-planta), a la misma temperatura y altura que el punto considerado del suelo y a la presión atmosférica existente en un citado punto, con lo cual y de acuerdo con las definiciones expuestas, el potencial total del agua en un punto del suelo es “La cantidad de trabajo que debe realizarse por unidad de cantidad de agua pura, para transportar de manera isotérmica y reversible, una cantidad infinitesimal de agua desde un recipiente situado a una altura elegida

arbitrariamente, que contiene agua libre y pura y a la presión atmosférica, hasta el punto considerado.

En el estudio de las relaciones suelo-planta-agua, el efecto de los potenciales de presión y gravitacional es de poca importancia para la absorción del suelo por parte de las plantas, por lo cual muchas veces es considerado solamente la suma algebraica de los potenciales matriciales y osmótico. Al valor obtenido de esta manera se denomina potencial de esfuerzo. Ψ_s .

$$\Psi_s = \Psi_m + \Psi_o$$

Las unidades empleadas en las definiciones de potencial, siempre se ha considerado éste término como un trabajo por unidad de cantidad de agua, sin especificar en ningún caso las unidades en que se mida la cantidad de agua,

Si la cantidad de agua se expresa en unidades de masa, el potencial se le denomina “**potencial específico**” que se suele medir en julios/kg o en ergios/gr.

Si la cantidad de agua se mide en unidades de volumen, el potencial se lo llama “**potencial volumétrico**” su expresión dimensional será:

$$\text{Trabajo} / \text{Volumen} = \text{M L}^2 \text{T}^{-2} / \text{L}^3 = \text{M L}^{-1} \text{T}^{-2}$$

La expresión dimensional $\text{M L}^{-1} \text{T}^{-2}$ corresponde a una presión, por lo que el potencial volumétrico se expresa en unidades de presión, generalmente en bares o atmósferas.

Por último, si la cantidad de agua es expresada en término de peso, al potencial se denomina “**potencial de peso**” la expresión dimensional será:

$$\text{Trabajo} / \text{peso} = \text{M L}^2 \text{T}^{-2} / \text{M L T}^{-2} = \text{L}$$

En este caso, el potencial se expresa en unidades de longitud, es decir en altura del líquido equivalente. Trabajos realizados en el Ecuador para estudiar los potenciales de agua en el suelo son: Calvache (1996), Calvache y Reichardt, (1997), Calvache y Reichardt, (1998)

MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO

El agua muy raramente se encuentra en reposo, y de la dirección de su movimiento y la velocidad del mismo se deriva consecuencias muy importantes para su mejor aprovechamiento de la misma en relación con la producción vegetal.

Flujo de agua en el suelo

El agua se mueve a través de los poros del suelo que están interconectados. Los procesos implicados en este movimiento son:

- Entrada del agua en el suelo (infiltración y ascenso capilar desde la capa freática).
- Redistribución del agua entre los diferentes puntos del suelo.
- Salida del agua del suelo (evaporación, percolación y absorción por las plantas).

El potencial hidráulico (potencial gravitacional + potencial matricial + potencial de presión

hidrostática) determina el movimiento del agua en el suelo, que puede producirse de dos formas:

- Flujo saturado, cuando todos los poros están llenos de agua. Este movimiento ocurre en los suelos con capa freática circulante, lo que permite a las raíces de las plantas respirar el aire disuelto en el agua. El potencial matricial es nulo, por lo que el flujo de agua viene determinado por los potenciales gravitacional y de presión hidrostática.
- Flujo no saturado, cuando los poros están parcialmente ocupados por agua. Este flujo viene condicionado por los potenciales matricial y gravitacional Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica o permeabilidad hace referencia a la capacidad del suelo para permitir el paso del flujo de agua. Depende de las características del suelo (forma, tamaño y continuidad de los poros), del contenido de agua (por tanto, es función del potencial matricial) y de la viscosidad del agua (la conductividad aumenta un 3 % por cada °C de aumento de la temperatura).

En régimen de flujo saturado la conductividad hidráulica es constante (suponiendo el suelo uniforme), mientras que en flujo no saturado depende del rozamiento del agua con las paredes de los poros, por lo que tendrá un valor menor que en flujo saturado. En un suelo no saturado su conductividad hidráulica varía con el contenido volumétrico de agua. Ésta circula mejor por los poros de mayor tamaño, que son los primeros que se vacían al pasar de mayor a menor contenido de agua. Por eso, la conductividad en suelos no saturados disminuye muy de prisa conforme disminuye el contenido de agua, principalmente en suelos arenosos. (Calvache, 1993)

Los criterios de evaluación de la conductividad hidráulica saturada son:

Conductividad hidráulica saturada (m/día) Evaluación (FAO)

<0,2	Muy lenta
0,2-0,5	Lenta
0,5-1,4	Moderada
1,4-1,9	Moderadamente rápida
1,9-3	Rápida
>3	Muy rápida

La conductividad hidráulica saturada en suelos con buena estructura varía desde 0,01 a 1 metro/día, correspondiendo las cifras más bajas a los suelos de textura fina, y las más altas, a los de textura gruesa o arenosos, en los cuales la contaminación de aguas freáticas o capas profundas del suelo son más frecuentes.

En general, el movimiento del agua en el suelo se debe a diferencias de potencial entre los puntos en que se produce ese movimiento de tal manera que siempre fluye de mayor a menor potencial. (Calvache, 2004)

Infiltración

La infiltración es el proceso de entrada del agua en el suelo desde la superficie del mismo. Cuando se

aplica el agua en toda la superficie del suelo, el flujo se produce en sentido vertical, pero cuando se aplica sólo a una parte de la superficie, el flujo se produce en sentidos vertical y horizontal.

La velocidad de infiltración. Es la cantidad de agua infiltrada por unidad de superficie y de tiempo. Se mide en mm de altura de agua por hora (1 mm de altura de agua equivale a 1 litro por m² de superficie.) Cuando el suelo está bastante seco la velocidad de infiltración es alta, pero disminuye rápidamente a medida que las arcillas se expanden y taponan parcialmente los poros, hasta llegar a una situación en que se estabiliza a lo largo del tiempo. Este valor constante se llama **velocidad de infiltración estabilizada**, que depende, fundamentalmente, de la textura del suelo. De un modo general, los valores de la velocidad de infiltración estabilizada o tasa de infiltración son los siguientes:

Arcilloso	< 5 mm/hora
Franco-arcilloso	5-10 mm/hora
Franco	10-20 mm/hora
Franco-arenoso	20-30 mm/hora
Arenoso	> 30 mm/hora

Cuando la cantidad de agua aportada por la precipitación o el riego sobre pasan la velocidad de infiltración, el exceso de agua forma charcos en la superficie del suelo, y si el suelo está en pendiente se produce escorrentía superficial. (Calvache, 2003)

La infiltración acumulada. Es la cantidad de agua que se infiltra en la unidad de superficie de un suelo a lo largo de un tiempo determinado. Se mide en mm de altura de agua.

Muchas de las funciones importantes del suelo, tales como disponibilidad y transporte de agua hacia las raíces de las plantas, movimiento de químicos (incluyendo nutrientes y elementos contaminantes), dependen de las condiciones físicas del mismo; así como la trabajabilidad, la susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica.

Es difícil utilizar la información proveniente de los estudios de suelos tradicionales y sistemas de clasificación para evaluar las condiciones físicas de los mismos o predecir adecuadamente los procesos físicos asociados a su degradación; razón por la cual se requieren metodologías para una adecuada caracterización cuantitativa y de predicción de las propiedades físicas del suelo afectadas, con el fin de evaluar los problemas actuales y la vulnerabilidad de los suelos a diferentes procesos de degradación.

La conductividad hidráulica saturada es una propiedad clave en la descripción de los procesos de infiltración y redistribución de agua en el suelo, por lo que se presenta un artículo que describe los métodos más usados para determinar esta propiedad, tanto en condiciones saturadas como no saturadas, tanto en el ámbito de laboratorio como en campo. El conocimiento de las condiciones físicas de los suelos, determinadas de una forma apropiada, permite entender el comportamiento del mismo, así como las interacciones con los elementos del clima, condiciones del terreno y el manejo de los mismos y de los cultivos, que conllevarían al uso más sostenible, mediante la prevención de procesos de degradación, y control de los efectos negativos sobre la productividad de los cultivos, degradación de los ecosistemas y eventos catastróficos derivados. (Calvache, 2004).

Varios trabajos realizados en el Ecuador (Calvache y Miño, 1984; Calvache y Engel, 1984; Calvache y Basantes 1986, Calvache 1996) demuestran que se puede calcular la cantidad de agua que se percola a profundidades mayores de 80 cm y conociendo la concentración de nutrientes en la solución del suelo se puede calcular la cantidad de nutrientes que se pierden en cultivos florícolas (Altamirano y Calvache, 2004; Rojas y Calvache, 2004), en cultivos anuales (Calvache y Engel, 1984; Calvache, 1996; Calvache y Reichardt, 1998) y en cultivos perennes como la palma africana (Hidalgo y Calvache, 2007).

DEGRADACION DE SUELOS

El suelo junto con el agua es uno de los recursos naturales que más ha influido y continua influyendo en el desarrollo del Ecuador. Hoy en día se puede decir que el desarrollo de los pueblos está directamente relacionado con la riqueza de sus suelos y la disponibilidad de agua. No existen pueblos desarrollados en suelos pobres, mas tampoco podemos quedarnos aceptando esta generalidad, pues para eso está la tecnología que nos permite optimizar los factores más favorables controlando el impacto negativo de los factores más desfavorables, ya sea para la producción de alimentos como para el propio bienestar de la humanidad, evitando la contaminación ambiental.

Con el crecimiento de la población Ecuatoriana se ha incrementado también el área cultivada, avanzando para las áreas con suelos cada vez más pobres, inclusive marginales, aumentando la deforestación y degradación de tierras (erosión, acidificación, salinidad, desertificación, entre otros), afectando el medio ambiente. El Panel Internacional de Cambios Climáticos del globo considera que la agricultura viene contribuyendo con 20% para el cambio climático global . Se debe destacar también que el cambio climático global, está dificultando cada vez más la agricultura, para lo cual se realizan esfuerzos intensos para el desarrollo de técnicas que permitan una agricultura sostenible. Con relación al tema de este prestigioso Congreso, se hará un análisis de los principales factores relacionados con su extensión, uso, manejo, pérdidas, degradación y recuperación, considerando el suelo como uno de los principales recursos naturales disponibles para la producción de alimentos de la comunidad, destacándose que justamente el crecimiento de la población ha causado y continua causando una fuerte presión sobre el destino del recurso suelo.

El ciclo vicioso de la degradación

La degradación de suelos a veces es desatada por problemas sociales y viceversa, los problemas sociales desatan la degradación edáfica. Por ejemplo, una excesiva población humana sobre el territorio ocasiona generalmente sobre pastoreo y esquilación de la tierra que causa hambrunas; éstas desarrollan revueltas sociales que hacen aún mayor las penurias, lo que a su vez suele ocasionar guerras que destroran los poca infraestructura y recursos que se tienen, reduciendo la superficie útil y productiva, lo cual ocasiona más hambre y tensiones sociales por el control de un bien cada vez más escaso. Esto indica que lo primero que se debe, es estudiar y decidir por donde se puede cortar este círculo, si aumentando y mejorando la tecnología y la producción, disminuyendo la población o derivando parte de ella hacia otro territorio o sector productivo, *etc.*; pero, sobre todo, elevando el nivel educativo de la población y remediando los problemas sociales de fondo. Obviamente encontrar el método es una tarea ardua, pero necesaria para el rompimiento de este círculo de calidad ambiental-problemas socioeconómicos de fondo.

Por ello la degradación ambiental ha llegado a destruir en el pasado civilizaciones por entero; es renombrada la nostálgica fertilidad de la Mesopotamia imperial, de la Palestina histórica, la de América Central durante la civilización Maya, *etc.* Ya desde Platón se evidenciaba la importancia

del recurso suelo y su preservación, afirmando que éste es uno de los más preciados dones que se debería conservar, con una vegetación adecuada, de preferencia bosque.

La palabra erosión proviene de la raíz latina “*erodere*”, que significa roer (en este caso la tierra). Se llama así al transporte de material terrestre a un lugar a otro por agentes energéticos. Por tanto, es un proceso combinado de desagregación y transporte de materiales edáficos por intermedios de agentes erosivos más o menos energéticos, dependiendo de la resistencia que oponga el propio suelo a dicha desagregación. Por tanto, para que exista erosión primero debe haber desagregación y luego transporte (y posteriormente sedimentación fuera del sistema o cuenca considerada). Es decir, hay tres procesos involucrados en la erosión: Arranque, transporte y sedimentación. (Calvache, 2009)

La erosión es un problema internacional, de ahí que organismos como la F.A.O. se dediquen especialmente a combatirla; muchos suelos agrícolas se pierden anualmente, por la erosión, tras ser necesario 5 siglos, un milenio, incluso más, para su formación o restitución. Así, en países templados frecuentemente se necesitan de dos a diez milenios para formar 15 cm de suelo arable, que pueden ser arrastrados localmente por una simple lluvia. Las lluvias tropicales con estación seca suelen ser tan agresivas tras la temporada seca que erosionan extensas áreas, como sucede en Iberoamérica. Por esta lentitud en formarse el suelo y la rapidez en destruirse se ha pasado de considerarse el suelo un recurso renovable (hasta los años 1960) a un **recurso no renovable** (desde los años 1980). (Narro, 1994)

La erosión hídrica. La erosión hídrica viene regida por la diferencia de energía gravitacional entre un punto dado y uno de referencia llamado nivel de base; en caso de montañas el nivel de base suele ser un valle. Cuanto mayor es la altura referente al nivel de base y cuanto menor la distancia al mismo, mayor es el riesgo de erosión. Por ello las llanuras suelen estar carentes de erosión hídrica, mientras que las altas montañas (como los Andes) tienen problemas de erosión inherentes muy graves. Se suele distinguir entre erosión laminar, la erosión en surcos o cárcavas y un tipo especial que se denomina movimientos en masas o deslizamientos. (Tayupanta, 1993)

La erosión hídrica se produce por el impacto de la gota de agua de lluvia sobre el suelo desnudo. La gota de agua puede tener un diámetro de hasta 6 mm y una velocidad de hasta 9 m sg^{-1} . De acuerdo al tamaño o diámetro de la gota y su velocidad llevará una energía cinética de impacto (E_i) que destruirá el agregado del suelo sobre el cual impacta; obviamente la longitud del periodo de lluvia (mm lluvia h^{-1}) también tiene gran importancia a la hora de calcular dicha E_i . Pero para que haya erosión no basta arrancar, si no que es necesario que haya agua fluyendo para que arrastre el suelo arrancado hacia otro lugar.

Los factores a considerar, pues, son uno activo (lluvia) y otros reguladores, a saber, suelo (permeabilidad y resistencia estructural), topografía (grado de pendiente y su longitud total), vegetación (grado de cobertura y permanencia) y uso (medidas antierosivas, laboreo con suelo desnudo en épocas de lluvias, *etc.*). (Tayupanta, 1993). Por tanto, áreas de fuertes o largas pendientes, con escasa vegetación, suelos limosos y lluvias torrenciales repetidas y concentradas en pocos días están muy sujetas a la erosión. Muchos de estos factores se reúnen en todos los países andinos, entre ellos el Ecuador, que es probablemente las zonas de mayores riesgos de erosión. El sellamiento que produce una primera lluvia inicial también puede ser un factor negativo frente a una lluvia posterior, que ya sólo tiene que acumular suficiente agua que ya no traspasa el suelo para que se ponga en movimiento. Por ello también otro de los factores del riesgo de existencia de erosión es la humedad del suelo y la existencia de lluvias agresivas. (Espinoza, 1993; Tayupanta, 1993).

La erosión acelerada. Se llama erosión acelerada o severa del suelo a aquella que la ocasiona el hombre con sus actividades. Estas erosiones se producen tras desforestación, construcción de caminos o carreteras sin el oportuno desvío de aguas, uso de maquinaria pesada que compactan el suelo, dejar el suelo desnudo en los barbechos en épocas de lluvias, *etc.*; esto es, por un mal manejo del suelo. O sea, que la erosión acelerada antrópica es evitable y la natural es posible corregir con los conocimientos actuales. Algunas de las técnicas culturales que producen erosiones aceleradas son dejar el suelo desnudo como técnica de cultivo al inicio de la época de lluvias, desforestar, hacer caminos sin protección para las aguas que se desvían, el sobrepastoreo, la tala, roza, tumba y quema. (Tayupanta, 1993)

Erosiones de pérdidas de suelo hasta 10 Mg suelo ha⁻¹ suelen ser naturales y asumibles; la erosión debe preocupar cuando se rebasan los 15 Mg ha⁻¹. Si las pérdidas superan los 50 Mg ha⁻¹ se deben aplicar medidas antierosivas, y si existen erosiones del orden de 200 Mg suelo ha⁻¹ se debe prohibir el cultivo y reforestar si fuera posible, esto es tomar las medidas urgentes para atajar el problema y evitar las consecuencias negativas sobre el ambiente y la población nativa. (Espinoza, 1993)

Las medidas antierosivas. Dado que la intensidad de la lluvia no se puede controlar, se debe actuar contra los factores modeladores. Por ejemplo, se puede actuar sobre el suelo aumentando su permeabilidad e incrementado su resistencia estructural mediante la adicción de materia orgánica. Más efectivo aún es añadir residuos orgánicos sobre la superficie edáfica si está desprovista de vegetación y no hay humedad suficiente para tener un cultivo o pastizal. Obviamente lo más efectivo es instalar un bosque si hay mucho riesgo de erosión. Intercalar vegetación o residuos orgánicos entre la gota de agua de lluvia y el suelo permite conservar el suelo independientemente de su grado de permeabilidad o estabilidad estructural.

Se puede actuar sobre la topografía, regulando el grado de pendiente mediante terrazas o bancales y en su longitud total creando canales de desagüe por curvas de nivel que rompan la excesiva longitud de la pendiente, además de aumentar la rugosidad mediante alternancias de cultivos por franjas perpendiculares a la pendiente principal, incluso instaurando agroforestería cada cierta distancia de dicha larga pendiente. (Espinoza, 1993)

En cuanto a la vegetación si se dispone de agua se puede evitar el suelo desnudo mediante la instalación de praderas en la época de no siembra o mediante instalación de cultivos de cobertera o rotaciones apropiadas. Si no se dispone de agua, se debe dejar algún tipo de vegetación que luego se pueda enterrar para incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y mejorar la estructura, tiempo antes que empiece la época de lluvias y no quitar la vegetación o dejar el rastrojo después de la cosecha. (Espinoza, 1993, Tayupanta, 1993)

En resumen, algunas acciones que se deben realizar para detener las erosiones edáficas son: Roturar por curvas de nivel. No cultivar en fuertes pendientes. Recubrir el suelo (con vegetación o *mulch*) en periodo de lluvias. Aumentar la permeabilidad edáfica (con laboreo y/o adicción de materia orgánica). Cultivar en franjas (perpendiculares a la pendiente principal) con diferentes rugosidades. Proteger desagües y atajar cárcavas. Realizar terrazas, en fuertes pendientes. (Calvache, 2009)

En el Ecuador, el efecto principal de la degradación del suelo es la reducción en la productividad, lo cual afecta a todos quienes dependen de ella. La forma más grave de degradación del suelo es la provocada por la erosión. Esta situación se acentúa en la sierra ecuatoriana debido a múltiples factores adversos como el minifundio, pendiente, dependencia total o parcial de insumos externos, cambio en los sistemas de producción de cultivos asociados y policultivos por monocultivos, reducción de la

diversidad de especies cultivadas, deficientes prácticas de conservación de suelos, falta de políticas e incentivos para la conservación del ambiente (Monar, 2007).

Los indicadores estadísticos del grado de erosión de las cuencas hidrográficas en la sierra ecuatoriana señalan que un 39.13% es crítica, 28.26% seria, 4.35% moderada, 26.09% potencial y 2.17% normal, dando como efectos graves la pérdida de la biodiversidad, degradación de los suelos, alta sedimentación de los principales reservorios, causas de los ríos de la parte baja de las cuencas y graves inundaciones (Espinosa, 1993).

Un caso de estudio presenta que en la subcuenca del río Chimbo, la degradación de los suelos mayormente es ocasionada por la erosión hídrica favorecida por la acción antropogénica a través del desarrollo de actividades productivas con tecnologías inadecuadas en áreas de alta vulnerabilidad física y ambiental (Cruz *et al.*, 2008). Los procesos de erosión hídrica del suelo, dependen del diámetro, velocidad y energía cinética de las gotas de lluvia, cantidad, intensidad, duración de las precipitaciones, la cobertura vegetal presente entre otras.

En otro caso de estudio (Cruz *et al.* 2010), se indica que la degradación del suelo en la microcuenca del río Alumbre, tiene un proceso acelerado debido principalmente al avance de la frontera agrícola, deforestación y destrucción de la biodiversidad, las deficientes prácticas de conservación de los suelos, desarrollo de monocultivos, efectos del cambio climático, desconocimiento y falta de incentivos para la conservación del capital Natural (Barrera *et al.*, 2008 y Monar, 2007).

El objetivo general del estudio de Cruz *et al.* (2010) fue determinar el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo por erosión hídrica, en tres sistemas de producción de mayor predominio en la zona, que se sustenta en el cumplimiento de tres objetivos específicos: 1) determinar la cantidad de suelo que se pierde por efecto del escurrimiento superficial en los sistemas de producción suelo labrado, pasto, maíz y fréjol; 2) calcular el escurrimiento superficial en los sistemas de producción y 3) realizar el análisis económico de la reducción en la productividad de los rubros en estudio por efecto de la erosión hídrica. La hipótesis de la investigación fue que la pérdida de suelo y la escorrentía dentro de los sistemas de producción de suelo labrado, pasto, maíz y fréjol, en la microcuenca del río Alumbre, es diferenciada por las labores culturales que se realiza para cada uno de ellos. Las conclusiones obtenidas del trabajo fueron: El mayor escurrimiento superficial se registró en los sistemas suelo labrado seguido de los cultivos de fréjol y maíz. En el sistema de producción de la pastura naturalizada se registró el menor escurrimiento superficial del agua lluvia, además de la menor pérdida de suelo por erosión hídrica. Existe una relación directamente proporcional entre los valores del volumen de agua escurrida y volumen de agua lluvia infiltrada con el coeficiente de escurrimiento. Valores bajos en los coeficientes de escurrimiento señalan un menor riesgo de erosión hídrica del suelo. El modelamiento para la determinación del valor actual neto de las pérdidas económicas proyectadas, debido a la erosión hídrica en los sistemas productivos, maíz, fréjol y pasto con tecnología del productor en la provincia de Bolívar estarían alrededor de los 119 445 682 USD. Los componentes que minimizaron la erosión del suelo, fueron la alta capacidad de infiltración y retención de agua por el suelo en estudio, los eventos de precipitación de baja intensidad, la cobertura vegetal sobre la superficie del suelo y la práctica de siembra en labranza de conservación.

Los trabajos realizados en el Ecuador, indican que existe la tecnología suficiente para superar estos problemas de erosión hídrica, pero el alto costo de las obras de conservación no permite a los agricultores pobres realizarlas, y se continúan erosionando los suelos de las partes altas de las cuencas hidrográficas y acumulándose los sedimentos en las partes bajas de las cuencas. Una posible

solución sería que los habitantes de las partes bajas paguen por conservación de las cuencas a los habitantes de las partes altas.

BIBLIOGRAFIA

- Barrera, V., J. Alwang, y E. Cruz. 2008. Manejo integrado de los recursos naturales para agricultura de pequeña escala en la subcuenca del río Chimbo-Ecuador: aprendizajes y enseñanzas. INIAP-SANREMCRSP-SENACYT. Boletín Divulgativo No. 339. Quito, Ecuador. 87 pp.
- Calvache, M. 1982. Influencia de la materia orgánica sobre la evapotranspiración del cultivo de fréjol. Memorias del Coloquio Regional sobre Materia Orgánica do solo. CENA/USP Piracicaba, Sao Paulo, Brasil, 16 p.
- Calvache, M., G. Engel, C. Garcia, y M. MIÑO. 1982. Utilización del método nuclear para la determinación de la humedad del suelo. Memorias del IV Congreso de la Ciencia del Suelo. Universidad Técnica de Ambato - Ecuador. 12 p.
- Calvache, M., y M. Miño. 1984. Dinámica de agua en un Typic haplustoll cultivado con papas (*Solanum tuberosum* L.) Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito. Boletín Técnico # 6, 24p.
- Calvache, M., E. Basantes, y W. Ruiz. 1984. Conductividad Hidráulica de un Typic haplustoll. Memorias del Seminario Internacional de Ingeniería Agrícola. Universidad de Loja. Loja - Ecuador. 35 p.
- Calvache, M., y G. Engel. 1984. Evapotranspiración de un Cultivo de Maíz (*zea mays* L.). Memorias del Seminario Internacional sobre Técnicas Nucleares en Producción de Plantas Agrícolas. CENA/USP. Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. pp. 247 - 255.
- Calvache, M., y E. Basantes. 1985. Evapotranspiración real y potencial de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.). Memorias del IX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Cali-Colombia, 12 p.
- Calvache, M., A. Guerrero, y M. Paredes. 1987. Aplicación de la moderación de neutrones para estudiar la dinámica del agua en un suelo cultivado con trigo. Memorias del Primer Congreso Nacional de Ciencias. Comunidad Científica Ecuatoriana. Quito, pp. 2: 6 - 11.
- Calvache, M. 1990. Influence of irrigation management practice on potato using nuclear techniques. Soils Newsletter OIEA Viena, 12(2): 17 - 18..
- Calvache, M. 1993. Requerimientos Hídricos de Cultivos Agrícolas en la Zona de Tumbaco-Pichincha. Trabajo de ascenso a Profesor Principal en la Universidad Central del Ecuador, Facultad de ciencias Agrícolas 173 p.
- Calvache, M. 1994. Requerimientos hídricos del cultivo de tomate de árbol, calculados por moderación de neutrones. Nucleociencias, Quito, 5:16-24
- Calvache, M., and K. Reichardt. 1995. Water deficit imposed by partial Irrigation at different growth stages for common bean (*Phaseolus vulgaris*). Soil Newsletter 18(1):25-26, 1995.
- Calvache, M. 1996. Efeito de épocas de deficiência hídrica na produtividade e na eficiência do uso de água e de nitrogênio da cultura de feijao cv. Imbabello. Tesis presentada a la Universidad de Sao Paulo para la obtención del título de Doctor en Ciencias (PhD), Piracicaba, Sao Paulo, Brasil. 180 p. (Portugués)
- Calvache, M., and K. Reichardt. 1996. Water deficit imposed by partial irrigation at different plant

- growth stages of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) In: IAEA TECDOC 888, NUCLEAR TECHNIQUES TO ASSESS IRRIGATION SCHEDULES FOR FIELD CROP. p63-72.
- Calvache, M., K. Reichardt, J.E. Pilotto, y P.C.O. TRIVELIN. 1996. Efecto de épocas de déficit de agua en la fijación de N₂ y producción de grano de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) Memorias del XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Brasil.
- Calvache, M., e K. Reichardt. 1997. Efeito de épocas de deficiencia hídrica na evapotranspiracao atual da cultura de feijao cv. Imbabello. Scientia Agrícola 54(1): 21-41.
- Calvache, M. 1998. Manejo del agua en fertirrigación. Memorias del primer seminario internacional de Fertirrigación. INPOFOS, Quito. 20 p.
- Calvache, M. 2003. Uso de la sonda de neutrones en estudios de riegos y drenajes. VII ESCUELA LATINOAMERICANA DE FÍSICA DE SUELOS. La Serena- Chile. CD,12 p.
- Calvache, M. 2004. Utilización de sondas nucleares en estudios de física de suelos. VII ESCUELA LATINOAMERICANA DE FÍSICA DE SUELOS. La Serena-Chile. Documentos Técnicos en Hidrología No 71 UNESCO. pp 23-28.
- Calvache, M. 2009. Física de suelos. Universidad Central del Ecuador, Facultad de ciencias Agrícolas 123 p.
- Altamirano, J., y M. Calvache. 2005. Evaluación del requerimiento de agua en el cultivo de mini clavel (*Dianthus caryophyllus*) variedad "RONY" bajo invernadero. Otón - Pichincha. 2005. Revista Rumipamba. Vol. XIX – No.1 51p.
- Cruz, E., V. Barrera, C. Monar, L. Escudero, C. Montúfar, y D. González. 2008. Planificación participativa para el reordenamiento territorial productivo en la subcuenca del río Chimbo-Ecuador basado en los enfoques de gestión integrada de cuencas hidrográfica y medios de vida. Artículo presentado en el XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador. 15 pp.
- Cruz,E., E. Chela, C. Monar, F. Valverde, y Y. Cartagena. 2010. Evaluación de la perdida productiva y económica por la erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca de río Alumbre, Provincia de Bolivar, Ecuador. Presentado en el XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, Ecuador. 15 pp.
- Espinosa, P. 1993. Caracterización por erosión de las cuencas hidrográficas de la sierra ecuatoriana. Quito, Ecuador, primera edición. pp. 85-98.
- Rojas, M., y M. Calvache. 2005. Evaluación del requerimiento de agua en el cultivo de rosas (*Rosa* sp) variedad "FREEDON" bajo invernadero. Otón – Pichincha. Revista Rumipamba. Vol. XIX – No.1 58p.
- Hidalgo, D., M. Calvache. 2007. Influencia del Riego en el Comportamiento de tres híbridos tenera de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis Jacq*) de dos años de edad. La Concordia, Pichincha. Revista Rumipamba. Vol. XXI – No. 1 15p.
- Narro Farias, E. 1994. Física de Suelos con enfoque agrícola. 1ª Edición, México D.F. Editorial Trillas, 195 p.
- Monar, C. 2007. Informe anual. UVTT/C. INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Guaranda, Ecuador. 22 pp.
- Tayupanta, J. 1993. La erosión hídrica: procesos, factores y formas. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Boletín Divulgativo No. 229. Quito, Ecuador. 12 pp.