

EL SUELO Y SU RELACIÓN CON EL MANEJO

Jorge Carrasco J. ⁽¹⁾

Dr. Ingeniero Agrónomo,

Jorge García-Huidobro P. de A. ⁽²⁾

Ingeniero Agrónomo Ph. D.,

Francisco Valenzuela A. ⁽¹⁾

Ingeniero Agrónomo Mg. Sc.

⁽¹⁾ INIA- Rayentué

⁽²⁾ INIA- La Platina

1. INTRODUCCIÓN

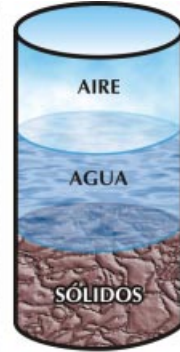
1.1. Concepto de suelo

El suelo debe ser considerado un ente vivo y sensible a la intervención que el hombre ejecuta sobre el. Es un sistema abierto y dinámico, que soporta la vida vegetal y por ende la agricultura. Está constituido por tres fases; Una *fase sólida* formada por los componentes inorgánicos, los minerales, y una fracción orgánica, compuesta por organismos vivos y residuos orgánicos en distinto grado de descomposición. La interacción entre la fracción orgánica y la fracción mineral se traduce, de acuerdo a las propiedades de cada uno de ellos en aglomerados o agregados, cuyo tamaño y forma varían considerablemente, dejando un espacio entre ellos (poros, galerías, y grietas en el que se encuentra la *fase líquida* y la *gaseosa* (**Foto 1**), este espacio se denomina el espacio poroso del suelo (Porta *et al.*, 1994).

Una parte del volumen de este espacio poroso está ocupado por agua, componente de la fase líquida, que contiene diversas sustancias en solución y el resto por aire, que constituye la fase gaseosa o atmósfera del suelo (Porta *et al.*, 1994).

Foto 1.

Fases que constituyen el suelo, en este caso representadas en un agregado o "terrón", el cual está formado por sólidos, agua, y aire.



Los factores principales que influyen en la formación de los suelos son: el clima (insolación, precipitaciones, temperatura y viento), los organismos vivos, el relieve, la roca madre originaria y el tiempo. A estos factores se puede agregar la intervención del hombre, con sus actividades agrícolas, pecuarias, forestales, entre otros, lo cual ha influido, más que en la formación de suelos en el tiempo, si no que en su destrucción.

Numerosos procesos físicos, químicos y biológicos actúan simultáneamente para mejorar o empobrecer la condición del suelo y las funciones que éste desempeña en beneficio de las plantas que crecen en él. Entre las funciones de mayor importancia del suelo están (Narro, E. 1994):

- Anclaje para las raíces y soporte mecánico para el follaje.
- Suministro de agua y nutrientes para las plantas.
- Suministro de oxígeno a las raíces y elimina el dióxido de carbono producido.
- Transporta el calor y proporciona una temperatura adecuada para el desarrollo de las raíces, germinación de semillas, entre otros.
- Desnaturalización de productos orgánicos tóxicos (degradación de herbicidas) y adsorción componentes orgánicos impidiendo su movilidad.

2. DEGRADACIÓN DEL SUELO

La degradación del suelo es el resultado de todas aquellas acciones que conducen a la pérdida de la naturaleza y propiedades del mismo. Se produce por erosión ya sea hídrica o eólica, por salinización, por alcalinización, pérdida de nutrientes por lavado, o bien, por compactación. Factores todos, que llevan finalmente a la degradación biológica pérdida de la “vida” del suelo y son los responsables de la disminución de su capacidad productiva.

Según Lal y Stewart (1990), se distinguen tres tipos principales de degradación, los cuales incluyen distintos procesos:

a. Degradación del medio químico

- Disminución de la fertilidad.
- Desequilibrio elemental.
- Acidificación.
- Salinización y Sodificación.
- Acumulación de compuestos tóxicos.

b. Degradación del medio biológico.

- Disminución en la materia orgánica del suelo.
- Reducción de la macro y microfauna del suelo.
- Reducción de la microflora.

c. Degradación del medio físico.

- Erosión.
 - Erosión hídrica.
 - Erosión eólica.
- Desertificación.
- Compactación y formación de capas endurecidas.

2.1. Degradación del medio químico del suelo

La degradación del medio químico del suelo, es un proceso que modifica las propiedades químicas del mismo. Tales como una modificación del pH, un aumento de este, alcalinización; o bien su disminu-

ción (acidificación), disminución en el contenido de nutrientes, aumentos de la concentración salina, entre otros. Estos cambios en las propiedades químicas normalmente afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. También, pueden afectar la vida microbiana del suelo la que se traduce en la incapacidad del suelo de metabolizar sustancias ajenas al mismo, lo que conduce a su intoxicación, producto de la adición de sustancias extrañas, lo que constituye un caso claro de contaminación.

2.2. Degradación del medio biológico del suelo

Se habla de degradación biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica incorporada. Esta reducción en los niveles de materia orgánica, genera una reducción en la actividad microbiana, que incluye la macro y micro fauna del suelo, además de la microflora, lombrices, entre otros (Carrasco, 2003). La degradación biológica, está íntimamente relacionada con la degradación química, porque una reducción y desequilibrio en los niveles de materia orgánica, produce una reducción en los niveles de nutrientes del suelo.

2.3. Degradación del medio físico del suelo

La degradación del medio físico se refiere al deterioro de las propiedades físicas, principalmente la estructura, como consecuencia del mal manejo del suelo con la labranza. Por efecto de la compactación se produce aumento de la densidad aparente, disminución de la porosidad. Un exceso en labores aumenta la pérdida de materia orgánica lo que conlleva la pérdida de estabilidad estructural, que a su vez se traduce en erosión, y finalmente desertificación.

Pérez, J. (1992) señala que degradación del suelo se produce en tres etapas:

Etapas 1. Las características originales del suelo son destruidas gradualmente. La degradación es poco perceptible debido a la poca intensidad de los procesos y al mantenimiento de la productividad por el uso de fertilizantes.

Etapa 2. Se producen pérdidas acentuadas de la materia orgánica, con fuerte daño de la estructura (colapso estructural). Se produce compactación subsuperficial que impide la infiltración del agua y la penetración de raíces. De esta forma, la erosión se acentúa y los cultivos responden menos eficientemente a la aplicación de fertilizantes.

Etapa 3. El suelo está intensamente dañado, con gran colapso del espacio poroso. La erosión es acelerada y hay dificultad de operación de la maquinaria agrícola. La productividad cae a niveles mínimos. El tiempo para llegar a esa tercera etapa de degradación, depende de la intensidad de uso de prácticas inadecuadas de labranza y manejo, de la pendiente de las tierras, de la textura del suelo y de la resistencia del suelo a la erosión hídrica.

Una forma drástica de producir una degradación del suelo, es a través de la quema de rastrojos, práctica que por años han venido desarrollando los agricultores, productores de cereales, que no manejan en forma conservacionista el suelo (**Foto 2**). Según Sánchez-Girón (1996), una forma de mejorar la estructura del suelo, es manteniendo e incorporando los restos de cosecha sin quemarlos.

Según Acevedo y Silva (2003a), los rastrojos en el suelo, mejoran la estructura y estabilidad de agregados, aportan elementos nutritivos a las plantas y mejoran la fertilidad del suelo a través de su descomposición, favorecen la infiltración del agua, y evitan el encostramiento superficial, entre otras ventajas.

Foto 2.
Quema de rastrojos de trigo, práctica que reduce materia orgánica y nutrientes del suelo, facilitando con ello su degradación.



En Chile, en forma tradicional se ha realizado quema de los rastrojos del cultivo anterior, labranza con inversión de suelo y rastrajes, incluso en suelos con alta pendiente. Esta práctica de labranza, que es tradicional, ha provocado pérdidas de suelo por erosión hídrica y eólica, encontrándose actualmente unas 11,5 millones de hectáreas con grado de erosión grave y muy grave (Acevedo, E., y Silva, P., 2003b).

2.4. La erosión del suelo

La erosión del suelo se define como “una pérdida gradual del material que constituye el suelo, al ser arrastradas por el agua o el viento las partículas que lo forman (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que van quedando en superficie” (Porta *et al.*, 1994). Existen factores naturales que potencian esta situación, como es el caso de la topografía de lomajes, cerros y montañas que se extiende por la mayor parte de nuestro territorio. Sin embargo, el hombre siempre ha contribuido a acelerar los procesos erosivos naturales, de la siguiente forma:

- La deforestación, y particularmente aquella donde no hay replante inmediato de especies forestales.
- El mal uso de la capacidad del suelo, como plantaciones de viñedos y siembras en terrenos de laderas de capacidad de uso no agrícola.
- El sobre pastoreo, que incide en la reducción de la cobertura vegetal, y pisoteo excesivo del suelo (compactación).
- La sobre explotación de la vegetación natural para uso doméstico, como producción de carbón y leña.
- Las prácticas inadecuadas de manejo de suelos, que incluye la labranza convencional, y el no uso de técnicas de manejo conservacionista de suelos.

2.4.1. Erosión hídrica

El impacto de las gotas de lluvia sobre un suelo desnudo, provoca la desintegración de los aglomerados del suelo en las partículas primarias

(limo, arcilla y arena) las que , forman un sello superficial que disminuye la capacidad de infiltración del suelo. Si la precipitación es mayor que la tasa de infiltración de agua, se produce escurrimiento superficial la que arrastra primero a las partículas mas finas y al aumentar la velocidad del agua las más gruesas producen surcos y zanjas en las partes altas y acumulación de sedimentos en las partes bajas. Como ejemplo de esta situación, mediante el empleo de simuladores de lluvia, se constató que haciendo variar el tamaño de la gota de 1 a 5 mm de diámetro, la infiltración decreció en un 70%, y la concentración de partículas de suelo arrastradas por erosión, se incrementó cerca de un 1.200% (Peralta, J.M., 1993).

Después de una fuerte lluvia, si el agua que corre sobre laderas y quebradas es de color café oscuro, es evidente que se está ante un proceso erosivo, que paulatinamente va perdiendo el suelo de su capa superficial y reduciendo su fertilidad. En casos de procesos graves de erosión, la roca madre queda totalmente desnuda. Por lo tanto, en la secuencia erosiva, se reconocen tres procesos claros y definidos:

- Las partículas se sueltan de la masa del suelo.
- Las partículas son transportadas.
- El material es depositado y los agentes erosivos que actúan conjuntamente son las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial (Peralta, J.M., 1993).

3. ALGUNAS PROPIEDADES DEL SUELO DE IMPORTANCIA PARA LA AGRICULTURA

3.1. Materia orgánica

Algunos autores, definen a la materia orgánica como “una mezcla de todos los compuestos orgánicos, exceptuando los organismos vivos (animales o vegetales), que en ella se encuentran, y que se diferencian por el nivel de degradación, la estructura, la composición y la estabilidad” (Fortun, 1988). La materia orgánica está presente en todos los suelos, y el importante papel que desempeña en las propiedades físicas, químicas

cas y biológicas de los mismos, justifican la incorporación de una revisión sobre la relevancia de ella en este documento.

La materia orgánica fresca, al descomponerse, da origen al *humus*, por lo tanto constituye la materia prima de éste, y está formada por restos vegetales y animales de toda naturaleza, La materia orgánica se origina de los seres vivos (plantas y animales), e interviene de forma activa en la formación de suelo, condicionando su comportamiento en relación al crecimiento de las plantas y microorganismos, influyendo en el movimiento y almacenamiento de agua, intercambio catiónico, y constituyendo una fuente de nutrientes que se superponen al suelo mineral o se incorporan a él (cultivos), entre otros aspectos (Porta *et al.*, 1994). El efecto del humus en el suelo juega un papel fundamental, mejorando la capacidad de retención del agua e incrementando la permeabilidad. Puede aumentar la disponibilidad de micro nutrientes para las plantas, permite el intercambio gaseoso, mejora la estructura y con ello la capacidad de retención de agua del suelo, e incrementa la resistencia del suelo a la erosión (Stevenson, 1982).

La materia orgánica, forma parte del ciclo de los nutrientes del suelo, tales como nitrógeno, azufre y fósforo . Además, proporciona un sustrato ideal para el desarrollo de microorganismos (hongos, bacterias, y otros), cuya actividad resulta beneficiosa para los cultivos.

Porta *et al.*, (1994), indican que la materia orgánica se origina de los componentes orgánicos del suelo, que proceden de:

- La acumulación de restos y residuos de plantas y animales. Incluye Biomasa senescente incorporada de forma natural al suelo, en cualquier ecosistema, además de enmiendas orgánicas de origen biológico, aportados por el hombre en los agrosistemas (abonos verdes, guanos, restos de cosechas, entre otros).
- Productos xenobióticos, que son aquellos de carácter orgánico resultante de síntesis industrial: los más frecuentes incorporados al suelo son los pesticidas, lo que confiere una extraordinaria estabilidad a los productos resultantes. Entre ellos, se encuentran algunos tipos de plaguicidas orgánicos, como insecticidas, nematicidas, y fungicidas.

- La descomposición de los tejidos orgánicos, por acción mecánica de la fauna y microorganismos.
- La degradación o descomposición de moléculas orgánicas complejas a compuestos orgánicos más sencillos, que si tiene lugar con intervención de los microorganismos, se denomina biodegradación.
- La reorganización de algunos productos de la degradación, con síntesis microbiana de nuevos componentes orgánicos.

El contenido de materia orgánica no es una limitante estricta en el desarrollo de la fruticultura, pudiendo realizarse plantaciones en suelos con escaso contenido de ella, como se realiza en algunos lugares de Israel y España (Hirzel, 2008), y en los valles transversales de Azapa y Lluta, Región de Arica y Parinacota, y valles del Copiapó y del Huasco, Región de Atacama. Sin embargo, se sugiere que este contenido sea el mayor posible, que se traducirá en una mayor fertilidad física, química y biológica del suelo, y una mejor condición futura del huerto (Hirzel, 2008).

3.2. Textura

Se define como, la proporción de elementos del suelo, clasificados por categorías en función de su tamaño, una vez destruidos los agregados. La determinación de la textura de un suelo, es decir, de sus componentes, arcilla, arena y limo, nos permite conocer diversas propiedades físicas del suelo (USDA, 1975). La distribución proporcional de los diferentes tamaños de estas partículas minerales, determina la textura de un determinado suelo.

Desagregando una muestra de suelo mineral en la palma de la mano, se puede percibir que ella está compuesta por partículas sólidas, predominantemente de naturaleza mineral de diversos tamaños. Por su diámetro, esas partículas son clasificadas como fracciones granulométricas o fracciones texturales que incluye a la arena, limo, y arcilla que componen una fracción de tierra fina (menor que 2 mm de diámetro), o como clastos o piedras de distintos tamaños, que son las fracciones más gruesas del suelo (mayor a 2 mm) (Schneider *et al.*, 2007).

Los materiales minerales del suelo, provienen de las rocas pulverizadas progresivamente por acción del agua y del frío. Cada uno tiene su propia constitución mineralógica, y la proporción en que ellos se encuentren en un suelo, definen la textura del mismo. El porcentaje de arena, limo y arcilla que posea un suelo, se denomina *clase textural*, y es el nombre que recibe la textura (Porta *et al.*, 1994).

Las arenas se caracterizan por tener partículas grandes (0,05 a 2 milímetros), el limo medianas (0,002 a 0,05 mm), y las arcillas muy finas (menor a 0,002 milímetros) (USDA, 1975). La proporción de estas partículas en el suelo, determinan la facilidad de abastecimiento de los nutrientes, agua y aire que son fundamentales para la vida de las plantas.

Los suelos arenosos, conocidos también como “livianos”, son los que contienen mayor proporción de arena, retienen poca agua, y por lo tanto, se secan rápidamente. Son suelos con buena porosidad y con buen drenaje. Las raíces de las plantas penetran con facilidad, pero no encuentran los nutrientes suficientes, ya que estos suelos, en general, se caracterizan por ser bastante pobres en elementos minerales, lo cual obliga temporada a temporada la aplicación de nutrientes a los cultivos establecido, y además incorporar materia orgánica al suelo.

Los suelos limosos, poseen mayor proporción de limo. Sus cualidades de retención de agua, soltura y riqueza mineral, son intermedias entre las de los suelos arenosos y la de los arcillosos.

Generalmente los suelos adecuados para los cultivos, son aquellos en que no predomina una u otra fracción. Por ejemplo, los suelos francos son los que contienen proporciones similares de arena, limo y arcilla. Por lo tanto, como existe un equilibrio en sus características, son los más aptos para uso agrícola.

Los suelos que contienen mayor cantidad de arcilla, poseen poco espacio entre partículas, ya que éstas son de tamaño muy pequeño, y por lo tanto, el agua, el aire y las raíces penetran con dificultad (**Figura 1**). Estos suelos son clasificados “pesados”, porque son más difíciles de manejar, cuando no se trabaja con la humedad adecuada. Sin embargo, los suelos con alto contenido de arcilla, suelen ser ricos en nutrientes, por su alta capacidad de intercambio catiónico (C.I.C).

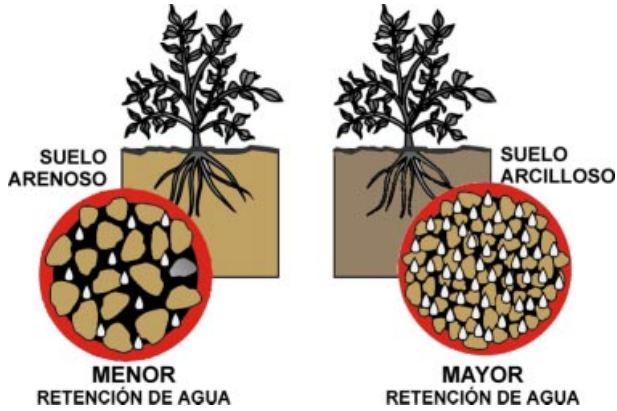


Figura 1. Comparación de la capacidad de infiltración de agua de un suelo arenoso con uno arcilloso.

Las limitantes nutricionales están en estrecha relación con la textura del suelo, puesto que, en la medida que aumenta la fracción fina (partículas sólidas de menor granulometría), aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de intercambio aniónico (CIA), con lo cual aumenta la capacidad nutricional del suelo (Hirzel, 2008). De acuerdo a lo anterior, es difícil encontrar en la zona central de Chile suelos de textura gruesa (franco arenosos a arenosos), que en forma natural (sin la formación de horizontes antrópicos o generados por el hombre), presenten un alto contenido de cationes, como también es poco probable contar con suelos que posean una alta presencia de arcillas expandibles, y que presenten bajo contenido de bases (Ca y Mg, principalmente (Hirzel, 2008).

El procedimiento analítico mediante el cual se determina la textura de suelo, donde se separan las partículas de una muestra de suelo se le llama análisis textural, que consiste en determinar la distribución porcentual del tamaño de las partículas. Este análisis proporciona información del porcentaje de arena, limo, y arcilla, permitiendo a su vez establecer antecedentes para inferir otras propiedades del suelo, como capacidad de retención de agua disponible para las plantas, riesgos de erosión eólica e hídrica, capacidad para almacenamiento de nutrientes, facilidad para el laboreo (Porta *et al.*, 1994), y parámetros de las propiedades físicas del suelo, como la permeabilidad, retención del agua, plasticidad, y aireación, entre otros.

3.2.1. Clases de texturas

Las clases texturales o granulometría, expresa las proporciones relativas de las distintas partículas minerales, inferiores a 2 mm, agrupadas, tras la destrucción de los agregados, por clases de tamaños en fracciones granulométricas (Porta *et al.*, 1994).

Los nombres de las clases texturales o granulometría, se utilizan para identificar grupos de suelos con mezclas parecidas de partículas minerales. Los suelos minerales pueden agruparse de manera general, en tres clases texturales que son: las arenas, los limos y las arcillas. Se utiliza una combinación de estos nombres para indicar los grados intermedios, según el triángulo textural de la **Figura 2**. Por ejemplo, la *textura arenosa* contienen un 70 % o más de partículas de arena, los *areno-francoso* contiene de 15 a 30 % de limo y arcilla. Los *suelos arcillosos* contienen más del 40 % de partículas de arcilla y pueden contener hasta 45 % de arena y hasta 40 % de limo, y se clasifican como *arcillo-arenosos* o *arcillo-limosos*. Las *texturas francas* constan de diversos grupos de partículas de arena, limo y arcilla y varían desde *franco-arenosa* hasta *franco-arcillosa*. Sin embargo, aparentan tener proporciones aproximadamente iguales de cada fracción.

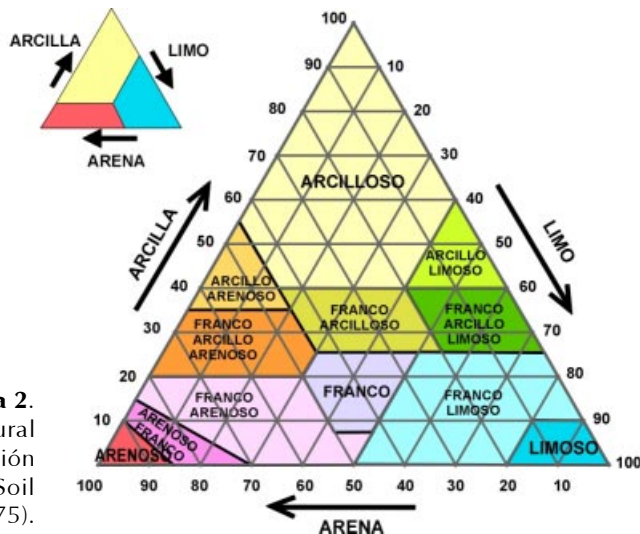


Figura 2. Triángulo textural según clasificación del USDA (SSS, Soil Taxonomy, 1975).

3.3. Estructura del suelo

Bullok y Murphy (1980) definen la estructura como “la disposición espacial de las partículas primarias y poros, incluyendo el tamaño, forma y disposición de algunos agregados y los poros entre agregados”. Narro (1994), la define como “la manera en que sus partículas primarias (arena, limo y arcilla) están ensambladas formando agregados, es decir unidades mayores con planos débiles entre sí” (Dexter, 1988; Pérez, J. 1992).

La estructura del suelo es una de las propiedades importantes que afectan a la producción de los cultivos, porque influye en la profundidad a la cual las raíces pueden penetrar, en el volumen de agua que se puede acumular y en el movimiento del agua, en el aire y los nutrientes, como también, en la fauna del suelo (Bullock y Murphy, 1980). Las especies frutales, no son la excepción, porque la producción, entre otros, depende del movimiento de agua, del aire, y de los nutrientes a nivel de las raíces.

Greenland y Hayes (1978), definen la estructura del suelo como la asociación de partículas en agregados, que dan origen a poros que contienen aire y agua, clasificados como: a) poros de transmisión, con diámetros cilíndricos equivalentes, mayores a 50 mm que permiten el libre movimiento del aire y el drenaje del exceso de agua, y b) poros de almacenamiento, con diámetros de 0,5 a 50 mm, que retienen el agua y la liberan a las raíces de las plantas.

Para que exista estructura, se requiere del proceso de agregación, que es el acercamiento y unión de las partículas de suelo, por medio de agentes y elementos aglutinantes, tales como la materia orgánica.

La estructura considera tres aspectos:

- a. Forma, que se refiere al tipo de estructura formada, que puede ser laminar, prismática columnar, de bloque, subangular o granular.
- b. Tamaño, que puede ser muy fino, fino, medio, grueso, o muy grueso.
- c. Grado o nitidez, que considera la dificultad de observar a simple vista la formación de la estructura como unidad.

Una buena estructura del suelo es importante para el crecimiento y desarrollo de las plantas, porque permite una buena aireación, necesaria para el desarrollo normal de las raíces, facilita el almacenaje del agua en los espacios porosos y evita la compactación superficial y encostramiento del suelo. Por lo tanto, es deseable un buen grado de estructura, para la obtención de mejores producciones agrícolas.

3.3.1. Estructura y su importancia en el manejo del suelo

La importancia fundamental de la estructura del suelo en la actividad agrícola es la de determinar el nivel de compactación, tanto en la capa arable como en el subsuelo (Davies *et al.*, 1987). La estructura es una de las características físicas del suelo de mayor importancia agrícola, sin embargo, es una de las menos entendidas, escasamente descrita y mal manejada. El tránsito de los equipos y máquinas de laboreo presenta un efecto directo sobre la estructura del suelo, destruyendo los agregados y aumentando la compactación por un efecto de presión sobre éste, que se traduce en incrementos de la densidad aparente y disminución de la porosidad (Greenland, 1981; Blevins *et al.*, 1983; Dexter, 1988; Unger, 1990; Pérez, 1992). Señalan además, que el deterioro de la estructura en los suelos agrícolas, es consecuencia del laboreo con arados y rastras.

Un aumento de la estructura y agregación del suelo está relacionado con el contenido de materia orgánica (Douglas y Goss, 1982). Pérez (1992) lo confirmó, y lo atribuye a varios factores que incluyen materia orgánica, contenido en óxidos de hierro y aluminio, y además de arcillas.

En la formación de la estructura del suelo están involucrados procesos abióticos y bióticos (Chan y Heenan, 1996), siendo los procesos bióticos particularmente importantes en los procesos de la estabilidad estructural del mismo. Reid y Goss (1981) señalan que las plantas pueden modificar la estructura del suelo, afectando a su formación y su estabilización, fundamentalmente por las diferentes propiedades que poseen las plantas para producir material estabilizante en la rizósfera, como algunos polímeros que aglutinan partículas de suelo.

La estructura, es una de las características físicas del suelo de mayor importancia agrícola. En los suelos agrícolas, el tráfico o paso de los equipos y máquinas de labranza, durante la preparación del terreno o tratamientos posteriores -ya sea de control mecánico de malezas, aplicación de productos químicos, cosecha mecanizada, entre otros-, produce un efecto directo que destruye los agregados, y la estructura. Además, la presión que se ejerce sobre el suelo, aumenta la compactación, que se traduce en incrementos de la densidad aparente, provocando con ello una disminución de la porosidad.

3.4. Compactación de suelos y formación de capas endurecidas

El concepto “compactación de suelo”, ha sido descrito por diversos autores y se define como “el proceso por el cual las partículas del suelo se reorganizan para disminuir el espacio poroso, produciéndose un contacto más estrecho entre sí, lo que aumenta la densidad aparente” (Soil Science Society of America, 1996), y se relaciona con los agregados del suelo, ya que altera la disposición espacial, tamaño y forma de ellos, como de los “terrones”, y consecuentemente los espacios porosos, tanto dentro como entre estas mismas unidades (Defossez y Richard, 2002).

Desde un punto agrícola, un suelo está compactado cuando se rompe el equilibrio entre las unidades estructurales, cuando se produce un quiebre en la estabilidad de las mismas y su porosidad, lo que origina una condición de volumen total de poros, en relación al volumen total del suelo no adecuado para asegurar el buen desarrollo del cultivo (Carrasco, 2008).

En un contexto agronómico, un suelo se considera compactado cuando la porosidad total es baja y sin aireación, con una densidad aparente alta y poros pequeños, que impiden la penetración de las raíces de los cultivos y drenaje del suelo (Carrasco, 2008). Al limitar la penetración de las raíces, afecta seriamente la habilidad de las plantas para absorber agua del subsuelo, particularmente en las regiones semiáridas y de secano.

La compactación determina un aumento de la densidad aparente y con ello un menor espacio poroso. Esto trae como consecuencia, una disminución en la concentración de oxígeno y un incremento en la concen-

tracción de anhídrido carbónico (CO_2) en torno al sistema de raíces. Este aspecto es muy importante, ya que si el nivel de oxígeno baja a un 5% el crecimiento puede llegar a detenerse (Carrasco y García Huidobro, 1998).

Existen dos tipos principales de compactación: la de origen genético, y la originada por el tránsito del tractor y la maquinaria agrícola. El primero, resulta de una acción lenta y continua de los procesos de formación y estructuración del suelo, que toma cientos, e incluso miles de años, formándose finalmente un horizonte que impide la penetración de raíces y agua, denominada por algunos autores como “duripan” o “fragipan”.

El segundo tipo de compactación, tiene una causa diferente. El horizonte de impedimento, conocido como “pie de arado”, es consecuencia de tres fuerzas que actúan sobre el suelo: gravedad, lluvia y, especialmente tránsito de maquinaria y animales. Este horizonte endurecido, alcanza su grado de compactación más alto al nivel de la profundidad de trabajo de los arados y rastras (ver capítulo 1). Es decir, la compactación se produce, principalmente, por el “tránsito” de tractores e implementos de laboreo removiendo suelo.

Dexter (1988) señala que el paso sistemático del tractor y los equipos de laboreo, producen la formación de un “pie de arado”, a una cierta profundidad en el perfil del suelo, lo que impide el desarrollo de las raíces (**Foto 3**).

Una de las principales causas de la compactación de los suelos durante el período de crecimiento del cultivo, es la rueda de los tractores agrícolas, que ejerce altas presiones (concentradas superfi-



Foto 3. Pared de una calicata que muestra pie de arado o compactación subsuperficial a partir de los 20 a 25 cm de profundidad.

cialmente) sobre el suelo y que se transmiten a través del perfil causando la compactación en el subsuelo (**Figura 3**) (Florentino, 1989; Montenegro y Malagón, 1990).

Se ha comprobado que el efecto del tráfico de la maquinaria sobre el suelo, aumenta la densidad volumétrica y la resistencia al esfuerzo cortante, y disminuye la porosidad y permeabilidad al aire y agua, y por lo tanto, aumenta el agua que escurre superficialmente sobre el suelo, favoreciendo con ello la erosión.

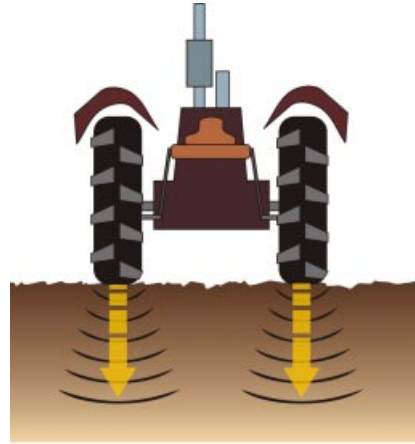


Figura 3. Compactación de suelo por acción de las ruedas del tractor.

La mayor parte de la compactación, es decir hasta un 90 por ciento del incremento total de la densidad aparente, se produce con la primera pasada de las ruedas). No obstante, la respuesta del suelo dependerá de su resistencia a la compactación y de la distribución de ella en profundidad (Sánchez-Girón, 1996).

Los suelos sueltos, recién arados y rastreados, se compactan más con la primera pasada de las ruedas de los tractores y equipos de arrastre, que con las siguientes, mientras que los suelos ligeramente consolidados, se compactan por igual en cada pasada. En algunos casos esto puede ser una ventaja, como por ejemplo en el caso de los suelos derivados de cenizas volcánicas, que son bastante esponjosos, requieren de algún grado de compactación para facilitar su cohesión, particularmente después de la siembra de un cereal o de una forrajera. Sin embargo, en suelos arcillosos y cultivos sensibles, una sola pasada de ruedas puede compactar el suelo hasta un nivel que afecte el desarrollo del cultivo.

El número de labores realizadas con un equipo motriz en un suelo, durante una temporada de manejo de un huerto frutal o viñedo, varía

considerablemente, registrándose en algunos casos más de veinte pasadas entre las hileras de frutales y, por lo general, con las ruedas circulando sobre el 90 % por la misma área del terreno (Carrasco, J., 2000).

Se ha comprobado que el efecto del tráfico de la maquinaria sobre el suelo, aumenta la densidad volumétrica y la resistencia al esfuerzo cortante, disminuyendo también la porosidad y la permeabilidad al aire y agua (Florentino, 1989). En la producción de un frutal, los principales problemas de compactación se originan por el uso de la maquinaria y los equipos para el laboreo del suelo entre las hileras (fuerzas mecánicas aplicadas desde el exterior), que incluye al tractor y rastras de discos, tractor y equipos de arrastre, como nebulizadores y carros cosecheros. En general, todo tipo de labores mecanizadas entre las hileras de los frutales, compacta el suelo en mayor o menor grado, y más aún si el suelo se encuentra húmedo.

En suelos plantados con frutales, un manejo entre las hileras de los mismos, realizado con rastra de discos, van generando en el año períodos de esponjamiento y de compactación en el suelo. La labor de rastraje con discos, tipo off-set, compacta inevitablemente el suelo, tanto por la propia acción del equipo como por el peso del tractor sobre el terreno (Carrasco y Ormeño, 1994; Carrasco, J. 2000).

Los efectos de cada una de las labores, se evalúan a través de diferentes parámetros de medición, que expresan la magnitud de la compactación. Entre ellos los más comunes son: la densidad aparente; el espacio poroso total, que incluye el tamaño (micro y macroporosidad); la resistencia mecánica del suelo a la penetración; estabilidad estructural; el flujo del agua en el perfil, que incluye la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica, la curva característica de retención de humedad y tasa de difusión de oxígeno (permeabilidad al aire), generando también cambios físico, químicos, y biológicos en el suelo, que se traducen en rendimientos en los cultivos (Unger, 1990; Lal, 1991; López-Fando, 1991; Sánchez-Girón, 1996; Faiguenbaum, 2003; Carrasco, 2008).

Florentino (1989), señala que en un contexto agronómico, un suelo se considera compactado, cuando la porosidad total es baja y ha dismi-

nuido su aireación, con una densidad aparente alta y poros pequeños, que impiden la penetración de las raíces de las plantas y el movimiento del agua en el suelo (**Foto 4**). La compactación limita la penetración de las raíces, impidiendo a las plantas la absorción del agua del subsuelo (Florentino, 1989; Unger, 1990).



Foto 4. Suelo compactado entre las hileras de una plantación de ciruelo japonés. Se observa agua acumulada sin infiltrar en el suelo. Sector Agua Buena, San Fernando, Región de O'Higgins.

Observaciones detalladas utilizando técnicas microscópicas en muestras de suelo compactado, revelan una notable reducción en el número y tamaño de los macroporos, así como un cambio en la forma y continuidad del espacio poroso total (Soane *et al.*, 1981).

El suelo puede aumentar su daño por compactación, cuando el contenido de humedad es alto. Por sobre el contenido óptimo de humedad para la labranza del suelo (estado friable), la compactación aumenta, dado que los poros más grandes se han llenado parcialmente con agua, y su volumen es más alterable.

Por otra parte, los suelos secos son difíciles de compactar. No obstante, a medida que aumenta el contenido de humedad, éstos se compactan más fácilmente hasta que alcanzan un cierto contenido de humedad, donde los poros del suelo están llenos de agua, siendo su volumen menos alterable de la energía de compactación que se aplica con los implementos de labranza. Aumentos en el contenido de humedad de

un 2-3 %, influyen considerablemente sobre el deterioro físico que recibe el suelo (Davies *et al.*, 1987)

Numerosos investigadores concuerdan que la compactación de los suelos agrícolas produce aumentos en la densidad aparente, resistencia mecánica del suelo, y disminución de la permeabilidad al agua y al aire, generando también cambios en el curso de los procesos físico-químicos y biológicos que se traducen en una disminución del rendimiento de los cultivos (Lal, 1991; Unger, 1990; López-Fando, 1991; y Sánchez-Girón, 1996).

Todo suelo labrado, se encuentra sometido a un ciclo anual, en el que se alternan los períodos de esponjamiento con los de compactación. Toda labor que se realice con arados de tipo convencional (disco o vertedera) o rastra de discos, inevitablemente compactará el suelo, tanto por la propia acción del equipo, como por el peso del tractor sobre el terreno.

4. CONSIDERACIONES. EL SUELO Y USO DE ARADOS

Las propiedades físicas del suelo, como la textura, no varían con los cambios de humedad del suelo. Pero existen otras propiedades, que denominamos dinámicas, las cuales dependiendo del contenido de humedad del suelo, presentan comportamientos diferentes.

Normalmente, se reconocen cuatro estados denominados de consistencia de suelo y que está relacionado con el manejo que se pueda efectuar con la maquinaria. Cuando el suelo está seco presenta una consistencia denominada cementado, que se manifiesta cuando el suelo resiste el corte de los implementos de labranza. Si éste se rompe, se generan grandes terrones, que dificultan posteriormente otro tipo de labores. Normalmente se recomienda este estado sólo para trabajos de subsolado con maquinaria pesada, ya que poseen mayor potencia para la labor en suelo seco, donde las grietas que se generan bajo el suelo son de mayor amplitud.

Una vez que el suelo adquiere mayor humedad, pasa de cementado a friable. Esta consistencia es la deseable para la labranza, ya que el suelo se rompe con menor requerimiento de fuerza y se puede disminuir el tamaño de los agregados del suelo con menor dificultad.

Si el suelo recibe más humedad, pasa a una consistencia plástica, en que el trabajo de los arados permite cortar el suelo pero éste no se disgrega y tiende a pegarse en las herramientas. Además, no es un piso adecuado para el tránsito del tractor, porque presenta una menor resistencia a la compactación generada por la ruedas del tractor. El suelo, al ser arado con vertedera, se corta en largos “prismas”, que al secarse con el viento, generan grandes terrones, de ahí la importancia de rastrear en forma inmediata, para evitar lo anterior.

Si continúa aumentando la humedad del suelo, éste pasa a una consistencia líquida, comportándose entonces como un fluido. Esta consistencia, sólo se utiliza para labores de fanguéo en el establecimiento del cultivo del arroz.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. y Silva, P. 2003a.** Cero Labranza. En: E. Acevedo y P. Silva. Agronomía de la Cero Labranza. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas N° 10. 118 p.
- Acevedo, E. y Silva, P. 2003b.** Rastrojos y su manejo. En: E. Acevedo y P. Silva. Agronomía de la Cero Labranza. Santiago, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas N° 10. 118 p.
- Blevins, R. L., M.S. Smith, G.W. Thomas and W.W. Frye. 1983.** Influence of conservation tillage on soil properties. J. Soil Water Cons. 38:301-305.
- Bullock, P., and C.P. Murphy. 1980.** Towards the quantification of soil structure. En: J. Microscopy (120) 3:317-328.
- Carrasco, J.; y García-Huidobro, J. 1998.** Equipos de labranza. Los problemas de la labranza y los equipos. Tierra Adentro n° 20. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Mayo-Junio, p. 24-28.
- Carrasco, J. y Ormeño, J. 1994.** Capítulo: Manejo de suelos y maquinaria agrícola. En: Lemus, G. (ed.) El duraznero en Chile. Editorial los Andes. Santiago 1993. pp 285-308

- Carrasco, J. 2000.** Laboreo del suelo. En: Valenzuela, J. (ed.) Uva de mesa en Chile. Libros INIA N° 5. pp 167-176. Instituto de Investigaciones Agropecuaria (INIA). Ministerio de Agricultura. Santiago. Chile.
- Carrasco, J. 2003.** El suelo y la erosión. En: Carrasco, J.; y Riquelme, J.(eds). Métodos y prácticas de conservación de suelos y aguas. Boletín INIA N° 103. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional Rautau. San Fernando, 23-43 p.
- Carrasco, J., 2008.** Propiedades físicas del suelo y su relación con la productividad de frutales y vides. En: Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. 296 p. Colección libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. pp 13-47.
- Chan, K.Y., and D.P. Heenan. 1996.** The influence of crop rotation on soil structure and soil physical properties under conventional tillage. *Soil Tillage Res.* 37:113-125.
- Defossez, P., Richard, G., 2002.** Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. *Soil Tillage Res.* 67, 41-64
- Davies, B., D. Eagle, Y B. Finney. 1987.** Manejo del suelo. Traducción del original "Soil management". Editorial el Ateneo. Buenos Aires, Argentina, 228 p.
- Dexter, A. R. 1988.** Advances in characterization of soil structure. *Soil Tillage Res.*11:199-238.
- Douglas, J.T. and M.J. Goss. 1982.** Stability and organic matter content of surface soil aggregates under different methods of cultivation and in grassland. *Soil Tillage Res.* 2:75-155.
- Faugenbaum, H., 2003.** Labranza. Capítulo I. En: Labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Impresora y Editora Ograma S.A. Santiago, Chile, p. 760
- Florentino, A. 1989.** Efecto de la compactación sobre las relaciones hídricas en los suelos representativos de la colonia agrícola de Turen (estado Portuguesa). Su incidencia Agronómica. Tesis Doctoral Universidad Central, Venezuela. 207 p.
- Fortun, A. 1988.** Estudio del efecto de la materia orgánica humificada en la formación y estabilización de los agregados del suelo. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias. Madrid, España. 234 p.
- Greenland, D.J., and M.H.B. Hayes. 1978.** Soils and soil chemistry. In: The chemistry of soil constituents. Wiley. Chichester and New York. pp.1-27.
- Greenland, D.J. 1981.** Soil management and soil degradation. *J. Soil Sci.* 32:301-322.
- Hirzel, J., 2008.** El suelo como fuente nutricional. En: Diagnóstico nutricional y principios de fertilización en frutales y vides. 296 p. Colección libros INIA N° 24. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile. pp 51-83.

- Lal, R., and B.A. Stewart. 1990.** Soil degradation. A global threat. *Adv. Soil Sci.* 11:XIII-XVII.
- Lal, R. 1991.** Tillage and agricultural sustainability. *Soil Tillage Res.* 20:133-146.
- Lopez-Fando, C. 1991.** Degradación de un xeralf sometido a distintas técnicas agrícolas. Tesis Doctoral. E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España, 223 p.
- Montenegro, H., Y D. Malagon. 1990.** Propiedades físicas de los suelos. IGAC Subdirección Agrológica, Instituto Geográfico. Bogotá, Colombia. 813 p.
- Narro, E. 1994.** Física de suelos, con enfoque agrícola. Editorial Trillas. México. 193 p.
- Peralta, J.M., 1993.** Agentes Erosivos y Tipos de Erosión. En: "Tecnologías de conservación de suelos y aguas". Programa de Capacitación a Agentes de Extensión. INIA-Serie Platina N° 46. Santiago. Chile.pp 14-81.
- Pérez, J. 1992.** Estudio de la estabilidad estructural del suelo en relación con el complejo de cambio (comportamiento de algunos suelos característicos españoles). Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España, 462 p
- Porta, J., López-Acevedo, M., y Roquero, C., 1994.** Edafología. Para la agricultura y medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 807 pp.
- Reid, J. B., and M.J. Goss. 1981.** Effect of living roots of different plant species on the aggregate stability of two arable soils. *J. Soil Sci.* 32:521-541.
- Sánchez-Giron, V. 1996.** Dinámica y Mecánica de Suelos. Ediciones Agrotécnica, S.L. Madrid. 426 p.
- Schneider, P., Egon, Klamt, E., y Giasson, E., 2007.** Morfología do solo. Subsídios para caracterização e interpretação de solo a campo. Guaíba, Agrolivros. Brasil, 72 p.
- Soane, B.D., P.S. Blackwell, J.W. Dickson, and D.J. Painter. 1981.** Compaction by agricultural vehicles: a review. I. Soil and wheel characteristic. *Soil Tillage Res.* 1:207-237.
- Soil Science Society of América, 1996.** Glossary of Soil Science Terms, Madison, WI. USA.
- USDA Agric, SSS: Soil Taxonomy, 1975.** 1975. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. Handbook 436, 754 pp.
- Stevenson, F.J. 1982.** Humus chemistry. Genesis, composition, reactions. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons. New York. 443 p.
- Unger, P.W. 1990.** Conservation tillage system. *Adv. Soil Sci.* New York 13:27-68.
- Voorhees, W.B., C.G. Senst, and N.W. Nelson. 1978.** Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the northern corn belt. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42(2):344-349.