



tación en el tiempo, lleva a un progresivo taponamiento de los poros del suelo con el comienzo de formación de capas endurecidas, que cuando se completan dan origen a los horizontes petrocálcicos (costras calcáreas, caliche, tosca).

**Condiciones del medio:** Este proceso requiere la presencia de un material madre rico en calcáreo y está condicionado directamente por las condiciones bioclimáticas.

Las condiciones normales, están dadas por climas subhúmedos, semiáridos y áridos, con una fuerte Etp, pero en los cuales exista una cantidad suficiente de agua para disolver y transportar el  $\text{CaCO}_3$  dentro del perfil. El régimen hídrico es subpercolativo, dentro del cuál se encuentran los regímenes xérico y ústico. Los regímenes pluviométricos alternantes favorecen el proceso.

El suelo se encuentra en la fase 1 de Polinov. En condiciones de mayores precipitaciones (régimen údico y perúdico), con régimen de tipo percolativo, el  $\text{CaCO}_3$  es eliminado completamente del perfil. En estas condiciones el suelo se encuentra en la fase 2 de Polinov. Los climas cálidos favorecen el proceso como consecuencia de que el incremento de la temperatura favorece la actividad biológica y por lo tanto una mayor producción de  $\text{CO}_2$ ; disminuye la tensión superficial del agua favoreciendo la infiltración y el movimiento del agua en el suelo; e incrementa la disociación del agua y la velocidad de las reacciones químicas.

La vegetación y el tipo de humus desempeñan un rol importante, ya que la producción de  $\text{CO}_2$  depende de la presencia de un sistema radicular activo y de un buen proceso de descomposición de la materia orgánica.

**Organización del perfil:** En el perfil del suelo aparecen dos segmentos bien diferenciados en atributos y propiedades.

La parte superior está formada por horizontes eluviales, libres de  $\text{CaCO}_3$ , con reacción química neutra o hasta ligeramente ácida.

La parte inferior está caracterizada por la presencia dominante de  $\text{CaCO}_3$ , constituyendo los llamados horizontes cálcicos y tienen una reacción química cercana a pH 8.

La acumulación de  $\text{CaCO}_3$  puede presentar formas e intensidades muy variadas y se manifiestan de la siguiente manera:

- No individualizado en la masa del suelo
- Pseudomicelios
- Nódulos y concreciones
- Encostramientos
- Costras compactas (horizontes petrocálcicos: Bkm; Ckm).

**Perfil tipo:** La acumulación de  $\text{CaCO}_3$  puede aparecer desde la base del horizonte A hasta el horizonte C. De esta manera podemos tener los siguientes perfiles:

*Ak C - A Ck - A Bwk C - A Bw Ck - A Bt Ck*

**Suelos típicos:** Los suelos derivados del proceso de calcificación se distribuyen en varios órdenes del Soil Taxonomy, especialmente en Aridisoles y algunos subórdenes de los Inceptisoles, Molisoles, Alfisoles y en algunos Vertisoles.

## DECALCIFICACIÓN

El proceso de decalcificación es un paso más avanzado que la decarbonatación del suelo.

El agua que percola produce la remoción progresiva de los cationes alcalinos y alcalinos térreos, los que son reemplazados gradualmente del complejo adsorbente por iones  $\text{H}^+$  y en grados más avanzados de acidificación (pH <5), por iones  $\text{Al}^{3+}$ .

El proceso de decalcificación produce la acidificación del suelo y se caracteriza por una disminución del pH (pH <7) y la desaturación del CIC, indicada por la disminución de la relación S/T y el valor V de Hissink.

El proceso está condicionado principalmente por la existencia de una cierta cantidad de agua de percolación y de la presencia de  $\text{CO}_2$  en la solución del suelo.

El  $\text{CO}_2$  proviene del sistema radicular activo, de la descomposición de la materia orgánica y de la respiración de los diversos organismos que colonizan el suelo.

El proceso de decalcificación puede ser representado esquemáticamente de la siguiente forma:



R representa la micela coloidal.

Los suelos en proceso de decalcificación se encuentran en la fase 2 de Polinov.

**Condiciones del medio:** La decalcificación se produce en todo medio donde las condiciones del clima sean lo suficientemente húmedas como para dar un balance hídrico positivo ( $P > \text{Etp}$ ), es decir un régimen percolativo (Regímenes hídricos údico y perúdico).

El aumento de la temperatura favorece la decalcificación como consecuencia de una mayor actividad biológica (vegetal y microbiana), con mayor producción de  $\text{CO}_2$  y una mayor velocidad de lixiviado. El proceso es favorecido bajo condiciones de vegetación que aporten mayor cantidad de materia orgánica. Los bosques caducifolios pueden llevar a un elevado grado de acidificación a los suelos.

El relieve donde la infiltración iguale o supere la escurrentía favorece el proceso.

El material madre influye tanto por sus condiciones físicas, la buena permeabilidad favorece el proceso, como por sus condiciones químicas, ya que las rocas ácidas intensifican la acidificación.

El proceso de decalcificación es neutralizado por los ascensos biológicos compensadores producidos por el juego del ciclo biogeoquímico, cuya eficacia está estrechamente ligada a la humificación.

## BRUNIFICACIÓN O EMPARDECIMIENTO

Este proceso, considerado como *climático* en las zonas de clima templado, donde impera el bosque de latifoliadas, se caracteriza por un lessivage nulo o muy débil de coloides y un enriquecimiento *in situ* de arcillas y segregación de óxidos de Fe.

**Condiciones del medio:** Este proceso ocurre en los climas húmedos de régimen percolativo (údic y perúdic), bajo vegetación de bosques de latifoliadas. Se observa sobre todo tipo de materiales, bien drenados, no calizos (o previamente decarbonatados), pero que liberan arcilla y óxidos de hierro libres en cantidad suficiente; sobre materiales que contienen carbonatos, la fase de empardecimiento sigue a la decarbonatación, produciéndose después de la eliminación progresiva de todo el  $\text{CaCO}_3$ , y también después del inicio de la decalcificación. Las condiciones de relieve pueden ser de normal a excesivo.

**Organización del perfil:** Los siguientes cambios y redistribuciones contribuyen a la diferenciación del perfil:

**Adiciones:** Hay un importante aporte anual de materia orgánica fresca que evoluciona a un mull forestal biológicamente activo.

**Transformaciones:** La humificación y mineralización es rápida, y el humus cuyo pH se estabiliza entre 5 y 6, se localiza únicamente en los horizontes de superficie.

La alteración es una acidólisis moderada: las arcillas proceden en su mayor parte de una transformación de las micas. Esta alteración, con frecuencia más importante en superficie, compensa los fenómenos de arrastre de las arcillas y del hierro, cuando son limitados, es decir en medios bien aireados y con fuerte concentración de iones Ca o Al. La segregación de óxidos de Fe (amorfo y criptocristalinos), estrechamente ligados a las arcillas y al humus, individualiza un horizonte cámbico u horizonte Bw, de color pardo a pardo rojizo.

**Transferencias:** Las redistribuciones de materiales son limitadas y a menudo compensadas por neoformaciones. Bajo bosque de latifoliadas, el ciclo biogeoquímico de los cationes alcalinos y alcalino térreos juega un papel particularmente importante en el mantenimiento del pH y de un grado de saturación (S/T %), de los horizontes humíferos, compensando así las pérdidas por drenaje.

**Remociones:** Se produce la remoción total de las sales solubles, del  $\text{CaCO}_3$  y parcial de los cationes básicos de cambio.

Los suelos en proceso de empardecimiento se encuentran en la fase 2 de Polinov.

**Perfil tipo:** A Bw C - A Bw C/R R

**Suelos típicos:** La mayor parte de los suelos resul-

tantes de este proceso corresponden al orden de los Inceptisoles, suborden de los Ocreptes, en los gran grupos de los Eutrocreptes y Umbrocreptes.

## LESSIVAGE

El lessivage es un proceso de arrastre mecánico vertical, producido por el agua de percolación y por el cual las partículas coloidales de arcilla y en menor medida de Fe son dispersadas y transportadas sin alteración a través del perfil.

Este proceso produce el reordenamiento de materiales dentro del perfil, acentuando su anisotropía por el empobrecimiento de los horizontes superiores en partículas coloidales y su deposición y acumulación en profundidad, dando origen a la formación de un horizonte eluvial empobrecido y parcialmente decolorado, el horizonte E (a veces álbico), y a un horizonte iluvial enriquecido en arcillas y más coloreado, el horizonte Bt u horizonte argílico.

**Condiciones del medio:** Las condiciones climáticas necesarias para el desarrollo de este proceso deben asegurar una cantidad suficiente de agua para la dispersión y la translocación de los coloides, lo que es favorecido en condiciones de regímenes pluviométricos alternantes, donde se suceden períodos húmedos y secos.

Cumpliendo estas condiciones, las condiciones térmicas pueden ser las correspondientes a climas desde boreales hasta subtropicales.

El régimen hídrico del suelo puede ser ácuico, údic, ústico o xérico. Bajo régimen perúdic el proceso no se realiza por la falta de estación seca. En condiciones de climas áridos el agua no es suficiente para cumplir el proceso y los suelos con Bt que pueden encontrarse en esos ambientes (Suborden Argid), corresponden a procesos de evolución paleoclimáticos o a situaciones especiales de relieve subnormal o chato.

Las condiciones típicas de vegetación es la de los bosques caducifolios, aunque también se localiza con vegetación de praderas. La presencia de un humus de tipo mull activo es imprescindible.

El material madre no debe ser calcáreo o el proceso instalarse después de la decarbonatación, ya que el exceso de iones Ca impide la dispersión de los coloides. Los medios muy ácidos son igualmente desfavorables para el lessivage, debido a la acción floculante del catión Al trivalente. La presencia de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos solubles, favorece el proceso por su efecto complejante sobre los cationes polivalentes, tornándolos ineficaces como floculantes, y por su acción protectora sobre los coloides inorgánicos, lo que favorece la dispersión. El material debe además ser permeable y profundo. Las condiciones de relieve deben permitir una infiltración suficiente.

**Organización del perfil:** Durante el proceso de lessivage se producen diversos procesos pedogenéticos básicos que contribuyen a la diferenciación del perfil.

**Adiciones:** Hay un fuerte aporte estacional de ma-

teria orgánica, que da origen a la formación de un humus de tipo mull.

**Transformaciones:** Durante la estación húmeda la materia orgánica se altera originando compuestos orgánicos solubles que forman complejos organometálicos solubles con los cationes polivalentes como Ca, Fe y Al, lo que les resta poder floculante y por otra parte, los compuestos orgánicos hidrófilos se asocian a los coloides minerales hidrófobos, protegiéndolos de la acción de los cationes floculantes, facilitando así su dispersión y migración en el perfil.

**Transferencias:** El mecanismo de transferencia implica dos fases.

**La eluviación:** está condicionada por la eliminación previa del  $\text{CaCO}_3$  y de los cationes floculantes. Durante el período húmedo, con balance hídrico positivo, el  $\text{CaCO}_3$  es eliminado del horizonte superficial y al mismo tiempo comienza una decalcificación que produce una disminución del pH a valores de 5,5 a 6,5.

**La iluviación:** el complejo órgano mineral desciende en el perfil transportado por el agua de percolación, durante el período húmedo. Al llegar a los horizontes profundos, el descenso se detiene por cualquiera de las siguientes causas:

- i) Al cesar el aporte de agua superficial en el período seco, la profundidad del frente de humectación por las lluvias de la estación húmeda, define el límite del descenso.
- ii) Por la disminución de la porosidad en profundidad.
- iii) La absorción del agua por una gran masa radicular, provoca una acentuada desecación a ese nivel.
- iv) Por la presencia de  $\text{CaCO}_3$  o un mayor contenido en Ca de cambio que provocan la floculación de la arcilla.

Cuando disminuye el aporte de agua en el período seco, se detiene el descenso de los complejos órgano metálicos y la materia orgánica es biodegradada. En esas condiciones la arcilla y los óxidos de hierro se liberan y se depositan en las superficies de los poros y de los agregados, formando un revestimiento de láminas superpuestas, denominadas **cutanes**.

La continuidad de este proceso, a la misma profundidad, lleva a su enriquecimiento en arcilla y a la diferenciación del horizonte Bt u horizonte argílico, de naturaleza iluvial.

Bajo condiciones de régimen ústico de humedad, debajo del horizonte argílico puede diferenciarse un horizonte de acumulación de  $\text{CaCO}_3$ .

**Remociones:** Bajo buenas condiciones de permeabilidad, durante el período húmedo, se produce la lixiviación total de las sales solubles.

El suelo se encuentra en la fase 2 de Polinov.

**Perfil tipo:** Los procesos descriptos llevan a la diferenciación de perfiles de los siguientes tipos según sea la intensidad y antigüedad del proceso y la naturaleza del material original:

*A Bt Ck C - A Bt C - A E Bt C*

## PODZOLIZACIÓN

La podzolización es un proceso de fuerte alteración de los minerales del suelo, originado en una producción masiva de compuestos orgánicos solubles o pseudosolubles por el humus ácido mor. Como consecuencia de ello, se produce una migración total del Fe y del Al en forma de quelatos y del Si en forma soluble, para formar en profundidad un horizonte espódico.

**Condiciones del medio:** En la zona boreal el proceso de podzolización se considera como un proceso zonal generalizado, al cual se llega a través de un equilibrio suelo vegetación que establecen un *climax climático*. Las condiciones generales son clima frío, régimen hídrico údico y perúdic, material madre arenoso y muy permeable y una vegetación acidófila de coníferas. En climas atlánticos, la podzolización es un proceso intrazonal, localizado, determinado por las condiciones del sitio.

Se establece así, un *climax estacional*, cuyo funcionamiento está condicionado por un material madre ácido (areniscas o arenas cuarzosas), de bajo contenido en Fe y Ca, y muy permeable. El clima puede ser templado o excepcionalmente tropical y de fuerte pluviosidad. La vegetación puede ser variada y hasta de bosque caducifolio.

El proceso de podzolización boreal ocupa una gran extensión en América del Norte, Europa y Asia, cubriendo áreas de mucha población y gran importancia económica.

El proceso de podzolización intrazonal, por el contrario, solo ocupa espacios limitados, sin trascendencia económica.

**Organización del perfil:** El material de suelo está sometido a los siguientes cambios.

**Adiciones:** Hay un gran aporte de materia orgánica que se acumula por mala descomposición, dando origen a un horizonte O profundo, que puede llegar hasta 20 30 cm de espesor.

En la zona boreal, la lenta descomposición de la materia orgánica es causada por el elevado contenido de resinas de los residuos de coníferas, un clima demasiado frío y la saturación con agua durante una buena parte del año.

En los climas atlánticos, la mala descomposición es una consecuencia de un material madre demasiado ácido y la escasez de Ca para promover una buena actividad microbiana.

**Transformaciones:** Las fuertes condiciones de acidez en que se desarrolla el proceso determinan un medio de débil actividad biológica. En estas condiciones, se produce una descomposición muy lenta de la materia orgánica, que da origen a un humus de tipo mor. Estas condiciones se acentúan con la materia orgánica aportada por las coníferas. El mor forma compuestos orgánicos solubles o

pseudosolubles que por una parte provocan la alteración de los minerales de arcillas por complexólisis (formación de complejos solubles con el Al octaédrico de la estructura cristalina, con colapso de la misma), y por otra, forman complejos solubles o pseudosolubles (quelatos), con los cationes Fe y Al liberados.

Períodos de saturación con agua favorecen el proceso, ya que el Fe ferroso acentúa su movilidad y la formación de quelatos.

**Transferencias:** Las condiciones ecológicas de la podzolización en un medio muy permeable y una gran cantidad de agua gravitante, determinan una intensa redistribución de los materiales en el seno del perfil.

**La eluviación:** consiste en el arrastre de los quelatos de Fe y Al por el agua gravitante. Este mecanismo de transferencia recibe el nombre de queluviación. La SiO<sub>2</sub> liberada de los cristales de arcilla, al estado soluble, migra igualmente para precipitar en profundidad conjuntamente con los compuestos de Fe y Al.

Como resultado de la eluviación, se origina el horizonte E, típico horizonte eluvial, empobrecido en Fe, Al, Si y cationes, donde solo subsiste el cuarzo, adquiriendo un color y aspecto ceniciento, del que se origina el nombre de Podzol (ceniza en ruso).

**La iluviación:** es el mecanismo por el cual los quelatos precipitan en profundidad, dando origen a los horizontes de acumulación de humus y de sesquióxidos de Fe y Al, simbolizados como horizontes Bh, Bs o Bhs, correspondientes al horizonte diagnóstico espódico de la Taxonomía norteamericana.

La precipitación de los complejos solubles en profundidad puede obedecer a cualquiera de las siguientes causas:

- i) Aumento del pH alcanzando el punto isoelectrónico de los compuestos que migran (condición físico química).
- ii) Cese del aporte de agua en superficie (acción física).
- iii) Biodegradación por los microorganismos del suelo de los aniones orgánicos complejantes (acción biológica).
- iv) Sobresaturación de los compuestos solubles de Fe y Al (acción química).

**Remociones:** El balance hídrico positivo y la permeabilidad del material original, favorecen la remoción total de las sales solubles, del CaCO<sub>3</sub>, de los cationes básicos de cambio y parcialmente del Si.

El suelo se encuentra en la fase 3 de Polinov.

**Perfil tipo:** El proceso de podzolización lleva, en su manifestación más típica, a la diferenciación de tres horizontes muy contrastantes por su color, morfología y propiedades:

- Horizonte O: pardo o negro, humus bruto tipo mor.
- Horizonte E: gris ceniciento, sin estructura.
- Horizonte B: muy coloreado, negro (Bh), o he-

rrumbroso (Bs) o pardo herrumbroso (Bhs)

Bajo condiciones de hidromorfía, como consecuencia de una mayor migración y acumulación localizada de Fe ferroso y una posterior reoxidación, cuando desaparecen las condiciones reductoras, el proceso de podzolización da origen a capas fuertemente endurecidas que reciben el nombre de orstein (horizonte espódico endurecido), que alcanza cierto espesor y de horizonte plácico, cuando es una capa delgada de escaso espesor (2 a 10mm).

## PROCESOS CONDICIONADOS POR FUERTES CONTRASTES ESTACIONALES

El perfil del suelo se encuentra sometido a alternancias de humectación y desecación acusadas que influyen sobre la evolución de la materia orgánica y de la materia mineral al mismo tiempo.

La materia orgánica adquiere un color oscuro por maduración y estabilización climáticas y las arcillas 2:1 semi expandibles o expandibles, son neoformadas o conservadas; por último el Ca presenta un ciclo particular: el complejo adsorbente generalmente está saturado pero el Ca es lixiviado y gran parte de él precipita en la base del perfil dando lugar a un horizonte cálcico. Este tipo de proceso presenta dos aspectos diferentes, según que el clima general sea frío o cálido.

### ISOHUMISMO

El término isohumismo hace alusión a la incorporación en profundidad de una materia orgánica estabilizada por maduración y de color oscuro.

Los fuertes contrastes estacionales provocan una alternancia de saturación por el agua y desecación total del perfil, que ejerce una influencia considerable sobre la pedogénesis, lo que se manifiesta en tres aspectos importantes para la morfología y las propiedades de los suelos resultantes:

- La neoformación o la conservación de arcillas tipo 2:1.
- La fuerte humificación biológica se prolonga con la maduración y estabilización de una parte del humus que adquiere un color negro.
- La decarbonatación parcial o total del horizonte húmico y su reprecipitación en profundidad para originar un horizonte cálcico.

La neoformación de arcillas 2:1 obedece a la presencia de soluciones edáficas ricas en Si y cationes alcalinos tórricos.

La estabilización de la materia orgánica es un proceso físico químico que depende del medio mineral que ha regido los procesos de insolubilización y polimerización. Es débil en los mull ácidos, donde el Fe(OH)<sub>n</sub> es el enlace entre los compuestos húmicos y la superficies de las arcillas: la mineralización es rápida. La estabilización es intermedia en los medios saturados en Ca y es alta, en presencia de CaCO<sub>3</sub>. A esta estabilización físico química, le sucede un proceso de maduración de los compuestos húmicos formados, que ocurre cuando los suelos están sometidos a la influencia de fases de sequía. El turnover o mineralización del humus es tan lento que esa fracción

del humus puede ser considerada prácticamente como inerte. Sin embargo parte de la materia orgánica permanece lábil en superficie, presentando una mineralización rápida. El efecto rizósfera se suma a la fuerte bioturbación para homogeneizar el perfil orgánico.

El ciclo biogeoquímico, a nivel radicular en gran parte, mantiene el perfil saturado en iones Ca, pero no impide la decarbonatación más o menos completa del perfil, acompañada por la formación de un horizonte cálcico.

**Condiciones del medio:** El isohumismo es un proceso zonal generalizado que ocurre en condiciones de un "climax climático" correspondiente a las formaciones de estepas y praderas. Este proceso caracteriza a las estepas continentales frías y más raramente a las estepas cálidas y praderas húmedas. El factor humedad tiene una importancia de primer orden, específicamente el drenaje climático, por su influencia en el tipo de vegetación y en los caracteres evolutivos del perfil. Existe para los diferentes climas un umbral de humedad característico: antes de alcanzarlo, los carbonatos migran y se acumulan en el horizonte cálcico; por el contrario al sobrepasarlo, son la arcilla (y el Fe), los que migran, mientras que los carbonatos son lavados fuera del perfil.

La vegetación juega un rol muy importante en el isohumismo, especialmente por la incorporación interna de la materia orgánica por medio de sus raíces fasciculadas. La vegetación característica es la estepa y praderas gramíneas o la transición pradera bosque. El material original juega un rol especialmente por su riqueza en cationes alcalinos terrosos y por su permeabilidad. Materiales calcáreos y bien a moderadamente bien drenados favorecen el proceso.

**Organización del perfil:** Durante el proceso de isohumismo se realizan los siguientes cambios:

**Adiciones:** Hay un fuerte aporte de materia orgánica, especialmente en profundidad, lo que da origen a un mull cálcico fuertemente estabilizado.

**Transformaciones:** Hay un fuerte proceso de humificación, con posterior estabilización físico-química y maduración climática de los compuestos húmicos.

Existe una neoformación o transformación limitada de arcillas de tipo 2:1.

**Transferencias:** Este mecanismo involucra especialmente a la movilización y recristalización del  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , para diferenciar un horizonte cálcico.

**Remociones:** Bajo buenas condiciones de permeabilidad se produce la remoción total de las sales más solubles que el  $\text{CaCO}_3$ .

El suelo se encuentra en la fase 2 de Polinov.

**Perfil tipo:** La presencia de un horizonte A rico en materia orgánica y homogeneizado por bioturbación (epipedón mólico), total o parcialmente decarbonatado caracteriza a los suelos resultantes de este proceso. A medida que se incrementa el drenaje climático puede encontrarse la siguiente secuencia:

*A Ck - A Ak Ck - A Bwk C*  
*A Bw Ck - A Bt Ck - A Bt C*

En la medida en que el régimen hídrico se torna más húmedo, al proceso de isohumismo puede superponérsele la brunificación y el lessivage.

## VERTISOLISACIÓN

El proceso de vertisolización se produce también en regiones con climas contrastantes, pero a diferencia del isohumismo, de tipo subtropical o tropical.

Además se localizan en sitios confinados, sobre materiales ricos en bases, lo que le da un carácter localizado (intrazonal).

El rol piloto del Ca (y del Mg), ligado a las alternancias de humectación-deseccación del perfil explica la neoformación (a veces conservación) de arcillas expandibles (montmorillonitas), en cantidad considerable, así como la presencia de compuestos húmicos negros muy policondensados, aunque poco abundantes. Los movimientos vérticos provocados por las alternancias de retracción y de expansión de las arcillas, son los que producen la homogeneización del perfil y explican la presencia de las grietas de retracción, de superficies oblicuas de presión (slickensides) y del microrelieve *gilgai*.

**Condiciones del medio:** La vertisolización es un proceso intrazonal, donde a las características climáticas de fuerte estacionalidad de las precipitaciones bajo un ambiente subtropical o tropical se agregan los condicionantes locales creados por el relieve o por la naturaleza del material original. La vegetación es generalmente de pastos, aunque algunos pueden presentar bosques abiertos y otros arbustales desérticos. El relieve es en general plano o de llanuras bajas, pero pueden también encontrarse en relieves ondulados. Las condiciones de drenaje interno o externo son en general pobres.

El material original está constituido normalmente por minerales (olivinos, piroxenos, anfíboles, plagioclasas cálcicas) y rocas básicas (basaltos), o materiales ricos en Ca y Mg.

Igualmente materiales madres ricos en arcillas montmorilloníticas (vertisoles litomorfos), pueden dar origen a suelos con estas características, aunque en estos casos la evolución vértica no necesita condiciones topográficas y edafoclimáticas tan definidas, pudiendo incluso existir un buen drenaje externo.

**Organización del perfil:** El carácter esencial del perfil es su homogeneidad, ya que se produce una mínima diferenciación de los horizontes.

**Adiciones:** La incorporación de materia orgánica es moderada.

**Transformaciones:** La materia orgánica evoluciona a formas de humus muy condensadas. Las condiciones de alteración ocurren en un medio rico en bases favorable para la neosíntesis y la conservación de arcillas expandibles tipo 2:1. Las pedoturbaciones de carácter físico (movimientos de

expansión y contracción) y biológicas son muy importantes en la definición de algunos rasgos morfológicos como grietas, slickensides, microrelieve gilgai, haploidización del perfil, etc.

**Transferencias:** Puede presentarse una eluviación del  $\text{CaCO}_3$  del horizonte A para reprecipitar en profundidad, dando da origen a un horizonte cálcico.

**Remociones:** Como consecuencia de la baja permeabilidad del material solo se efectúa la remoción de los materiales más solubles, aunque a veces sólo parcialmente.

**Perfil tipo:** *A Ck - A ACK C - A Bwss Ck*

**Suelos típicos:** Corresponden al orden de los Vertisoles de la Taxonomía de Suelos.

## PROCESOS BASADOS EN LA ALTERACIÓN GEOQUÍMICA

Este tipo de alteración, independiente de la materia orgánica superficial y más intenso que los anteriores, ataca a los minerales primarios más resistentes y caracteriza a los medios suficientemente drenados que permiten la evacuación más o menos completa de la sílice y de las bases liberadas. En general las arcillas neoformadas predominan sobre las heredadas o transformadas.

Los óxidos libres, sobre todo los óxidos de hierro, son abundantes y están bien cristalizados, de tal forma que confieren al perfil un tinte vivo (rojo u ocre).

Se pueden distinguir tres procesos fundamentales, que corresponden:

- A un grado de alteración creciente de los minerales primarios.
- Una pérdida creciente de sílice y bases
- A un predominio, cada vez más marcado, de las neoformaciones.

Para un material dado, estas tres fases están relacionadas, por una parte con la zona climática y, por otra, con el factor tiempo.

### FERSIALITIZACIÓN

Los caracteres de este proceso, característico de los climas subtropicales y tropicales, con periodos secos acusados, se pueden resumir en:

- Predominio de las arcillas 2:1, resultantes en parte de herencia o transformación y en parte de neoformación.
- Fuerte individualización de óxidos de hierro más o menos "rubificados" (aparición del color rojo).
- En general, complejo adsorbente saturado por ascenso biológico o físico químico del Ca.
- Presencia de un horizonte argílico (Bt), resultante del lessivage de arcillas finas.

**Condiciones del medio:** El clima es subtropical o tropical, presentando una amplia gama de temperaturas medias, pero superiores a los  $13^\circ\text{C}$  y un régimen hídrico húmedo o subhúmedo con estación seca mar-

cada (500 a más de 1000 mm), correspondientes a un régimen xérico, ústico o údico, de carácter percolativo. La vegetación es de bosques caducifolios. El relieve es normal a suavemente ondulado y las condiciones de drenaje buenas. El material original es suficientemente rico en hierro y en alcalino térreos.

**Organización del perfil:** El perfil se estructura en función de los siguientes procesos:

**Adiciones:** Se deposita anualmente una gran cantidad de restos del bosque caducifolio que da origen a un mull forestal.

**Transformaciones:** La materia orgánica da origen a un mull forestal saturado, de reacción neutra, oscuro, de muy buena humificación, lo que garantiza la eficacia del ciclo biogeoquímico.

Las arcillas de tipo 2:1 son predominantes y resultan tanto de transformaciones (illitas y algunas montmorillonitas), como de neoformación (montmorillonitas). La aparición del color rojo, llamada rubificación, está ligada a la formación de hematita, que resulta de la cristalización rápida de óxidos de Fe liberados por alteración, en ausencia de materia orgánica, en un medio saturado (pero no calizo), que sufre fuertes contrastes de humectación-deseccación. Sobre roca caliza, la decarbonatación es una condición previa a la rubificación. Los contrastes de humedad generan igualmente a nivel del horizonte B una estructura en poliedros o prismas muy individualizados.

**Transferencias:** en su condición más generalizada el proceso de transferencia de arcilla origina un horizonte E eluvial y un horizonte Bt iluvial, con cutanes brillantes sobre las caras de los agregados.

**Remociones:** En condiciones de drenaje libre se produce la completa remoción de las sales solubles y el calcáreo.

El suelo se encuentra en la fase 2 de Polinov.

**Perfil tipo:** *A Bt C - A E Bt C*

**Suelos típicos:** Este proceso caracteriza específicamente a algunos grandes grupos del orden de los Alfisoles, especialmente en los subórdenes Xeralfes (Rhodoxeralfes), Ustalfes (Rhodoustalfes) y Udalfes (Rhodudalfes).

### FERRUGINACIÓN

La alteración es más intensa que en el proceso anterior, aunque todavía subsisten algunos minerales primarios (ortosa, muscovita) y las pérdidas de sílice y bases son más acusadas. Las arcillas tipo 2:1 pierden importancia frente a las de tipo 1:1 (caolinita, haloisita), originadas por neoformación.

No se forma gibbsita libre y los óxidos de hierro pueden estar rubificados o no, según que el edafoclima sea más o menos contrastado. La CIC es en general baja como consecuencia del tipo de arcillas predominantes. La saturación en bases puede ser muy variable en acuerdo

con el régimen climático.

**Condiciones del medio:** Este proceso caracteriza a las zonas subtropicales húmedas y a las tropicales con una estación seca, con regímenes de humedad údico, ústico o xérico, de régimen al menos estacionalmente percolativo.

Las condiciones de vegetación climax varían desde el bosque mesófilo a las formaciones de sabana arbustivas.

Las condiciones de relieve varían de normal a ligeramente ondulado, pero las exigencias topográficas quedan condicionadas por la clase de drenaje y la naturaleza del material original. Rocas ácidas son menos exigentes en las condiciones de drenaje y pueden admitir relieves menos pronunciados. Por el contrario las rocas básicas exigen muy buenas condiciones de drenaje, no admitiendo medios confinados, en los cuales se instala el proceso de vertisolización.

**Organización del perfil:** El perfil se organiza de acuerdo a los siguientes cambios:

**Adiciones:** Incorporación de una importante cantidad de materia orgánica anualmente, que origina un mull forestal ligeramente ácido, como consecuencia del ciclo biogeoquímico.

**Transformaciones:** La materia orgánica evoluciona y se mineraliza rápidamente aunque puede existir una cierta polimerización durante el corto período seco.

El proceso de alteración de los minerales primarios y la formación de arcillas de neoformación de tipo 1:1, así como la liberación de óxidos de hierro, es importante. No hay todavía liberación de aluminio.

**Transferencias:** El mecanismo de transferencia involucra el lessivage de las arcillas lo que determina la diferenciación de un horizonte E eluvial y de un horizonte Bt iluvial.

**Remociones:** Bajo las condiciones de humedad y de drenaje libre necesarias para el desarrollo de este proceso, se produce la remoción total de las sales solubles y del calcáreo y de una parte importante de los cationes alcalinos y alcalino térreos. El Si es también parcialmente movilizado.

El suelo se encuentra en la fase 3 de Polinov.

**Perfil típico:** A E Bt C

**Suelos típicos:** La mayor parte de los suelos resultantes de este proceso pertenecen al orden de los Ultisoles y a algunos grandes grupos de los Alfisoles (Kandiacualfes, Kandiudalfes, Kandiustalfes, Kanhaplustalfes).

## FERRATILIZACIÓN

La ferratización significa una fase terminal de la evolución de los suelos que caracteriza a las regiones cálidas y húmedas, donde se produce un proceso geoquímico intenso, lento y muy prolongado.

El proceso típico está caracterizado por la meteorización química prácticamente total de todos los minerales primarios (excepto del cuarzo) y la completa eliminación de las sales solubles, del calcáreo, cationes y silicio, quedando el solum constituido por una fase residual constituida por sesquióxidos de Fe y Al (óxidos coloidales) y arcillas tipo 1:1 (caolinitas). La presencia dominante de los óxidos y oxhidratos de Fe férrico, le da colores rojizos.

**Condiciones del medio:** Las condiciones climáticas son muy importantes para el desarrollo de este proceso que caracteriza a las regiones ecuatoriales y tropicales húmedas y muy húmedas, sin estación seca. La vegetación climax puede corresponder al bosque umbrófilo húmedo y muy húmedo de las regiones ecuatoriales y al bosque mesófilo de las regiones tropicales húmedas. Pero pueden localizarse suelos resultantes de este proceso sobre formaciones secundarias como savanas gramíneas.

Las condiciones de relieve pueden ser desde subnormal a ligeramente ondulado con predominio de la infiltración sobre la escorrentía.

Para alcanzar su máxima expresión el proceso debe desarrollarse sobre paisajes estabilizados, con predominio de los procesos pedológicos sobre los erosivos. El material madre puede ser variado desde rocas ácidas como el granito hasta alcalinas como los basaltos. En condiciones de drenaje libre se desarrolla el proceso típico. En presencia de una napa freática y materiales originales ácidos, se favorece la movilización y transporte del Fe, para dar origen a un enriquecimiento localizado de Fe en forma de un moteado rojizo, blando, llamado plintita o a un enriquecimiento generalizado que bajo condiciones especiales pueden sufrir un endurecimiento para formas capas duras o corazas férricas (contacto petroférico).

Por el contrario bajo condiciones de pobre drenaje y materiales básicos, puede desarrollarse el proceso de vertisolización.

**Organización del perfil:** El perfil se va organizando a través de los siguientes cambios:

**Adiciones:** Se depositan anualmente en la superficie del suelo una gran cantidad de materia orgánica, que origina un humus de tipo mull.

**Transformaciones:** La materia orgánica es biodegradada rápidamente, de tal manera que el proceso de ferratización es esencialmente geoquímico.

La alteración de los minerales primarios (excepto el cuarzo), es prácticamente total, con producción de arcillas caolínicas, todas neoformadas y liberación de abundantes óxidos libres de Fe y Al, gibsitita, hematita y/o goethita, que tiñen el suelo de ocre vivo o rojo. A veces también aparecen óxidos estables de titanio.

**Remociones:** En condiciones de drenaje libre y fuerte humedad, se produce la remoción completa de sales solubles, calcáreo, cationes y una importante fracción de Si. Como fase residual quedan los

sesquióxidos de Fe y Al y arcillas de baja relación Si:Al de tipo caolinitas, lo que da lugar a la individualización de un horizonte Bo (óxico).

Los suelos se encuentran en la fase 4 de Polinov.

La CIC y el porcentaje de saturación con bases son muy bajos como consecuencia del tipo de coloides y del lavado. La reacción química es ácida.

**Perfil tipo:** A Bo1 Bo2 Bo3 BoC C/R R

Los suelos resultantes son profundos por que la alteración se hace sentir hasta varios metros de profundidad. Los horizontes no están claramente diferenciados, con límites difusos y muchas veces arbitrarios.

**Suelos típicos:** Los suelos resultantes del proceso de ferralización corresponden en su totalidad al orden de los Oxisoles.

## PROCESOS LIGADOS A LAS CONDICIONES FÍSICO-QUÍMICAS DEL LUGAR

### CARBONATACIÓN

Este proceso está condicionado por la presencia de caliza activa (o de carbonato magnésico), en el perfil. Cuando la roca madre es rica en  $\text{CaCO}_3$  (o  $\text{MgCO}_3$ ) y lo libera en forma activa, ejerce sobre la evolución del suelo una acción muy particular, que a menudo se opone a la evolución climática.

El calcáreo activo actúa de freno frente a los procesos de alteración, la materia orgánica fresca es finamente dividida e incorporada profundamente por acción biológica, pero la humificación es bloqueada en una fase precoz por el  $\text{CaCO}_3$ , que *estabiliza* los compuestos húmicos en una forma poco evolucionada, protegiéndolo contra la degradación (mull carbonatado).

**Condiciones del medio:** La presencia de una roca madre rica en calcáreo es una condición necesaria, aunque no suficiente. En efecto, la dureza y el grado de pureza, ligados al tipo de roca juegan el rol principal, pero el relieve juega también un rol no menos importante. En general las condiciones de relieve que favorecen el rejuvenecimiento por erosión o por coluvionamiento, resultan favorables al proceso. Al contrario, las posiciones que favorecen la infiltración, determinan el avance hacia otras formas de evolución (decarbonatación y brunificación).

Los factores bioclimáticos pasan a un segundo plano, razón por la cual los suelos resultantes del proceso de carbonatación se encuentran en climas muy variados, tanto secos como húmedos, pero si las condiciones de humedad aumentan y se instala una vegetación de bosque caducifolio, comienza el proceso de decarbonatación, por lo que el proceso es inestable en clima húmedo.

En condiciones de escasa profundidad y secas se desarrolla sobre estos materiales una estepa de graminas xerófilas o de arbustos calcícolas.

**Organización del perfil:** El perfil es poco evolucionado ya que el calcáreo activo interfiere en los procesos de alteración y de reordenamiento de materiales.

**Adiciones:** La incorporación de materia orgánica, ligada a una baja tasa de descomposición y a una fuerte actividad biológica, conduce a la formación de un horizonte A muy desarrollado.

**Transformaciones:** La humificación es frenada por el calcáreo activo por insolubilización de los precursores de ácidos húmicos y transformación de las ligninas. Se genera una estructura muy porosa de grumos gruesos de materia orgánica, arcilla y  $\text{CaCO}_3$ . La alteración es lenta e incompleta en este medio de elevado pH, por lo que no se generan horizontes de tipo Bw, salvo en perfiles de transición. En general las arcillas son heredadas del material original.

**Transferencias:** La dominancia del ión Ca no favorece las transferencias de materiales. Excepcionalmente, parte del Ca arrastrado puede reprecipitar en la base del horizonte A, formando un horizonte cálcico, Ak, pulverulento.

**Remociones:** Se produce la remoción de la mayor parte de las sales solubles.

El suelo se encuentra en la fase 1 de Polinov.

**Perfil tipo:** A AC C - O A Ak C - A A/R R

**Suelos típicos:** La mayor parte de los suelos resultantes del proceso de carbonatación corresponden al orden de los Molisoles, suborden de los Rendoles.

Otros, con epipedón mólico poco profundo (< 25 cm), se ubican entre los Inceptisoles, en el suborden de los Ocreptes.

### GLEIZACIÓN O HIDROMORFÍA

Es un proceso de reducción o de segregación local de hierro libre, debido a la saturación permanente o temporaria de los poros del suelo por agua reductora, que en general procede de una capa de agua temporal *suspendida* o profunda.

Es un proceso que se manifiesta en los suelos con régimen ácuico y perácuico de humedad, que corresponde a un régimen reductor en el suelo, caracterizado por encontrarse virtualmente libre de oxígeno disuelto por estar saturado con agua subterránea o del frente capilar. La saturación es caracterizada por un PHT igual a 0 o positivo.

Se reconocen tres tipos de saturación:

- **Endosaturación:** El suelo está saturado con agua en todas los horizontes desde el límite superior de saturación hasta una profundidad de 200cm o más desde la superficie mineral.
- **Episaturación:** El suelo está saturado con agua en uno o más horizontes dentro de los 200cm. desde la superficie mineral y también tiene uno o más horizontes o capas insaturados, que tienen su límite superior por arriba de los 200cm de profundidad, y por abajo de la zona saturada. La zona de saturación, la capa freática, está suspendida en la superficie de una capa u horizonte relativamente impermeable.
- **Saturación anthrica:** Esta variante de la episatura-

ción está asociada con las inundaciones controladas de algunos cultivos como el arroz, que ocasionan procesos de reducción en la capa superficial saturada y de oxidación del hierro y manganeso reducidos y movilizados en el subsuelo insaturado.

En función de los diferentes tipos de saturación pueden diferenciarse los siguientes tipos de evolución:

### PSEUDOGLEY

Este proceso se desarrolla en los suelos que poseen un régimen de episaturación. La evolución de los horizontes de superficie, ocupados por la capa freática, difiere de la de los profundos, poco permeables, que constituyen el piso (hidroapoyo), de la capa de agua.

**Condiciones del medio:** Se trata de un proceso intrazonal condicionado fundamentalmente por el relieve, de tipo subnormal o cóncavo, con escurrimiento lento o nulo. La estratificación de materiales de diferente permeabilidad favorece el proceso y los tipos de evolución que generan horizontes o formaciones de menor permeabilidad (iluviación), pueden desencadenar este proceso como evolución secundaria. Se produce en todos los climas que sean lo suficientemente húmedos como para generar, por lo menos localmente, excesos temporarios de agua. La vegetación puede ser variada, pero con predominio de plantas higrófilas.

**Organización del perfil:** La organización del perfil está sujeta a los siguientes cambios o reordenamientos:

**Adiciones:** La acumulación de materia orgánica juega un rol importante en la reducción y movilización del Fe y del Mn.

**Transformaciones:** El proceso de oxidación-reducción es importante. Durante el período de saturación se produce la reducción y movilización parcial del Fe y el Mn, seguidos durante el período de instauración por la reoxidación y precipitación localizada, en forma de manchas herrumbrosas o de concreciones. También son reducidos los  $\text{NO}_3^-$ , S y P.

**Transferencias:** Los complejos orgánicos metálicos solubles de Fe y Mn migran en cortas distancias, donde si se dan condiciones de aireación son biodegradados y reoxidados, precipitando a lo largo de los canales radicales o en la superficie de los agregados, formando moteados o concreciones, pardo herrumbrosas y negras que constituyen las características morfológicas que caracterizan al pseudogley (horizonte g en la simbología francesa, subíndice g en la norteamericana).

**Remociones:** Se produce la remoción total de las sales solubles y total o parcial del  $\text{CaCO}_3$ . El horizonte correspondiente al piso de la capa de agua, menos reductor, puede estar atravesado por una red vertical de vetas blanquecinas bordeadas de herrumbre, que corresponden a zonas de circulación preferencial de las aguas ácidas y reductoras.

**Perfil tipo:** A Ag Bg C - Ag1 Ag2 Cg C - A Ag Bg B C

**Suelos típicos:** Los suelos pseudogley se ubican en diferentes órdenes de la Taxonomía de Suelos en los subórdenes con régimen ácuico de humedad (Acualfes, Acuandes, Acuentes, Acueptes, Acuertes, Acuodes, Acuoles, Alboles, Acuoxes y Acultes), aunque no todos los suelos de estos subgrupos corresponden a los pseudogley, pues muchos de ellos son gley.

### GLEY

Este proceso se desarrolla en los suelos que poseen un régimen de endosaturación permanente. Bajo la influencia de capas freáticas muy reductoras, todo el hierro se reduce, incluso en medio neutro, y se acumula en la base del perfil, en forma de carbonato ferroso o de sales complejas de colores verdusco azulados, dando origen al horizonte gley (G, en la simbología francesa, subíndice g en la norteamericana).

**Condiciones del medio:** Corresponde a un típico proceso intrazonal localizado que se desarrolla independientemente del clima general.

Los factores condicionantes son fundamentalmente el relieve, chato o cóncavo, caracterizado por una falta de drenaje y una capa freática alimentada subterráneamente.

La vegetación corresponde a una comunidad higrófila especializada, que constituye un climax local.

**Organización del perfil:** La organización del perfil está sujeta a los siguientes cambios:

**Adiciones:** La acumulación de materia orgánica puede ser importante, estando el tipo de humus producido condicionado por el grado de saturación y la naturaleza del agua freática (acidez y aireación). Algunos gley están asociados a la formación de humus hidromorfos (hidromull, hidromoder, anmoor, turbas).

**Transformaciones:** Domina marcadamente el proceso de reducción en los horizontes profundos ocupados permanentemente por la capa de agua muy reductora, dando origen a un horizonte de colores verdosos o azulados, el horizonte Gr (gley reducido), de la simbología francesa.

**Transferencias:** Cuando el humus es un hidromull, aireado y biológicamente muy activo (en la superficie, fuera de la zona de saturación), la fuerte producción de  $\text{CO}_2$  que emana de este horizonte, moviliza parte del Fe ferroso del horizonte Gr (como  $\text{Fe}(\text{CO}_3\text{H})_2$ ) que sufre una emigración ascendente por capilaridad, se reoxida y precipita formando manchas ocre o herrumbrosas, lo que constituye el horizonte Go (gley oxidado).

En medio ácido, el Fe ferroso puede ser movilizado por circulación lateral de la capa de agua y el horizonte Gr se decolora completamente.

**Remociones:** Las sales solubles son removidas completamente y el  $\text{CaCO}_3$ , parcial o completamente.

**Perfil típico:***A Bwg1 Bwg2 Cg (A1GoGr1Gr2)\***A Bwg Cg (A1Gr1Gr2)\***A Cg (A1Gr)\***O A Bwg Cg (OA1GrGr)\***O A Cg (OA1Gr)\**

\*Corresponde a la simbología francesa.

**Suelos típicos:** Los suelos gley se ubican en los mismos subórdenes de la Taxonomía de Suelos que los suelos pseudogley.

### HIDROMORFÍA EN MATERIALES ORGÁNICOS. TURBAS

Las turberas se forman en el interior de las capas de agua permanentes, muy reductoras y sometidas a oscilaciones muy pequeñas. En estas condiciones la actividad biológica es muy escasa, por lo que la descomposición de la materia orgánica fresca es muy lenta e incompleta y la humificación débil, lo que lleva a su acumulación en capas de gran espesor.

**Condiciones del medio:** Se trata de un proceso de intrazonalidad que puede realizarse prácticamente en cualquier clima, aún en regiones áridas, a condición de que haya un exceso de agua que puede tener distintos orígenes.

Las condiciones de relieve y el material madre, en la medida que favorezcan el proceso de hidromorfía, condicionan el proceso. Los climas fríos y muy húmedos son igualmente favorables. La vegetación es higrofila especializada de juncos, ciperáceas, musgos del género Sphagnum, etc.

**Organización del perfil:** Los siguientes procesos contribuyen a la diferenciación del perfil:

**Adiciones:** La acumulación de los depósitos orgánicos está condicionada por la cantidad que aporta la vegetación y la velocidad de descomposición del material orgánico, condicionada esta última por la condición climática y por la disponibilidad de oxígeno.

**Transformaciones:** La paludización corresponde al proceso de acumulación que es un balance entre los aportes y las pérdidas. Este proceso es más geogénico que pedológico, pues corresponde a una acumulación de un material de suelo inicial. Los subsecuentes cambios pedológicos de naturaleza química, física y biológica, corresponden al proceso de maduración. Este proceso, según sea su grado de evolución, produce tres clases de materiales de suelos orgánicos: fibríco (Oi), hémico (Oe) y sáprico (Oa), de acuerdo al grado de descomposición de la materia vegetal original. El fibríco corresponde al material menos descompuesto y el sáprico al más.

Estos procesos llevan a la diferenciación del epipedon hístico u horizontes O.

**Perfil tipo:** *Oi1 Oi2 Oi3 Oi4 2C - Oap Oe1 Oe2*

*Oe3 Oi - Oa1 Oa2 Oa3 Oa4 Oa5*

Los que corresponden a suelos orgánicos dominados por materiales fibrícos, hémicos y sápricos, respectivamente.

**Suelos típicos:** Los suelos resultantes del proceso de paludización y maduración corresponden al orden de los Histosoles de la Taxonomía de Suelos.

### SALINIZACIÓN SODIZACIÓN

El ión sodio puede intervenir en la pedogénesis ya sea en forma de sales (salinización), ya sea en forma de catión de cambio (sodización), o simultáneamente en las dos formas.

### SALINIZACIÓN

Las sales solubles sólo se encuentran en condiciones significativas en las regiones áridas y semiáridas en las cuales se acumulan en cantidad suficiente como para alterar el crecimiento de las plantas no halófilas, debido a que la precipitación anual es insuficiente para removerlas o debido a que las aguas freáticas cargadas de sales se encuentran a poca profundidad, enriqueciendo los horizontes del suelo por ascenso capilar y posterior precipitación al producirse la evaporación.

Las sales solubles más comunes son sales neutras como los sulfatos y cloruros de sodio, potasio, calcio y magnesio. Los suelos resultantes se encuentran floculados y de reacción química cercana a la neutralidad (pH < 8,5). Se los denomina Solanchak, suelos salinos o suelos a salitre blanco.

**Condiciones del medio:** Desde el punto de vista ecológico las condiciones necesarias para la ocurrencia del proceso de salinización son: Un clima con balance hídrico negativo ( $P < E_{tp}$ ), que corresponda a un régimen epipercolativo la mayor parte del año. Por esta razón los suelos salinos se encuentran principalmente en los climas de estepa, subdesiertos o tropicales secos. En climas húmedos y sobre materiales de buena permeabilidad las sales solubles son eliminadas rápidamente; un relieve subnormal, chato o cóncavo, que recibe los lavados de las áreas más elevadas y/o crean las condiciones para la presencia de una capa freática enriquecida en sales solubles; materiales originales ya enriquecidos en sales, o ricos en minerales que por alteración producen sales sódicas (albita, oligoclasa, nefelina, etc.), o poco permeables que impidan el lixiviado de las sales (esta última condición determina la existencia de suelos salinos en regiones de climas más húmedos).

Las condiciones de relieve y de material original constituyen factores locales, de la estación, que confieren al proceso de salinidad el carácter de intrazonalidad. La vegetación corresponde a una comunidad especializada de plantas halófilas como Suaeda sp. (jume), Atriplex sp. (cachiyuyo), Salicornia sp., etc., que en la medida que la salinidad crece disminuye su cobertura.

**Organización del perfil:** El perfil es en general es-

casamente diferenciado, debido a la debilidad de los procesos involucrados.

**Adiciones:** Las adiciones orgánicas son reducidas debido a la escasez de aportes de una cubierta vegetal discontinua. Puede haber aportes de materiales solubles provenientes del lixiviado de los suelos de áreas más elevadas, vía escurrimientos subsuperficiales.

**Transformaciones:** Cuando las condiciones de humedad lo permiten las alteraciones pueden afectar a minerales de débil a moderada estabilidad con producción de sales sódicas y arcillas de tipo 2:1.

**Transferencias:** Las transferencias o redistribuciones causan la mayoría de los cambios y resultan en la deposición de incrustaciones blancas, cristalinas y brillantes en la superficie del suelo o en el perfil, dando origen a la diferenciación del horizonte sálico (z).

Si en la composición de las sales solubles predominan las de Ca Mg, sobre la de Na, el CIC es dominado por el catión Ca, a la inversa, el complejo se torna calco sódico o sódico (Na de cambio > 15% de la CIC). En el primer caso resulta el suelo salino típico o solanchack cálcico y en el segundo el suelo salino sódico o solanchack sódico.

**Remociones:** En el proceso de salinización no se producen remociones completas como consecuencia de una percolación reducida producto de la escasez de agua, de la lenta permeabilidad o del drenaje impedido.

**Perfil tipo:** Az Cg1 Cg2 - A Cz Cg - A ACz Cg

**Suelos típicos:** Los suelos salinos y salinos sódicos se ubican en su mayor parte en el orden de los Aridisoles, suborden de los Ortides, en el gran grupo de los Salortides. También se localizan algunos en el orden de los Vertisoles en los grandes grupos Salacuertes, Salitorrertes y Salustertes.

## SODIZACIÓN O SOLONIZACIÓN

Este proceso lleva a la saturación parcial del complejo de cambio por el catión Na ( $Na/T > 15\%$ ), provocada ya sea por la presencia de una capa freática rica en sales sódicas y pobre en alcalino térreas, o bien directamente por alteración de minerales sódicos en clima árido. Hasta aquí el proceso recibe el nombre de sodización y los suelos resultantes corresponden a suelos salinos sódicos que se encuentran floculados. Si la capa freática desciende o se diluye y comienza a actuar el agua de lluvia, las sales son removidas, las arcillas sódicas se hidrolizan liberando  $Na^+$  a la solución del suelo, donde se une al  $H_2CO_3$  para formar  $Na_2CO_3$  o  $NaHCO_3$ , el pH se eleva pudiendo alcanzar valores superiores a 8,5, las arcillas se dispersan y degradan y en algunos casos son movilizadas. Este proceso recibe específicamente el nombre de alcalinización o solonización y los suelos resultantes son los solonetz o suelos álcalis negro.

**Condiciones del medio:** El proceso de sodización se produce en condiciones precisas de clima y de la estación.

El clima es más húmedo que en el proceso de salinización, provocando según la estación, fuertes variaciones en la salinidad de la capa freática.

La capa freática salina presenta oscilaciones importantes. La parte superior del perfil queda así sometida alternativamente a la influencia del agua salina de la napa o al agua pura de la lluvia, y si esta es suficiente, además de la sodización del coloide se produce el lavado de las sales.

Un abatimiento de la capa freática salina, una mejora en las condiciones de drenaje o cualquier factor que aumente la infiltración de aguas dulces, desencadena el proceso de solonización.

La importancia de los factores locales, especialmente relieve, en el proceso, determina el carácter intrazonal del mismo.

La vegetación corresponde a una formación especializada de plantas como Suaeda, Atriplex, Distichlis, etc. La cobertura puede ser variable de acuerdo al grado de afectación.

**Organización del perfil:** La organización del perfil está sujeta a los siguientes cambios o reordenamientos:

**Adiciones:** Las adiciones de materia orgánica pueden ser muy pequeñas debido a la escasez de la vegetación.

**Transformaciones:** Consisten fundamentalmente en la formación de minerales arcillosos de tipo 2:1 y la generación de estructuras poliédricas, prismáticas o columnares gruesas o muy gruesas debido a las expansiones y contracciones que las pulsaciones de humedad producen en estos materiales de arcilla, dando origen, cuando otros procesos no se superponen, a un horizonte Bw u horizonte cámbico.

Las condiciones de alcalinidad reinantes determinan un principio de degradación de las arcillas.

**Transferencias:** Cuando el catión  $Na^+$  ha reemplazado a una fracción importante del  $Ca^{2+}$  del complejo adsorbente y las sales solubles se han lavado, las arcillas sódicas se hidrolizan, liberando  $Na^+$  a la solución del suelo, en donde forma carbonato o bicarbonato de sodio, por lo que el pH se eleva, pudiendo alcanzar valores superiores a 8,5 y hasta valores de 9,5 a 10. En estas condiciones los coloides húmicos y las arcillas se dispersan.

El humus disperso puede formar delgadas costras de color negro en la superficie del suelo o tapizar las caras de los agregados, lo que ha llevado a llamarlos suelos a álcali negro o a salitre negro.

Las arcillas dispersas quedan sujetas al *lessivage*, dando lugar a un horizonte iluvial enriquecido en arcilla, el horizonte nátrico o Btn, de estructura columnar o prismática, raramente en bloques, y a un horizonte eluvial, E, de granos desnudos de arena o limo y que a veces se extiende en lenguas en el horizonte nátrico (Horizonte B/E).

**Remociones:** Las sales solubles son parcial o totalmente eliminadas del perfil según sea el grado de evolución alcanzado. El  $\text{CaCO}_3$  es parcialmente lavado.

**Perfil tipo:** *A Bwn C - A Btn C - A E Btn C - A E Btn/E Btn C*

**Suelos típicos:** Los suelos alcalinos sódicos, sódicos o solonetz se distribuyen en varios órdenes de la Taxonomía de Suelos. En el orden de los Inceptisoles, suborden de los Acueptes, se encuentran en el gran grupo de los Halacueptes. En los Aridisoles, suborden de los Argides tenemos los grandes grupos de los Nadurargides y Natrargides. En los Alfisoles se localizan en los subórdenes de los Acualfes, los Natracualfes; de los Boralfes, los Natriboralfes; de los Xeralfes, los Natrixeralfes; de los Udalfes, los Natrudalfes; y de los Ustalfes, los Natrustalfes. Entre los Molisoles, en los Alboles el gran grupo de los Natralboles; en los Acuales, los Natracuales; en los Boroles, los Natriboroles; en los Xeroles, los Natrixeroles; y en los Ustoles, los Natrustoles.

## SOLODIZACIÓN

Los suelos sal sódicos son parte de una secuencia evolutiva cuya primeras dos etapas, salinización y sodización, ya hemos considerado. La última fase que caracteriza a los climas más húmedos, lleva a la completa desaturación en sodio del complejo adsorbente de los horizontes superficiales: la reacción química se torna ácida (pH 4 a 5), los iones  $\text{Na}^+$  han sido reemplazados por los iones  $\text{H}^+$  y  $\text{Al}^{3+}$ . Pero la proporción de Na intercambiable aumenta progresivamente en profundidad y consecuentemente el pH se incrementa desde la parte superior a la inferior del horizonte nátrico, donde puede llegar a alcanzar valores superiores a 9.

Este proceso recibe el nombre de solodización y los suelos resultantes son los solod o soloth.

**Condiciones del medio:** En general las condiciones ecológicas son muy similares aunque algo más húmedas que en el caso de la sodización. Se trata también de un proceso intrazonal.

**Organización del perfil:** Los siguientes cambios caracterizan al proceso de solodización:

**Adiciones:** Como consecuencia de las condiciones de acidez y de exceso de agua se inicia un proceso de acumulación de materia orgánica parcialmente descompuesta que diferencia un horizonte O.

**Transformaciones:** La lenta evolución de la materia orgánica edifica un humus bruto ácido. Las arcillas sódicas muestran un principio de degradación de su estructura que se iniciaba ya en la solonización. Bajo la influencia de la acidificación y de los fenómenos de hidromorfía superficial que la acompaña, esta degradación se acentúa, con liberación y reducción oxidación del Fe, de esta manera en el horizonte E solo quedan elementos cuarzosos muy finos y sílice amorfa que forma una masa asfixiante e impermeable.

**Transferencias:** El hierro movilizado por los fenómenos de alteración, precipita en forma de finas concreciones o en moteados herrumbrosos, especialmente en el horizonte E y en la superior del Btn.

**Remociones:** Se acentúa la remoción de los materiales solubles, del  $\text{CaCO}_3$ , de los cationes del complejo de cambio y parcialmente del Si, en los horizontes superiores.

En resumen podemos decir que en los horizontes superiores del solod se ha instalado un proceso de podsolización y de pseudogleyización secundaria, mientras que en profundidad se mantiene el horizonte nátrico.

**Perfil tipo:** *O A Eg Btn C - O Eg Btn/Eg\Btn C*

**Suelos típicos:** Algunos solod son diferenciados al nivel de subgrupo en los mismos grandes grupos de los solonetz, como los Natracualfes álbicos glósicos y los Natracualfes álbicos en el gran grupo Natracualfe del orden de los Alfisoles. En otros grandes grupos no han sido diferenciados de los solonetz.

## BIBLIOGRAFÍA

- **BUOL, F. E., F. D. HOLE and R. J. McCracken.** 1973. Soil Genesis and Classification. The Iowa State University Press. Ames.
- **DUCHAUFOR, Ph.** 1965. Précis de Pédologie. Masson et Cie., Editeurs. Paris.
- \_\_\_\_\_ .1968. L'Evolution des Sols. Essai sur la Dynamique des Profils. Masson et Cie. Paris.
- \_\_\_\_\_ .1977. Atlas Ecológico de los Suelos del Mundo. Toray Masson, S.A. Barcelona.
- \_\_\_\_\_ .1987. Manual de Edafología. Masson, S.A. Barcelona.
- **HARDY, F.** 1970. Suelos Tropicales. Pedología Tropical con énfasis en América Latina. Herrero Hermanos, Sucesores, S. A. México.
- **SOIL SURVEY STAFF.** 1992. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph No.19. Fifth Edition, 1992. Pocahontas Press, Inc. Blacksburg, Virginia.
- **ZUCCARDI, R. B.** 1990. Procesos Fundamentales de la Pedogénesis. Apuntes de clases FAZ. UNT. Inédito.