Ing. Agr. Luis F. Mogollón
Ing. Agr. Juan Comerma

suelos de Venezuela

5 Factores formadores de suelo

Todo

El suelo está formado por cuatro constituyentes principales: materia mineral, materia orgánica, solución del suelo y aire. Pero el suelo es algo más que la sola suma de estos constituyentes, ya que existen cinco factores responsables por la clase, intensidad y grado de desarrollo del mismo y por sus propiedades físicas, químicas y orgánicas. Algunos de esos factores desempeñan un rol pasivo y otros un papel activo.

- factores pasivos: Material parental, relieve y tiempo
- factores activos: Clima y organismos (figura 7).

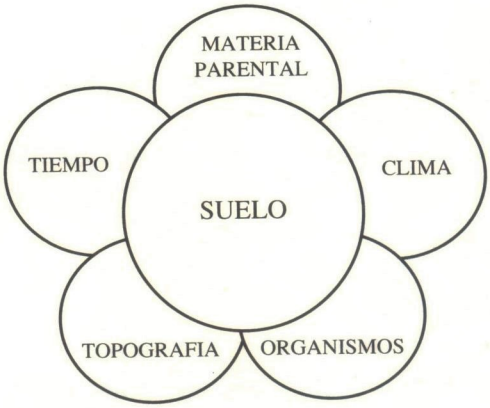


Figura 7.
Factores formadores de suelos.
(según Fitz Patrick, 1974)

En una pequeña área de terreno (100-300 Ha.) pueden existir muchos tipos de suelos. Aunque nosotros tenemos muchas clases diferentes, en la naturaleza sólo ocurren unos pocos factores básicos, los cuales son responsables del desarrollo de todos los suelos. Estos factores avanzan a diferentes intensidades y en diferentes combinaciones para producir los diversos tipos de suelos.

Nosotros necesitamos conocer, cómo estos factores influencian la evolución del suelo, para comprender por qué son tan diferentes, por qué varían en su productividad, y lo más importante, cómo se pueden usar racionalmente. Esta comprensión es también necesaria para una cartografía eficiente, a fin de mostrar su distribución geográfica.

Jenny definió en 1941 una ecuación abierta, que incluye estos cinco factores, ya que nuestro conocimiento del suelo es incompleto y cuando aumente, es posible que haya que incluir otros factores. Es una ecuación en que todos los factores están interrelacionados.

S= f(Clima, material parental, organismos, relieve y tiempo).

Esta ecuación también nos dice que cualquier propiedad del suelo es el resultado de la interacción de los cinco factores mencionados, por lo tanto cualquier pedólogo al examinar un perfil de suelo, generalmente comenzará por considerar como están operando estos factores "in situ". Esto lo ayudará a entender cuales han sido las influencias claves en dar al perfil estudiado, sus características y propiedades particulares (Pears, 1977).

Material Parental.

Los materiales parentales del suelo difieren tanto o más que la diversidad de rocas que ocupan la superficie terrestre. Existen muchos agentes que hacen que las rocas se alteren y cubran la superficie de la tierra con materiales de diferentes espesores. El material parental está generalmente sometido a los efectos de la escorrentia, a la acción del viento, al hielo glacial y a la fuerza de gravedad, éstos vienen a ser los agentes dominantes en los procesos de erosión y deposición (Batten et al, 1977). Al mismo tiempo que estos agentes actúan, la roca se altera por los procesos de meteorización. El material parental también aporta la masa principal del suelo, por lo que tiene gran importancia

en la composición específica de los suelos, en relación a los nutrimentos requeridos por las plantas. Así, por ejemplo, la presencia de calizas o basalto generalmente indica suelos de buena fertilidad, mientras que las areniscas y cuarzitas sugieren suelos de baja fertilidad. El material parental también determina en parte la textura, la estructura y la capacidad de retención de humedad. Los materiales en la corteza terrestre son transportados y depositados a través de los ríos, de los glaciares y del viento y cubren gran parte de la superficie de la tierra con espesores variables. Muchos de estos materiales provienen de rocas de diferente composición. Este material parental de estos depósitos transportados da origen a una variedad de suelos. Así podemos encontrar suelos aluviales, originados por los aportes de cada crecida o cada inundación, donde se forma cada vez un estrato de material reciente poco evolucionado y de media a alta fertilidad. (Batten, 1977). El material parental también ejerce influencia en un grado variable en la formación y en las propiedades del suelo. Su influencia es más grande en las regiones más secas y en los estadios iniciales del desarrollo del suelo. En regiones más húmedas y a través del tiempo, otros factores pueden obscurecer la acción del material parental no haciéndose tan evidente. Dicho material parental, también a través de sus diferentes grados de meteorización, tiene un gran peso en el contenido de nutrimentos para el uso de las plantas como se señaló anteriormente.

El tamaño del grano de la roca es un factor fundamental en la textura del suelo, teniendo una influencia mucho más grande que el clima. El significado de este efecto es que la textura influencia muchas propiedades del suelo, tales como el contenido de materia orgánica, la capacidad de retención de humedad y todas estas propiedades son de gran importancia desde el punto de vista agrícola. No es sorprendente que muchos de los primeros científicos de suelos, eran también geólogos y atribuyeron al material parental, el papel dominante

en la determinación de las propiedades de los suelos.

Clima.

El clima es de gran importancia debido a su influencia marcada en la tasa a que ocurre la meteorización, el lavado, y la descomposición de la materia orgánica. Estos procesos avanzan a mayor velocidad bajo condiciones húmedas y cálidas que bajo condiciones secas y frías (Robinson, 1972).

Los primeros pedólogos consideraron el material padre como el factor formador de suelo más importante, pero los científicos rusos a finales del siglo pasado notaron la estrecha correlación que existía entre el tipo de suelo y el clima, cuestionando así la importancia suprema que se le daba al material parental y entonces, a través de sus estudios en el campo, pudieron darse cuenta de la importancia y significación del clima como factor formador del suelo. Se considera al clima casi como el factor más importante en la formación del suelo. Afecta directamente el grado de meteorización, a través de la influencia de la temperatura y de la humedad sobre el ritmo de los procesos físicos y químicos; además es el principal agente que incide en la distribución de la vegetación y en el tipo e intensidad como ocurren los procesos geomorfológicos.

Se pueden observar las relaciones que existen entre el clima y el suelo, al comparar los mapas de suelos de nuestro país con el mapa de precipitación y en menor grado con el de temperatura, y se puede determinar que casi todos los ordenes y sub-ordenes de suelos están asociados con los diferentes tipos de climas que existen en el país (húmedos o secos).

La humedad y la temperatura son los dos factores del clima más directamente asociados con el control de las propiedades del suelo. La humedad es importante

porque el agua está involucrada en casi todos los procesos físicos, químicos y bioquímicos que tienen lugar en el suelo, y la cantidad de humedad presente en la superficie y en el perfil de suelo, influencia de manera notable las condiciones de meteorización y de lavado del mismo.

La precipitación juega un papel dominante en la pedogénesis, junto con la tasa de evaporación y las características de drenaje del suelo. Un exceso contínuo de la precipitación sobre la evaporación, ocasiona un movimiento descendente del agua en el perfil de suelo. La interrupción de este proceso por un período o época seca, detiene temporalmente el lavado que se produce hacia los horizontes B y C y en algunos casos, el material soluble retorna a la superficie. Cuando domina el período seco en espacios más largos de tiempo entonces los materiales solubles son llevados hacia arriba por ascenso capilar y si el nivel freático está cerca de la superficie, puede suceder un enriquecimiento masivo del horizonte superficial en sales solubles y la aparición de suelos salinos y alcalinos (Etherinton, 1982).

El clima tiene también una influencia determinante sobre la cantidad y clase de arcilla que se forma, en la profundidad del suelo, sobre la saturación de humedad del mismo y en la presencia o no y la profundidad a que se presentan los horizontes sálico, gipsico o cálcico, ya que estos procesos dependen fundamentalmente de la intensidad del lavado, por lo tanto, el factor decisivo es la precipitación efectiva de lavado. Los suelos de zonas templadas son en general menos lavados que los suelos de los trópicos y en los primeros predominan las arcillas tipo 2:1 mientras que en los últimos predominan las arcillas tipo 1:1 (Enciclopedia Británica, 1988). A mayor lavado se puede decir que los suelos son más ácidos, sin embargo hay que tomar en cuenta otros factores como el tipo de vegetación, la temperatura y los excesos de humedad.

El movimiento descendente del agua y la

penetración de las raíces también dependen de la precipitación efectiva de lavado, de manera tal, que la profundidad a que alcance la meteorización y el desarrollo del perfil de suelo se incrementa con la precipitación efectiva de lavado. Por esta razón, en general los suelos de los trópicos son profundos y más meteorizados, mientras que los de climas fríos y/o secos son más superficiales y menos meteorizados.

La temperatura influencia también de manera marcada la formación del suelo. Debido a que la solubilidad de la silice se incrementa con la temperatura, las altas temperaturas favorecen la formación de arcillas 1:1, lo cual es otra razón para la abundancia de tales arcillas en los suelos tropicales.

La temperatura controla el ritmo de muchos procesos edáficos ya que según la ley de Van Hoff, por cada aumento de 10ºC de temperatura, la intensidad de las reacciones químicas aumenta de dos a tres veces, de modo que la temperatura influencia la velocidad de los procesos químicos y bioquímicos que ocurren en el suelo.

El clima también es el factor formador de suelo que tiene mayor influencia en el contenido de la materia orgánica, el pH, la saturación con bases y por lo tanto tiene un efecto sustancial sobre el desarrollo del perfil.

Relieve.

El relieve puede influir en los suelos de muchas formas, de modo que generalmente el espesor del suelo está asociado al tipo de relieve: así, por ejemplo, los suelos en lugares de topografía plana o con pendientes suaves dentro de una misma área climática, y a partir del mismo material parental, tienen la tendencia a que el espesor del suelo sea mayor; pero a medida que aumenta la pendiente se incrementa el riesgo de erosión, se produce una mayor escorrentia y un incremento en el arrastre de los

materiales superficiales, dando como resultado que en los paisajes muy accidentados los perfiles de suelo sean por lo general delgados (FitzPatrick, 1974).

La topografía también afecta el grado de desarrollo o evolución de los suelos. Muchas veces la erosión del suelo remueve material superficial del suelo, antes de que la pedogénesis se manifieste de manera evidente, de modo que suelos ubicados en áreas accidentadas generalmente son poco evolucionados, delgados y pedregosos y no presentan evidencias de madurez en el perfil. Es probable que en estas condiciones, parte del suelo de las zonas más altas se deposite o acumule en las partes más bajas del paisaje. Es común también, que las pérdidas parciales del horizonte superficial por erosión geológica o antrópica caucen rejuvenecimiento del suelo, lo que evita que el mismo "envejezca" y disminuya sensiblemente su fertilidad natural (Batten et al, 1977).

La topografía y el drenaje son dos factores que están estrechamente unidos. Mientras la pendiente sea más quebrada se acelera el drenaje externo o escorrentia al igual que la erosión hídrica. Las pendientes fuertes y las erosión acelerada, generalmente causan un movimiento lento hacia abajo de los estratos superficiales del suelo, usualmente delgados debido a la fuerza de la gravedad. Este proceso de arrastre da origen a los suelos coluviales, o sea depósitos de granulometria mixta depositados en la base de las pendientes. En muchas regiones en el mundo el agrupamiento de muchos suelos a nivel local descansa en el relieve y en el drenaje. En zonas con pendientes suaves o moderadas, con suelos derivados del mismo material parental y bajo las mismas condiciones ambientales, las características de los perfiles a lo largo de la pendiente están en función de la topografía y el drenaje y la secuencia que se consigue se denomina catena, que significa "cadena". (Batten, et al, 1977). Cada individuo suelo de la "catena",

representa un enlace en la cadena de varios suelos relacionados . La "catena" suministra un enfoque excelente para estudiar los suelos en el campo, con la finalidad de ver las relaciones de los suelos individuales unos a otros y las de los factores ambientales, tales como el relieve, el drenaje, el material parental y la vegetación.

Además de este aspecto importante existen propiedades del suelo que están influenciadas por el relieve, tales como el espesor y el contenido de materia orgánica del horizonte A, el color y el grado de diferenciación de los horizontes.

El grado de exposición, es otra faceta de la topografía, el cual en parte puede influenciar el desarrollo del suelo. Las pendientes o vertiente de cara al sol reciben más insolación y son más calidas y más secas que las otras. También las vertientes de Barlovento (las que están en dirección del viento) son más húmedas que aquellas de Sotavento (las que están de espaldas al viento). Estas condiciones de radiación, sombra, humedad, abrigo, etc, afectan la vida vegetal, la cual a su vez puede influenciar el desarrollo y características del suelo (Robinson, 1972).

Tiempo.

Todos los factores de formación de suelo se expresan en un período de tiempo determinado que generalmente no se mide en años, ya que los procesos en la naturaleza se suceden lentamente. Puesto que el suelo tiende a desarrollarse en ciclos, etapas o pasos, el espacio de tiempo transcurrido para que un suelo determinado termine un ciclo no es de mucha importancia, lo relevante es la etapa o grado en que se encuentra el suelo dentro de un ciclo (juventud, madurez o vejez) en el cual nosotros lo encontramos.

Todos los suelos no envejecen al mismo tiempo. En general la evolución del suelo es más acelerada

en climas cálidos y húmedos si lo comparamos con climas frios y secos. Generalmente los suelos evolucionan más rápido sobre pendientes suaves que sobre áreas planas o pendientes escarpadas. Los suelos derivados de materiales parentales arenosos generalmente avanzan más aceleradamente hacia la madurez que los suelos derivados de rocas arcillosas. Generalmente no se puede hablar de que un número determinado de años es necesario para terminar un ciclo de madurez. Así un suelo sobre una planicie aluvial, donde el río no haya formado terrazas y sufra de inundaciones periódicas, casi no evolucionará en unos cuantos cientos de años. Es necesario entonces que quede en posición alta bajo un modelado de terraza para que comience a experimentar un proceso acelerado o lento de desarrollo de acuerdo a los factores formadores de suelo (Batten, 1977).

El tiempo de desarrollo de un perfil es muy variable. Bajo condiciones normales (materiales no consolidados y permeables bajo clima húmedo y cálido), la formación de 2.5 cm. de suelo requiere de 200 a 1000 años (Hudson 1981, Lal 1984), bajo circunstancias menos favorables, el tiempo se puede extender a varios miles de años. Muchas veces se observa que los suelos evolucionan en períodos considerables de tiempo y no es entonces el clima presente el que ha tenido la influencia preponderante sobre las características pedogenéticas. Por ejemplo, en muchas partes de Australia, los tipos de suelo que están presentes hoy en día se comprenden mejor si se estudia los patrones de clima pasados (Pears, 1977). Una situación parecida ocurre al oeste de Coro (área de siembra de cebolla con riego), donde aparece un horizonte argílico bien desarrollado en condiciones muy secas (semiáridas), lo que refleja la ocurrencia de un clima anterior más húmedo que el actual.

Por lo tanto, la repuesta a esta interrogante yace parcialmente en el conocimiento que se tenga de la naturaleza de los materiales parentales, del clima, de los orga-

nismos (flora y fauna), y de los efectos del relieve y del tiempo, sobre el cual se ubican los suelos. Un período dado de tiempo puede producir muchos cambios en un suelo y pocos en otros, de modo que generalmente la madurez de un suelo se determina más por el grado de desarrollo de los horizontes, que por el número de años transcurridos desde la evolución inicial del mismo. Por consiguiente, todo lo que se puede decir del tiempo como factor formados del suelo, es en parte suposición y en parte deducción, ya que los parámetros de medición que se utilizan son indirectos, y están basados fundamentalmente en datos e inferencias aportadas por varias ciencias, tales como la botánica, la zoología, la geología y la geomorfología.

Los suelos jóvenes generalmente tienen un perfil poco diferenciado por ser en su mayoría suelos AC o con un débil desarrollo del horizonte B. Los horizontes cámbico, cálcico, gípsico y sálico se forman más rápido que en los que se acumula arcilla. Los suelos jóvenes son más ricos en arcillas amorfas y bajo condiciones que favorezcan la acidificación son menos ácidos que los suelos viejos (Enciclopedia Británica, 1988).

En la figura 8, se observa la diversidad de suelos que se presentan para un área ubicada a lo largo del meridiano 64º 30' de nuestro país, al cambiar varios de los factores enumerados (clima y vegetación). A medida que aumenta la precipitación en el sentido norte-sur, bajo un clima cálido, hay cambios apreciables en la vegetación y ocurre un mayor desarrollo en los perfiles de suelo, sucediéndose desde aridisoles (Argids) al norte del estado Anzoátegui en ambientes cálidos y secos, hasta oxisoles (Udox) en el estado Amazonas en un ambiente cálido y muy húmedo. La variación de estos factores, opera en el espacio y en el tiempo, de modo que la variedad inmensa de tipos de suelo que existe en la biósfera está siempre transformándose en relación al tiempo, ya que todos y cada uno de ellos

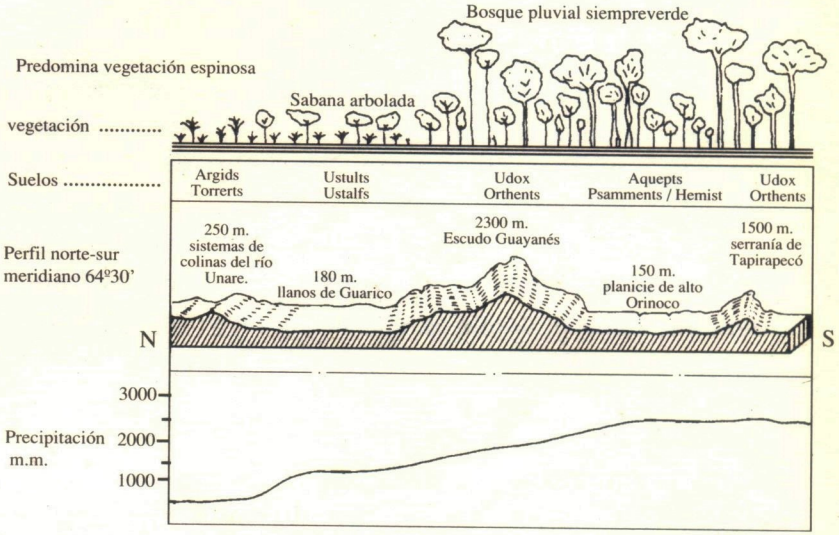
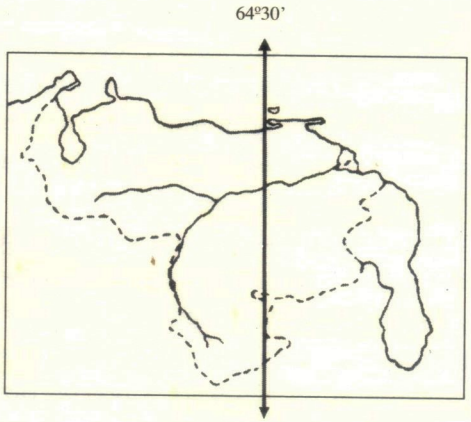


Figura 8.
Factores ambientales en interacción en el área norte-sur del país (64º30'). Este perfil transversal muestra cambios en las condiciones de suelo, vegetación y clima. Nótese que cuando el régimen de humedad cambia de seco a más húmedo, cambios notables también ocurren en los suelos y en la vegetación.



pueden cambiar con dicho factor.

En los ejemplos de las figuras 9y10 también se observa que al incrementarse el tiempo de evolución del suelo, hay cambios en el espesor y en el tipo de horizonte, originándose perfiles diferentes y los suelos se hacen más profundos y desaturados.

En la figura 10 aparece un esquema hipotético de los estadios en el desarrollo de un suelo del piedemonte llanero, donde se observa el progresivo desarrollo del horizonte B, lo que da origen a los diferentes órdenes que se señalan.

Organismos.

La actividad de las plantas y animales y la descomposición de sus residuos, tienen una gran influencia sobre el desarrollo del suelo. Las raíces contribuyen a disgregar el manto rocoso, penetran a través de los estratos compactos y mejoran la aereación, la estructura, la infiltración y la retención de agua del suelo. Las raíces al llegar a zonas profundas también extraen bases y las devuelven a la superficie por medio de su descomposión posterior. Además de las raíces, los organismos vivos del suelo son los principales agentes de la desintegración de la materia orgánica, producen aumentos de nitrógeno en el suelo y mantienen la estabilidad estructural del mismo. La cubierta vegetal permanente también contribuye en gran proporción a brindar una protección eficaz contra la erosión hídrica, además de influenciar la cantidad de agua que llega a la superficie del suelo, aumentando asi la infiltración; también protege al suelo contra la radiación directa del sol y por tal razón retarda la descomposición de la materia orgánica. Se puede decir que la mayor influencia de la vegetación sobre el suelo vendría da-

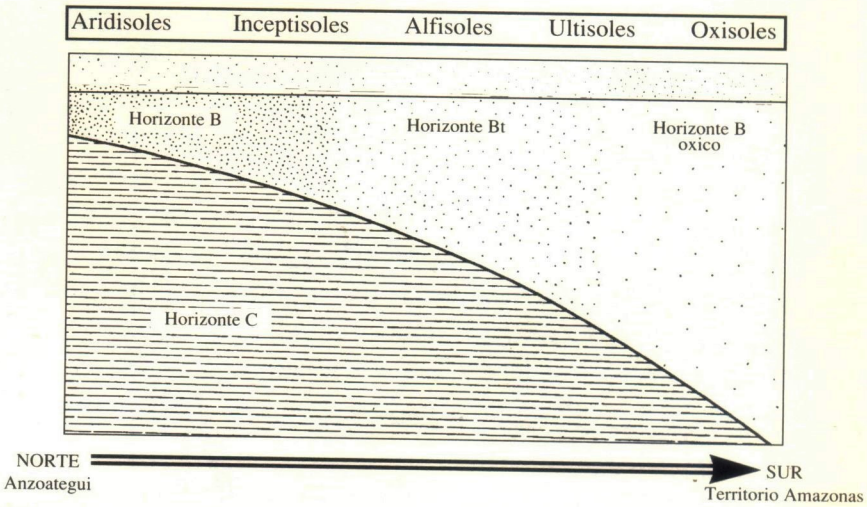
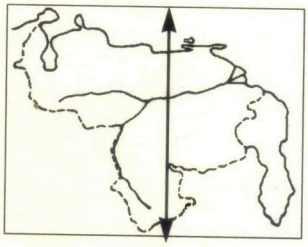


Figura 9.
Relaciones entre los principales órdenes de suelos
que aparecen a lo largo del meridiano 65º al aumentar
la precipitación y considerando el factor tiempo como variable.

De norte a sur:
Aumenta la precipitación.
Aumenta el espesor del suelo.
Aumenta el desarrollo del horizonte Bt (argílico).
Aumenta la cantidad e intensidad del lavado de sales y bases.
Aumenta la acidez.
Aumenta el grado de alteración de los minerales primarios.
Aparece el horizonte B. óxico.

65º



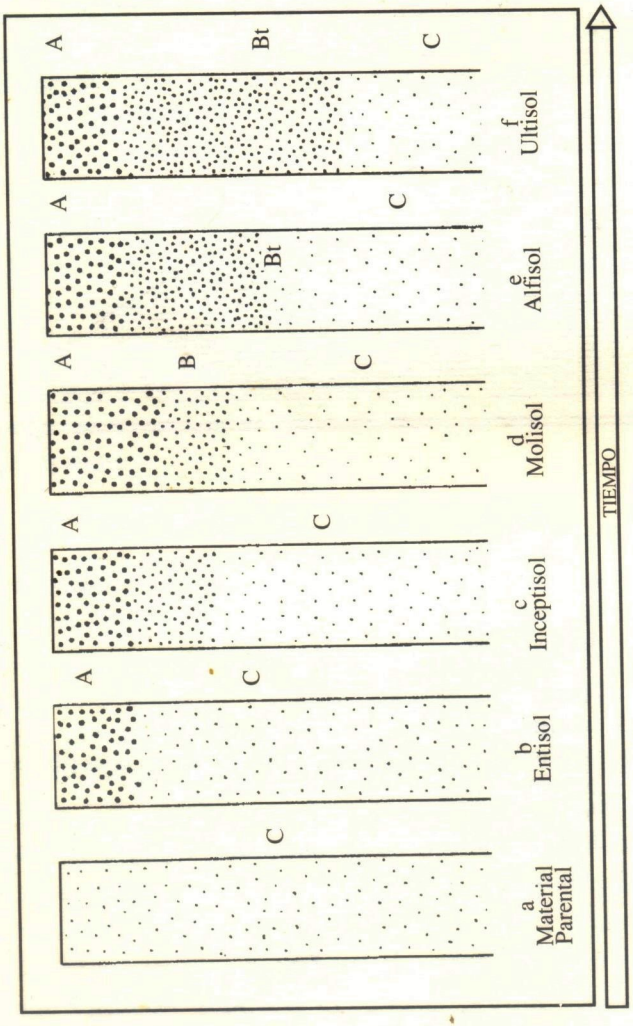


Figura 10.
Esquema hipotético de los pasos o estadios en el desarrollo de los suelos en la región de piedemonte llanero occidental a través del tiempo.

da por los aportes de los materiales descompuestos de la planta (hojas, raices, etc,). La vegetación también es determinante en la clase de humus que se forma. Muchas coníferas producen un humus ácido que puede causar el proceso de podsolización. Otras especies de árboles producen un humus debilmente ácido capaz sólo de producir mobilización de hierro e iluviación de arcilla. La distribución del humus en el perfil de suelo también depende en gran parte de la ve-getación. Las gramineas poseen numerosas raíces, las cuales al descomponerse enriquecen al suelo en humus hasta una profundidad considerable, mientras que las raíces de los árboles contribuyen poco a la presencia de humus subsuperficial, ya que la mayoría de humus que se acumula bajo una vegetación de bosque es superficial (Enciclopedia Británica, 1988).

Los procesos de la descomposición de la materia orgánica también son fuente de producción de ácidos orgánicos, que disueltos en el agua del suelo le dan un carácter ácido y quelatante, aumentando asi el poder de meteorización de los minerales a través de la solución del suelo.

Un suelo fértil tiene gran cantidad de organismos muy pequeños que constituyen la microflora y microfauna del suelo formado por un gran número de bacterias, hongos, algas, protozoarios, lombrices de tierra, nemátodos, Según Pears, 1977, el número de bacterias en 1 gramo de suelo varía de 1 millón a 4.000 millones; el número de hongos puede variar de 5.000 a 1 millón, todo ello dependiendo del tipo de suelo. La población de la microfauna puede llegar a 2 millones en 1 gr. de suelo. A pesar de este número tan elevado, esta microfauna contribuye aproximadamente con sólo de un 2 a 3% del total del material orgánico en una muestra de suelo.

Las lombrices, acaros, arañas, etc. existen también en gran número y más de lo que se cree. Algunos estudios realizados en Rusia reportados por Bunting, 1965

muestran las siguientes cantidades de lombrices de tierra presentes:

- 2.94 millones/ha. en un bosque ruso de robles.
- 880.000 lombrices/ha. en un campo de trigo
- 610.000 lombrices/ha. en un bosque de abetos.

La cantidad de suelo que pasa a través de los cuerpos de la población de lombrices, puede alcanzar de 25-50 T.M./año.

Análisis breve de los factores formadores de suelos en Venezuela.

En el caso de nuestro país, éste posee una gran variedad de suelos en relación a otras regiones del mundo. Lo anterior es consecuencia de la gran variabilidad en los factores de formación de suelo señalados anteriormente. Así, desde el punto de vista climático, en el país existen áreas superhúmedas, con más de 3500 mm por año, como al sur del estado Amazonas y del estado Bolívar y en la cuenca media del rio Uribante (estado Táchira), hasta zonas muy áridas, con menos de 350 mm/año como en la Goajira; zonas muy cálidas con temperaturas promedio anuales superiores a los 28ºC, hasta zonas con promedios anuales de 5°C. En relación a los materiales minerales, la variedad de rocas y sedimentos que dan origen al material padre de los suelos, es también muy variado, así tenemos areniscas, calizas, lutitas, esquistos, granitos, etc. Prácticamente el único tipo de material que no se encuentra en el país y que produce suelos muy característicos son las cenizas volcánicas. En relación al relieve es también notoria

nuestra variada topografia, desde montañas sumamente escarpadas e inestables hasta planicies prácticamente sin pendiente. Nuestras variaciones en clima y en relieve condicionan a su vez muy diferentes ambientes ecológicos, produciendo así muy diversos tipos y sub-tipos de vegetación y de fauna del suelo que, a su vez, son otro factor de variabilidad en condicionar determinados caracteres del suelo. El factor tiempo o período durante el cual han actuado los otros factores, es también de extrema variación en el país; tenemos así zonas que han estado expuestas al ambiente desde hace millones de años, como las superficies estables del escudo de Guayana, hasta zonas muy jóvenes que, apenas en los actuales momentos, se están sedimentando o exponiendo al efecto del clima o de los organismos, tal como ciertas áreas de vega en los llanos altos o en el delta del rio Orinoco. El factor que en los últimos años, ha ganado importancia en producir caracteres en los suelos es el hombre, el cual a través del riego, drenaje, deforestación construcción de terrazas, fertilización, etc., produce drásticas modificaciones del cuerpo suelo en corto tiempo y consecuentemente es un factor de formación de suelo de gran relevancia para bien o para mal del propio hombre (Comerma, 1988).

6 Procesos formadores de suelos

Todo

Los cinco factores de formación señalados en el capítulo anterior, en su acción individual y combinada, son los elementos condicionadores de los procesos que van a originar las características genéticas de cada suelo. Así como todos los suelos están sujetos a la acción de estos cinco grandes factores, asimismo podemos observar que existen grandes procesos que están actuando en todos los suelos.

Un enfoque que explica los procesos de formación de suelo fue propuesto por Simonson (1959). Su teoría de génesis describe cuatro grupos de procesos físicos, químicos y biológicos, comunes a todos los suelos: adiciones de materiales minerales y orgánicos en formas sólidas, líquidas y gaseosas; remociones, o perdidas, transferencias o translocaciones y transformaciones (Figura 11).

Los equilibrios dinámicos entre estos procesos diferencian un suelo de otro. Por ejemplo, la mineralización y humificación de la materia orgánica, producto de la descomposición de los restos vegetales, emplean más o menos los mismos procesos de transformación en todos los ambien-tes, pero las diferentes intensidades en los procesos pueden conducir a diferentes productos finales. Buol et. al. (1990) categoriza los procesos de formación de suelo usando el esquema general de Simonson (Cuadro Nº 3). Son adiciones, la materia orgánica que resulta de la actividad biótica del suelo; son remociones, la lixiviación (lavado) y la erosión superficial, son ejemplos de transferencias, la eluviación, el lavado y la pedoturbación; las transformaciones incluyen la humificación, la mineralización y la meteorización.

Entre los procesos pedogenéticos más usuales en Venezuela, tenemos:

- Acumulación de materia orgánica en superficie

(Adiciones), con excepción de zonas muy áridas sin vegetación, todos los suelos están sujetos a una adición de restos vegetales a través de las raíces que se renuevan cada cierto tiempo y del detritus vegetal como hojas, tallos, que caen sobre la superficie del suelo y son incorporadas a éste por acción de la fauna del suelo. Las cantidades añadidas son variables según las formaciones vegetales, riqueza florística, densidad y estacionalidad climática. En las sabanas del oriente del país encontramos aportes del orden de 2 TM/Ha./año de materia seca, mientras que un bosque deciduo de los llanos centrales aporta cerca de 4 TM, y en el área de bosque húmedo de Rancho Grande (estado Aragua) encontramos cerca de 7 TM/Ha/año.

Esos variados aportes están sujetos a transformaciones biológicas o a una mineralización y humificación, en grados variables de acuerdo a un grupo de factores ecológicos, los cuales condicionan el tipo y cantidad de microorganismos, (bacterias, hongos, etc) que actúan con diferentes eficiencias en esas transformaciones. En zonas más frías (Ej. sobre los 2.500 m.s.n.m.) o que permanecen por varios meses con problemas de inundación, encontramos una mayor acumulación de materia orgánica, presumiblemente por una menor tasa de transformación. Las pérdidas o remociones están presentes en todos los casos como resultado de las mismas transformaciones, pero son mayores en aquellas condiciones en que, por efecto de la erosión superficial, hay remoción física de materia orgánica. Las translocaciones en muchas de nuestras situaciones no se pueden detectar fácilmente, pues cuando la materia orgánica se transloca en todo el perfil, como posiblemente ocurre durante la época de lluvia, no es visible; solo en ciertas condiciones de los Andes y del sur del Orinoco en suelos arenosos y con una alta y frecuente precipitación, se nota un claro proceso de translocación de la parte superior del suelo hacia el subsuelo donde se acumula el marerial.

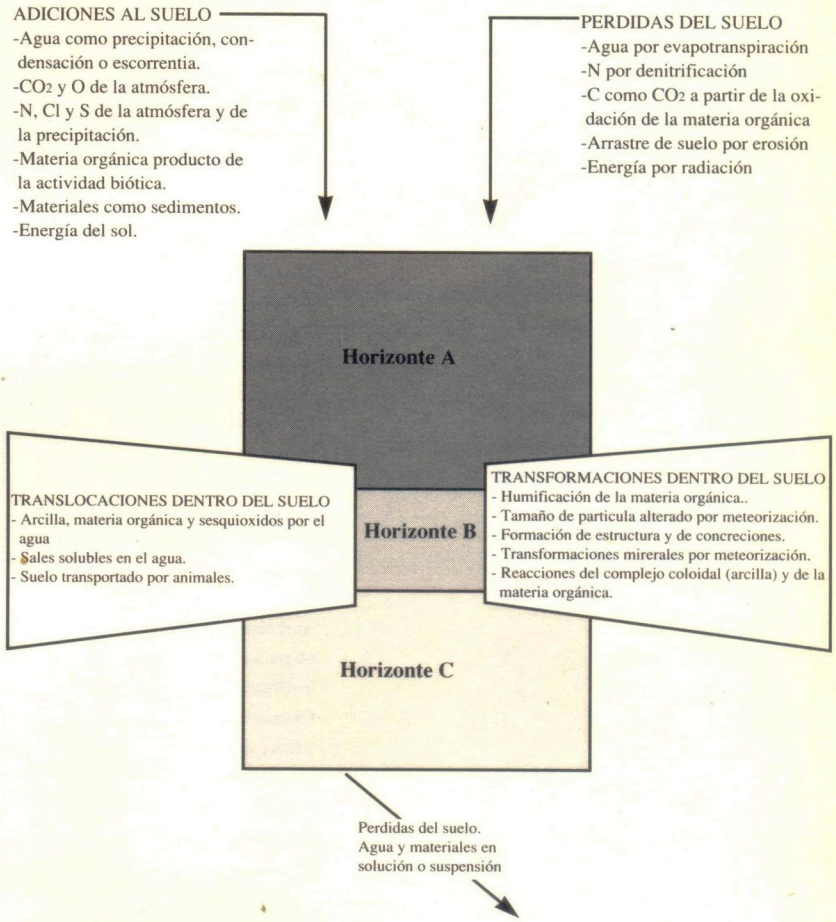


Figura 11.
Esquema diagramático de adiciones, pérdidas, translocaciones y transformaciones implicadas en el desarrollo del perfil de suelo, según Foth (1978).

CUADRO No 3

CUADRO RESUMEN DE LOS PRINCIPALES PROCESOS DE FORMACION DE SUELOS DE ACUERDO A BUOL, et. al (1990)

PROCESOS DE FORMACION DE SUELOS

TERMINO	CAT. MAYOR	DESCRIPCION GENERAL
Eluviación	3	Movimiento de materia en el perfil. Horizonte Albico.
Iluviación	3	Concentración de materia en el perfil Argílico-espódico.
Lavado	2	Pérdidas del perfil.
Enriquecimiento	1	Término general para la adición de materia al suelo.
Erosión	2	Remoción de materia en la superficie del suelo.
Acumulación mineral	1	Adición de materia en la superficie del suelo.
Calcificación	3	Acumulación de CaCo3.
Decalcificación	3	Remoción de CaCO3 de uno o más horizontes.
Salinización	3	Acumulación de sales solubles(C1,SO4, Ca, Mg, Na, K). Horizontes sálicos.
Desalinización	3	Remoción de sales solubles de los H. sálicos.
Alcalinización (Solodización)	3	Acumulación de iones de Na en el complejo de cambio.
Lixiviación	3	Migración mecánica de arcillas y partículas pequeñas del A al B Argílico.
Pedoturbación	3	Cambio, volteamiento, ciclaje biológico y físico de materia en el suelo, homogeneizando el solum.
Podzolización	3-4	Migración de Fe, Al. y/o humus. Silicación en E.
Laterización	3-4	Migración de Si. Acumulación de Fe y Al. Oxico. Mat. petroférrico, lateritas, plintita. Concreciones, desilicación, ferralización,ferritización,latosolización
Descomposición	4	Alteración de materiales minerales y/o orgánicos.
Síntesis	4	Formación de partículas minerales y substancias orgánicas.
Melanización	1-3	Oscurecimiento de materiales minerales

		inicialmente claros por reacción con materiales húmicos. Mólico, Umbrico.
Aclaramiento (Leucinización)	3	Aclaramiento o emblanquecimiento de horizontes al desaparecer materiales húmicos por transformación o remoción.
Acumulación orgánica (Littering)	1	Acumulación de residuos orgánicos y humus a profundidades menores de 30 cm. sobre la superficie de suelos minerales.
Paludización	4	Acumulación orgánica (mayor de 30 cm.). Histosoles.
Maduración	4	Cambios químicos biológicos y físicos en los suelos orgánicos, después que el aire penetra en los depósitos orgánicos.
Humificación	4	Transformación de M.O. en humus.
Mineralización	4	Descomposición de M.O.
Gleyzación	3-4	Reducción de Fe, movilización, coloración gris.
Ferruginación, Rubefacción, Pardización	3-4	Liberación de Fe.a partir de minerales primarios, su progresiva oxidación o hidratación genera coloraciones pardas, pardo rojizas y rojas, respectivamente.

1: *Adiciones o ganancias.*
2: *Pérdidas.*
3: *Traslocaciones.*
4: *Transformaciones.*

• Lavado de bases (Remociones), En las regiones tropicales calientes y húmedas, tal como en el estado Amazonas y gran parte del estado Bolívar, una tendencia normal en el desarrollo del perfil de suelo es el desplazamiento del calcio, magnesio y potasio adsorbidos, debido a que son solubles y bajo las condiciones normales del suelo, pueden ser lavados a través de él y ser reemplazados por iones de hidrógeno y aluminio, los cuales son añadidos al suelo por la precipitación o suministrados por ácidos producidos biológicamente a partir de la materia orgánica en descomposición. Una vez desplazados el calcio y el magnesio son generalmente perdidos del suelo y el resultado es un aumento de la acidez del mismo. El material remanente que queda está constituído por arcillas residuales, principalmente del tipo de la caolinita y óxidos de hierro y aluminio, junto con minerales resistentes a la meteorización tal como cuarzo. Una de las características de estos suelos es su coloración rojiza, la cual es derivada de la presencia de óxidos de hierro resduales insolubles. Este proceso de pérdida se retarda si el material parental está constituído por calizas y si la permeabilidad del suelo es lenta, lo que limita la pérdida de estos cationes.

• Carbonatación y descarbonatación (Translocaciones). La redistribución o remoción de los carbonatos hacia los estratos más profundos del perfil es fundamentalmente función de la textura, el drenaje y del tiempo de acción del proceso.

En un perfil de suelo puede ocurrir una descarbonatación y luego una recarbonatación por aporte de nuevos sedimentos. Al comienzo de la evolución en suelos derivados de materiales parentales básicos, la presencia de carbonatos se detecta desde la superficie del mismo (suelos del orden Entisol). Luego en condiciones de cierta humedad, ocurre una migración de calcio de los horizontes superficiales hacia el subsuelo y comienza un desarrollo de estructura en el horizonte B.

Donde ha habido una fuerte descarbonatación, se observa entonces que se acumulan carbonatos en los horizontes más profundos. El tiempo de acumulación y la acción de otros factores, permite encontrar diversas formas de carbonatos, dados por la presencia de pseudomicelios, nódulos y capas compactas de carbonatos. Se tiene claro dentro de la génesis del suelo, que cuando los materiales parentales son calcareos, los procesos de desarrollo de color y acumulación de arcilla son más lentos, ya que la presencia de carbonatos impide en gran parte la liberación del hierro, y por consiguiente, la formación de colores pardos o pardo-rojizos es más lenta. Este proceso de descarbonatación es necesario y previo, para que comience en forma significativa la translocación de arcilla en el perfil. Se observa en las planicies aluviales del rio Acarigua, rio San Carlos, cuenca del rio Yaracuy y en las terrazas marinas en la península del Paraguaná (formación de un horizonte petrocálcico)

• Translocaciones de arcilla. Ocurren con el movimiento de iones, otras substancias y el agua del suelo en movimiento. Este lavado en suspensión de la arcilla se refleja en: pérdida de arcilla en el horizonte A, enriquecimiento en el contenido relativo de arcilla en el horizonte B en relación a los horizontes A y C; la relación arcilla fina: arcilla total es mayor en el horizonte B que en el horizonte A y hay presencia de películas de arcilla en el horizonte B.

Este proceso, donde ha ocurrido es una señal de que ha sucedido ya, un lavado en el suelo, una meteorización media y han pasado bastantes años para que ocurra el mismo. En cada uno de los procesos involucrados, generalmente hay una determinada macrocombinación de los grandes procesos de adición -remoción- translocación y transformaciones y a su vez hay una cierta secuencia en la ocurrencia de ellos.

Así, usualmente se requiere una translo-

cación de los carbonatos, previa a la de arcilla y es luego de esta última, que ocurren más intensamente los fenómenos de segregación de óxidos de hierro en el subsuelo y los intensos desgastes de los minerales primarios y secundarios.

Cada localidad tiene variantes en los factores de formación y, consecuentemente, en la tasa e intensidad de los procesos generales, produciendo características específicas de los suelos. En ello se basa la correlación geográfica de los caracteres de suelo, la cual permite una base lógica para explicar, predecir y en buena parte clasificar esos caracteres y, en general, los suelos de una localidad, una región, el país o la biósfera.

Este proceso ha sido muy importante al sur del país y en la altiplanicie de la mesa (Guárico, Anzoátegui y Monagas). Se encuentran allí suelos muy meteorizados con incremento de arcilla en el horizonte B pero sin películas de arcilla, lo cual sugiere la destrucción de las mismas, originándose suelos con un horizonte kándico.

• Translocación de sesquioxidos. Movimiento hacia el subsuelo ocasionada por:.

a) Translocación de los sesquioxidos junto con la arcilla, como ocurre en los piedemontes andinos y en las mesas orientales.
b) Translocación con la materia orgánica (queluviación) como sucede en la zona andina en áreas arenosas y húmedas (formación Aguardiente) y en muchos páramos; también ocurre en el estado Amazonas y en el estado Bolívar en formaciones arenosas y muy húmedas.

• Gleización (Translocaciones-Transformaciones). Es el proceso principal que ocurre en las áreas con drenaje pobre, donde las condiciones anaeróbicas causan un déficit en los contenidos de oxigeno, lo cual ocasiona la reducción del

hierro férrico a formas ferrosas que producen en suelo colores grises o azul verdosos.

Se puede presentar desde pequeños moteados aislados, hasta una reducción total del perfil, predominando los colores grises en toda la masa del suelo.

Este proceso afecta a los suelos localizados en los llanos occidentales y centrales que se encuentran en posiciones bajas de bajíos y esteros.

• Transformaciones minerales. Quedan como claros reflejos en la mineralogía del suelo, principalmente en la fracción arcilla, son muy estables en el tiempo. Así donde existen las mineralogías gibsíticas, implica gran lavado de Si02 y bases (altas precipitaciones como en el estado Amazonas) o lavado intermedio a alto de Si02 y bases; es evidente en estos casos la presencia de arcillas de tipo caolinita pura o mezclada con micas. En situaciones intermedias y con mineralogías mixtas (vermiculita, montmorillonita, algo de caolín, mica) se producen lavados menores al caso anterior (intermedios a bajos)

• Transformaciones físicas. Ocurren donde predominan los cambios de volumen, en condiciones de suelos con altos contenidos de arcillas expansibles y alternancia de períodos de lluvia-sequia. Ocurre en extensas áreas de Guárico, Barinas, Cojedes y Apure, donde se alternan una estación lluviosa de 6 a 8 meses con una estación seca a comienzos de año de 4 a 6 meses y se forman grietas, estructuras como cuñas y caras de deslizamiento.

•Descomposición y síntesis (Transformación). Es un proceso de transformación físico-química, que está relacionado con la formación de nuevos materiales que van a influir sobre varias características del complejo de intercambio.

En la mayoría de los suelos viejos, gran parte de los minerales primarios (feldespatos, micas, etc.)

han sufrido reordenamientos cristalinos, que han provocado una mineralogía mixta con predominancia de la síntesis de minerales arcillosos secundarios del tipo 2:1, los cuales a su vez, han sido alterados, produciendo nuevos materiales arcillosos del tipo 1:1 y óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio.

Este proceso descrito se sucede en los suelos de mayor edad (Oxisoles). En los Ultisoles y algunos Inceptisoles, es común la presencia de arcillas del tipo 2:1, junto con las arcillas 1:1, que identifica una etapa evolutiva de menor antiguedad y de menor intemperización. Junto con este tipo de arcilla, en estos suelos se pueden conseguir con regularidad en las fracciones de arena y limo; minerales de cuarzo, óxidos de hierro y aluminio y algunos feldespatos. Este tipo de mineralogía es pobre y típica de suelos con alto grado evolutivo, lo que explica la baja capacidad que posee el complejo de intercambio en la mayoría de los suelos que poseen estas características y que se localizan en los llanos centrales y orientales y en los piedemontes llaneros y andinos, así como también al sur del país.

•Pedoturbación (Transformaciones). Consiste en el mezclado del suelo causado principalmente por la fauna del suelo (lombrices, bachacos, etc.) y en menor grado por la pedoturbación física o mecánica; la cual causa la formación de estructura debido a los humedecimientos y secados repetidos junto a la acción de la flora y la fauna.