

GÉNESIS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SUELOS EN LA CUENCA MEDIA-BAJA DEL SANTO DOMINGO. SECTOR LA SOLEDAD. ESTADO BARINAS. VENEZUELA.

Velásquez M. Juan C.

RESUMEN

La Soledad (1200 m.s.n.m.); forma parte de un segmento de la cuenca media-baja del Río Santo Domingo (estados Mérida-Barinas), localizada en el municipio Bolívar, del estado Barinas. Venezuela.

Por razones que se desconocen, no existe un levantamiento de suelos en ésta zona y menos aún estudios pedogénéticos, toda vez que el área es eminentemente agrícola y el cultivo de café tiene gran importancia.

Con la finalidad de comprender el comportamiento evolutivo del medio en lo que a génesis, y distribución de los suelos se refiere, se pretende con el siguiente trabajo estudiar de manera lateral y vertical una toposecuencia, con el propósito de caracterizar el patrón de variación espacial, desde el punto de vista físico - químico, mineralógico, geomorfológico, y entrópico. El mismo fue determinado a partir de una parcela de 7 ha (200 m x 350 m), seleccionada en función de las irregularidades topográficas presentes en la zona.

Para el levantamiento de la información en campo se realizó un muestreo jerárquico (anidado), basado teóricamente en el modelo estadístico de los componentes de varianza. El posterior procesamiento de los datos se efectuó mediante la utilización de la estadística multivariante y la geoestadística (el índice de homogeneidad múltiple y el Geostat, Geoeas, y Variowin) que según Ovalles (1985), citado por Gómez Toro, (1990), son los más apropiados para los estudios espaciales.

La alteración que presentan los materiales parentales a partir de los cambios espontáneos del intemperismo, conducen a un incremento de la entropía del sistema suelo. En la medida que descendemos en altitud, la energía se va perdiendo hasta alcanzar su máxima entropía, sobre todo hacia aquellas zonas donde la precipitación exceda abiertamente a la evapotranspiración potencial, como es el caso de nuestra área. Esta pérdida de energía va a determinar la mayor evolución de los suelos, la cual ha sido evaluada mediante la utilización del Índice de Homogeneidad Múltiple.

Universidad de Los Andes

Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales

Escuela de Geografía

Mérida-Venezuela.

Estudiante de Geografía.

INTRODUCCIÓN

Es posible pensar que las variaciones pedogenéticas que pudiese presentar la zona puedan estar altamente influenciadas por las condiciones climáticas gobernantes, las diferencias en pendientes (posición topográfica), la constitución mineralógica del material parental y las

diferentes transformaciones que éste ha sufrido durante varios ciclos geológicos y bioclimáticos; Sin embargo, sí se considera el razonamiento clásico en la pedología, es decir, que el desarrollo y la distribución de los suelos se presenta en función de la altitud, teniendo suelos de poca evolución (Entisoles - Inceptisoles) a mayores altitudes, y suelos de mayor evolución (Ultisoles - Oxisoles), a medida que descendemos en altitud, estudios realizados por diferentes autores, entre los que destaca Ochoa (1978), en la cuenca del río Torbes; Ochoa y Malagón (1979), en la región del Capáz, no demuestran éste razonamiento.

Al revisar los mencionados trabajos, encontramos que en la cuenca del río Torbes con altitudes de 2000 m.s.n.m., temperaturas de aproximadamente 14 °c y materiales parentales de la formación La Quinta (limolitas y conglomerados), los suelos que deberíamos encontrar tendrían que presentar un grado de evolución bajo o casi nulo, según Soil Taxonomy (1975), entre los que destacan los Entisoles e Inceptisoles. Sin embargo es de notar, que además de encontrar los mencionados suelos, Ochoa pudo detectar la presencia de suelos de mayor evolución clasificados según el mencionado autor como Ultisoles, respondiendo más a la influencia de los materiales originales (goetita y gibsitita), y a los diferentes grados de transformación que éstos han sufrido a través del tiempo, descartando la posibilidad de ser clasificados como paleo - suelos; Igualmente en la región del Capáz podemos conseguir a altitudes superiores a los 2000 m.s.n.m., suelos evolucionados que responden más al tipo de material parental (materiales cretáceos), los cuales han experimentado varios ciclos de transformación, generando la existencia de poca energía que pueda producir algún tipo de cambio.

Es de entender, que a medida que descendemos en altitud, los procesos bioquímicos (acción de la materia verde), van desapareciendo para dar paso a la acción de los procesos geoquímicos (transformación de los materiales a partir de la acción de la temperatura y la precipitación), los cuales pueden estar ejerciendo gran influencia en nuestra área de estudio.

Sí seguimos el razonamiento de Jaimes (1991), a través de la vía entrópica, tenemos que : *La energía es distribuida de forma desigual en la superficie de la tierra, ella es la causa primaria de los cambios que ocurren en los materiales y en la conducción de la formación de los suelos, estos cambios apuntan a un nivelamiento de la redistribución de la energía; Si éste nivelamiento es permanente, todo cambio se detiene, éste es el segundo principio de la termodinámica, ello es conocido como la máxima **entropía** a alcanzar.*

La alteración que experimentan los materiales parentales a partir de los cambios espontáneos del intemperismo, ayudan al incremento de la entropía. Oballos (1995), fundamentado en ésta ley demostró que el razonamiento tradicional o clásico de la pedología no podía ser utilizado para toda interpretación de los suelos, por lo que éstos principios no demostraban su verdadera evolución. El mencionado autor señala que la entropía final de los minerales se había alcanzado en tiempos pasados, por lo que la energía existente en la actualidad no es suficiente como para producir una nueva transformación de los materiales. La pregunta es : ¿ Se cumple éste razonamiento en nuestra área de estudio ?.

OBJETIVOS

GENERAL :

Estudiar la génesis y distribución de los suelos en la cuenca media - baja del Santo Domingo, sector La Soledad (estado Barinas), con fines multidisciplinarios y ambientales.

ESPECÍFICOS :

- Estudiar de manera lateral y vertical una toposecuencia seleccionada en el área de estudio, desde el punto de vista físico-químico, mineralógico y geomorfológico.
- Estudiar la variabilidad espacial de los suelos y de las propiedades físicas y químicas que los caractericen.
- Estudiar el comportamiento de los suelos desde el punto de vista entrópico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó una toposecuencia, ordenada y sistematizada en relación a criterios topográficos, diferencias en vegetación, litología, etc., presentes en el área de estudio, tomando en consideración las variaciones verticales (diferencias en horizontes entre un suelo y otro en profundidad), como las variaciones horizontales o laterales (diferencias entre un suelo y otro a lo largo de la secuencia).

METODOLOGÍA DE CAMPO:

Se caracterizó el patrón de variación espacial en una parcela de 7 ha (200 m x 350 m), considerada a partir de las irregularidades topográficas presentes en la zona, y con una orientación Norte y Este. La selección de los puntos a muestrear se hizo mediante un muestreo jerárquico (anidado), basado teóricamente en el modelo estadístico de los componentes de varianza.

Se seleccionó el número mínimo de niveles permitidos (4), para poder determinar la persistencia en el cambio de pendiente del variograma originado. (Ovalles, 1988). Se utilizaron (4) puntos de muestreo en el primer nivel y dos replicaciones en cada uno de los niveles siguientes, para tener un total de 32 puntos por muestrear. Los cuatro puntos de muestreo del primer nivel fueron ubicados en la intersección de las cuadrículas (50 m), siendo el primer punto localizado al azar para poder así evitar la introducción de un sesgo subjetivo en la muestra. Los puntos restantes de los demás niveles fueron ubicados a distancias previamente seleccionadas de 6.25, 12.50, 25 y 50 m., atendiendo las posibles variaciones en el área. Para la selección de cada punto se estimó una dirección, seleccionada al azar, y siguiendo la rosa de los vientos a partir de un diagrama de ubicación para cada nivel. En cada punto de muestreo se realizó una perforación con barreno para medir las características físicas y químicas antes mencionadas.

METODOLOGÍA DE LABORATORIO :

Textura : Método clásico del Hidrómetro Bouyoucos (IGAC, 1973)

Retención de humedad : Método gravimétrico, determinado a 1/3 y 15 atmósfera de tensión.

Determinación del color : Tabla de colores Munssell. (IGAC, 1973)

pH : Método potenciométrico (IGAC, 1973) en una proporción 1:2.

Materia orgánica - Carbono orgánico : Método de Walkley - Black (Soils Service.1976).

Nitrógeno: método Micro - Kjeldahl modificado por Winkler, (Soils Service.1976).

Determinación de las bases cambiables y capacidad de intercambio de cationes : Método de extracción en acetato de amonio 1N, pH 7 (IGAC, 1973), y el espectrofotómetro de absorción atómica.

METODOLOGÍA DE OFICINA :

Se utilizaron métodos de la estadística multivariante y la geoestadística para estimar la variabilidad espacial de las propiedades de los suelos. Se utilizaron programas como el GEOESTAT (Vagroep Fysische Geografie, Ru Utrecht, 1985), VARIOWIN (University of Lausanne - Switzerland,1994. versión 2.3) y GEOEAS (Geostatistical Enviromental Assessment Software, version 1.2.1), por lo que se necesitó elaborar un archivo en forma de matriz, en la cual las columnas se correspondieron a las características del suelo (variables), y las filas a los puntos de muestreo, ordenados secuencialmente.

Los resultados fueron representados básicamente a través de los variogramas (varianza vs. distancia) y el método de interpolación llamado Kriging (Burgess y Webster, 1980; Webster, 1985, citado por Oballes, 1995). La elaboración del mapa topográfico y la representación espacial de cada propiedad, se elaboró a partir de la utilización del programa SURFER bajo Windows (Surface Mapping System, Golden Software, Inc. 1994, versión 5.00).

Se empleó el índice de homogeneidad múltiple propuesto por Jaimes (1988), para ver el grado de homogeneidad o heterogeneidad presente en las propiedades de los suelos considerados. Para la determinación de éste índice se utilizó el programa en turbo-basic elaborado por Daza y Elizalde (1988), para poder evaluar de manera aproximada el grado de evolución y complejidad del sistema. El programa se encarga de estandarizar los datos originales, genera una matriz de correlación, calcula los valores propios, el porcentaje de contribución de cada uno de estos valores con respecto a la varianza total, y los vectores propios. Las observaciones (filas) fueron ordenadas tomando como criterio aquellas con 20% o más de fracción arcillosa (textura franco arcillosa a arcillosa) y menores al 20% (franco arenoso y arenoso).

Se realizaron una serie de combinaciones interactivas entre conjuntos de variables y observaciones, generadas a partir de la matriz original en matrices de diferentes tamaños, con variaciones aleatorias tanto en columnas (variables), como en filas (observaciones) y 25 repeticiones del cálculo del IHM para cada tamaño de matriz, con el propósito de cumplir con las exigencias en cuanto a la representatividad de los valores.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

GEOLOGÍA

Según el Léxico Estratigráfico de Venezuela (1970),el sector de La Soledad presenta materiales pertenecientes a formaciones tales como :

Fm. Río Negro : Perteneciente al terciario (Eoceno Superior). Este unidad aflora en gran parte del occidente del país. Presenta la predominancia de areniscas blancas, generalmente de grano grueso, conglomerados heterogéneos, arcillas y lutitas variables, típicamente en tonos brillantes de amarillo, rojo y morado. De acuerdo con su fuente de sedimentación, las areniscas varían desde muy cuarzosas a muy feldespáticas (Van Andel, 1958).

Grupo Cogollo : Correspondiente al período Aptiense - Albiense del cretáceo inferior. Su litología presenta la predominancia de calizas macizas en la base, seguida por un intervalo de areniscas y calizas interestratificadas, y una caliza superior caracterizada por su abundante contenido de grandes ostiones (Sutton, 1946).

Fm. La Luna : Esta unidad se corresponde con el período Cenomantiense - Coniaciense del cretáceo superior, con presencia de calizas y lutitas calcáreas fétidas, delgadamente estratificadas y laminadas, densas de color gris oscuro a negro. Las grandes concreciones elipsoidales a discoidales son características en esta formación. En la región Táchira - Barinas encontramos la llamada lutita de la Morita (Renz 1959).

Fm. Colón - Mito Juan : Correspondiente al cretáceo superior, donde encontramos la predominancia de lutitas oscuras interestratificadas con algunas capas delgadas de areniscas, y calizas denominadas localmente denominadas como *Miembro Río de Oro*.(Kuyll et. al. 1955).

Fm. Gobernador : Del terciario, eoceno medio y superior. La unidad se compone principalmente de areniscas cuarzosas de grano fino a grueso y localmente conglomeráticas, de color gris claro a pardo, en capas medianas a gruesas con estratificación cruzada, intercaladas con lutitas carbonáceas y calcáreas de color gris claro y limolitas claras en un 20 %.

RELIEVE

En el área de estudio predomina un relieve quebrado o accidentado, típica de los sistemas montañosos, con la existencia de pronunciadas vertientes que conforman el amplio valle del Santo Domingo. Esto trae como consecuencia el poco aprovechamiento de las tierras, sobre todo hacia los sectores con pendientes abruptas. En las zonas ribereñas encontramos una topografía caracterizada por sistemas deposicionales que datan del cuaternario, (conos, terrazas, y depósitos fluviales).

ZONA DE VIDA Y VEGETACIÓN

Tomando como referencia el trabajo realizado por Ewel y Madriz (1968), sobre las zonas de vida de Venezuela según la clasificación de Holdridge (1947), se tiene que en el área de la Soledad, la zona de vida predominante va a ser la correspondiente al **Bosque húmedo Tropical**, con límites extremos de promedio anual de precipitación entre los 1800 y 3800 mm. La temperatura del aire o calor cercano a la superficie de la tierra, tiende a estar alrededor de los 24°C, en promedio anual. La relación de evapotranspiración potencial varía para esta zona, entre 0.45 y 0.90, es decir que la cantidad de agua evapotranspirada anualmente puede variar entre casi la mitad o igual a la precipitación. El balance hídrico de esta zona causa uno de los problemas más graves en el área, especialmente en las partes más lluviosas, como lo es, la lixiviación del suelo. La temperatura, la cual depende directamente de la altitud, presenta una acción compleja sobre el sistema, teniendo que su

comportamiento acelera, junto con la precipitación, la tasa de descomposición de la biomasa, materiales y minerales.

Como bosque primario encontramos una exuberante vegetación, que en algunos casos reflejan su gran altura. En el bosque virgen o remanentes de éste, se puede apreciar árboles dominantes que pueden alcanzar alturas hasta más de cuarenta metros y diámetros que en muchas ocasiones exceden los 80 cm. (Ewel y Madriz, 1968). Como regeneración vigorosa. Tenemos la presencia de gramíneas, y otras numerosa plantas herbáceas que forman una masa vegetal alrededor de un metro de altura.(Ewel y Madriz, 1968). Encontramos en nuestra zona de vida la presencia de pequeños árboles, entre los cuales domina el Yagrumo (*Secropia spp.*), la palma “coroba” (*Scheelea spp.*), las cuales se ven dispersas sobre las laderas. Además de la vegetación antes descrita, encontramos la predominancia de cultivos, tales como, el plátano, cambur, café, algunos cítricos, entre otros.

TEMPERATURA DEL SUELO.

La acción de la temperatura en los diferentes sectores del paisaje presenta una gran incidencia sobre las variaciones espaciales, características, y propiedades de los suelos, tanto así, que se ha podido determinar pisos altitudinales a partir de los rangos de temperatura existente en el suelo a 50 cm de profundidad, o la del aire (Jaimes y Elizade, 1990). Según Sánchez y Bermúdez (1991), la temperatura del suelo corresponde en forma directa a los valores de la radiación solar recibida en cada lugar y es afectada sensiblemente por la altura, la topografía local, y el tipo de textura presente en los suelos. Tomando en consideración estos parámetros, la temperatura del suelo puede llegar a ser bastante diferente a la del aire.

Para Comerma y Sánchez (citado por Sánchez y Bermudez, 1991), el rango de temperatura entre los 1200 m y el nivel del mar es muy amplio, desde el punto de vista ecológico y agrícola. Temperaturas de suelo superiores a los 28 °c se registran a partir de los 600 m hasta el nivel del mar. En la zona superior inmediata (600 - 1200 m.s.n.m.), la temperatura del suelo fluctúa entre 22 y 28 °C. Según los autores, el nivel de referencia para considerar la temperatura del suelo es a la profundidad de 50 cm. A profundidades mayores los valores de temperatura tienden a ser constantes.

Para nuestra área de estudio los niveles de diferencia entre la temperatura del aire y la del suelo deberían ser (según los mencionados autores) de 3.5 °C, es decir que si la temperatura ambiente de la localidad es de 24 °C, la temperatura del suelo debería estar alrededor de los 27.5 °C, parámetro que nos permitiría, junto con la precipitación, interpretar mejor los procesos geoquímicos que afectan a los suelos presentes.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS SUELOS

Los suelos son considerados por varios autores como cuerpos naturales que resultan de la interacción del las condiciones climáticas y los organismos sobre el material parental a través del tiempo; Esto se conoce como el modelo general de pedogénesis. (Jenny, 1941).

A partir de esta interacción podemos encontrar algunos procesos formadores, que en su complejidad dan lugar a la variabilidad espacial y temporal presente en el sistema suelo.(Ovalles, 1985); Por otra parte, la influencia de la distancia o de la variación espacial

de un punto (muestra), corresponde a un parámetro poco utilizado hasta ahora (Yost et al., 1982a). En este sentido, se ha incorporado en los estudios de suelo el factor distancia, basados en los métodos de análisis de varianza, lo cual nos va a medir la relación existente entre la distancia y la variación (varianza) de los suelos (Campbell, 1978).

Según Yost et al. (1982a), cuando los datos son recolectados en el campo y la localización o punto donde se toma la muestra da información sobre los puntos que no son muestreados, se dice que las observaciones son espacialmente dependientes, es decir, que cada punto muestreado presenta un área de influencia que determina de alguna manera las características de sus vecinos no muestreados.

MUESTREO Y ANÁLISIS DE VARIANZA ANIDADOS

El uso de esquemas de muestreo y análisis de varianza anidados en el área de suelo no es nuevo. En el año 1937 Youden y Mhlich (Oliver, 1989) utilizaron este tipo de muestreo y análisis para estimar los componentes de la varianza del pH del suelo, a distancias consideradas de 3, 30, 300 y 1600 m. En 1945 Rigney y Reed, citado por Ovalles F. (1992), lo utilizaron para separar los diferentes componentes que contribuían a la varianza total, con el fin de determinar la heterogeneidad de los suelos, para así determinar la escala de variación que pudiera o no presentar el área de estudio.

Según Ovalles y Collins (1986), citado por Ovalles F. (1992), el muestreo y análisis de varianza anidados han permitido evaluar la variación de los suelos a partir de la contribución a la varianza total debida a la variación existente entre posiciones geomorfológicas, variación entre polipedones dentro de las posiciones geomorfológicas, variación entre pedones dentro de los polipedones y variación entre horizontes dentro de pedones. También han permitido complementar la selección de características diferenciales que contribuyen a la variabilidad de los suelos.

Otros autores tales como Burrough (1986), Oliver y Webster (1986), Citados por Ovalles (1992), señalan que el muestreo anidado y su respectivo análisis de varianza han permitido determinar la distancia óptima para la realización del muestreo sistemático, con la posterior elaboración de los semivariogramas estables.

Un diseño de un muestreo anidado con repeticiones en cada nivel proporciona una buena estimación de los componentes de varianza. Una vez realizados los respectivos análisis de varianza, sus componentes pueden ser fácilmente interpretados a partir de la elaboración de un variograma o cualquier otro medio gráfico. (Miesh, 1975).

Según Ovalles (1992) la representatividad de la muestra depende de la variabilidad de los suelos existentes en el área de estudio, teniendo que mientras los suelos sean más homogéneos, la representatividad será mayor. Las muestras se toman bajo el supuesto que las características medidas en un punto (en nuestro caso, cada barreno) representan las características de las áreas cercanas no muestreadas. La certeza de este supuesto radica en función del grado de dependencia espacial que existen entre las observaciones.

ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO

La geoestadística nace en la minería Krige en 1966, y se diferencia de la estadística clásica en que los métodos utilizados por ésta última no son los suficientemente capaces de procesar e interpretar correctamente la naturaleza espacial de los datos, al contrario de la

geoestadística que nos puede suministrar las herramientas de trabajo necesarias para poder dar una descripción adecuada de la variación espacial, considerando la localización o posición individual de cada muestra (Viera et al., 1981); Así, que la geoestadística se centra en el estudio de los fenómenos naturales espacialmente distribuidos (Journel y Huijbregts, 1978 citado por Ovalles 1992).

Según Webster y Oliver, (1990), la geoestadística nos permite estimar los atributos o propiedades de los suelos de una manera más eficaz y precisa para luego conformar un muestreo óptimo en términos de costo.

Los análisis geoestadísticos reposan sobre la teoría de las **variables regionalizadas**, que no son más que una función que describe un fenómeno natural geográficamente distribuido (Matheron, 1963, Olea, 1977, citado por Ovalles,1992), los cuales se instrumentan a partir de los semivariogramas y los métodos de predicción e interpolación comúnmente llamado **Kriging** (Burgess y Webster, 1980; Webster, 1985, citado por Ovalles, 1992).

La dependencia espacial o tasa de cambio promedio de la variable regionalizada puede ser estimada a partir de la varianza o semivarianza, lo que puede expresar la medida de similitud que puede existir entre observaciones situadas a determinada distancia. Mientras más similares sean las observaciones, menor será la varianza o semivarianza. Estos cambios son observados en los variogramas o semivariogramas generados.

ÍNDICE DE HOMOGENEIDAD MÚLTIPLE

Según Oballos (1995), si se toma en cuenta el funcionamiento termodinámico (a través de la entropía) del sistema pedológico se pueden obtener conclusiones sobre el grado de homogeneidad presente en el mismo, pudiendo además, establecer una serie de consideraciones en cuanto al desarrollo o evolución de todo el medio en lo que a suelos se refiere. En 1988, Jaimes (citado por oballos, 1995), crea un índice de homogeneidad múltiple, que resulta en función proporcional al valor de la entropía propia, existente en el sistema. El autor se basó en la utilización del análisis de los componentes principales, donde lo define “como el producto de los valores propios superiores o iguales a la unidad”. Según Jaimes y Elizade (1991), lo que se persigue con éste índice es poder cuantificar el grado de homogeneidad múltiple de los sistemas, visto como un todo (ecosistema), dado que la misma puede estar orientada a partir de el grado de simplicidad estructural, y los flujos e intercambios de energía dentro del sistema, lo que va a determinar el desarrollo o comportamiento evolutivo del medio. En este sentido, la homogeneidad múltiple se considera como una característica de estado termodinámico. que puede expresar el grado de similitud interna de los sistemas, como parte de un todo.

El criterio considerado para seleccionar los valores propios mayores o iguales a la unidad radica en que los ensayos que se han realizado, se incluyen operaciones de tipo factorial o multiplicativas con dicho parámetro, por lo que cantidades inferiores a este valor generan disminuciones o reducciones en los resultados que se obtengan. Cada uno de los componentes principales está representado por un valor propio donde el valor más alto nos demuestra la máxima variabilidad del sistema asociado a dicho componente (Jaimes y Elizade, 1991. En éste sentido, el primer valor propio, mas el segundo, mas el p-ésimo componente , contribuyen a explicar la variabilidad total del sistema. Estadísticamente, los últimos componentes se consideran, a partir determinado valor, como descartables o despreciados para los fines de interpretación (Jaimes y Elizade, 1991).

Los vectores propios se generan a partir de cada valor propio, por cada variable presente en la matriz de datos, por lo que que ambos parámetros deberán ser conformables entre sí. Según Jaimes y Elizade (1991) la elección del índice más adecuado parte de la premisa en la cual tenemos un sistema más homogéneo “cuya variabilidad es explicada por un bajo número de componentes principales, los cuales son responsables de proporciones similares de la variación, es decir, que sus valores absolutos son semejantes”. Esta premisa es comprobada a partir de el “Producto Acumulado de Los Valores Propios”. Por otra parte, a partir del uso de la matriz de vectores propios, se puede conocer el “Porcentaje de Contribución” de los atributos a la homogeneidad múltiple de los sistemas. (Jaimes y Elizade, 1991). Con éstas operaciones se pueden establecer la(s) variable(s) que aportan en menor o mayor cantidad a la homogeneidad múltiple del sistema a estudiar.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El espesor entre horizontes varía entre los 8cm y 87 cm, pero en general, el área de estudio presenta un espesor tipo de 24 cm, lo que supone la existencia de suelos relativamente jóvenes. Con lo que respecta a **la textura**, tenemos que en los suelos seleccionados los porcentaje de arena superan el 50 %, los valores de arcilla oscilan entre 12 y 28 %, con predominancia del 20 %, y las cantidades de limo varían entre el 14 y 41 %, siendo el 24 % el de más presencia sobre las observaciones. La clase textural presenta una categoría que va desde franco a franco arenosa, a excepción de algunos suelos que destacan la presencia de una textura Franco arcillo arenosa, es decir, con mayor contenido de arcilla que los anteriores.

El porcentaje de retención de humedad estimada mediante tensiones de 1/3 y 15 bares (atm.), presenta valores comunes del 12 % para 15 atm. y 23 % para 1/3 atm., con porcentajes generales que varían entre 6 - 20 (15 atm.) y 14 - 33 (1/3 atm.). Si tomamos estas variaciones, podemos decir que estos valores son relativamente bajos (14 %), sobre todo para los horizontes arenosos, (coeficiente de correlación $r = -0.624$ para 1/3 atm. y -0.504 para 15 atm.), mientras que en las capas u horizontes donde los porcentajes de arcilla y limo se incrementan, estos valores de retención de humedad también aumentan alrededor del 30% ($r = 0.627$ para arcilla a 1/3 atm y $r = 0.550$ para limo a 15 atm.). Cuando correlacionamos la retención de humedad con los contenidos orgánicos (carbono orgánico), se obtuvo un coeficiente de 0.42, poco significativo, si queremos compararlo con los resultados anteriores; sin embargo el carácter positivo de éste valor nos indica que en la medida que tenemos mayores contenidos orgánicos, la capacidad de retención de humedad del suelo, también será mayor.

El **color** de los suelos existentes presenta un value y croma alrededor de 5, destacando la existencia de suelos amarillentos y rojizos. La predominancia de estos colores en la mayoría de los horizontes (sobre todo los endopedones), va a estar en función del material parental (en su mayoría, lutitas) y los cambios que éste ha sufrido a través del tiempo. En los primeros horizontes (epipedones) podemos encontrar colores más oscuros, con un value y croma que alcanzan valores de 2 , esto debido a la acumulación y descomposición del material verde, que se traduce en considerables contenidos de carbono orgánico, y por consiguiente un oscurecimiento de los horizontes superficiales ($r = -0.673$). Para los endopedones, el color se hace más claro, pudiendo encontrar situaciones donde el value y el croma aumentan alrededor de 7 y 8, respectivamente.

En relación a los **contenidos orgánicos** en los suelos considerados, tenemos que los porcentajes de carbono orgánico y materia orgánica presentan valores en el orden de 3 %. En general, estos contenidos son de bajos a medianos, a excepción de los primeros horizontes (Ah), donde alcanzan valores de 7.50 % para carbono orgánico y 4.34 para materia orgánica , mientras que en los demás horizontes (B y C), estos disminuyen en función de la profundidad, alcanzando cifras de 0.61 y 0.35 respectivamente, respondiendo a la velocidad de acumulación y transformación del material verde, así como a la acción de los microorganismos sobre el sistema, los cuales juegan un papel muy importante en la transferencia de energía, que es utilizada y transformada en el suelo.

La relación carbono-nitrógeno representa un buen indicador para determinar el grado o velocidad de descomposición de la materia orgánica, así como también nos permite inferir en el tipo de humus predominante en el sistema, si lo relacionamos con el pH y el porcentaje de saturación. Teóricamente cuando esta relación está por debajo de 15 , nos demuestra que existe en el complejo una gran actividad orgánica, es decir, que la velocidad de descomposición del material verde a partir de la acción de la temperatura y la precipitación (procesos geoquímicos), así como de la acción de la microfauna, es alta en contraposición con valores mayores a 15, donde esta dinámica se torna más lenta. (Bonneau y Souchier, 1994).

Para el área de estudio la relación C/N oscila alrededor de 10.32 , con valores comunes de 5.79, lo que nos indica la existencia de una relación óptima, que se traduce en un buen dinamismo en cuanto a la velocidad de descomposición de la materia orgánica. Los suelos que experimentan una mayor acción orgánica, por decirlo así, presentan una relación C/N menores a 15, correspondiente a suelos localizados en zonas con pendientes más suaves (1 al 5 %). Los valores más altos (21,58), se encuentran en suelos con pendientes más fuertes (mayores a 45 %), donde la acumulación de materia orgánica es mayor y el proceso de descomposición más lento. En lo que respecta al **tipo de humus**, se puede decir que si se toma en cuenta las características del pH, la relación C/N y el porcentaje de saturación de bases en los horizontes superficiales (Ah), tendríamos una taxonomía correspondiente al **Mull oligotrofo** (I' Association Française pour l' Etude des Sols, 1994). Las características generales de este tipo de humus están dadas por un pH en el orden de 5 (fuertemente ácido), con porcentajes de saturación de bases del 20 al 70 % y una relación C/N que oscila entre el 15 y el 20 % para los horizontes superficiales.

En relación al **nitrógeno**, se puede decir que sus valores presentan valores comunes entre horizontes de 0,11%, lo cuales son considerados como contenidos bajos. Estos disminuyen en función de la profundidad, pudiendo encontrar valores de 0,06 %, en los horizontes más profundos, mientras que en los primeros horizontes, donde los contenidos de carbono orgánico son mayores, los porcentajes de nitrógeno aumentan, hasta 0,34 %. ($r = 0,719$). Para el área de estudio, esta relación es expresada en un 79,4 %.

En cuanto al **pH** podemos resaltar una alta acidez, destacando valores 4,75 en agua y 3,64 en Kcl, colocando el área con pH fuertemente ácido. La variación entre horizontes de esta propiedad es baja, obteniendo máximos valores de 5,62 (H₂O) y 4,04 (Kcl), mientras que los valores más bajos los encontramos hasta 4,11 y 3,10, respectivamente. La diferencia entre el pH en H₂O y Kcl se encuentra entre una o dos unidades, lo que sugiere la presencia de una considerable acidez potencial en todo el sistema. En nuestro caso podemos suponer que la presencia de un pH fuertemente ácido se deba más a la acción de los procesos geoquímicos sobre el material parental, que a otros factores, considerando que tenemos una

zona donde los regímenes de precipitación y temperatura son adecuados para que se produzca una transformación acelerada de los materiales. El coeficiente de correlación de -0,50 entre el pH y la acidez, nos indica que en la medida que exista en el sistema una mayor acidez total, el pH será menor, es decir más ácido.

La acidez presente en el sistema nos destaca la deficiencia de bases, así como también la sustitución de las mismas por iones de hidrógeno ($r = 0,589$). Esta acidez puede ser ocasionada por varios factores, entre los cuales tenemos : Una buena acumulación de materia orgánica, la presencia de altos contenidos y tipo de arcilla, lavado o remoción de las mismas, la existencia de un material parental fuertemente degradado a partir de la acción de los procesos geoquímicos que han afectado al sistema a través del tiempo, o simplemente se puede deducir que es producto de una “herencia genética”, donde el material parental de por sí, es pobre en bases. Para La Soledad, los niveles de acidez pueden ser atribuidos a la remoción de bases por lavado y absorción de las plantas, y a la “herencia genética” que han recibido los suelos a partir del material parental, lo cual es comprobado a partir de los bajos contenidos de bases (20 %) que presentan los horizontes C.

Si establecemos correlaciones entre los niveles de acidez, los contenidos orgánicos, y el % de arcilla, tenemos que estos valores presentan coeficientes bajos ($r = 0,447$ para carbono orgánico y $0,164$ para la arcilla, con respecto a la acidez total). Esta afirmación es reforzada al establecer una regresión múltiple entre la acidez total y las dos propiedades antes descritas, teniendo que el carbono orgánico y los contenidos de arcilla, por horizonte, explican solo el 17,2 % de la acidez total existente en el sistema.

Considerando los valores de acidez total , se puede clasificar al sistema como un medio que va desde muy ácido a ácido, con valores promedios de 4,46 meq./100g de suelo, encontrando los máximos correspondientes a 9,29 y mínimos de 0,95 meq./100 gr de suelo. A partir de lo anterior podemos decir que estamos en presencia de suelos en constante transformación, es decir, que la energía es suficiente como para que los mismos estén experimentando cambios significativos, sufriendo procesos avanzados de meteorización, los cuales los pueden llevar a un máximo estado de madurez o sensibilidad, a tal punto que alcancen su máxima entropía.

El aluminio intercambiable presenta valores comunes de 4,52 meq./100g de suelo, con valores máximos de 8,10 meq/ 100 gr. de suelo, y mínimos de 0,71 meq / 100 gr. de suelo. En los suelos seleccionados, el Al intercambiable tiende a disminuir en función de la profundidad, salvo en algunos casos donde se experimenta un aumento en una o dos unidades. En los horizontes superficiales, estos valores están influenciados principalmente por la acción de la materia orgánica, principalmente. Cuando las concentraciones de Al intercambiable son altas (mayores a 3 meq./100g de suelo), sugieren condiciones fuertemente ácidas, en las cuales se podrían presentar problemas de toxicidad de elementos como el Al, Fe, y Mn. bajo estas condiciones, estos elementos se vuelven más solubles, hasta alcanzar concentraciones o niveles altos. (Abruña et .al, 1974, Sánchez, 1974, Sánchez y Salinas, 1983, citado por Jaimes et .al, 1994).

Los contenidos de Aluminio muestran correlaciones altamente significativas con el porcentaje de saturación de las bases ($r = - 0,715$) y los contenidos de materia orgánica ($r = 0,429$), mientras que la arcilla no parece jugar un papel muy importante ($r = 0,118$).

La capacidad de intercambio catiónico es baja de manera general (9,46 me/100 gr. de suelo). En horizontes donde los contenidos de materia orgánica y arcilla son importantes,

los valores de la C.I.C. aumentan hasta 22,05 me/100 gr. de suelo. Los valores presentes de C.I.C. en el sistema demuestran su baja capacidad para retener los cationes de cambio originados de la meteorización, lo que puede generar pérdidas por lixiviación.

El porcentaje de saturación de las bases presenta valores comunes, entre horizontes, de 19,69 % (\cong 20 %), con rangos que van desde 6,18 % y 54,34 %, lo que determina una gran variabilidad de esta propiedad en todo el complejo. La sumatoria de las bases intercambiables (Ca + Mg + Na + K) es de 1,63 meq./100 gr. de suelo, con un nivel de concentración bajo. Esta deficiencia de bases explica en gran medida la existencia de un medio netamente ácido.

Al analizar la **variabilidad espacial** de algunas de las propiedades físicas y químicas de los suelos seleccionados a partir de los variogramas generados se pudo determinar un rango de variación espacial para todas las variables comprendido entre los 6,25 m y 12,50 m. en el cual se encuentra la menor varianza para cada propiedad, con un porcentaje de contribución que en algunos casos supera el 75 %. Se observó una mayor variabilidad para las propiedades químicas con relación a las físicas, por ejemplo: El pH presentó un rango de variación aproximado de 6 m, mientras que la granulometría, particularmente los porcentajes de arena y de arcilla mostraron cambios significativos de varianza a los 12 m aproximadamente.

Teóricamente, el Índice de **Homogeneidad Múltiple** funge como un buen indicador del estado termodinámico del sistema suelo. En la medida que sus valores son mayores, sugiere la existencia de una mayor homogeneidad múltiple, y por consiguiente, un relativo estado de equilibrio en lo que a desarrollo pedogenético se refiere, hasta alcanzar la máxima entropía en el sistema.

En lo que respecta al índice de homogeneidad para el área de estudio, se pudo observar que existe una mayor homogeneidad (IHM = 245,12) en los suelos con mayor contenido de arcilla, (>20%) en relación a los suelos con menores contenidos (IHM= 161,68).

Este comportamiento en los suelos (Entisoles e Inceptisoles) denotan cambios espontáneos a partir de la acción de los procesos geoquímicos que en gran parte determinan una relativa heterogeneidad en el sistema, creando un eventual estado de desequilibrio en lo que al tema se refiere; sin embargo, si observamos las diferencias entre los índices, se puede decir que estas no son muy amplias, dado que en general los suelos presentes en la zona tienen un desarrollo genético bajo. La diferencia podría estar marcada por los Inceptisoles, con un grado de evolución mayor que los Entisoles, teniendo en cuenta que en zonas de montaña la contribución a una mayor homogeneidad o heterogeneidad en el sistema está limitada por otros factores que entran en juego como por ejemplo, la pendiente, la posición del terreno, y los procesos erosivos, entre otros.

El comportamiento termodinámico en el sistema determina la presencia de suelos en constante transformación que llegaran a un estado donde la energía ya no será suficiente como para producir nuevos cambios en los mismos, al punto de alcanzar la máxima entropía existente.

BIBLIOGRAFÍA

- BONNEA, M ; SOUCHIER B. 1994.** Pédologie. Part 2. Constituants et propriétés du sol. 10^{ma} de. Paris, Francia. 210 p.
- BUSACCA, A. 1987.** Pedogenesis of a chronosequence in the Sacramento Valley, California, U.S.A.
I. Application of a soil development index. Geoderma, vol . 41, 123 - 148 p.
- CURI, N. ; FRANZMEJER D. P.1984.** Toposequence of oxisol from the Central Plateau of Brazil. Soil SCI. SOC.Am.J. Vol 48 . 341 - 346 p.
- EWEL ; MADRIZ. 1968,** Zonas de vida de Venezuela. según la clasificación de Holdridge, 1947. Venezuela. 215p.
- GÓMEZ, J. 1990.** Variabilidad espacial de los suelos del instituto de la uva de la UCLA. Tesis de maestría. Postgrado en Ciencias de Suelo. Agronomía. Maracay.
- JAIMES, E. et al. 1994.** Curso de actualización sobre caracterización de suelo. Universidad de Los Andes. Nucleo Universitario “ Rafael Rangel” Coordinación de Investigación y Postgrado. Grupo de Investigación de Suelos y Aguas. Trujillo - Venezuela. 255 p.
- JAIMES, E ; ELIZADE G. 1991.** Determinación de un índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos montañosos. IIAP. Instituto de Investigaciones agropecuarias. Vol 6. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida - Venezuela. 103 p.
- M.AC. 1966.** Estudio agrológico. Lagunillas - San Juan. Clasificación de suelos.
- MALAGÓN D.1981.** Estudio preliminar de suelos. Sub cuenca del Río Aracay. CIDIAT.
- MALAGÓN, D.1982.** Evolución de los suelos en el páramo andino.(NE. del Edo. Mérida).CIDIAT.
- MA.R.N. - CORPOANDES. 1978.** Recursos Edáficos de Mérida.
- MARQUEZ, O. 1985.** Génesis de una secuencia de suelos en el bosque experimental San Eusebio, La Carbonera - Edo. Mérida. Trabajo de ascenso. FCF. U.L.A.
- MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS . 1970.** Léxico estratigráfico de Venezuela. 2^{da} ed. Caracas - Venezuela 740 p.
- OBALLOS, J. 1995.** Caracterización des sols de la Región de Las Cruces - Santa Elena de Arenales. Mérida - Venezuela. These de Doctorat. Université de Toulouse. Francia.150 p.
- OCHOA, G. 1978.** Génesis , clasificación y aptitud para el uso agrícola en algunos suelos de la formación La Quinta en la Cuenca del Río Torbes (Táchira) y La Trampa (Mérida). Universidad de Los Andes. FCF.120 p.
- OCHOA, G ; MALAGON, D. 1979.** Atlas de Microscopía Electrónica en suelos de Venezuela Región de la Cordillera de Mérida. 100 - 3500 msnm. Mérida. U.L. A - CIDIAT. 85 p.
- OCHOA, G ; MALAGON, D. 1981.** Génesis de algunos suelos en la cuenca media y alta del Río Motatán. Estados Mérida y Trujillo. CIDIAT. 215 p.
- OCHOA, G. 1983.** Génesis de suelos. Universidad de Los Andes Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales. Mérida-Venezuela. 180 p.
- OVALLES, F. 1992.** Metodología para determinar la superficie representada por muestras tomadas con fines de fertilidad. FONAIAP. Centro de investigaciones Agropecuarias. Serie B. Maracay - Venezuela.44 p.

PLA, L. 1986. Análisis multivariado : Métodos de componentes principales. Sec. Gen. OEA. Programa regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington. D.C. 89 p.

SÁNCHEZ J . ; BERMUDEZ H. 1991. Régimen térmico del suelo en Venezuela. FONAIAP - CENIAP, Instituto de Investigaciones Agrícolas Generales. Serie A. N. 7. 48 p.

SISTEMAS AMBIENTALES VENEZOLANOS. 1983. Región de Los Andes : Estado Barinas. Proyecto Ven / 79 / 001. Caracas - Venezuela 353 p.

SOIL SURVEY STAFF. 1975. Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey. U. S. D. A. SCS. Agric Handbook N^o 436.

VILA, M. 1963. Aspectos geográficos del Estado Barinas. Corporación Venezolana de Fomento. Caracas Venezuela. 227 p.