

# CARACTERIZACION QUIMICA Y FISICA DE LOS SUELOS AGROFORESTALES DE LA ZONA ALTA DE CORDOBA

## PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE HIGHLAND FOREST SOILS OF CORDOBA

Enrique Miguel Combatt<sup>1</sup>, Guillermo Martinez<sup>2</sup>, Janer Polo<sup>3</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de identificar las características químicas y fertilidad de los suelos forestales en los Municipios Tierralta, Valencia y Montelibano del Departamento de Córdoba, donde se estudiaron las características químicas de los suelos con vocación forestal. Mediante una calicata se determinaron las propiedades físicas y se colectaron muestras de suelo, además, se procesaron 217 análisis químicos del laboratorio de suelos de la Universidad de Córdoba realizados en la zonas de estudio. Las metodologías analíticas utilizadas en el laboratorio fueron las recomendadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Las variables químicas estudiadas fueron: reacción del suelo (pH); materia orgánica (M.O); azufre (S); fósforo (P); calcio (Ca); magnesio (Mg); potasio (K), capacidad de intercambio catiónico (CIC); aluminio (Al), y los elementos menores zinc (Zn); hierro (Fe); cobre (Cu) y manganeso (Mn). Para cada variable en estudio se llevó a cabo una prueba de comparación múltiple de Kruskal y Wallis, acompañada con la prueba de Dunn. Los análisis estadísticos indicaron que existen diferencias altamente significativas entre localidades y entre elementos nutricionales. Con respecto a las variables químicas se encontró bajo contenido nutricional en los municipios de Tierralta y Montelibano con reacción ácida menor a 5.5, demostrando la marginalidad de estos suelos. Los elementos esenciales como fósforo y azufre no tienen concentraciones promedio mayores de 10 ppm y la disponibilidad de nitrógeno por parte de materia orgánica es insuficiente por encontrarse menor de 2%. Los microelementos cobre y zinc son deficientes y manganeso en concentraciones adecuadas y el hierro es excesivo.

**Palabras clave:** Forestal, fertilidad, capacidad de intercambio.

### ABSTRACT

The present study was carried out with the objective of determining the physical-chemical characteristics and fertility of the forest soils in the Municipalities of Tierralta, Valencia and Montelibano in the Córdoba Department. Physical and chemical characteristics were studied collecting soil samples from the areas and using 217 results of previous chemical analyses present in the University of Córdoba soil lab database;

---

<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Departamento de Ingeniería Agronómica y Desarrollo Rural, Universidad de Córdoba. [ecombatt@sinu.unicordoba.edu.co](mailto:ecombatt@sinu.unicordoba.edu.co). Contribución del Grupo de Cultivos Tropicales de Climas Cálido.

<sup>2</sup>Licenciado en Matemáticas, M.Sc. Docente Departamento de Matemáticas y Estadísticas. Universidad de Córdoba.

<sup>3</sup>Ingeniero Agrónomo, Auxiliar Investigador en Cultivos Forestales, Universidad de Córdoba

the analytic methodologies were according to Agustín Codazzi Geographical Institute. The chemical variables were: pH, organic matter (OM), sulfur (S), phosphorus (P), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), exchange capacity (EC), aluminum (Al), zinc (Zn), iron (Fe), copper (Cu) and manganese (Mn). For each variable a Kruskal multiple comparison test and Wallis, with Dunn, test were performed. The statistical analyses showed significant differences among the areas with respect to chemical characteristics. Low nutritional levels were found in Tierralta and Montelibano with pH of 5.5, an indication of low fertility soils. Elements such as P and S occurred in lower than average (10 ppm) levels and nitrogen availability from the OM was insufficient (<2%). Minor elements such as Cu and Zn are deficient while Mn is in fair levels and Fe quantities are excessive.

**Key Words:** Forestry, fertility, exchange capacity.

## INTRODUCCION

El actual gobierno nacional ha declarado a Colombia como país con aptitud forestal, siendo el Departamento de Córdoba importante en este propósito. El Departamento cuenta con una superficie continental total de 2'502.000 ha y posee el 45% del territorio con aptitud forestal, es decir, 1'128.893 ha, que por sus características biológicas y ecológicas, podrían estar cubiertas de bosques; de esta área potencial, solo el 4.7% se utiliza para la actividad forestal. Se estima que la superficie de bosque húmedo y seco tropical en el Departamento de Córdoba es de aproximadamente 360000 ha, y representa el 0.31% del total de la superficie de los bosques naturales existente en el país y el 43.2% de la reservas de la Costa Caribe caracterizándose por su gran heterogeneidad con cerca de 200 especies maderables (CONIF, 1998).

Con la reciente intensificación de la actividad reforestadora en los países tropicales americanos, se han abierto nuevos caminos para la investigación del suelo y su relación con el desarrollo de las especies forestales. Un camino seguro pero difícil es investigar las propiedades particulares del suelo de cada sitio y su relación con las exigencias nutricionales de cada especie. Según Jaramillo (2002) las propiedades del suelo son

variables debido a la acción e interacción de los factores de su formación, por lo que con uso racional y adecuado permite seleccionar adecuadamente las medidas más apropiadas de manejo con el objeto de lograr máxima rentabilidad (Wadsworth, 1997).

La necesidad de un estudio por separado del suelo forestal a veces se ha puesto en tela de juicio, por la suposición de que este no es de ninguna manera diferente a los suelos dedicados a otras actividades agrícolas, lo cual no ha sido soportado por ningún estudio. La cubierta forestal y su capa superficial resultante proporcionan un microclima y un espectro de microorganismos diferentes de los relacionados con la mayor parte de los demás suelos. Procesos tan dinámicos como los ciclos de nutrimentos entre los componentes de los campos forestales y la formación de ácidos orgánicos a partir de residuos en descomposición y la subsecuente lixiviación de las bases, constituye un carácter distinto a los suelos con cubierta forestal (Pritchett, 1991).

La silvicultura de plantaciones forestales en el caribe húmedo ha tenido significativo aumento, especialmente en esta región del país, donde las zonas establecidas como agroforestales presentan limitaciones desde el punto de vista químico. Esto demuestra que el manejo forestal no puede estar basado únicamente en los tratamientos

silviculturales, sino que se necesita conocer también las características físicas y químicas que influyen sobre el rendimiento de las plantaciones. Hoy no se conocen completamente los requerimientos nutricionales y las exigencias de sitio de algunas especies forestales utilizadas ampliamente en programas de reforestación en Colombia, tales como teca (*Tectona grandis*), ceiba roja (*Pochota quinata*), roble (*Tabebuia rosea*), cedro (*Cedrela odorata*), pino caribe (*Pinus caribaea*) y eucalipto (*Eucalyptus grandis*), entre otras (Wadsworth, 1997).

Los suelos de las zonas en estudio han sido originado por diversas formaciones geológicas donde afloran rocas sedimentarias y sedimentos de la edad terciaria, originados en ambientes sedimentarios diferentes, como son la formación Ciénaga de Oro, (génesis marina), donde los carbonatos y sulfatos se hacen presentes en el cemento de la roca que pueden formar minerales con cantidades altas de bases; además, se encuentra la formación geológica San Cayetano superior, con arenisca y conglomerado que origina suelos ácidos. Los sub ordenes de suelos más frecuentes asociados a la formación de estos suelos son: tropets, ortents, oxic dystropept, typic toporthent, encontrándose éstos con pendientes que oscilan entre 10 y 50%, y alturas entre 70 y 400 m sobre el nivel de mar (CIAF, 1985; CVS, 2001a).

El presente trabajo se realizó con el objetivo de identificar las características químicas y de fertilidad de los suelos forestales en los Municipios de Tierralta, Valencia y Montelibano (Córdoba), presentes en el Caribe húmedo Colombiano.

## MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en el Departamento de Córdoba, en la región de la llanura del Caribe, localizado entre los 9°

26' 16" y 7° 22' 05" de Latitud Norte, y los 74° 47' 43" y 76° 30' 01" de Longitud Oeste. Los municipios donde se tomaron las muestras se encuentran ubicados a una altitud mayor de 70 m.s.n.m, con precipitación promedio anual de 2000 a 3500 mm, una temperatura media anual entre 27 y 28 °C, humedad relativa de 85%, brillo solar entre 2.2 y 5, según estación climatológica de Tierralta y Valencia. El trabajo fue realizado en dos etapas; la primera consistió en la realización de calicatas de 1m x 1m x 1m (largo, ancho y profundidad), donde se tomaron muestras para análisis químicos en suelos sembrados con especies forestales como roble (*Tabebuia rosea*), acacia (*Acacia mangium*), caucho (*Hevea brasiliensis*), cacao (*Theobroma cacao*) y cedro (*Cedrela odorata*) entre otros. La segunda etapa se hizo mediante consulta del archivo de los análisis químicos de suelos del laboratorio de suelos y aguas de la Universidad de Córdoba, seleccionando los municipios de Tierralta, Valencia y Montelibano (Córdoba), donde se implantarán siembras de las especies en mención y algunas exóticas; de esta consulta se tomaron 217 análisis químicos. Los métodos químicos que sigue el laboratorio de suelos y aguas son los recomendados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC, 1990). Las variables evaluadas fueron pH, materia orgánica, contenidos de azufre, calcio, magnesio, potasio, sodio, capacidad de intercambio catiónico (CIC), aluminio y elementos menores. El análisis estadístico consistió de una parte descriptiva por zona y cada una de las localidades (Montelibano, Tierralta y Valencia). Para cada variable en estudio se llevó a cabo una prueba de comparación múltiple de Kruskal y Wallis, acompañada con la prueba de Dunn.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos indican que los suelos de la zona tienen profundidades

mayores a 1,5 m, con textura variable entre las que se encuentran franca arcillosa, franco, franco arenoso, franco arcillo arenoso y arcilloso, estructura en bloques angulares firmes, con poca a moderada pegajosidad y plasticidad, permeables, lo que demuestra óptimas propiedades físicas. La mineralogía de arcilla que existen son arcillas tipo 2:1 y 1:1 con alta cantidad de sesquióxidos de hierro y aluminio. Predominan los colores pardo amarillo, pardo amarillo oscuro, pardo rojo amarillo (10YR3/5, 10YR7/8, 5YR6). Los sub-ordenes de suelos frecuentes son tropets, ortents, oxic dystropept, typic toporthent, lo que concuerda con lo expuesto por el CIAF (1987).

### Caracterización química de los suelos forestales en Tierralta.

Los tipos en la categoría de orden de suelos de esta área son los Inseptisoles, Entisoles y Oxisoles, (CVS, 2001b). Las características químicas, como se observan en el tabla 1, presentan reacción en promedio muy ácida, aunque existen valores mínimos de 4.41 y máximos de 6.11. Esto puede ser explicado mediante el análisis de las condiciones de precipitación que en estas zonas están alrededor de 2500 mm año<sup>-1</sup>, lo cual aumenta el proceso de lixiviación de los cationes de cambio, predominando los elementos acidificantes como aluminio y hierro. La materia orgánica en promedio es muy deficiente para estas condiciones, lo que indica que en las primeras etapas de

desarrollo de las plantaciones se presentarán deficiencias nutricionales agudas, si no se aplica alguna fuente nutricional. El azufre en promedio se encuentra en contenidos medios, aunque existen valores menores que 15 ppm, indicando esto la necesidad de realizar abonamientos químicos con este elemento. El fósforo, y las bases se encuentran en concentraciones deficientes e ínfimas, lo que sugiere altas tasas de lixiviación y pérdida de nutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantaciones. Lo anterior pone en evidencia la marginalidad de estos suelos que por su capacidad y uso tienen vocación forestal, lo que coincide con lo expuesto por Binkley (1993), quien indica que la mayoría de las plantaciones forestales se encuentran en suelos marginales, donde existe una alta heterogeneidad en las características químicas. Esto concuerda con lo expuesto por Smethurst (2000), quien informa que los contenidos de elementos nutricionales bajo estas condiciones son temporales y variables.

Estas condiciones de lixiviación, eluviación, translocación y pérdida del contenido de bases, ocasiona alta acumulación de aluminio, hierro y manganeso que pueden disminuir la tasa de asimilación de nutrientes, por no existir retención de estos elementos. El contenido de elementos menores cobre y zinc son bajos en promedio a excepción del hierro y manganeso que tienen concentraciones altas.

**Tabla 1.** Características químicas de suelos forestales en Tierralta.

|              | pH   | MO   | S   | P    | Ca                    | Mg    | Na   | K   | Al   | CIC  | Cu   | Fe  | Zn  | Mn   |
|--------------|------|------|-----|------|-----------------------|-------|------|-----|------|------|------|-----|-----|------|
|              | 1:1  | %    | ppm |      | Cmol*Kg <sup>-1</sup> |       |      |     |      | ppm  |      |     |     |      |
| Valor mínimo | 4.41 | 0.17 | 4.5 | 0.02 | 0.8                   | 0.6   | 0    | 0   | 0.4  | 3.06 | 0.4  | 14  | 0.4 | 1.2  |
| Valor Máximo | 6.11 | 3.4  | 40  | 10   | 6.5                   | 6     | 1.3  | 0.4 | 8.6  | 11.8 | 8    | 436 | 8   | 162  |
| Promedio     | 4.74 | 1.05 | 23  | 3.25 | 1.5                   | 1.506 | 0.14 | 0.1 | 2.45 | 5.55 | 2.06 | 146 | 2.8 | 9.46 |

Al realizar un estudio de los 106 análisis químicos se encontró que en 91% la reacción del suelo (pH) es menor de 5.5, la MO en 88% es menor de 2%, resaltando la escasez de nitrógeno producido por los procesos de mineralización. El fósforo en un 100% de los análisis del archivo del laboratorio y de las muestras colectadas es menor de 10 ppm, lo que demuestra la necesidad de aplicación de este elemento, ya que muy posiblemente parte de este nutrimento se encuentra precipitado formando fosfato de hierro o de aluminio, lo que coincide con lo encontrado por Navarro y Navarro (1984), quienes informan que en condiciones de alta acidez tanto el hierro como el aluminio precipitan el fósforo presente en la disolución originándose compuestos insolubles y no asimilables por las plantas.

El calcio en 88% y el magnesio en 61% tienen menos de  $2 \text{ cmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$  y el potasio en un 75% es menor de  $0.15 \text{ cmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$ , lo que indica procesos de lixiviación y pérdidas de bases en estas zonas. Esta escasez de bases y la alta evolución de arcillas ocasionan la acumulación de aluminio que se establece en 91% es mayor de  $2 \text{ cmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$ , lo que puede incidir en la asimilación de los nutrientes, concordando con Binkley (1993), quien encontró que los bosques que crecen generalmente en suelos marginales pueden ser muy sensibles a agotamiento de sus nutrientes, y los seis elementos (N, P, S, K, Ca, y Mg) con frecuencia limitan el crecimiento de los bosques en algunas localidades del mundo.

### **Caracterización química de los suelos forestales en Valencia.**

Los suelos de esta parte del departamento poseen condiciones químicas muy diferentes a las de Tierralta, a pesar de existir precipitaciones anuales de alrededor de 1800 a 2200 mm año<sup>-1</sup>. En la tabla 2 se observa que en promedio la reacción de los suelos es cercana a la neutralidad, indicando esto que los procesos de lixiviación y pérdida de elementos es menor y que los materiales

parentales que dan origen a los suelos, poseen un alto potencial nutricional (CIAF, 1985; CVS, 2001b). Las concentraciones de azufre y fósforo estimados están por encima del contenido de los de Tierralta, aunque tienen promedios clasificados para estas condiciones de medias a deficientes, lo que demuestra la necesidad de realizar aplicaciones en los primeros estados de desarrollo con los nutrientes en mención.

El contenido de bases intercambiables como Calcio, Magnesio y Potasio, elementos esenciales que tienen funciones como resistencia a ataque de patógenos, en el proceso fotosintético y en la economía del agua, se encuentran en concentraciones medias a altas; lo que indica una buena reserva nutricional atribuida a los materiales parentales de la zona. El tipo de arcilla que predomina es la 2:1, como illita y montmorillonita, que poseen un alto contenido nutricional, por lo que las especies sembradas en estas zonas tendrán mayor reserva nutricional y más resistencia al ataque de patógeno. Esto coincide con Vaz de Arruda (2003), quien afirma que la resistencia de las plagas y enfermedades puede ser disminuida o aumentada por el efecto de los nutrientes minerales sobre estructuras anatómicas como por ejemplo células epidérmicas y cutículas más finas, pared celular con menor grado de suberización y lignificación, puede afectar las propiedades bioquímicas como reducción de compuestos fenólicos que actúan como mecanismos de resistencia.

Con excepción del manganeso, los elementos menores en promedio se encuentran en valores de medios a deficientes; esto es de esperarse, ya que bajo estas condiciones de reacción del suelo lo que existe es insolubilización y precipitación de estos elementos y son poco asimilables por las especies forestales, lo que coincide con lo reportado por Combatt (2004), en un estudio realizado en cultivo de Caucho (*Hevea brasiliensis*) en Valencia, donde reporto deficiencia aguda principalmente de Zinc y Cobre.

**Tabla 2.** Características químicas de suelos forestales en Valencia.

|              | pH   | M.O  | S    | P    | Ca                                 | Mg   | Na   | K    | CIC  | Cu   | Fe   | Zn   | Mn  |
|--------------|------|------|------|------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|              | 1:1  | %    | ppm  |      | Cmol <sup>+</sup> Kg <sup>-1</sup> |      |      |      | ppm  |      |      |      |     |
| Valor mínimo | 4.67 | 0.18 | 2.5  | 1.4  | 2.5                                | 2    | 0.04 | 0.02 | 8    | 0.2  | 1.68 | 0.2  | 2   |
| Valor Máximo | 8.02 | 4.31 | 72.7 | 29.9 | 35                                 | 27.5 | 2.14 | 1.19 | 43   | 8.84 | 79.6 | 8    | 364 |
| Promedio     | 6.54 | 2.04 | 15.7 | 7.08 | 14                                 | 8.92 | 0.53 | 0.34 | 23.8 | 2.02 | 16.4 | 2.56 | 62  |

Los estudios químicos que se analizaron corresponden a 78 análisis, en los cuales se determinó que en un 42.6% la reacción del suelo es menor de 6.5, demostrando que el material de origen aporta los cationes básicos en la fase intercambiable. El contenido de materia orgánica es menor de 2% en un 49%, lo cual indica la necesidad de aplicar nitrógeno en los primeros estados de desarrollo de las plantaciones, para reducir las deficiencias nutricionales.

Con respecto al fósforo, el elemento en un 100% es menor de 10 ppm, lo que demuestra que se puede estar presentando insolubilización por calcio ó por el contrario hay poco aporte por los materiales de origen a la solución de este nutriente; por consiguiente, las plantaciones establecidas pueden en poco tiempo disminuir la cantidad de fósforo existente, coincidiendo con lo reportado por De Morales (1988), quien en un estudio realizado en suelos forestales de Brasil sembrados con cuatro especies de eucalipto, el fósforo se redujo de 120 a 50 ppm debido a las diferentes exigencias nutricionales por especie. Para el contenido de bases el calcio en un 89% y el magnesio en 82% se encontraron por encima de 6 cmol<sup>+</sup>Kg<sup>-1</sup>, mientras que el potasio en 85% estuvo por encima del 85%.

### **Caracterización química de los suelos forestales en Montelibano.**

Los suelos de esta región fisiográfica del departamento poseen condiciones químicas muy variables desde el punto de vista de dinámica nutricional. En estas zonas se

presentan precipitaciones anuales de alrededor de 2000 a 2500 mm año<sup>-1</sup>, CVS (2001c). En la tabla 3 se observa que no existen condiciones químicas que demuestren procesos de alta pérdida de elementos como tampoco la ganancia de los mismos por procesos edafológicos. Esto indica que hay condiciones edafológicas distintas atribuidas a los materiales parentales que dieron origen a estos suelos.

En promedio el pH de los suelos es moderadamente ácida, indicando ésto que en estos suelos los procesos de lixiviación y pérdida de elementos son menores, y los materiales que dan origen a los suelos, poseen mayor potencial nutricional. El contenido de nitrógeno disponible que se puede producir es deficiente, debido al bajo contenido de materia orgánica, indicando la necesidad de adicionar fertilización nitrogenada en las primeras etapas de desarrollo de las especies forestales.

El azufre se encuentra en concentraciones adecuadas aunque existen valores muy bajos entre las muestras estudiadas. Para el fósforo se observó que su contenido es deficiente, lo que puede estar asociado con procesos de precipitación o insolubilización, incidiendo en la nutrición vegetal (De Morales, 1988). El contenido de bases intercambiables se encuentra en concentraciones adecuadas lo que demuestra el aporte de minerales que contienen estos elementos. Los elementos menores en promedio tienen contenidos medios a altos, por lo tanto puede presentarse una óptima asimilación por parte de las especies forestales.

**Tabla 3.** Características químicas de suelos forestales en Montelibano.

|              | pH  | M.O  | S    | P    | Ca  | Mg                     | Na   | K    | Al  | CIC  | Cu   | Fe   | Zn   | Mn    |
|--------------|-----|------|------|------|-----|------------------------|------|------|-----|------|------|------|------|-------|
|              | 1:1 | %    | ppm  |      |     | Cmol +Kg <sup>-1</sup> |      |      |     |      | ppm  |      |      |       |
| Valor Mínimo | 4.6 | 0.16 | 5.6  | 1.9  | 1   | 1                      | 0.45 | 0.02 | 0.2 | 5.27 | 0.4  | 3.2  | 20.4 | 2.4   |
| Valor Máximo | 6.9 | 4.0  | 117  | 11.2 | 26  | 18.5                   | 0.4  | 0.9  | 8.8 | 36.7 | 12.4 | 240  | 13.5 | 189.2 |
| Promedio     | 5.4 | 1.6  | 36.4 | 4.3  | 6.7 | 4.6                    | 0.2  | 0.04 | 2.7 | 14.2 | 2.61 | 54.4 | 2.2  | 59.1  |

En esta zona se estudiaron 32 análisis, de los cuales en el 65.6% la reacción del suelos es menor de 5.5 y en un 78.1% la materia orgánica es menor de 2%, indicando la necesidad fertilización nitrogenada. El fósforo sigue igual que en las condiciones anteriores o sea menor de 10 ppm, mientras que el calcio en un 65.6% y el magnesio en 87.5% se encontraron por debajo de 6 cmol Kg<sup>-1</sup>. El potasio es un 56.2% menor de 0.15 cmol Kg<sup>-1</sup>. Para el caso del aluminio se analizaron 16 análisis, de los cuales el 62,5% mostraron una concentración menor de 2 cmol+Kg<sup>-1</sup>.

**Fertilidad química de los suelos de la zona de estudio.**

El estudio correspondió a una descripción por zonas y localidades de las características químicas de los municipios de Tierralta y Valencia, adicionalmente a cada variable se le realizó análisis estadísticos. El análisis descriptivo muestra que el promedio general de la reacción del suelo (pH) es 5.51, indicando un pH ácido comparado con la reacción de la localidad de Montelibano (6,68). El contenido de materia orgánica es medio con promedio de 1,68%; lo que demuestra que en más de 50 % de las áreas muestreadas existe uso inadecuado de la reposición de desechos vegetales (Tabla 4).

**Tabla 4.** Medidas de posición y variación de las características estudiadas de la zona del Alto Sinú.

| Variable                   | $\bar{X}$ | DS    | CV     | Rango  | Min  | Quart | Media | Quart | Max    |
|----------------------------|-----------|-------|--------|--------|------|-------|-------|-------|--------|
| pH                         | 5.51      | 1.01  | 18.30  | 3.49   | 4.41 | 4.66  | 5.05  | 6.32  | 7.90   |
| MO %                       | 1.68      | 0.84  | 50.04  | 4.15   | 0.16 | 1.05  | 1.55  | 2.10  | 4.31   |
| S ppm                      | 20.8      | 11.40 | 54.76  | 55.80  | 2.50 | 10.00 | 20.00 | 27.50 | 58.30  |
| P ppm                      | 5.06      | 3.88  | 76.73  | 28.50  | 1.40 | 2.95  | 3.51  | 5.61  | 29.90  |
| Ca Cmol +Kg <sup>-1</sup>  | 6.96      | 7.01  | 100.71 | 34.20  | 0.80 | 2.00  | 3.00  | 12.50 | 35.0   |
| Mg Cmol +Kg <sup>-1</sup>  | 4.94      | 4.30  | 86.99  | 26.90  | 0.60 | 2.00  | 3.00  | 7.00  | 27.5   |
| K Cmol +Kg <sup>-1</sup>   | 0.32      | 0.34  | 109.07 | 2.10   | 0.04 | 0.15  | 0.19  | 0.32  | 2.14   |
| Na Cmol +Kg <sup>-1</sup>  | 0.22      | 0.20  | 91.25  | 1.17   | 0.02 | 0.09  | 0.15  | 0.26  | 1.19   |
| Al Cmol +Kg <sup>-1</sup>  | 3.08      | 1.76  | 57.16  | 8.60   | 0.20 | 1.80  | 3.00  | 4.20  | 8.80   |
| CIC Cmol +Kg <sup>-1</sup> | 14.2      | 9.20  | 64.48  | 38.89  | 3.63 | 7.47  | 9.66  | 22.83 | 42.52  |
| Cu ppm                     | 2.55      | 2.58  | 101.04 | 12.20  | 0.20 | 1.20  | 1.60  | 2.64  | 12.40  |
| Fe ppm                     | 101       | 108.7 | 107.46 | 434.3  | 1.68 | 15.20 | 58.40 | 158.4 | 436.0  |
| Zn ppm                     | 3.32      | 2.48  | 74.68  | 7.80   | 0.20 | 1.20  | 2.48  | 4.00  | 8.00   |
| Mn ppm                     | 40.4      | 58.15 | 143.64 | 362.40 | 1.20 | 4.80  | 22.80 | 49.20 | 363.60 |

$\bar{X}$ =Promedio, DS= Desviación standard, CV= Coeficiente de Variación, Min= Mínimo, Quart= Cuartil

Con respecto al azufre su rango es medio con CV de 54,76 aun así se nota que el tercer cuartil de esta distribución está por encima de 27 hasta un valor máximo de 58.3, deduciéndose que sólo cerca del 25% de las áreas tienen una cantidad adecuada de este elemento. La zona tiene contenido de fósforo deficiente con valor promedio de 5.06 siendo su tercer cuartil de 5.61, lo que demuestra que más del 75% del área en estudio posee baja capacidad nutricional de este anión. En cuanto a las bases intercambiables, todos sus promedios se establecen en rangos altos con altos coeficientes de variación, pero a pesar de esto cerca de 50% de las áreas en mención poseen bajo contenidos de elementos nutricionales (Tabla 4).

Los elementos menores cobre y zinc son deficientes, encontrando que alrededor del 75% de la zona es deficiente en cobre y un 50% en zinc. El hierro se encuentra en concentraciones excesivas y el manganeso en concentraciones adecuadas; apenas el 25% de la zona es deficiente en hierro y el 50% en manganeso.

La tabla 5 muestra que de acuerdo con las pruebas de Kruskal-Wallis y Dunn todos los elementos nutricionales tienen diferencias altamente significativas entre las localidades, originado esto muy posiblemente por los materiales parentales que dan origen a estos suelos, la alta extracción por parte de los cultivos y la poca reposición que llevan a cabo agricultores y ganaderos en estas áreas con cultivos tradicionales y pastizales. Estos resultados reafirman que las características estudiadas no son uniformes en la zona como se había planteado inicialmente en el análisis descriptivo, pero aun así se puede notar que los municipios de Montelibano y Tierralta tienen cierta similitud en gran parte de las características estudiadas. Los cuartiles para cada una de las variables muestran diferencias significativas para todas las características estudiadas entre la mayoría de los grupos contiguos, esto reafirma la heterogeneidad que existe en los suelos de la zona.

**Tabla 5.** Análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis y prueba de Dunn.

| LOCALIDAD   | pH    | MO    | S    | P    | Ca    | Mg   | K    | Na    | Al    | CIC   | Cu   | Fe      | Zn    | Mn     |
|-------------|-------|-------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|---------|-------|--------|
|             | 147   | 31.24 | 29.0 | 9.2  | 150.1 | 140. | 44.1 | 50.81 | 24.42 | 128.2 | 13.9 | 113.4   | 17.50 | 58.7   |
| TIERRALTA   | A     | A     | A    | A    | A     | A    | A    | A     | A     | A     | A    | A       | A     | A      |
| VALENCIA    | B     | B     | B    | AB   | B     | B    | B    | B     | B     | B     | B    | B       | AB    | B      |
| MONTELIBANO | C     | A     | A    | B    | C     | C    | A    | A     | B     | C     | AB   | C       | B     | B      |
| F.V.        | pH    | MO    | S    | P    | Ca    | Mg   | K    | Na    | Al    | CIC   | Cu   | Fe      | Zn    | Mn     |
| Grupo       | 66.7  | 42.2  | 8201 | 15.4 | 2904  | 1026 | 4.77 | 1.77  | 109   | 5354  | 328  | 633628  | 340.4 | 111613 |
| Error       | 0.074 | 0.11  | 14.5 | 6.48 | 8.38  | 4.06 | 0.05 | 0.01  | 0.49  | 9.29  | 1.39 | 1638.91 | 0.62  | 1597.6 |
| Grupo       | pH    | MO    | S    | P    | Ca    | Mg   | K    | Na    | Al    | CIC   | Cu   | Fe      | Zn    | Mn     |
| 4           | A     | A     | A    | A    | A     | A    | A    | A     | A     | A     | A    | A       | A     | A      |
| 3           | B     | B     | B    | B    | B     | B    | B    | B     | B     | B     | B    | B       | B     | B      |
| 2           | C     | C     | C    | C    | C     | C    | CB   | C     | C     | C     | C    | C       | C     | C      |
| 1           | D     | D     | D    | C    | C     | D    | C    | D     | D     | D     | D    | D       | D     | C      |



## CONCLUSIONES

- La zona de estudio presenta condiciones de reacción muy ácida, indicando la marginalidad de los suelos utilizados en las forestaciones del alto Sinú.
- El aporte de calcio, magnesio y potasio que hacen los materiales parentales en estos suelos es baja en Tierralta y Montelibano y alta en Valencia.
- Los elementos nutricionales aportados por la materia orgánica, nitrógeno y fósforo se presentan en contenidos deficientes en toda la zona de estudio.
- El contenido de elementos menores como cobre y zinc son deficientes, hierro excesivo y manganeso en rangos adecuados.
- Las áreas forestales de Córdoba tienen aptitud forestal, implementando planes de abonamiento en las primeras etapas de desarrollo.

## BIBLIOGRAFIA

- Binkley, D. 1993. Nutrición forestal. Noriega Uteha, México, 340p.
- CIAF. 1987. Estudio de uso de tierra y cobertura alternativa de ocupación del medio físico. Informe Técnico, CIAF, Bogotá, 181p.
- CIAF. 1985. Plan de ocupación de la cuenca del río Sinú. CIAF, Bogotá, 300p.
- Combatt, E. 2004. La empresa forestal en Córdoba. Seminario Taller Cadena Forestal de Córdoba, Montería, 60p.
- CONIF. 1998. Guía para plantaciones forestales comerciales en Córdoba. Serie de Documentación No 34, CONIF, Bogotá, 48p.
- CVS (Corporación de los Valles del Sinú y San Jorge). 2001a. Plan básico de ordenamiento territorial del Municipio de Valencia, Córdoba 2001–2015, CVS, Montería, 91p.
- CVS. 2001b. Diagnostico de la micro cuenca hidrográfica quebrada Honda, Municipio de Tierralta, Departamento de Córdoba. CVS, Montería, 50p.
- CVS. 2001c. Plan básico de ordenamiento territorial 2001–2010 del Municipio de Montelibano, Córdoba. Informe Técnico, CVS, Montería. 513p.
- De Morales, G. 1988. Propiedades físico-químicas dos solos vs exigencias nutricionales de espécies florestais de rápido crescimento. IPEF (Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais). Circular Técnica no 154. Instituto de Pesquisas e Estudos Forestais, Piracicaba, 16p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1990. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. IGAC, Bogotá, p.125-136.
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional, Medellín, CD-ROM

- 
- Navarro, S. y Navarro, G. 1984. Temas de Química Agrícola. Editorial Academia, Madrid, 303p.
- Pritchett, W. 1991. Suelos Forestales. Limusa, México D.F., 634p.
- Smethurst, P. y Wang, B. 1998. Soil solution phosphorus and *Eucalyptus nitens* roots in NP-treated micro sites in highly phosphorus-fixing soil. N.Z. Journal of Forestry Science 28:140-151
- Vaz de Arruda, S. y Namita, H. 2003. Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o eucalipto. Circular No 200. Instituto de Pesquisas e Estudos Forestais, Piracicaba, 16p.
- Wadsworth, F. 1997. Forest Production for Tropical America. USDA-Forest Service. Agriculture Handbook, USDA, Washington, 563p.