

ESTANDARIZACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS
DE SUELOS EN EL LABORATORIO DE ECOLOGÍA DE SUELOS Y HONGOS
TROPICALES

Nicolás Palacios Hernández

TRABAJO DE GRADO
Presentado como requisito parcial
Para optar al título de

Biólogo

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE BIOLOGIA

Bogotá. D. C.

23 de Febrero de 2009

NOTA DE ADVERTENCIA

Artículo 23 de la Resolución N° 13 de Julio de 1946

“La Universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y por que las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y justicia”.

ESTANDARIZACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS
DE SUELOS EN EL LABORATORIO DE ECOLOGÍA DE SUELOS Y HONGOS
TROPICALES

Nicolás Palacios Hernández

APROBADO

Amanda Varela, Ph.D
Directora

Lorena Valencia
Jurado

Janeth Gonzáles
Jurado

ESTANDARIZACIÓN DE METODOLOGÍAS PARA ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS
DE SUELOS EN EL LABORATORIO DE ECOLOGÍA DE SUELOS Y HONGOS
TROPICALES

Nicolás Palacios Hernández

APROBADO

Ingrid Schuler, Ph. D.
Decana Académica

Andrea Forero Ruíz, Bióloga
Directora de Carrera

Buy Now to Create PDF without Trial Watermark!!

*A mis padres y a nuestro Padre,
que nunca nos abandona.*

Created by eDocPrinter PDF Pro!!

Agradecimientos

Como primera medida quiero agradecer al Centro de Investigación y Estudios en Biodiversidad y Recursos Genéticos (CIEBREG) por el apoyo financiero y a la Pontificia Universidad Javeriana por el préstamo de laboratorios y equipos.

Muchas personas, han puesto su granito de arena ayudándome a llegar hasta aquí, y quiero comenzar por agradecerles a todas ellas. Me gustaría mencionarlos a todos y cada uno pero no es suficiente este espacio.

Quiero agradecerle a mi papas: Oscar y Pilar, por que se a conciencia que todo lo que han hecho y aun hacen es para que yo sea mejor cada día.

A mi hermano: Sebastián, porque aun que no lo diga estoy seguro que cuento con él en las buenas y en las malas.

A mi novia: Carolina, porque siempre me acompañó en los momentos en que parecía que no lo lograría, y por ser la inspiración y el motivo por el cual sigo trabajando y mejorando...

A mi directora: Amanda Varela, por ser una guía constante y un apoyo en la solución de problemas y dudas, por fomentar el buen ambiente de trabajo en el laboratorio y además por tolerar, "aguantar" y promover mis comentarios.

A Diego Sáenz por ser incondicional en el trabajo y un gran amigo en el diario vivir.

A mis dos grandes amigas Diana Rueda y Diana Rodríguez por dedicarme un momento de su tiempo, y colaborar en todo lo que necesité.

Igualmente a Lina Sierra que también dedicó parte de su tiempo en corregir y mejorar este trabajo.

A Andrés Morales por ayudarme en la estadística, y a todos mis verdaderos amigos que aunque no tuvieron mucho que ver con este trabajo, siempre me acompañaron y ayudaron a lo largo de la carrera: Jorge Mario, Iván R, Juan Sebastián, Sonia, Angélica Plata, Angélica Quintana, Andrea, Daniel, Iván, Enrique, Felipe, Karla y todos aquellos compañeros que profesaron sus buenos deseos para mí.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION.....	4
2.	MARCO CONCEPTUAL.....	14
2.1	Estandarización y normalización.....	14
2.2	Objetivos de la normalización.....	17
2.3	Características físicas y químicas de suelo.....	19
2.4	Propiedades físicas.....	20
2.5	Propiedades Químicas.....	21
3.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	25
4.	JUSTIFICACIÓN.....	26
5.	PREGUNTAS E HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	27
6.	OBJETIVO GENERAL.....	27
7.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
8.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
8.1	Diseño de la investigación.....	28
8.2	Población de estudio y muestra.....	28
8.3	Muestreo.....	29
8.4	Procesamiento de las muestras.....	31
8.5	Análisis fisicoquímicos.....	31
8.6	Análisis de la información.....	34
9.	RESULTADOS.....	34
9.1	Repetitibilidad.....	34
9.2	Reproducibilidad.....	43
9.3	Exactitud.....	46
10.	DISCUSIÓN.....	49
11.	CONCLUSIONES.....	59
12.	RECOMENDACIONES.....	60
20.	BIBLIOGRAFÍA.....	62
14.	ANEXOS.....	71

RESUMEN

Con el fin de estandarizar las técnicas fisicoquímicas del Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales (LESYHT) se realizó un muestreo para obtener suelo con diferentes características en varios departamentos. A partir de muestras de suelo de Quindío (pastizal), Meta (bosque de galería y morichal) y Chocó (bosque pluvial) se cuantificó el porcentaje de humedad y materia orgánica, el pH, la conductividad eléctrica y la textura. Para cada una de estas pruebas fisicoquímicas se determinaron los supuestos de repetitividad y reproducibilidad, midiendo la precisión de los resultados. Se compararon los resultados obtenidos con los del laboratorio de suelos del Instituto Agustín Codazzi (IGAC). Se usaron tres réplicas de tres repeticiones cada una, para cada una de las pruebas fisicoquímicas y esto fue realizado por dos operarios. Se midió la precisión entre los datos de las réplicas de un operario para la repetitividad y se midió la precisión entre los datos de ambos operarios para la reproducibilidad. Estadísticamente se cumplió el supuesto de repetitividad para el 75% de los análisis comprendidos en los cuatro suelos y las cinco pruebas. Para los suelos que no cumplieron el supuesto las diferencias entre los promedios para cada prueba fueron mínimas. En cuanto a reproducibilidad, el 84,2% de los análisis cumplieron el supuesto de reproducibilidad; sin embargo el 15,8% restante tuvo bajas diferencias entre los promedios de modo que se podría aceptar que cumplieron el supuesto. En el caso de la exactitud se estableció un coeficiente de variación (CV) de 20% a partir del cual se encontró que un 60,2% de los datos cumplió el supuesto. Las pruebas fisicoquímicas del laboratorio LESYHT cumplen en la mayoría de los casos los supuestos necesarios para la estandarización; sin embargo es necesario ajustar factores como la calibración de los equipos, tener en cuenta la experiencia de los operarios responsables, el tamizaje de las muestras, ser más riguroso con los intervalos de tiempo, pesos y medidas en el seguimiento de los protocolos que puedan reafirmar la repetitividad, reproducibilidad y exactitud de los resultados obtenidos a partir de dichas pruebas fisicoquímicas, de modo que la confiabilidad de estas sea mayor.

ABSTRACT

In order to standardize the physicochemical techniques of the Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales (LESYHT) a sampling process was conducted to obtain soil with particular characteristics that would determine their department of origin. Based on soil samples of Quindío (grassland), Meta (morichal and gallery forest) and Chocó (tropical rain forest) was quantified the percentage of moisture, organic matter, pH, electrical conductivity and texture. For each of these tests were determined physicochemical repeatability and reproducibility assumptions by measuring the accuracy of the results. The results were compared with those of the laboratory of the Institute of Soil Agustín Codazzi (IGAC). Three repetitions were used for each of the three replicates of the physicochemical tests and these were done by two operators. The accuracy of the data was measured between the replicas of an operator for repeatability and accuracy between the measured data of the two operators for reproducibility. Statistically, there was a 75% of repeatability for the tests. For soils that did not meet the repeatability assumption, differences between the averages for each test were minimal. Regarding reproducibility, 84.2% of the tests met the assumption of reproducibility, but the remaining 15.8% had small differences between the averages. Therefore it can be accepted that they met the assumption. In the case of the accuracy a variation coefficient (CV) of 20% was established from which it was found that 60.2% of the data met the assumption. Physicochemical tests met in most cases the assumptions required for standardization. However it is necessary to adjust factors such as calibration of equipment, taking into account the experience of the operator responsible for screening samples, to sieve soil samples, become more strict with the time intervals, weights and measures in the follow-up protocols that can confirm the repeatability, reproducibility and accuracy of the results obtained from these physicochemical tests, so the reliability of these is improved.

1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un cuerpo natural conformado por una conexión de elementos y procesos, resultado de su localización y el contacto con la atmósfera. Es a su vez, el resultado del proceso de modificación de la roca madre, provocado por agentes ambientales y procesos físicos, químicos y biológicos.

El suelo y la atmósfera han evolucionado conjuntamente, Se relacionan estrechamente ya que la atmósfera a lo largo del tiempo ha presentado cambios en su composición, transformando factores como el clima, el cual como ya se mencionó es un medio de alteración directo sobre el suelo. Este importante hecho junto con otros componentes son los responsables de generar modificaciones principalmente en las propiedades físicas y químicas de los suelos en general. Estas propiedades están estrechamente ligadas con factores bióticos y abióticos, siendo de vital importancia para entender los procesos que ocurren en el suelo. La medición de factores como el pH, la humedad, la conductividad eléctrica, la textura etc. son los que principalmente se tienen en cuenta a la hora de observar los procesos químicos y físicos de los suelos. Por ejemplo, el agua determinada por la humedad, es esencial para todos los seres vivos, ya que actúa como un solvente y portador de nutrientes desde el suelo hasta las plantas y dentro de ellas. El contenido de agua en el suelo puede ser benéfico, pero en algunos casos también perjudicial. He aquí donde toma importancia la medición de dichas características y no solamente en el campo ambiental sino también en la agricultura, la ganadería y la cartografía entre otras.

Al realizar las mediciones de dichas características es necesario usar metodologías que estén argumentadas, que sean conocidas y en general utilizadas por las personas interesada en el tema, tanto nacional como internacionalmente, para facilitar el intercambio de conocimiento, la simplificación de los datos, y para asegurar que los resultados de dichas mediciones sean

fiables, precisos y veraces. Para lograr esta labor es necesario acudir a la estandarización.

La actividad de estandarización se ha convertido actualmente en una necesidad para el desarrollo de las organizaciones en general, abarcando estas los laboratorios e instituciones enfocadas en el estudio de análisis de suelos.

El Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales (LESYHT) actualmente tiene a su cargo variedad de proyectos de investigación enfocados hacia el entendimiento de la interacción los aspectos físicos, químicos y biológicos de suelos, específicamente de la Orinoquía y la zona cafetera.

Como es evidente la producción científica promovida en el laboratorio tiene un impacto tanto en instituciones académicas que practican actividades similares o, a nivel social entendiéndose por esto la gente que puede verse beneficiada por dicha producción.

Teniendo en cuenta que los estándares son normas que orientan sobre los requisitos indispensables que debe cumplir determinado proceso, producto o servicio para alcanzar sus objetivos de calidad, en este caso las pruebas fisicoquímicas del suelo, se hace necesario estandarizar las mediciones de algunos parámetros físicos y químicos dentro el laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales (LESYHT) de la Pontificia Universidad Javeriana.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Estandarización y normalización

El análisis de las definiciones y criterios expuestos indica que existe una falta de consenso para definir el concepto de estandarización y los criterios se dividen. Mientras algunos piensan que se trata de un problema de traducción del término de una lengua a otra con un mismo significado, otros asumen que la

estandarización es un proceso particular, que puede realizarse por instituciones expertas en determinados temas, pero que necesariamente los estándares no tienen que aprobarse por un organismo internacional o nacional dedicado a la actividad de normalización (TERMILAT 1999).

Por normalización se entiende toda actividad colectiva dirigida a establecer e implementar normas para definir los requisitos que deben cumplir bienes, servicios y procedimientos. El fin primordial de la normalización es solucionar situaciones repetitivas y unificar criterios, al posibilitar la utilización de un lenguaje común en un campo de actividades concretas. La normalización consiste en la elaboración, difusión y aplicación de normas con carácter voluntario (CITeM 2005).

La norma es un documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que ofrece para uso común y repetido, reglas y lineamientos para la realización de las actividades o la obtención de sus resultados, con la finalidad de lograr el mejor orden en un contexto determinado. Deben basarse en resultados consolidados por la ciencia, la tecnología y la experiencia, y están destinadas a la promoción de beneficios para la comunidad (Ministerio de industria, turismo y comercio 1999).

Por otra parte la estandarización se define principalmente como normalizar. Es el hecho de convertir algo en norma o regular por medio de una norma o de un estándar (Valdés y Sánchez 2005).

Los estándares son normas que orientan sobre los requisitos indispensables que debe cumplir determinado proceso, producto o servicio para alcanzar sus objetivos de calidad (Cañete 2005).

Desde los inicios del siglo XX, distintas organizaciones y grupos de estudiosos comenzaron a comprender la importancia de establecer normas que orientaran el desarrollo de los procesos, productos y servicios (Pérez 2002).

Un momento importante para el desarrollo de la normalización fue cuando en 1926, algunos organismos de normalización fundaron la Federación Internacional de Asociaciones Nacionales de Normalización (ISA), con la finalidad de promover el comercio internacional mediante la estandarización de los procesos de producción y los productos. La ISA puede considerarse el precedente inmediato de la actual Organización Internacional de Normalización ISO, creada después de la segunda guerra mundial (Pérez 2002).

De acuerdo a la ISO (1993) (International Organization for Standardization) la norma es una especificación técnica, u otro documento accesible al público, establecida con la cooperación y el consenso, o la aprobación general de todas las partes interesadas, basada en los resultados combinados de la ciencia, de la tecnología y de la experiencia, que apunta al beneficio óptimo de la comunidad en su conjunto y aprobada por un organismo calificado a nivel regional, nacional o internacional. De la misma manera esta organización define normalización como la actividad que tiene por objeto establecer normas, ante problemas reales o potenciales y repetidos, con el fin de obtener un nivel de ordenamiento óptimo en un contexto dado que puede ser tecnológico político o económico.

En Colombia el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) de acuerdo con los Decretos 767 de 1964 y 2416 de 1971 es reconocido por el Gobierno Colombiano como Organismo Nacional de Normalización mediante el Decreto 2746 de 1984, reconocimiento que fue ratificado por el Decreto 2269 de 1993. En este campo, la misión del Instituto es promover, desarrollar y guiar la aplicación de Normas Técnicas Colombianas y demás documentos normativos para la obtención de una economía óptima de conjunto, el mejoramiento de la calidad y facilitar las relaciones cliente-proveedor a nivel empresarial, nacional o internacional (ICONTEC 2008).

El ICONTEC (2008) define la estandarización como la actividad que establece disposiciones para uso común y repetitivo, encaminadas al logro óptimo de orden con respecto a problemas reales o potenciales, en un contexto dado.

2.2 Objetivos de la normalización

El ICONTEC hace referencia a tres objetivos principales en cuanto a normalización se refiere. En primer lugar habla acerca de la simplificación de los pasos, de modo que se haga con el menor número de pasos posible, necesario para completar cada técnica. En segundo lugar menciona la unificación, la cual permite la intercambiabilidad a nivel internacional y por último la especificación, la cual evita los errores de identificación creando un lenguaje claro y preciso (ICONTEC 2008).

Para hablar de normalización hay que tener en cuenta algunos términos que están intrínsecamente ligados a esta actividad como la calibración. Este se define como el conjunto de operaciones que permiten establecer, en condiciones específicas, la relación existente entre los valores indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida o, los valores representados por una medida material o un material de referencia, y los valores correspondientes a una magnitud obtenidos mediante un patrón de referencia (UNE-EN 30012-1, 3.23:94)[ISO/IEC GUIDE 25, 3.4:90]. Por otra parte el intervalo de trabajo se define como el intervalo de concentración en el que puede obtenerse una exactitud y precisión adecuadas al objetivo del método [G-CSQ-01.Rev.1 15.7:94]. La muestra es una porción de material seleccionada para representar un volumen más grande de material original [G-CSQ-01.Rev.1, Abril 94]. El patrón es la medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud que sirvan de referencia [VIM, 6.1:94] [UNE-EN 30012-1, 3.18:94] [ISO/CD 10012-2, 3.16:93]. La precisión es el grado de concordancia entre los resultados de mediciones obtenidas independientemente bajo condiciones establecidas y la veracidad es el grado de concordancia entre el resultado de una medición y el valor de referencia aceptado; ambos en conjunto describen la exactitud de un método de medida [ISO 5725-1, 3.12:94] [ISO GUIDE 30, 3.5:92] [ISO 3534-1, 3.14:93]. La repetitividad se entiende como la precisión bajo

condiciones en las que los resultados de una medición se obtienen con el mismo método, con el mismo operador, utilizando el mismo instrumento de medida y durante un corto intervalo de tiempo [ISO 5725-1, 3.13, 3.14:94] [ISO 3534-1, 3.15, 3.16:93]. La reproducibilidad es la precisión bajo condiciones en las que los resultados de una medición se obtienen con el mismo método, sobre el mismo mensurando, con diferentes operadores, diferentes equipos de medida y en diferentes laboratorios, entre otros [ISO 5725-1, 3.17, 3.18:94] [ISO 3534-1, 3.20, 3.21:93]. La selectividad también conocida como especificidad es el grado por el cual un método puede determinar un análisis particular dentro de una mezcla compleja, sin ser interferido por otros componentes de la mezcla. [WELAC/EURACHEM:93]. Por último la verificación es la confirmación mediante examen y aportación de pruebas de que se han cumplido unos determinados requisitos [Guía ISO/IEC 25: 1990].

Los objetivos generales de la normalización se derivan de la definición. Ella puede tener uno o más objetivos específicos, especialmente garantizar la aptitud para el uso de un producto, un proceso o un servicio. Estos objetivos pueden ser, pero no están limitados a: la selección de variedades, la comodidad de uso, la compatibilidad, la intercambiabilidad, la salud, la seguridad, la protección del medio ambiente, la protección del producto, la comprensión mutua, el desempeño económico y el comercio. Puede haber superposición entre los objetivos (ICONTEC 2008).

En cuanto a la aptitud para el uso esta se define como la capacidad de un producto, proceso o servicio de servir para un propósito definido en condiciones específicas. La compatibilidad a su vez es la capacidad de productos, procesos o servicios, para ser utilizados conjuntamente en las condiciones específicas, para satisfacer requisitos pertinentes sin ocasionar interacciones inaceptables. Por su parte, la intercambiabilidad es la capacidad de un producto, proceso o servicio, para ser utilizado en lugar de otro con el propósito de satisfacer los mismos requisitos. El aspecto funcional de la intercambiabilidad se denomina

"intercambiabilidad funcional", y el aspecto dimensional se denomina "intercambiabilidad dimensional" (ICONTEC 2008).

En cuanto a la selección de variedades se puede definir como la selección del número óptimo de tamaños o tipos de productos, procesos o servicios para satisfacer las necesidades predominantes. Generalmente, la selección de variedades suele referirse a la reducción de la diversidad. La seguridad es la ausencia de riesgo de daño inaceptable. En normalización, la seguridad de los productos, procesos y servicios se suele enfocar desde el punto de vista de lograr el equilibrio óptimo de cierto número de factores, incluyendo algunos no técnicos tales como el comportamiento humano, que eliminarán los riesgos evitables de daño a las personas y a los bienes hasta un nivel aceptable (ICONTEC 2008).

2.3 Características físicas y químicas de suelo

Los suelos no son simplemente un sistema de soporte, sino un complejo mundo del que las raíces de las plantas obtienen agua y otros elementos necesarios (Primavesi 1982, Jaramillo *et al.* 1994, Lopera 2001). Además, está habitado por pequeños animales y microorganismos (insectos, hongos, bacterias etc.) que tienen una influencia ya sea directa o indirecta en la vida de la fauna y flora que se asocia a dicho suelo. Se puede hablar sobre la evolución del suelo, es decir, cambio de sus características basándose en el clima, presencia de animales y plantas y la acción del hombre. Por lo tanto, un suelo natural, en el que la evolución es lenta es muy diferente de uno cultivado. El suelo está compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos (agua y sustancias disueltas), gases (principalmente oxígeno y dióxido de carbono) y contiene organismos vivos. Todos estos elementos le dan sus propiedades físicas y químicas (Soil Survey Staff 1999, Hanna Instruments 2000, Malagón 2003,).

2.4 Propiedades físicas

Dentro de las propiedades físicas del suelo existen unas principales como la textura, la estructura, la consistencia, la porosidad y el color. Sin embargo, para hablar de propiedades físicas del suelo hay que tener en cuenta, que este es un sistema de partículas. Estas partículas se dividen principalmente en dos tipos, las primeras llamadas minerales, con gran variedad de tamaños, formas, colores, entre otras, que conforma la fase sólida de suelo y las segundas llamadas vegetales que en todos los casos se encuentran mezcladas con las ya mencionadas partículas minerales (Liu & Evett 1997). El conjunto de ambos tipos de partículas genera un color determinado, dependiendo de las sustancias orgánicas de las partículas vegetales o de acuerdo al color dominante de las partículas minerales, sin dejar de lado que el clima es un factor importante en este aspecto con respecto a la degradación del material vegetal y la actividad bacteriana (Borrero 1999). El color es un carácter del suelo fácil de observar y de uso cómodo para identificar un tipo de suelo sin embargo raramente tiene valor como criterio de clasificación al nivel de los grandes tipos de suelos (Liu & Evett 1997, Rucks *et al.* 2004).

El tamaño y la forma de las partículas otorgan una condición específica al suelo. Se puede encontrar gravas, arenas, limos y arcillas. Esta diferenciación se debe principalmente al cambio en las características mencionada y es lo que le da diferente textura al suelo (Thompson y Troeh 1988) Por lo tanto La textura hace referencia principalmente al porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo (Borrero 1999).

Teniendo en cuenta que el conocimiento de las características físicas es indispensable para hacer uso y manejo adecuado del suelo, es importante mencionar una propiedad llamada profundidad efectiva. Esta se define como la profundidad del suelo a la cual las raíces pueden penetrar sin ningún obstáculo, tales como presencia de nivel freático alto, presencia de gravas y/o capas de

arena, horizontes o capas de suelo endurecidas, lechos rocosos etc. (López 1991).

En cuanto a la estructura se define como el arreglo de las partículas del suelo, es decir la forma en que las partículas están dispuestas en un agregado (Borrero 1999). Según Rucks *et al.* (2004), existen dos tipos de partículas en el suelo, las primarias y las secundarias. Las primarias son las definidas como fracciones granulométricas (arcilla, arena, limo) y las secundarias son lo que se conoce como agregado grueso o unidad estructural. A partir de esto se define macroestructura, como el arreglo de las partículas secundarias y primarias visibles a simple vista y microestructura como el arreglo de las partículas primarias para formar las secundarias; de ella depende en alto grado la macroestructura (Montenegro 2003). La consistencia va de la mano con la estructura del suelo ya que se refiere a la adherencia entre las partículas y a la resistencia ofrecida a las fuerzas que tienden a deformar o romper un agregado. Para aplicar esta definición hay que tener en cuenta propiedades del suelo tales como resistencia a la compresión, friabilidad, plasticidad y viscosidad (Singer & Munns 1999).

Por último la porosidad es una de las propiedades físicas del suelo más importantes, ya que determina la dinámica del agua, aire, y crecimiento radicular. Estas dinámicas varían de acuerdo a las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, siendo este espacio conocido como poro; además este factor se encuentra íntimamente ligado con la textura y estructura del suelo (Singer & Munns 1999, Rucks *et al.*, 2004).

2.5 Propiedades Químicas

Las propiedades químicas del suelo hacen especial énfasis en la relación suelo-planta (López 1991). Existen factores importantes en la química de los suelos que son la intercambiabilidad de elementos suelo-planta, la acidez, la alcalinidad y el intercambio catiónico (Castellanos 1985, Aguilar *et al.* 1987).

La acidez no condiciona únicamente la absorción de nutrientes sino también la disponibilidad que estos tienen en el suelo. Por otra parte la acidez del suelo es una importante característica química, que tiene gran influencia en el desarrollo y productividad de los suelos, ya que influye sobre la descomposición de las rocas (meteorización), la descomposición de la materia orgánica, la absorción de los nutrientes por parte de las plantas y en general sobre la disponibilidad de los nutrientes en el suelo (Castellanos 1985). La acidez se expresa en términos de pH de acuerdo a la cantidad de iones H^+ y Al^{+++} . De igual modo los suelos alcalinos se miden de acuerdo a su pH y se reconocen porque poseen un gran contenido de sales, una alta concentración de sodio (Na^+) y un alto contenido de $CaCO_3$ (Faithfull 2005). En resumen, cuando los suelos son muy ácidos tienen problemas con la disponibilidad de nutrientes, en contraste con los suelos muy alcalinos que limitan el desarrollo normal de las plantas (Valencia & Hernández 2002).

Finalmente en cuanto a cationes en el suelo se conoce que los más importantes para la nutrición vegetal son: NH_4^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Fe^{++} , Mn^{++} , Cu^{++} y Zn^{++} . Pero como ya se mencionó están presentes el Al^{+++} y el Na^+ causantes de la acidez y alcalinidad, respectivamente (Castellanos 1985). El intercambio catiónico se define como un proceso reversible mediante el cual son cambiados cationes entre las fases líquidas y sólidas o entre fases sólidas si están en contacto estrecho una con otra. Esto debido a las propiedades coloidales del suelo con cargas electrostáticas negativas. El coloide es rodeado principalmente por K^+ , Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , elementos denominados bases cambiables, y su porcentaje dentro de la capacidad total de intercambio se denomina porcentaje de saturación de bases (Faithfull 2005). La suma de esta saturación más la base cambiante es la capacidad de intercambio catiónico. En resumen el proceso de intercambio catiónico se debe casi enteramente a la materia orgánica y a los minerales de la arcilla (López 1991).

Cuando se habla en ciencia del suelo de la conductividad eléctrica se refiere a la conductividad eléctrica de algún tipo de extracto de dicho suelo, diferente de la

conductividad misma del suelo (conductividad granel del suelo) (Calderon *et al.* 2002).

Cabe resaltar que El ICONTEC cuenta con comités especializados en la participación y difusión de los documentos normativos específicos de cada área. A nivel de análisis de calidad de suelos, el comité encargado tiene como objetivo elaborar, actualizar y difundir normas y guías técnicas colombianas en el campo de la calidad y contaminación del suelo incluyendo caracterización, clasificación, muestreo, métodos de extracción, ensayos, vocabulario y reporte de resultados. De igual modo el comité se ocupa también de todo lo referente a aguas superficiales, pero excluye los métodos de ensayo que sean aplicables a dichas aguas (ICONTEC 2008).

La bibliografía consultada no revela muchos métodos para medir la conductividad eléctrica sin embargo los más mencionados son: el método de pasta saturada de Richards, 1954 y el método de conductimetría (Kazakidou & Burrage 1994) usado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática INEG de México

Para la textura del suelo existen dos métodos usados muy comúnmente. El primero de ellos es el método de la pipeta de Kohn (Wiessmann & Nehring 1951); también llamado pipeta de Robinson por Andrades (1996). Es el más utilizado, por su exactitud analítica. Permite identificar un número mayor de fracciones del suelo, es decir determina el porcentaje de arena, de limo y de arcilla. Por otra parte existe el método de Bouyoucos de Dewis & Freitas (1970), el cual permite identificar las fracciones de arena, limo y arcilla en forma aproximada. El método de la pipeta es un procedimiento de muestreo directo, en el que se toma una submuestra con una pipeta, a una profundidad y tiempo determinado, que supone la eliminación por sedimentación de todas las partículas mayores a un diámetro determinado (Gee & Bauder 1986). Por otra parte, en el método de Bouyoucos, la determinación de la densidad de la solución de sedimentación por un hidrómetro calibrado, entrega directamente el contenido en porcentaje de la fracción de un

diámetro determinado (Norambuena *et al.* 2002, Laboratorio de suelos Ventura Matte 2005).

En cuanto al pH la medición se realiza en la mayoría de los casos con el método potenciométrico y el método colorimétrico. El método potenciométrico más usado es el de Jackson (1982) aplicado en el estudio realizado por Sacchi & De Pauli, (2002) e igualmente usado por Zapata (2004) y Dewis & Freitas en 1970. En cuanto al método colorimétrico se usa a menudo el de Jackson (1964) usado por el Laboratorio de suelos Ventura Matte y el de Jackson (1958) usado también por Zapata (2004).

Para el caso de la humedad en el suelo existen dos tipos de métodos claramente diferenciados. Hay unos llamados métodos directos que son los que miden la cantidad de agua que hay en el suelo y los indirectos que calculan la humedad mediante una calibración entre humedad y una propiedad que es más fácil de medir como por ejemplo la tensión (Borrero 1999).

El método más usado al nivel de los directos es el método gravimétrico, que es el usado por Andrades (1996) y por Goyal (2006). Este método es uno de los más exactos de todos; de hecho se usa para calibrar los demás. Para el caso de los no directos los más usados son el método del tensiómetro y el de bloques de resistencia. Dicho método se lleva a cabo mediante un instrumento que indica la tensión con que el agua está adherida a las partículas del suelo. Una de sus principales desventajas es que dicho instrumento no opera en suelos muy secos, lo cual lo hace limitado. Al igual que el método del tensiómetro, la principal desventaja del método de bloques de resistencia es que no funciona en suelos muy secos ni de texturas gruesas (Goyal 2006).

A diferencia de la metodología usada con el porcentaje de humedad, la determinación de materia orgánica tiene un método rutinario y usado generalmente llamado el método de Walkey-Black (1965). Andrades (1996) y el Laboratorio de Suelos Ventura Matte, (2005) lo usan como único método al igual que muchos otros laboratorios. Este consiste en destruir la materia orgánica

contenida en una muestra, oxidándola por medio de la adición de una mezcla de ácido sulfúrico, ácido fosfórico y dicromato de potasio, dejándola digerir por un período de tiempo, para luego realizar una determinación volumétrica con sulfato ferroso amónico del material no oxidado y así determinar la cantidad de materia orgánica en la muestra (Andrades 1996).

Para evaluar la estructura del suelo por medio de sus propiedades físicas existen técnicas como por ejemplo la distribución de los agregados (Yoder 1936). Consiste en separar los agregados según su tamaño mediante tamices; esta dinámica puede ser en seco o en húmedo. Al hacerse en seco se determina el tamaño de los agregados y al hacerse en agua se indica la estabilidad de los agregados gracias a la influencia de la polaridad del agua (Gavande 1991).

A nivel nacional el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) realiza cierta cantidad de pruebas tanto físicas como químicas para el análisis de los suelos. En cuanto a química de suelos se pueden resaltar pruebas como: cromo total, toma de espectros en infrarrojo, conductividad eléctrica, salinidad parcial y completa incluyendo pH e índice melánico, entre otras. En cuanto al factor físico el Instituto aplica pruebas como: granulometría, conductividad hidráulica, distribución de poros y humedad de campo entre otras. Sin embargo es importante aclarar que el enfoque dado en el Agustín Codazzi se direcciona hacia el tema de la cartografía, agrología, catastro, geografía y tecnologías geoespaciales, brindando un valor agregado a laboratorios que se especialicen en temas ambientales con enfoques como la ecología, siendo este caso, el del Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales (LESYHT) del departamento de biología de la Pontificia Universidad Javeriana.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Existe gran variedad de pruebas para medir las características tanto físicas como químicas del suelo, tales como la determinación de la conductividad eléctrica, de la textura, el porcentaje de humedad, la determinación de pH, de materia

orgánica, distribución de agregados, entre otras. Dichas pruebas son realizadas por muchos laboratorios especializados como es el caso del Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales (LESYHT), sin estar estas estandarizadas previamente, por lo cual no se sabe qué tan exactos ni precisos son los datos generados de estas variables, siendo estos factores importantes para el proceso de estandarización. Estos aspectos hacen de dicha estandarización una herramienta importante y necesaria para la intercambiabilidad y especificación de conocimiento tanto a nivel nacional como internacional facilitando la comunicación científica, además de hacer más robustos los resultados obtenidos a partir de las ya mencionadas pruebas.

4. JUSTIFICACIÓN

El Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales se encarga no sólo de promover investigación y generar información veraz con enfoques sociales y productivos, sino también fortalecer la formación de investigadores bien capacitados en el campo ambiental de suelos. Por tanto es de gran importancia garantizar que los resultados obtenidos en dicho laboratorio cumplan normas básicas mediante las cuales se tenga certeza de la autenticidad de los datos y, con base en esto pueda existir procesos de interacción con otros laboratorios e instituciones a fin de que sumando esfuerzos se comprenda de una manera integral el concepto de suelo.

Por tal razón se requiere la estandarización de sus técnicas de análisis fisicoquímico de suelos para dar el primer paso en el proceso de validación del laboratorio.

5. PREGUNTAS E HIPOTESIS DE INVESTIGACIÓN

Pregunta 1: ¿Existen diferencias entre las réplicas de datos obtenidos a partir de las pruebas fisicoquímicas de suelos del LESYHT?

Hipótesis 1: Las diferencias entre las réplicas de datos obtenidos para un operario mediante las pruebas fisicoquímicas de suelos del LESYHT no serán significativas debido a que las condiciones de manejo, almacenamiento y procesamiento de las muestras serán similares para todos los casos.

Pregunta 2: ¿Existen diferencias entre los datos obtenidos por cada operario para las pruebas fisicoquímicas evaluadas en el LESYHT?

Hipótesis 2: Las diferencias entre los resultados obtenidos por cada operario a partir de las pruebas fisicoquímicas de suelos del LESYHT no serán significativas ya que los resultados serán obtenidos siguiendo el mismo protocolo.

Pregunta 3: ¿Existen diferencias entre los resultados de las pruebas fisicoquímicas del LESYHT frente a los resultados del IGAC?

Hipótesis 3: Los resultados fisicoquímicos expedidos por el laboratorio LESYHT diferirán menos de 20% respecto a los resultados del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

6. OBJETIVO GENERAL

Estandarizar las técnicas fisicoquímicas para análisis de propiedades del suelo del Laboratorio de Ecología de Suelos y Hongos Tropicales del Departamento de Biología.

7. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la precisión en la repetitividad y reproducibilidad de cada una de las mediciones de pruebas fisicoquímicas de suelos evaluadas.
- Establecer la exactitud de las pruebas fisicoquímicas, mediante el cálculo de las mismas para diferentes suelos, probando su veracidad y precisión.
- Documentar las fases necesarias para lograr la estandarización y ajustar los protocolos usados para la medición de los parámetros fisicoquímicos del laboratorio LESYHT.

8. MATERIALES Y MÉTODOS

8.1 Diseño de la investigación

Los factores de diseño varían según los supuestos a evaluar. Para el caso de la repetitividad, el factor de diseño corresponde a las mediciones de cada prueba fisicoquímica en el tiempo, siendo los niveles: tiempo 1, tiempo 2 y tiempo 3. Por otra parte el factor de diseño para la reproducibilidad corresponde al operario, donde los niveles están definidos como: operario (I) y operario (II).

Las variables dependiente para el caso de la repetitividad correspondieron a cada una de las pruebas fisicoquímicas, es decir al resultado de humedad, materia orgánica, pH, conductividad, textura y distribución de agregados del suelo. De igual modo para el supuesto de reproducibilidad.

8.2 Población de estudio y muestra

La población de estudio se enmarca en suelos del departamento del Meta (bosque de galería y morichal), del departamento del Quindío (pastizal) y del departamento de Chocó (bosque pluvial). La muestra correspondió a aproximadamente 900 g de suelo tomados en los diferentes departamentos y ecosistemas mencionados.

8.3 Muestreo

Se obtuvieron muestras de suelo de los departamentos del Meta, Quindío y Chocó. De modo que la muestra del estudio estuvo comprendida por suelo correspondiente a las coberturas de morichal y bosque de galería pertenecientes al municipio de Puerto López de la finca El Mirador, en el departamento del Meta. En cuanto al departamento del Quindío correspondiente al pastizal, en el municipio de Alcalá en la finca Villa Ximena. Para el bosque pluvial en el departamento del Chocó, la muestra fue tomada en el bosque aledaño a la población de Pacurita. El muestreo fue realizado en época de lluvias para los cuatro sitios (IDEAM 2009).

Dichas muestras fueron tomadas con un barreno manual (ICONTEC 1997) a una profundidad de entre 0 y 20 cm. La metodología constó de tomar submuestras de suelo de cinco puntos adyacentes separados por 2,5 m cada uno y un punto central (Figura 1). Las submuestras fueron mezcladas para obtener una muestra compuesta (Figura 2) y finalmente se empacó la mezcla en una bolsa con cierre hermético para evitar que las condiciones del suelo variaran durante el transporte hasta el laboratorio.

Una vez empacada la muestra esta fue colocada en neveras plásticas a 4 °C para evitar la pérdida de sus condiciones originales. Posteriormente fueron colocadas en los refrigeradores del laboratorio LESYHT a una temperatura de 0 a 2 °C, donde estuvieron almacenadas durante todo el estudio.



Figura 1. Parcela usada para muestreo.



Figura 2. Mezcla de todas las submuestras tomadas de los cinco puntos de la parcela para conformar la muestra compuesta.

8.4 Procesamiento de las muestras

Todas las pruebas se realizaron siguiendo los protocolos establecidos por el laboratorio LESYHT.

Para verificar el supuesto de repetitividad de los datos se realizaron tres réplicas en el tiempo de cada prueba sobre cada muestra de suelo y en cada réplica se realizaron tres repeticiones de las mediciones de cada variable. Todo esto se llevó a cabo cumpliendo condiciones necesarias para la estandarización como usar el mismo material de laboratorio, por el mismo operario, sobre las mismas muestras de suelo y bajo las mismas condiciones ambientales o en un mismo laboratorio.

En cuanto al supuesto de reproducibilidad las réplicas y repeticiones se realizaron como en el anterior, sobre la misma muestra pero con diferentes operarios de modo que se obtuvieron datos por duplicado, con material de laboratorio igualmente diferente y en laboratorios distintos o condiciones ambientales diferentes.

8.5 Análisis fisicoquímicos

La textura del suelo fue medida mediante el método de Bouyoucos (Cooper 1982, Norambuena *et al.* 2002). Se pesaron 25 g de suelo los cuales se dejaron secar a temperatura ambiente (22 a 25°C) durante 24 horas. Posteriormente cada muestra se disolvió en 5 ml de una solución dispersante con 18,75 g de tripolifosfato de sodio ($\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$), 3,75 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) y 60 ml de agua destilada. Después de 24 horas se aforó a 250 ml, con agua destilada y se llevó el contenido a una probeta de 250 ml donde se realizaron las mediciones con un hidrómetro (Fisher Scientific – 5/60 Grams 2152 H /BF). Los porcentajes de las partículas granulométricas se obtuvieron a partir de las siguientes ecuaciones:

$$Ar + L = C1 * 2$$

$$Ar = C2 * 2$$

$$L = Ar + L - Ar$$

$$A = 100 - (Ar + L)$$

donde:

A: arena (%)

Ar: arcilla (%)

L: limo (%)

El porcentaje de materia orgánica se determinó por medio del método de pérdidas de peso por ignición (Dean 1974, Faithfull 2005). Se pesó en balanza analítica (Modelo: Scout Pro SP 402) una fracción (5 g) de muestra secada a peso constante en horno (Modelo: E & Q HDN 64 A). Esta se calcinó a 550 °C en una mufla (Thermolyne Furnace 48000) durante dos horas. Se dejó enfriar y finalmente se pesó nuevamente en balanza analítica con una precisión de 0,0001 (Mettler Toledo). Empleando la diferencia de peso se calculó el porcentaje de materia orgánica perdida como carbono orgánico por ignición con la siguiente fórmula:

$$M.O = \left(1 - \frac{Pc}{Ps}\right) \cdot 100$$

donde:

M.O: materia orgánica (%)

Pf: peso fresco (g)

Ps: peso seco (g)

Para determinar el porcentaje de humedad, se empleó el método gravimétrico. Se pesaron 5 g de cada muestra de suelo y se depositaron en una bolsa de papel llevándolas a un horno de secado (E&Q HDN 64 A) a 80 °C durante 48 horas. Transcurrido este tiempo se volvieron a pesar en balanza analítica (Scout Pro SP 402) con una precisión de 0,01. Finalmente se usó la siguiente ecuación para calcular el porcentaje de humedad (Andrades 1996):

$$H = \left(1 - \frac{P_s}{P_f}\right) \cdot 100$$

donde:

H: humedad (%)

P_s: peso seco (g)

P_f: peso fresco (g)

El pH del suelo fue medido con la ayuda del potenciómetro (HACH sension 2), a partir de una suspensión de suelo en agua desionizada en proporción 1:1 (P/V), conseguida después de agitarla en un shaker (Heidolph unimax 1010 & InnOva 2100), por 5 minutos, a 150 rpm y se dejó reposar durante 30 minutos (EPA 1999).

La conductividad eléctrica se midió con el método del conductímetro donde teniendo en cuenta la densidad real de la muestra (g/ml) se agregó el peso equivalente a un volumen de 30ml a un frasco de precipitado de 100ml, posteriormente se agregó el mismo volumen de agua (30ml) de modo que la solución quede en una relación 1:1 V/V. Luego de agitar la solución se mide con el conductímetro (La Motte, conductivity/C Meter 5-wc) (Andrades 1996, USDA 1999).

8.6 Análisis de la información

Se obtuvieron dos grupos de datos de acuerdo con cada supuesto planteado (repetitividad y reproducibilidad). De modo que se realizó la prueba de Shapiro Wilks para comprobar la normalidad y se empleó la prueba de Levene para homogeneidad de varianzas. Se utilizó un análisis de varianza ANOVA o una prueba de Kruskal Wallis dependiendo del cumplimiento de los supuestos. A partir de estas se definió si existían o no diferencias significativas.

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico STATISTICA 8.0 con un α de 95 %.

9. RESULTADOS

9.1 Repetibilidad

En general se encontró que para cada una de las pruebas fisicoquímicas la mayoría de suelos cumplieron el supuesto de repetitividad, de modo que la precisión entre las réplicas para los suelos que tuvieron diferencias significativas fue alta. En cuanto al suelo de pastizal se encontró que no existieron diferencias significativas entre los datos obtenidos para dicho suelo; sin embargo aunque los suelos de morichal, bosque de galería y bosque pluvial presentaron diferencias significativas en algunos casos estas diferencias la según estadística descriptiva no fueron amplias.

En cuanto a porcentaje de humedad se pudo apreciar que en el suelo de morichal y pastizal las diferencias entre las réplicas no fueron significativas ($F=3,80$, $P=0,08$) y ($F=0,20$, $P=0,67$) respectivamente, probando que el principio de repetitividad de la prueba se cumple. El promedio de la humedad registrada para morichal osciló entre $50,77 \pm 0,80$ % y $47,70 \pm 1,79$ %, como se observa en la Figura 4. Se evidenció la existencia de una amplia diferencia de las réplicas uno y

dos ($23,02 \pm 1,08$ y $22,63 \pm 0,60$) con respecto a la réplica tres ($32,66 \pm 1,19$), en el suelo de pastizal (Figura 4). Probablemente este hecho sucedió porque los datos para la réplica tres fueron obtenidos con una muestra de suelo tomada en un muestreo más reciente y a su vez por el efecto causado por el almacenamiento de la muestra teniendo en cuenta que esta llevaba más tiempo de almacenamiento para la tercera réplica. Esto provocó una variación no sólo en el porcentaje de humedad, sino también en el resto de los valores de las pruebas, por lo cual sólo se realizaron los análisis para las dos primeras réplicas, con el fin de evitar que esto influyera en los resultados. Por tal motivo es necesario tener en cuenta el tiempo de almacenamiento probando cuánto puede estar almacenada la muestra sin modificarse por dicho efecto o en lo posible tener en cuenta el tiempo que se tuvo almacenada la muestra. Finalmente se observó que el porcentaje de humedad del suelo de pastizal no mostró diferencias entre sus réplicas.

En cuanto al porcentaje de humedad del bosque pluvial tropical y bosque de galería se observó que existían diferencias significativas entre sus réplicas ($F=12,79$, $P=0,02$; $F=16,35$, $P=0,003$, respectivamente). Dichas réplicas tuvieron valores promedio entre $17,1 \pm 0,49$ % y $19,5 \pm 0,40$ % para bosque de galería y entre $38,19 \pm 1,00$ % y $42,50 \pm 1,78$ % para bosque pluvial (Figura 4).

Para el caso del porcentaje de materia orgánica se logró probar la repetitividad para tres de los cuatro tipos de suelo. Se observó que los promedios de la réplicas para el suelo de morichal presentaron diferencias significativas ($F=8,08$, $P=0,01$) con valores promedio que van de $20,8 \pm 0,63$ % a $23,4 \pm 0,85$ % (Figura 5). Caso contrario ocurrió con los suelos de bosque de galería, bosque pluvial y pastizal donde no se presentaron diferencias significativas entre réplicas ($F=0,16$; $P=0,85$; ($F=1,02$, $P=0,36$ y $F=0,44$, $P=0,54$, respectivamente).

Los valores promedio para el suelo de bosque de galería oscilaron entre $8,47 \pm 0,19$ % y $19,70 \pm 5,83$ %. El suelo de pastizal mostró valores promedio cercanos entre sus réplicas sugiriendo que no hay diferencias significativas. Igualmente ocurrió con el suelo de bosque pluvial; sin embargo el promedio varió más que en el de pastizal con valores de $8,47 \pm 0,19$ % y $10,70 \pm 5,83$ % (Figura 5).

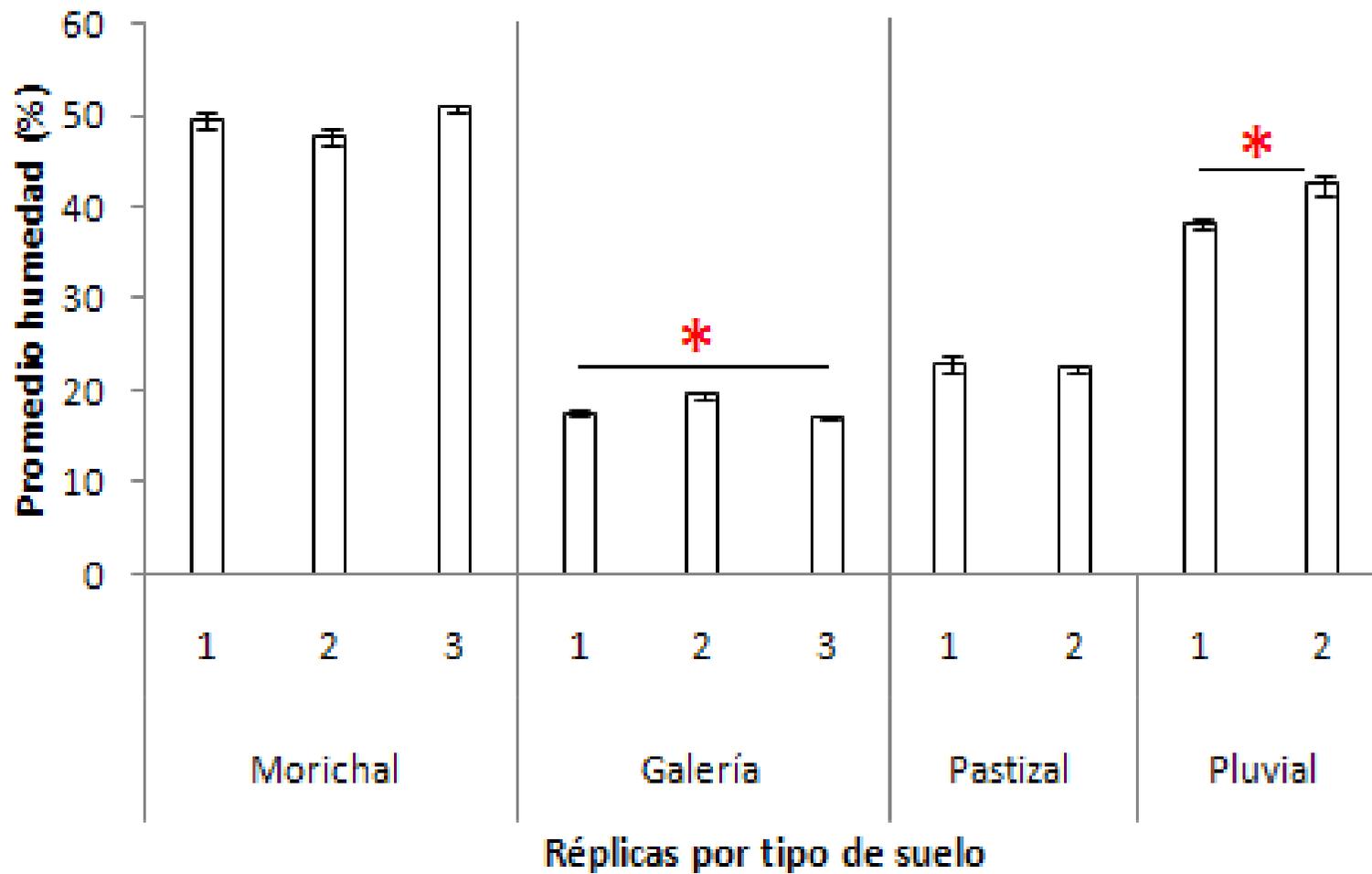


Figura 4. Promedio y error estándar de los datos de porcentaje de humedad para cada suelo, bajo el supuesto de repetitividad.

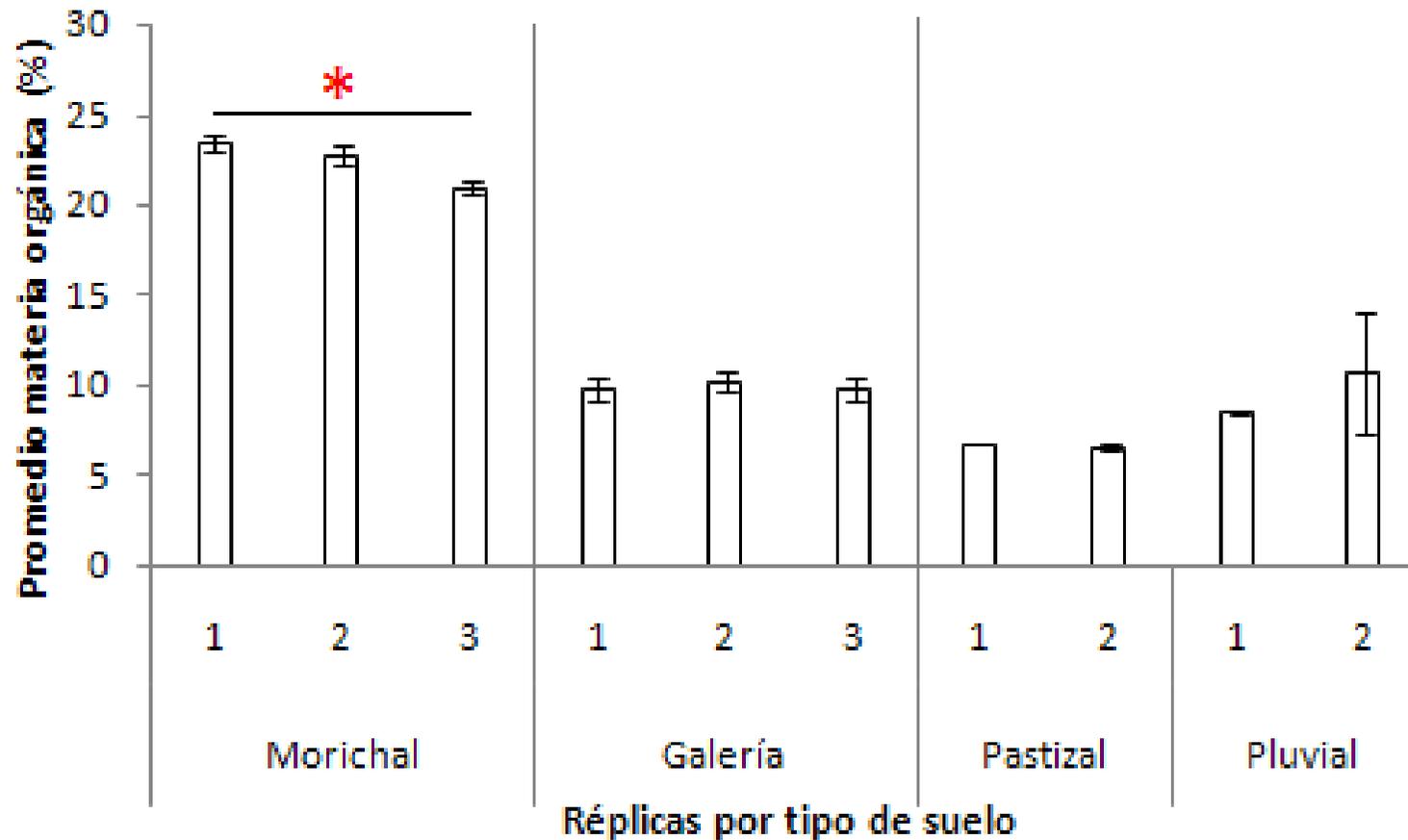


Figura 5. Promedio y error estándar para los datos de porcentaje de materia orgánica para cada suelo, bajo el supuesto de repetitividad.

En general se observó que el pH para los cuatro suelos es ácido (Figura 6). El valor de pH para el suelo de morichal y bosque de galería fue significativamente diferente entre réplicas ($F=65,31$, $P=0,00$; $F=16,95$, $P=0,00$, respectivamente), mientras que el pH del suelo de bosque pluvial ($F=4,68$, $P=0,05$) y pastizal ($F=6,96$, $P=0,05$) no presentaron diferencias significativas. Esta diferencia es de 0,51 para bosque pluvial y de 0,28 para pastizal.

Con respecto a la conductividad eléctrica las diferencias significativas entre réplicas se encontraron en bosque pluvial ($F=17,19$; $P=0,003$). Este suelo tuvo una conductividad baja, entre $35,1 \pm 2,62 \mu\text{s/cm}$ y $26,5 \pm 1,61 \mu\text{s/cm}$. En los suelos de morichal y bosque de galería las diferencias no fueron significativas entre réplicas ($F= 0,48$; $P= 0,68$) y ($F=0,63$; $P=0,56$), con un promedio entre $21,33 \pm 1,43 \mu\text{s/cm}$ y $20,43 \pm 0,23 \mu\text{s/cm}$ para el primero y entre $193,57 \pm 37,46 \mu\text{s/cm}$ y $172,5 \pm 16,99 \mu\text{s/cm}$ para el segundo (Figura 7). Lo mismo ocurrió con el suelo de pastizal, encontrando que no existen diferencias significativas ($F=0,10$; $P=0,76$) y que sus promedios no varían entre réplicas, con valores de $137,13 \pm 8,70 \mu\text{s/cm}$ para el menor y $139,16 \pm 6,48 \mu\text{s/cm}$ para el mayor.

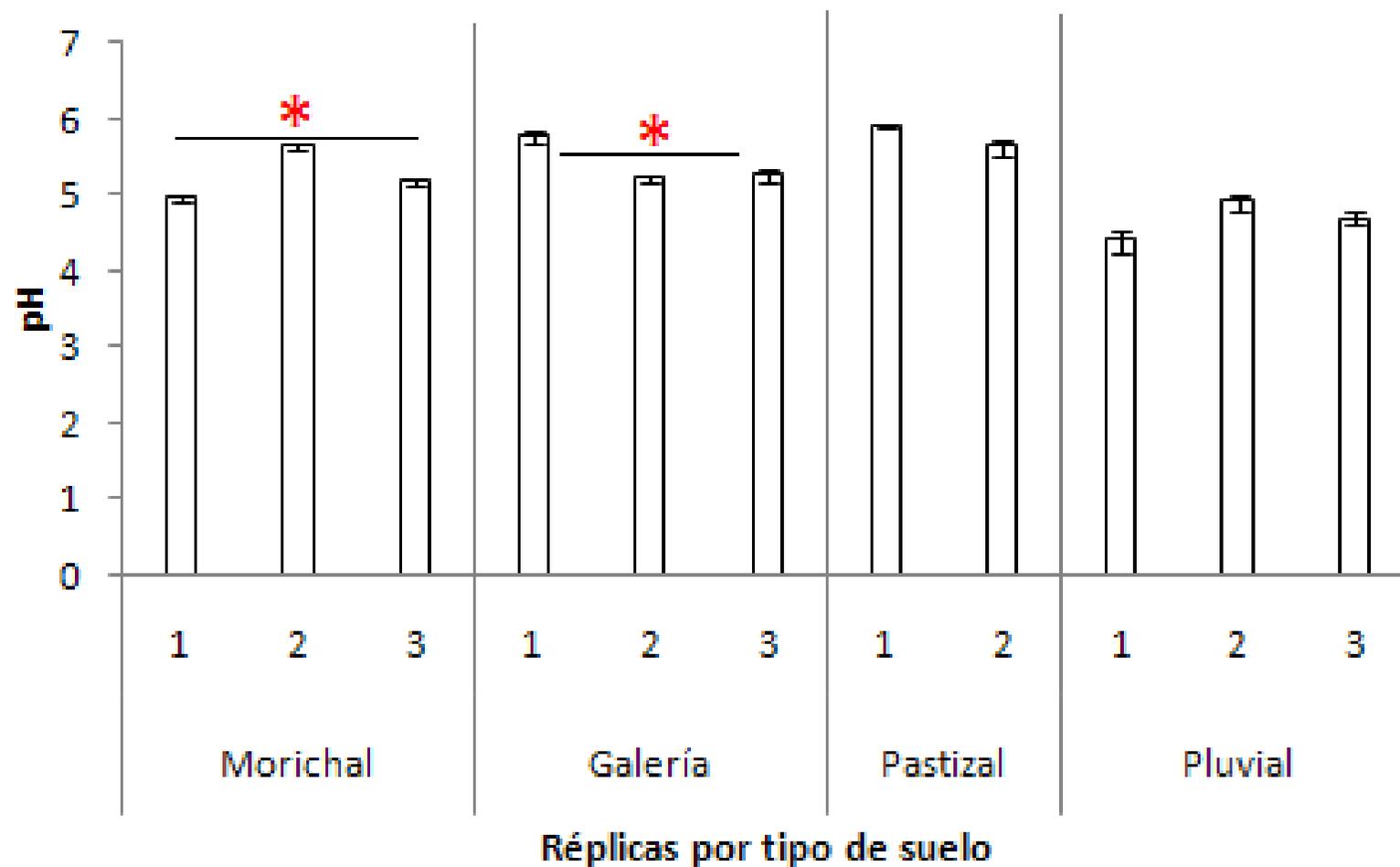


Figura 6. Promedio y error estándar para los datos de pH para cada suelo, bajo el supuesto de repetitividad

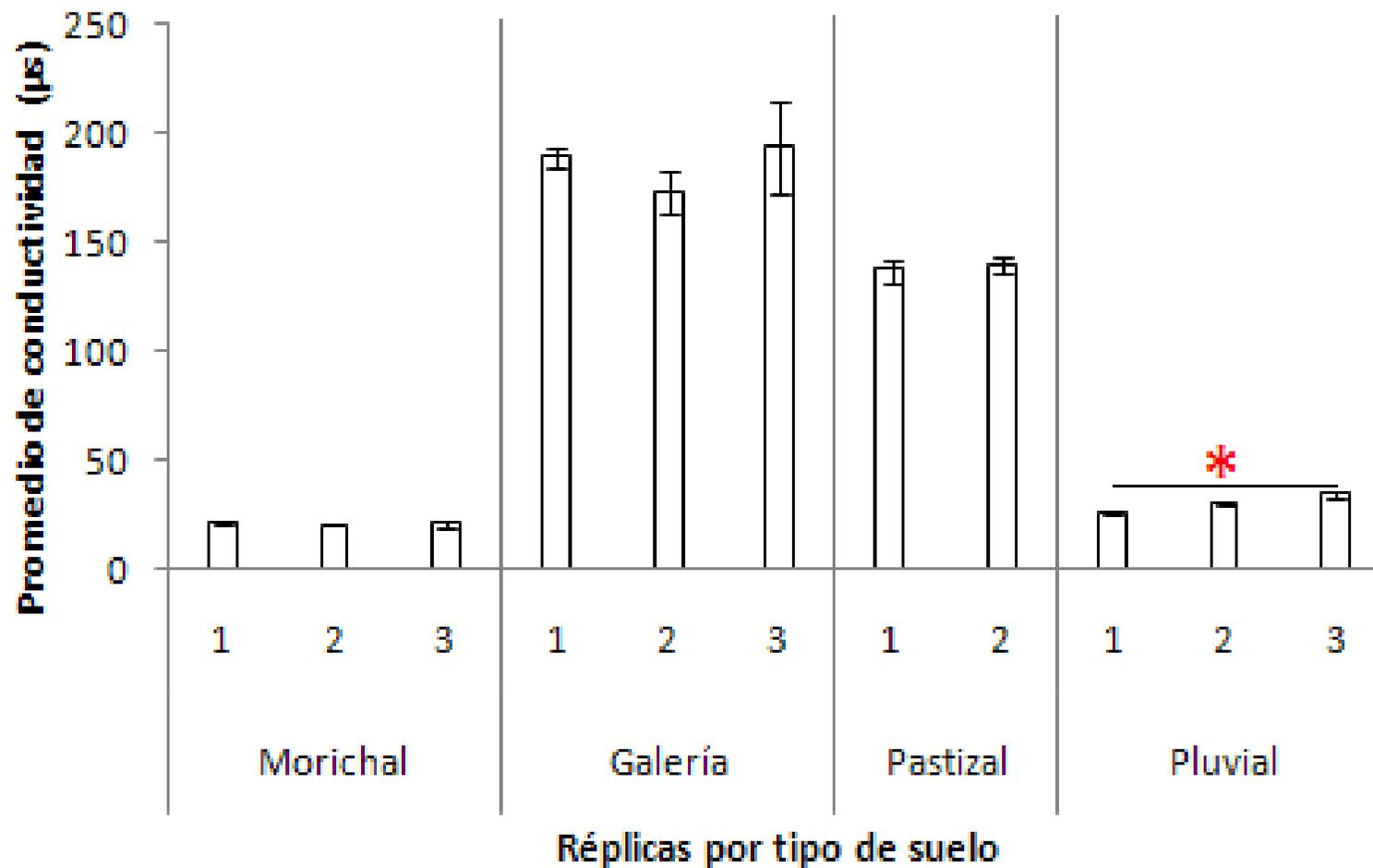


Figura 7. Promedio y error estándar para los datos de conductividad para cada suelo, bajo el supuesto de repetitividad.

Para la textura se obtuvo que la mayoría de partículas por suelo cumplieron el supuesto de repetitividad. Para el suelo de morichal se encontró que los promedios de las partículas de limo y arcilla no tuvieron diferencias significativas entre réplicas ($F=1,70$; $P=0,25$) y ($F=0,14$; $P=0,86$), a diferencia de la arena que sí las presentó ($F=55,48$; $P=0,00$). Los promedios entre réplicas para arena mostraron que existían diferencias con valores de $45,33 \pm 3,05$ % y $78,66 \pm 3,33$ % (Figura 8a). Igualmente las réplicas para arcilla oscilaron entre 8 ± 2 y $7,30 \pm 2,33$, de manera similar a los de limo ($21,33 \pm 7,57$ %) y ($14 \pm 3,46$ %) (Figura 8a). Al comparar la variabilidad entre los promedios de las réplicas de las tres partículas fue evidente que existió una mayor diferencia en el caso de la arena.

En el suelo de pastizal la arcilla, limo y arena no mostraron diferencias significativas ($P>0,05$ en todos los casos). Los promedios oscilaron entre 8 ± 4 y $7,33 \pm 1,15$ para arcilla, $27,3 \pm 9,16$ y 16 ± 0 para limo y finalmente $64,66 \pm 10,26$ y 76 ± 4 para arena (Figura 8B). Lo mismo ocurrió con el suelo de bosque de galería donde las tres partículas, arcilla limo y arena, no presentaron diferencias significativas entre réplicas ($P>0,05$ en los tres casos) y los promedios entre réplicas estuvieron cercanos uno del otro, en especial para la partícula de arena (Figura 8C). Finalmente el suelo de bosque pluvial tampoco presentó diferencias entre réplicas para ninguna de las partículas ($P>0,05$).

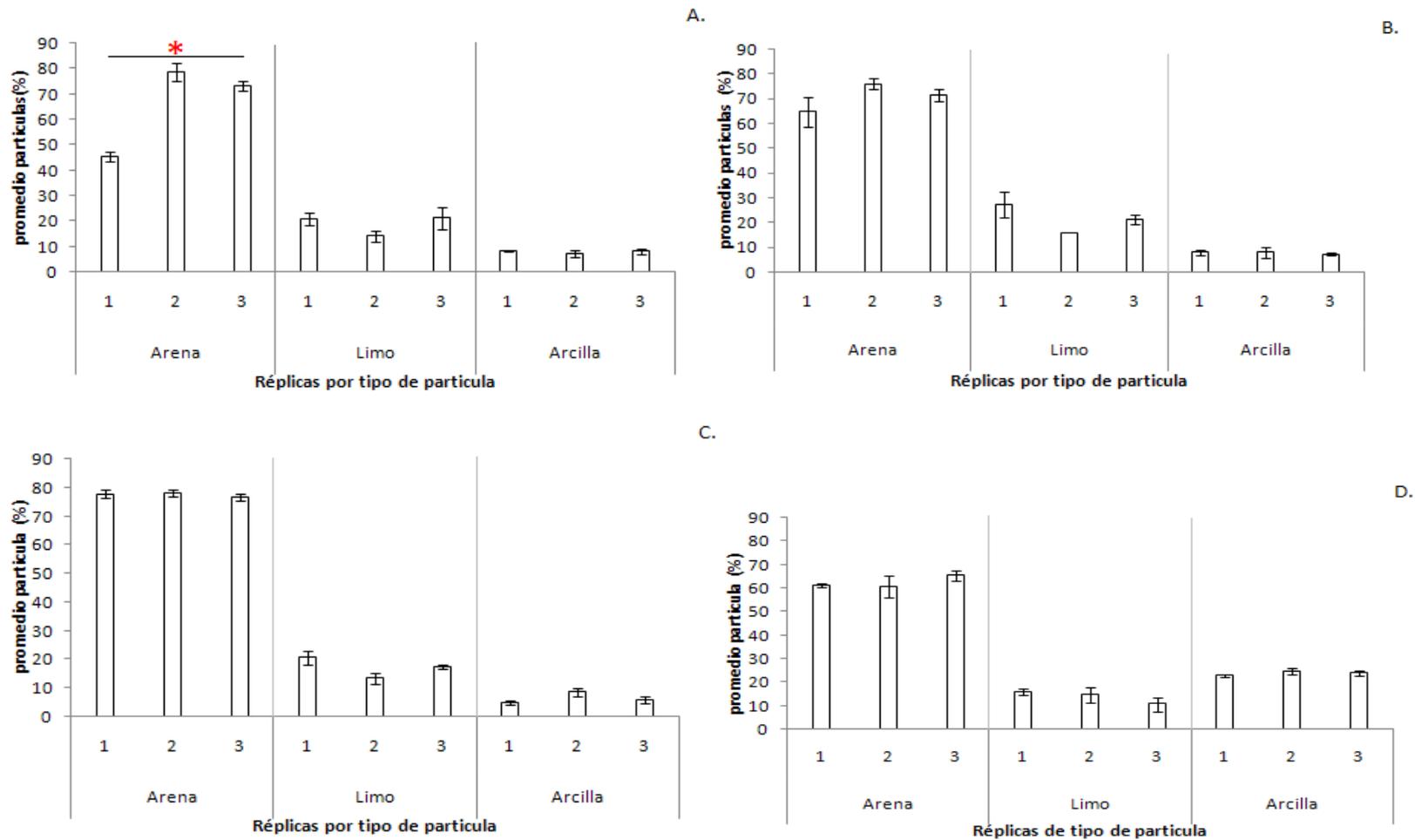


Figura 8. Promedio y error estándar para los datos de textura por partícula granulométrica para cada tipo de suelo, bajo el supuesto de repetitividad. A. Suelo de morichal. B. Suelo de pastizal. C. Suelo de bosque de galería. D. Suelo de bosque pluvial.

9.2 Reproducibilidad

Se usaron los datos de las variables y de los suelos que habían cumplido el supuesto de repetitividad y se determinó la reproducibilidad, comparando los resultados de los análisis realizados entre dos personas distintas.

Con respecto al porcentaje de humedad los datos del suelo de morichal para cada operario no presentaron diferencias significativas ($F=0,36$; $P=0,55$). Los suelos de pastizal, bosque de galería y bosque pluvial no fueron analizados debido a que presentaron diferencias en el análisis del supuesto de repetitividad.

En cuanto a la materia orgánica el suelo de morichal fue el único que no cumplió los requisitos para emplear el análisis de varianza para establecer el supuesto de reproducibilidad. Se observó que los promedios de bosque pluvial y pastizal fueron similares entre operarios diferenciándose sólo en 0,28% para bosque pluvial y 0,01 para pastizal; finalmente estos suelos no presentaron diferencias significativas ($F=0,00$; $P=0,99$) para pastizal y ($F=0,00$; $P=0,94$) Para el caso de bosque de galería los promedios variaron entre $9,33 \pm 1,26$ y $9,92 \pm 0,94$, señalando que aunque hay una diferencia más amplia con respecto a los dos suelos anteriores no presentó diferencias significativas ($F=1,27$; $P=0,27$).

Para la textura el suelo de pastizal no presentó diferencias significativas entre operarios ($F=0,00$; $P=0,99$) al igual que el suelo de bosque pluvial ($F=0,00$; $P=0,94$). se observó que la única partícula granulométrica que cumplió el supuesto de reproducibilidad para el suelo de morichal fue la de limo, debido a que no existieron diferencias significativas entre el operario I y el operario II ($F=0,03$; $P=0,85$). A diferencia del limo, la de arcilla presentó diferencias significativas entre los resultados de ambos operarios ($F=9,76$; $P=0,006$), y finalmente a partícula de arena no se analizó.

La figura 9 A muestra la diferencia entre los promedios de arcilla, oscilando entre $7,77 \pm 1,56$ y $5,11 \pm 2,02$, similar a como variaron los valores para el limo ($18,66 \pm 5,83$) y ($19,11 \pm 4,13$). Se puede apreciar que la diferencia entre los promedios para ambas

partículas es baja dando como resultado una clase textural franco-arenosa para el resultado de ambos operarios.

Para el suelo de bosque de galería se observó que para la partícula de arcilla no existieron diferencias significativas ($F=0,68$; $P=0,41$). Los promedios de limo para el operario I ($17,11 \pm 4,13$) y para el operario II ($22,66 \pm 6,63$) (Figura 9C) mostraron que no hay un cambio entre operarios para la clase textural encontrando que el suelo es arenoso-franco, aunque esta partícula tenga diferencias estadísticamente ($F=4,54$; $P=0,48$). En cuanto a la arena se encontraron igualmente diferencias significativas ($F=9,55$; $P=0,00$) y se encontró que la variación de los promedios entre operarios es amplia con respecto a los otros dos tipos de partículas ($70,6 \pm 6,24$) para el operario I y ($77,4 \pm 2,06$) para el operario II (Figura 9 C). Sin embargo aunque la variación entre los datos de ambos operarios para arena sea más alta es poco probable que cambie a nivel textural.

En cuanto a pastizal y bosque pluvial se encontró que los promedios del porcentaje de las tres clases de partículas fueron semejantes (Figura 9 B y D, respectivamente). Con respecto a esto se confirmó que no existieron diferencias significativas entre operarios para las partículas de arcilla ($F=0,01$; $P=0,90$), limo ($F=0,01$; $P=0,91$) y arena ($F=0,02$; $P=0,87$). Igualmente ocurrió con el suelo de bosque pluvial donde la arcilla ($F=1,32$; $P=0,26$), el limo ($F=0,75$; $P=0,75$) y arena ($F=0,53$; $P=0,47$) no presentaron diferencias significativas entre los resultados generados por ambos operarios.

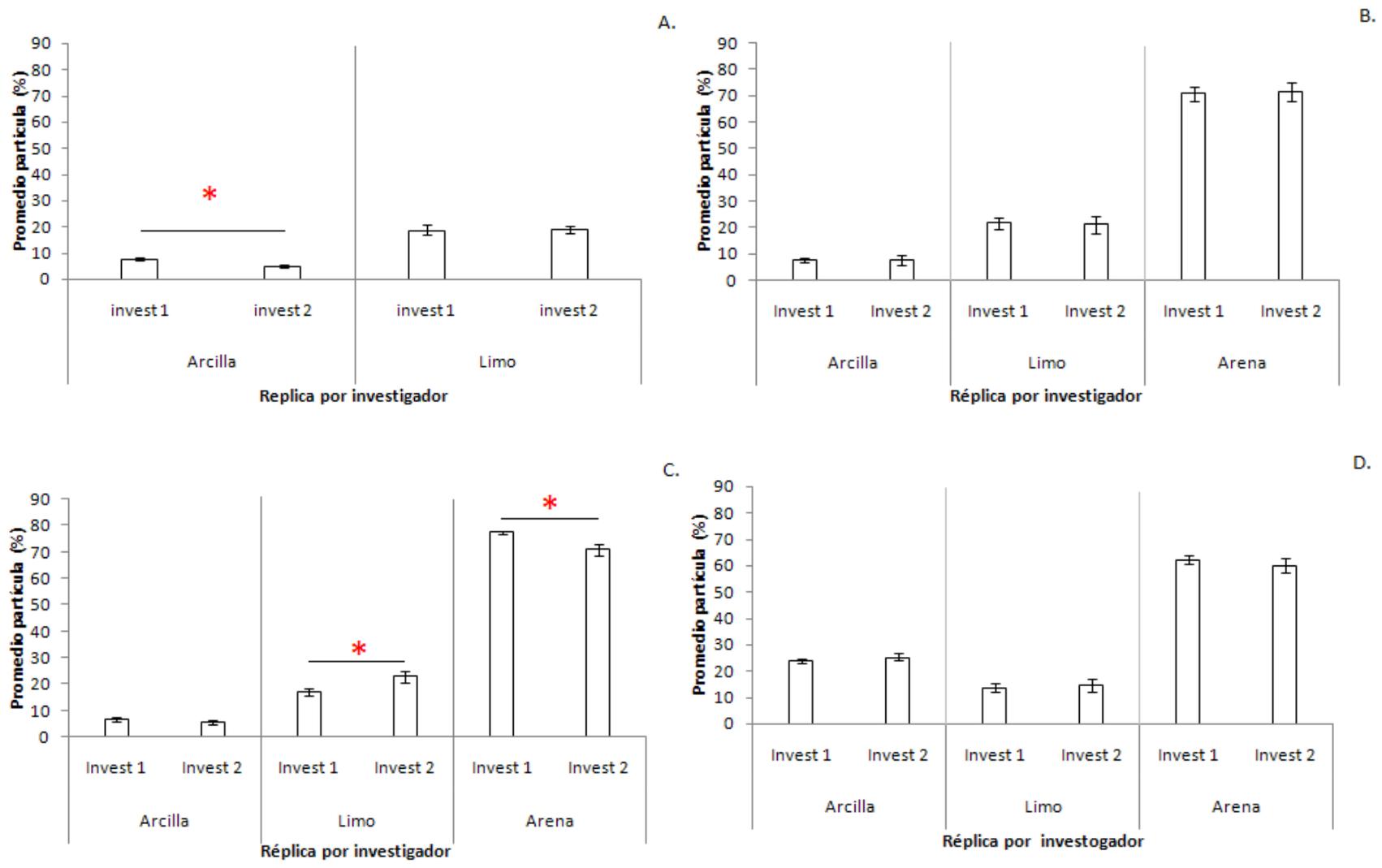


Figura 9. Promedio y error estándar por operarios del porcentaje de cada partícula granulométrica, bajo el supuesto de reproducibilidad. A. Suelo de morichal. B. Suelo de pastizal. C. Suelo de bosque de galería. D. Suelo de bosque pluvial.

En cuanto a pH sólo se realizó la comparación para los suelos de pastizal y bosque pluvial, debido a que fueron los que cumplieron el supuesto de repetitividad. Los promedios de pH entre operarios para los suelos mencionados no variaron significativamente con valores entre $5,903 \pm 0,02$ para pastizal y $5,623 \pm 0,18$ para bosque pluvial. Igualmente la estadística corroboró que no existieron diferencias significativas entre operarios para ninguno de los dos suelos ($F=0,81$; $P=0,38$ para pastizal) y ($F=1,97$; $P=0,17$ para bosque pluvial).

Para el caso de la conductividad eléctrica se realizaron análisis para los suelos de bosque de galería y morichal, siendo los valores promedio muy similares entre operarios, semejante a lo ocurrido en el caso de pH. Los valores de promedio oscilaron entre $20,8 \pm 1,12$ para morichal y $21,3 \pm 2,31$ para bosque de galería. Finalmente se apreció que los datos entre operarios no presentaron diferencias significativas para el suelo de morichal ($F=0,28$; $P=0,60$) y lo mismo ocurrió para el bosque de galería ($F=1,96$; $P=0,18$).

En general los valores promedio en cada una de las pruebas realizadas para todos los suelos aunque para algunos casos se encontraron diferencias significativas, los valores no variaron ampliamente en el caso de la repetitividad, por lo cual se podría decir que las pruebas realizadas son válidas para los cuatro suelos. Igualmente se puede observar que no existieron diferencias significativas, para ningún caso en el supuesto de reproducibilidad con excepción de tres partículas granulométricas en la prueba de textura y estas igualmente no variaron mostrando que fueron reproducibles

9.3 Exactitud

Con el fin de corroborar la exactitud de los datos obtenidos, estos fueron comparados con valores provenientes del Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Bogotá, D.C.). Se encontró que los datos difirieron de los obtenidos de este laboratorio de referencia, con excepción de los valores de pH. Para el caso de la humedad se encontró concordancia en los datos para

pastizal y bosque de galería siendo la diferencia de 1,8% y de 3,64%, respectivamente. En ambos caso el valor reportado por el IGAC fue mayor. Los valores obtenidos en morichal y bosque pluvial estuvieron por debajo del laboratorio de referencia con una diferencia de 50,7% para morichal y de 20,7% para bosque pluvial.

Para el caso del porcentaje de materia orgánica los valores concordaron en el sentido de que para los suelos que tuvieron mayor porcentaje según el IGAC para los datos obtenidos en este trabajo también fue así. Sin embargo los datos de materia orgánica obtenidos por el LESYHT fueron superiores en 9,9% en promedio. Se apreció que la diferencia entre los valores fue de 16,3 para morichal, 7,0 para bosque de galería, 7,4 para pastizal y 8,7 para bosque pluvial.

De la misma manera ocurrió con los datos para conductividad eléctrica con la diferencia de que los datos obtenidos en el LESYHT fueron menores que los del laboratorio de referencia, estando los resultados del IGAC entre 0,13 dS/m y 0,85 dS/m para los suelos de bosque pluvial y bosque de galería, respectivamente frente a los obtenidos en este trabajo de 0,003 dS/m para bosque pluvial y 0,18 dS/m para bosque de galería, siendo los datos del IGAC aproximadamente 100 veces más altos para el bosque pluvial y 5 veces para el bosque de galería. Con respecto a lo anterior la clasificación dada por el Manual de Agricultura N° 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Orellana & Pilatti 1999) define a los suelos como suelo normales si presentan una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m, de modo que se puede decir que los suelos determinados tanto por el IGAC como por el LESYHT son normales.

Caso contrario ocurrió con la prueba de pH donde los resultados de ambos laboratorios, como ya se había mencionado coincidieron con alta precisión. La diferencia entre los valores de cada laboratorio para el suelo de morichal fue de 0,2, siendo el del laboratorio del IGAC el del valor más alto. De igual modo esta mínima diferencia (0,2) se observó para el suelo de pastizal donde el IGAC registró el valor más alto. El mismo valor se aprecia en el suelo de bosque de

galería, donde la diferencia de pH fue la misma (0,2), pero en este caso el LESYHT reportó el valor más alto. Para el caso del bosque pluvial el valor fue de 4,6 en ambos laboratorios.

Los datos para textura difirieron entre laboratorios, ya que ninguna de las clases texturales coincidió con excepción de la de pastizal, donde para ambos laboratorios el suelo fue franco-arenoso. En cuanto a la textura de bosque de galería el laboratorio del IGAC afirma que pertenece a la clase textural franco-arenoso mientras que el resultado obtenido en el LESYHT fue arenoso-franco. El morichal figuró como franco-arenoso, mientras que para el laboratorio del IGAC lo tomó como franco únicamente. El bosque pluvial resultó ser franco-arenoso-arcilloso, mientras que el laboratorio de referencia lo clasificó como franco-arcilloso.

Finalmente ya que no se encontró en la bibliografía un coeficiente de variación acorde con el tema tratado en este estudio se planteó usar un coeficiente de variación (CV) a partir del trabajo de Silva *et al.* (2007) quien plantea un CV= 30% según la EPS (1990) para estandarizar bioensayos de toxicidad aguda en *Diplodon chilensis* con un enfoque de control ambiental. Este valor es considerado riguroso ya que se trata de ensayos con fauna y la idea principal es el manejo ambiental de contaminantes. A partir de esta valor y teniendo en cuenta que el valor citado es para calibración intralaboratorio se estableció el CV= 20% para determinar la variación máxima de los valores obtenidos en estas pruebas fisicoquímicas, frente a los de referencia, teniendo en cuenta que el valor interlaboratorio debe ser más riguroso.

Se encontró que el 39,28% de los datos variaron por encima del coeficiente de variación en especial los datos para las partículas de textura, ya que nueve de las doce muestras analizadas presentaron un valor superior a 20%, lo que indica que para textura el supuesto de la exactitud no se cumple. Para el caso de materia orgánica el 50% de los suelos no presentaron exactitud, de modo que los datos para dicha prueba tampoco son exactos. En cuanto a las pruebas de porcentaje

de humedad, pH y conductividad eléctrica se puede decir que los datos fueron exactos con excepción del suelo de pastizal para conductividad eléctrica.

Finalmente se puede observar que en algunos casos los resultados presentaron diferencias significativas, por tal razón hay que tener en cuenta cuatro aspectos fundamentales que pudieron influir en dichas diferencias: la calibración de los equipos, la experiencia del analista que desarrolló las pruebas fisicoquímicas, la concordancia de las pruebas usadas por el laboratorio de referencia frente a las usadas en el laboratorio evaluado y la diferenciación de las condiciones ambientales en las que se realizaron dichas pruebas fisicoquímicas en el laboratorio evaluado.

10. DISCUSIÓN

En general se observó que al menos dos de los cuatro suelos evaluados cumplieron el supuesto de repetitividad para todas las pruebas fisicoquímicas de suelo. Contrario a esto para el supuesto de reproducibilidad todos los datos obtenidos por los operarios cumplieron dicho supuesto, con excepción de una partícula granulométrica para el suelo de morichal y dos para el suelo de bosque de galería. De acuerdo a lo ocurrido con los datos bajo el supuesto de repetitividad y teniendo en cuenta que la diferencia entre promedios es baja para los que tuvieron diferencias significativas, es probable afirmar que estas mínimas diferencias se deban a errores cometidos por el operario al seguir el protocolo, sobre todo en las del caso de la reproducibilidad. Sin embargo no se puede descartar otro tipo de factores como los equipos utilizados y el manejo de muestras. De modo que se hace necesario solucionar problemas en algunos aspectos de rigurosidad en el seguimiento de los protocolos, tales como mediciones exactas y precisas, los mismos intervalos de tiempo, pesos exactos y precisos entre otros, a fin de lograr que los datos muestren la precisión necesaria para cumplir la repetitividad esperada.

Las características propias de los bosques chocoanos donde los suelos se caracterizan por recibir precipitaciones de tipo bimodal, en un rango entre 6000 mm y 8000 mm al año (IGAC 2002), además de las altas humedades relativas que se generan (88,3% promedio de 13 estaciones) (IGAC 2002), y de evapotranspiraciones cercanas a 1.500 mm, son concordantes con las características del suelo de bosque pluvial en cuanto a humedad, ya que los datos obtenidos presentaron un porcentaje alto de humedad ($40,35 \pm 1,39$ %) con respecto a los suelos evaluados.

Para el caso de los suelos de morichal y bosque de galería se puede decir que predomina un clima tropical ($26-28$ °C) con precipitaciones de tipo monomodal. El promedio de precipitación varía entre 2772 mm a 3048 mm (occidente del departamento de Casanare) (IGAC 1983). De modo que los datos para la región concuerdan con los resultados de porcentaje de humedad para el suelo de bosque de galería ($18,10 \pm 0,56$), ya que al compararlos con respecto a los resultados del bosque pluvial tienen aproximadamente la mitad de la humedad de este ($40,35 \pm 1,39$), relacionándolo con el nivel de pluviosidad, y teniendo en cuenta que el porcentaje de saturación de ambos es similar (70,83) para bosque de galería y (78,79) para bosque pluvial. Sin embargo la muestra del suelo de morichal fue tomada en un área cercana al bosque de galería y tuvo el porcentaje de humedad más alto del estudio. Esto puede explicarse ya que en general los suelos de morichales de esta zona pertenecen a la clase VIII del sistema de clasificación de tierras por capacidad de uso, lo cual indica que los suelos de morichal tienen extensos periodos de inundación y son áreas de preservación de cursos permanentes de agua (Strebin & Pérez 1980). Por otra parte las muestras de suelo fueron tomadas en época de lluvias lo cual puede explicar porque el porcentaje de humedad es relativamente alto.

Se puede apreciar en la Gráfica 4 que el porcentaje de humedad para el suelo de bosque pluvial fue más bajo en una réplica que en la otra. De igual modo ocurrió para el bosque de galería; sin embargo el valor de humedad de la réplica tres de

este suelo fue más bajo que los anteriores. La muestra de este suelo fue tomada igualmente en época de lluvias por lo cual se explica el relativo alto contenido de humedad. No es posible observar claramente un patrón definido para los cuatro tipos de suelo en cuanto al porcentaje de humedad, de modo que el hecho de que no se haya cumplido el supuesto de repetitividad para los suelos de bosque pluvial y bosque de galería puede atribuirse a errores cometidos en el seguimiento del protocolo, teniendo en cuenta que la diferencia entre promedios para estos suelos fue similar a la diferencia para los suelos de morichal y pastizal los cuales cumplieron el supuesto. En síntesis los resultados obtenidos para los bosques de galería y pluvial tropical muestran que no se cumplen el principio de repetitividad, sin embargo si se comparan las variaciones entre los promedios de los suelos que no cumplieron el supuesto frente a los que sí lo hicieron es claro que la diferencia no es amplia, por lo cual se podría afirmar que biológicamente no hay diferencias considerables.

Igualmente ocurre con los resultados obtenidos para porcentaje de materia orgánica. No es fácilmente evidenciable un patrón, ya que los porcentajes entre réplicas por cada suelo mostraron una variación diferente. Esto probablemente puede ser explicado al tener en cuenta que el almacenamiento de las muestras tiene un efecto importante sobre procesos como la mineralización, ya que el metabolismo de los microorganismos disminuirá por las bajas temperaturas (0 ± 2 °C), por la anoxia presentada en el recipiente donde se alberga la muestra y finalmente porque el total de las muestras se almacenaron unas sobre otras, lo que disminuye el crecimiento de microorganismos aeróbicos (ICONTEC 1997).

Por otra parte, hay que tener en cuenta que al seguir el protocolo existe la posibilidad de trabajar con una porción de muestra que contenga más residuos orgánicos (raíces, hojas etc.) que otra, de modo que al realizar el análisis de pérdidas de peso por ignición el resultado cambiará drásticamente, por lo cual se sugiere un método para conseguir una muestra más uniforme y disminuir dicha variación. Esto puede ser solucionado tamizando dicha muestra con un tamiz de 2

mm ya que según (Anderson 1982) esto separa un alto porcentaje de material vegetal e igualmente de macrofauna del resto del suelo de modo que es una medida apropiada para evitar la variación en los resultados con respecto a los análisis fisicoquímicos.

Al comparar la diferencia que hay entre los promedios del suelo de bosque pluvial con la diferencia entre los de morichal se aprecia que para el primero es de 2,23 frente al morichal que es de 2,6. Por lo anterior se podría decir que aunque la estadística afirme que existen diferencias significativas para el suelo de morichal, es poco probable que haya una variación significativa a nivel físico, químico o biológico por un 0,4% de diferencia en el contenido de materia orgánica, en especial respecto al efecto que esta diferencia de contenido de materia orgánica podría tener en cuanto a la agregación del suelo o en la actividad de la micro y la macro fauna (Mahboubi *et al.*, 1993; Chagas *et al.*, 1994).

Para el caso del pH en Colombia predominan suelos ácidos y extremadamente ácidos (pH menor de 5,5), sobre los moderadamente ácidos y neutros (pH 5,5 – 7,5) y sobre los básicos y alcalinos (Malagón 2003). El valor de pH predominante para los suelos del departamento del Meta es de 5, aumentando ocasionalmente a 5,5 (Malagón 2003), de modo que los resultados obtenidos para los suelos de bosque de galería y morichal (suelos extraídos de dicho departamento) se ajustan al valor encontrado en la bibliografía.

Para el caso del bosque pluvial se conoce que el valor de pH del suelo varía entre 4,5 y 5 (Malagón 2003), siendo estos valores similares para cada una de las réplicas de dicho suelo. En cuanto al suelo de pastizal se obtuvieron valores alrededor de 5,5 siendo este valor acorde con el valor de referencia encontrado para los suelos con alto contenido de cenizas volcánicas, como lo son los suelos del departamento del Quindío. Este valor oscila entre 5 y 6 puntos de pH (Luna 1968; Hermelin, 1992).

Sin embargo aunque los valores de pH para los suelos estudiados se acomodan a los valores referenciados, sólo se pudo probar la repetitividad para el bosque pluvial y el pastizal. Es importante observar que los promedios entre los cuatro suelos para la prueba de pH varían de manera similar, tanto para los que cumplieron el supuesto como para los que no lo hicieron, con una diferencia de máximo 0,7 puntos. El pH está relacionado con la distribución de especies arbóreas (Franck y Finckh 1999); sin embargo el valor de la diferencia es tan bajo en términos de pH que es poco probable que tenga algún efecto en dicha distribución. Por otra parte la acidez del suelo es importante por su efecto sobre la solubilidad y biodisponibilidad de los elementos y los metales (Jansen *et al.* 1997). Teniendo en cuenta el valor de la diferencia antes mencionada es probable que sea insuficiente como para alcalinizar el suelo a tal punto que afecte la solubilidad y biodisponibilidad de elementos nutrientes o metales. De este modo se puede decir que esta variación probablemente a nivel ecológico no tenga implicaciones.

Por otra parte Alexander (1981) afirma que cuando factores como la humedad se mantienen más o menos constantes, el pH puede promover o inhibir la actividad microbiana en cuanto a la descomposición de materia orgánica, siendo más rápida en suelos que van de un pH neutro a uno ligeramente alcalino (7,5 – 8,5). De acuerdo a esto, la variación de pH necesaria para modificar esta conducta microbiana debe ser superior a 1 punto de pH, de modo que la diferencia de 0,7 de mencionada anteriormente probablemente no tenga un efecto a nivel de la fauna o microbiota del suelo.

Aun que la variación mencionada no tenga una posible relevancia ecológica cabe resaltar que a lo largo del análisis de pH se observó un fenómeno que podría explicar lo ocurrido con las diferencias en los promedios. En la sección del protocolo previa a la medición con el potenciómetro, algunas muestras fueron agitadas y otras no, mostrando una variación entre 0,4 y 0,6 puntos de pH, lo cual es suficiente para igualar los promedios entre réplicas para los suelos que mostraron diferencias significativas. El error fue cometido ya que antes de medir el

pH es necesario decantar la solución de modo que quedara un sobrenadante, lo cual confundió a los operarios. Finalmente se podría afirmar que la técnica funciona para los cuatro tipos de suelo.

La diferencia entre promedios de pH para bosque de galería fue de 0,56 y para morichal de 0,66. Es poco probable que las diferencias que hay entre los promedios de bosque de galería y morichal sean significativas en términos biológicos, físicos o químicos ya que como se mencionó antes estas son mínimas. Según la estadística el suelo de bosque pluvial no mostró diferencias significativas entre réplicas y la variación entre los promedios de dichas réplicas es de 0,51, caso contrario ocurrió para el suelo de morichal, el cual resultó con las diferencias más altas entre réplicas (0,66) de modo que se podría decir que la prueba de pH funcionó bien para los cuatro suelos.

Para el caso del análisis de textura se observa claramente que en tres de los cuatro suelos analizados se cumple la repetitividad para los tres tipos de partículas. Sin embargo para el suelo de morichal, la partícula de arena presenta una amplia diferencia entre el promedio de la primera réplica con respecto a las otras dos. Esto es debido definitivamente a un error de lectura en la ejecución del protocolo, ya que al revisar los datos de la partícula de arena para la primera réplica del segundo operario, estos se aproximan a los resultados obtenidos en las otras dos réplicas del operario uno. De igual modo el resultado de la partícula de arena para el suelo de morichal en cinco de las seis réplicas realizadas entre ambos operarios oscila entre 70 y 82%.

Cabe resaltar que los suelos derivados de cenizas volcánicas forman agregados estables a la dispersión, ya que constituyen un complejo entre los materiales no cristalinos y el humus. Esto dificulta la eficiencia de la dispersión de las partículas, tergiversando en alguna medida el resultado de la prueba, pero en mayor medida en el caso del suelo de pastizal, ya que son suelos con alto contenido de cenizas volcánicas por proceder del Quindío. Henao (2001) afirma que por el método

clásico de Bouyoucos, los niveles de arena se observan más altos con respecto a otras técnicas para análisis de textura, de modo que la técnica puede verse cuestionada para el análisis de suelos de este tipo.

Se conoce que para el departamento del Chocó la mayoría de suelos presenta un tipo de textura fina (IGAC 2002). Según datos expedidos por la entidad anteriormente citada, efectuados con los mismos métodos y con las mismas muestras de suelo usadas en este estudio, el bosque pluvial tiene un tipo de suelo franco-arcilloso lo cual no concuerda con los datos obtenidos ya que es considerado un suelo franco-arenoso-arcilloso. Esta diferencia puede deberse al nivel de precisión del método de Bouyoucos que aunque siendo un método ampliamente usado (Ascencio 1947, Buol *et al.* 1973, Bolívar *et al.* 1993, Henao *et al.* 1997), critican su precisión tanto en la lectura como en la disgregación de cada una de las fracciones. Esta razón puede explicar probablemente las diferencias entre laboratorios.

Por otra parte, los bosques en el área de los llanos orientales tienden a ser de tipo arenoso. Al ser talados los bosques permiten que la acción de la actividad eólica aumente, formando sabanas que tienden a tener un tipo de suelo franco-arenoso (Van Wambeke & García 1962 citado por Guerrero 1982). Por lo anterior se podría afirmar que los datos obtenidos para el presente trabajo son veraces, ya que el resultado final para el suelo de bosque de galería es de tipo franco-arenoso, lo cual concuerda con el tipo de suelo para esta región según los datos del IGAC realizados para los mismos suelos de este estudio.

En cuanto a la conductividad eléctrica se conoce que los cuatro tipos de suelos presentes en este estudio son de tipo normal, acorde con su resultado de conductividad. Lo anterior se estableció de acuerdo con el Manual de Agricultura N° 60 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Orellana & Pilatti 1999) el cual como ya se mencionó explica como suelo normal aquel suelo que presenta una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m. El suelo de bosque de

galería presentó un promedio de conductividad de $0,185 \pm 0,06$ dS/m, siendo este el mayor valor obtenido. Dicho suelo presenta condiciones normales indicando que no va a verse afectado en términos de productividad, teniendo en cuenta que la salinidad afecta directamente la productividad del suelo provocando consecuencias en agroecosistemas productivos (Zentmyer 1985). Igualmente no se va a ver afectado en cuanto a la diversidad florística, ya que en el estudio de Roth *et al.* (2004) se encontró una relación positiva entre la diversidad de cactáceas en el Valle del río Chillón en Lima Perú, con respecto a la conductividad eléctrica.

La conductividad mostró que tres de los cuatro suelos cumplieron el supuesto de repetitividad. Al comparar los promedios de las réplicas para el suelo que no mostró repetitividad (bosque pluvial), se consideró que la variación es baja entre ellas ya que fue de 0,009 dS /m. Teniendo en cuenta lo referenciado anteriormente respecto a la productividad y diversidad florística, esta diferencia es mínima, ya que Roth, *et al.* 2004 reporta un valor de 0,3 a 2 dS/m para que exista algún efecto en la diversidad. De modo que aunque hayan existido diferencias significativas para las réplicas de este suelo, el efecto de esta diferencia no tendría repercusiones en el suelo como tal.

Es interesante resaltar que el suelo de pastizal no presentó diferencias significativas entre réplicas en ninguna de las pruebas fisicoquímicas. Como se observa en las gráficas, los promedios de los resultados para este suelo tienen una variación mínima con respecto al de morichal, bosque de galería y el bosque pluvial. Al observar las condiciones en cuanto a la vegetación de los ecosistemas estudiados se observa claramente que el suelo de pastizal posee cierta homogeneidad en comparación con la vegetación de los dos bosques y el morichal los cuales presentan mayor riqueza y abundancia de especies. Es posible explicar la mínima variación de los resultados del suelo de pastizal por la homogeneidad que confiere el pasto como cobertura vegetal.

Al comparar los resultados obtenidos por cada operario en cuanto a la prueba de porcentaje de humedad se observó que los valores de promedio entre los dos operarios no fueron diferentes. Lo mismo ocurrió con los promedios de porcentaje de materia orgánica en los suelos de bosque pluvial, pastizal y bosque de galería, siendo este último el que tuvo la diferencia más alta (0,59) entre lo reportado por los dos operarios.

En cuanto a la reproducibilidad de textura se puede decir que los suelos de pastizal y bosque pluvial cumplieron el supuesto para las tres partículas granulométricas. Por el contrario el suelo de morichal presentó diferencias en los promedios de arcilla para cada operario. Sin embargo aunque la clase textural resultante obtenida a partir de los datos de ambos operarios fue la misma, es posible asegurar que las diferencias fueron mínimas. Lo mismo ocurrió para el suelo de bosque de galería, donde las partículas de limo y arena presentaron diferencias significativas, pero la clase textural no varió.

En cuanto a la conductividad eléctrica, para el supuesto de reproducibilidad los suelos estudiados fueron los de morichal y bosque de galería. Para ambos casos los promedios obtenidos por cada operario fueron similares. La diferencia más amplia estuvo entre los valores del suelo de bosque de galería (0,019 dS/m). Los datos de conductividad eléctrica demostraron reproducibilidad.

Los suelos evaluados para pH (los de bosque pluvial y pastizal), aunque fueron distintos de los usados para la prueba de conductividad, de la misma manera mostraron que los resultados entre los operarios no variaron ampliamente. La diferencia más amplia estuvo en el suelo de pastizal (0,3). Por tanto los datos para la prueba de pH fueron reproducibles.

Al comparar los resultados obtenidos en el laboratorio LESYHT frente a los del IGAC se puede apreciar que hay diferencias. Para el caso de textura es probable que los datos varíen debido a la precisión del método usado, como ya se había

mencionado. Por otra parte el porcentaje de materia orgánica puede variar ya que el método usado para el análisis es diferente. El IGAC usa el método de Walkley-Black mientras que el LESYHT usa el método de pérdidas de peso por ignición (Dean 1974). Según Faithfull (2005) la obtención de datos para materia orgánica por calcinación sobreestima el contenido real de materia orgánica en especial para suelos arcillosos, lo cual concuerda con los resultados obtenidos, ya que para todos los casos son mayores que los del laboratorio de referencia, de modo que podría considerarse la posibilidad de contemplar otro método para el análisis de materia orgánica. La conductividad eléctrica presentó una alta variación. Ya que la técnica utilizada por ambos laboratorios es la misma es probable que influya el error humano y la calibración del equipo (conductímetro). Para el caso de porcentaje de humedad se puede decir que la diferencia se debió probablemente a un error de operarios, ya que los datos concuerdan para dos de los cuatro suelos, de modo que es menos probable que la diferencia se deba a los equipos o las técnicas en sí, teniendo en cuenta que fueron concordantes dos de los cuatro resultados Finalmente los valores de pH fueron similares en los dos laboratorios.

En términos estadísticos se cumplió el supuesto de repetitividad para 21 de los 28 análisis realizados comprendidos en los cuatro suelos y las cinco pruebas, es decir el 75% cumplió estadísticamente el supuesto de repetitividad. Sin embargo como se mencionó anteriormente las diferencias entre los promedios para cada prueba y cada suelo fueron mínimas, de modo que desde el punto de vista biológico, químico o físico se podrían aceptar los valores aunque no se cumplió el supuesto de repetitividad estadísticamente. En cuanto a reproducibilidad, de 19 análisis realizados estadísticamente para comparar los resultados entre investigadores, tres tuvieron diferencias significativas, es decir el 84,2% de dichos análisis cumplieron el supuesto de reproducibilidad estadísticamente. Sin embargo el 15,8% que no cumplió el supuesto a nivel estadístico tuvo bajas diferencias entre los promedios, de modo que se puede decir lo mismo que en el supuesto de repetitividad para los que no lo cumplieron estadísticamente. En el caso de la exactitud de los datos se puede decir que sólo con la medición de pH se logró el

supuesto; sin embargo para casos como el de materia orgánica y conductividad eléctrica los valores coincidieron para cada suelo de menor a mayor aunque los valores como tal fueran diferentes.

Finalmente pueden ser atribuibles las diferencias significativas encontradas entre los resultados obtenidos a los cuatro aspectos fundamentales anteriormente mencionados. Como primera medida la calibración de los equipos ya que algunos de los usados no fueron sometidos a un proceso de calibración y tampoco fueron evaluados en su precisión y exactitud de medida. Por otra parte la experiencia del analista que desarrolló las pruebas fisicoquímicas ya que esto pudo ser un factor de variación ampliamente reflejado en los datos. Igualmente la concordancia de las pruebas usadas por el laboratorio de referencia frente a las usadas en el laboratorio evaluado ya que para algunos casos no fueron las mismas y esto pudo haber repercutido en la variación de los datos y finalmente la diferenciación de las condiciones ambientales en las que se realizaron dichas pruebas fisicoquímicas en el laboratorio evaluado, siendo este un factor poco resaltado en el estudio; esto debido a la infraestructura actual del laboratorio, por lo cual es apropiado recomendar que para estudios posteriores sea tenido en cuenta.

11. CONCLUSIONES

- A partir de la medición de la repetitividad y reproducibilidad se obtuvieron valores con los cuales se puede afirmar que las pruebas fisicoquímicas del laboratorio LESYHT son confiables.
- El 60,72% de los análisis cumplió el supuesto de exactitud, de modo que se podría afirmar que hay un alto grado de exactitud para las pruebas fisicoquímicas del laboratorio LESYHT, pero debe mejorarse.
- La inexperiencia de los analistas fue un factor importante en la variación encontrada en los datos.

- Debido a la ausencia de réplicas en algunos casos (pastizal y bosque pluvial) fue complejo observar posibles comportamientos de los datos. Igualmente el número de réplicas fue pequeño, por tal razón no se puede apreciar ningún patrón que cumplan los datos.
- El supuesto de repetitividad fue cumplido entre el 50 y el 75% de los suelos en todos los casos y las réplicas de los suelos que no lo cumplieron tuvieron valores cercanos entre ellas, por lo tanto se puede afirmar que las técnicas usadas en el laboratorio LESYHT funcionan para estos suelos y son repetibles.
- El supuesto de reproducibilidad fue cumplido por todas las técnicas usadas, exceptuando a tres de once partículas granulométricas para textura, por tal razón se puede afirmar que las pruebas fisicoquímicas son reproducibles.
- Los resultados de las pruebas fisicoquímicas del laboratorio LESYHT no concordaron con los datos del IGAC, por tal razón no se puede afirmar que son exactos.
- Las pruebas de análisis fisicoquímico del laboratorio LESYHT no son estandarizables aún.

12. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar estudios con mayor rigurosidad para lograr afianzar estadísticamente todas las pruebas fisicoquímicas del laboratorio LESYHT teniendo en cuenta un mayor tamaño de muestra.
- Los analistas deben tener experiencia en la realización de pruebas fisicoquímicas para evitar la variación producida por el error humano.
- Se sugiere realizar el estudio con otros tipos de suelos para tener un esquema de comparación.
- Se sugiere que los operarios que realicen futuros estudios con respecto a la estandarización de estas técnicas tengan experiencia en la realización para

que el error humano no sea un posible factor determinante en las diferencias.

- Se sugiere tamizar las muestras para efectos de las pruebas fisicoquímicas para obtener una muestra sin contenido de material vegetal.
- Se sugiere revisar la calibración de los equipos usados en la estandarización de las técnicas fisicoquímicas del laboratorio LESYHT
- Se sugiere contemplar la posibilidad de utilizar otro método para el análisis de materia orgánica.
- El coeficiente de variación fue elegido bajo parámetros teóricos; sin embargo se sugiere buscar un coeficiente que cumpla más estrictamente lineamientos en cuanto a metodologías de suelo.
- Debido a que el almacenamiento de la muestra tiene un efecto no definido, se sugiere evaluar diferentes tiempos de almacenamiento para saber de qué manera la muestra cambia con dicho almacenamiento.
- Obtener valores de referencia a partir laboratorios que usen las mismas pruebas para el análisis fisicoquímico de suelos o en su defecto variar algunas de las técnicas usadas por el laboratorio LESYHT
- Tener en cuenta las condiciones ambientales del lugar en el que se llevan a cabo los procesos de estandarización.

13. BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, S. ETCHEVERS, B. CASTELLANOS, R. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial No. 1. SMCS, Chapingo, México. 217 pp.

ANDRADES, M. 1996. Prácticas de edafología y climatología. Universidad de la Rioja, servicio de publicaciones. La Rioja, España. Pp. 19, 22, 32, 48.

ALEXANDER, M. 1981. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Editor, S.A. México, D.F. Pp. 491.

ASENSIO, I. 1947. Comparación de los diferentes métodos de análisis granulométrico de suelos. Revista de obras públicas Pp. 207.

BOLIVAR, I. MOLINA, S. SANCHEZ, C. 1993. Proposition changes in the methodology for the determination of total sand, according to the routine technique of Bouyoucos. Congreso Venezolano sobre la Ciencia del Suelo. San José Venezuela. Pp. 9-13.

BORRERO, 1999. Suelos. Universidad Santo Tomás. Ediciones USTA. Bogotá, Colombia. Pp. 79- 104.

BUOL, S. HOLE, F. MC CRACKEN, R. 1973. Soil genesis and classification. The Iowa University Press. Ames, Iowa, USA. Pp. 360.

CALDERON, F. AMBROSIO, R. MEDINA, J. MEDINA, W. 2002. Evaluación de diferentes métodos para determinar la humedad del sustrato en un cultivo hidropónico de clavel en la sabana de Bogotá mediante la utilización de 5 subsistemas de riego. Departamento Técnico Dr. Calderón Laboratorios Ltda. Bogotá, Colombia. Pp. 32.

CAÑETE, M. G. 2005. Indicadores de calidad y técnicas de gestión en las bibliotecas de ciencias de la salud. Biblioteca de Ciencias Médicas Universidad

Nacional de Córdoba. Disponible en: URL:
<http://www.bvs.org.ar/renics/calidad05.ppt> Consultado en: Junio 13 de 2008.

CARRASCO, G. RAMIREZ, P. VOGEL, H. 2007. Effect of the electrical conductivity of the nutrient solution on yield and essential oil in basil grown by nft. Chile. IDESIA 25 (2): 59-62.

CASTELLANOS, J. 1985. Suelos agrícolas. Universidad industrial de Santander. Facultad de Estudios a Distancia FEDI. Bucaramanga, Colombia. Pp. 13- 157.

CHAGAS, C. MARELLI, H. SANTANATOGLIA, O. 1994. Propiedades físicas y contenido hídrico de un Argiudol típico bajo tres sistemas de labranza. Ciencia del Suelo 12: 11-16.

CITeM. 2005. Normalización [en línea]. Disponible en:
http://www.senacyt.gob.pa/g_metrologia/citem/main11.html. Consultado en: Junio 13 de 2008.

CORTEZ, A. 2004. Suelos de Colombia. Una mirada desde la academia. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Facultad de Recursos Naturales. Bogotá, Colombia. Pp. 19-28.

COOPER, T. 1982. Learning center laboratory manual for soil science. University of Minnesota. United States.. Pp. 10- 17.

DEAN, W. 1974. Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by ignition: Comparison with other methods. Journal of Sedimentary Petroleum 44: 249- 253.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). 2007. Nueva metodología para la formulación de planes estadísticos. Dirección de Regulación, Planeación, Normalización y Estandarización. Bogotá, Colombia. Pp. 127.

EPA. 1995. Determination of pH in soils (Method 9045C). Revisión No. 4. Pp. 1- 8.

EPS.1990. Guidance Document on Control of Toxicity Test Precision Using Reference Toxicants. Environment Canada. Report EPS 1 – 12.

FAITHFULL, N. 2005. Métodos de análisis químico agrícola, Manual práctico. Institute of Rural Studies. University of Wales. Aberystwuth, United Kingdom. Pp. 85.

FASSBENDER, H. BORNEMISZA, E. Química de suelos con énfasis en América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. Pp. 45- 48.

FRANCK, D. & FINCKH, M. 1999. Elaboración de un Sistema de Indicadores de Sitios para los Bosques de la R.N. Valdivia. Ifanos, Chile. Pp. 35.

GAVANDE, S. 1991. Física del suelo, principios y aplicaciones. Editorial Limusa. México D.F., México. Pp. 99.

GEE, G. BAUDER, J. 1986. Particle- Size análisis. In: Physical and Mineralogical Methods. Klute, A. (ed.). Soil Science Society of America, Madison, United States. Pp. 383- 441.

GLOSARIO. 2005. [en línea]. Disponible en: <http://www.dequate.com/infocentros/gerencia/glosario/i.htm>. Consultado en: Mayo 22 de 2008.

GOYAL, R. RIVERA, L. CRESPO, M. 1990. Manejo de Riego Por Goteo. Capítulo II: Métodos para Medir la Humedad del Suelo. San Juan, Puerto Rico. Pp. 49- 59.

GUTIÉRREZ, N. GUTIÉRREZ, C. VENIALGO, C. 1999. Efectos de distintos sistemas de labranza y cultivo sobre la estabilidad de agregados y el contenido de materia orgánica, en un aplustol óxico. Comunicaciones Científicas y tecnológicas. Tomo V.

[G-CSQ-01.Rev.1 15.7:94] Cita extractada de: Bioaplicaciones Alimentarias y medioambientales. 2002. [en línea]. <http://bioaplicaciones.galeon.com/ENAC/labalim/Page17.html> Consultado en: 22 Junio 22 de 2008.

[G-CSQ-01.Rev.1, Abril 94] Cita extractada de: Bioaplicaciones Alimentarias y medioambientales. 2002. [en línea]. <http://bioaplicaciones.galeon.com/ENAC/labalim/Page17.html> Consultado en: 22 Junio de 2008.

[Guía ISO/IEC 25: 1990]. Cita extractada de: Bioaplicaciones Alimentarias y medioambientales. 2002. [en línea]. <http://bioaplicaciones.galeon.com/ENAC/labalim/Page17.html> Consultado en: 22 Junio de 2008.

HANNA INSTRUMENTS, 2000. Manual de Análisis de Suelo Ciencia y Gestión del Suelo. [En línea]. <http://www.hannaarg.com>.

HEMELIN, M. 1992. Los suelos volcánicos del oriente antioqueño, un recuso no renovable. Boletín del Instituto Francés de Estudios Andinos 21:.25- 36.

HENAO, T. 2001. Caracterización de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona cafetera central colombiana. Suelos del Eje Cafetero. Proyecto U.T.P- GTZ. Facultad de Ciencias Ambientales. Cooperación Alemana al Desarrollo. Pereira, Colombia. Pp. 57- 77.

HENAO, T. DELVAUX, B. SUAREZ, V. 1997. Comparación de dos métodos de análisis granulométrico aplicados en andisoles de la zona cafetera central de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ, Chinchiná, Caldas, 48(1):12-25.

ICONTEC, 1997. Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para la recolección, manejo y almacenamiento de suelo para la evaluación de procesos microbianos aeróbicos en el laboratorio. Bogotá, Colombia. NTC 4113-6.

ICONTEC, 1997. Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre técnicas de muestreo. NTC 4113-2.

ICONTEC, 2008. http://www.icontec.org/BancoConocimiento/D/documentos_en_consulta_publica.asp?CodIdioma=ESP&codMenu=60&codSubMenu=428&codItem=0. [En línea]. Consultado en 24 junio de 2008.

IDEAM 2009. <http://www.ideam.gov.co:8080/sectores/agri/indices/indices.shtml>. [En línea]. Consultado en: enero 29 de 2009.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 1983. Estudio general de suelos de la Comisaría del Vichada. Subdirección Agrológica. Bogotá, Pp. 473.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2002. Suelos del Andén Pacífico. Subdirección de Agrológica. Bogotá, Colombia. Pp. 142.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI 1998. Levantamiento general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Chocó. Subdirección de Agrológica. Anexos y Mapas. Bogotá, Colombia Pp.185.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI). 2000. Guía normativo-metodológica. Guadalajara, México. Pp. 11.

BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP y OIML. 1993. "International vocabulary of basic and general terms in metrology", ISO, 2ª edición, ISBN 92-67-01075-1, United States Pp. 59.

[ISO 5725-1, 3.13, 3.14:94] [ISO 3534-1, 3.15, 3.16:93] Cita extractada de: Bioaplicaciones Alimentarias y medioambientales. 2002. [en línea]. <http://bioaplicaciones.galeon.com/ENAC/labalim/Page17.html> Consultado en: 22 Junio de 2008.

[ISO 5725-1, 3.17, 3.18:94] [ISO 3534-1, 3.20, 3.21:93] Cita extractada de: Bioaplicaciones Alimentarias y medioambientales. 2002. [en línea].

<http://bioaplicaciones.galeon.com/ENAC/labalim/Page17.html> Consultado en: 22 Junio de 2008.

JANSEN, T. PEIJNENBURG; W. POSTHUMA, L. VAN DEN HOPO, A. 1997. Equilibrium partitioning of heavy metals in dutch fields soils. I. Relationship between metal partition coefficients and soil characteristics. *Environmental Toxicology and Chemistry* 16: 2470-2478.

JARAMILLO, D. PARRA, L. GONZALEZ, L. 1994. El recurso suelo en Colombia, distribución y evaluación. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales y Ecología (ICNE). Medellín, Colombia. Pp. 88.

JACKSON, J. 1982. Análisis químico de suelos. Omega, S.A. Madrid, España. 662 p.

KAZAKIDOU, D. BURRAGE, S. 1994. The production of African Marigold (*Tagetes erecta* L.) by the nutrient film technique. The influence conductivity on growth and carotenoid levels. *Acta Horticulturae* 361: 332-333.

LABORATORIO DE SUELOS VENTURA MATTE. 2005. Facultad de Ciencias Forestales Universidad de Chile. [En línea]. <http://www.forestal.uchile.cl/dsilvi/labsuelos/especializacion.htm> consultado en 9 de julio de 2008.

LIU, C. EVETT, J. 1997. Soil properties testing, measurement, and evaluation. Tercera edición. University of North Carolina at Charlotte. Columbus, Ohio. United States. Pp. 404.

LÓPEZ, D. 1991. Introducción a los suelos (notas de clase). Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Subdirección de docencia e investigación, unidad de levantamientos rurales. Bogotá, Colombia. Pp. 13- 21.

LOSINNO, B. SAINATO, C. GIUFFRÉ, L. propiedades edáficas y del agua subterránea. Riesgos de salinización y sodificación de los suelos, en la zona de Pergamino-Arrecifes. *Facultad de Agronomía* 23 (1): 47-58.

LOPERA, A. 2001. Suelos del eje cafetero. Proyecto U.T.P – GTZ. Facultad de Ciencias Ambientales. Cooperación Alemana al Desarrollo. Pereira, Colombia. Pp. 199.

LUNA, C. 1968. Anotaciones pedológicas sobre algunos andisoles de Antioquia. IGAC, Departamento Agrológico Bogotá, Colombia. Vol 4 (A) Pp. 153.

MALAGÓN, D. 2003. Ensayo sobre tipologías de suelos colombianos- Énfasis en Génesis y aspectos ambientales. Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 27(104): 319-341.

MAHBOUBI, A. LAL, R. FAUSSEY, N. 1993. Twenty-eight years of tillage effects on two soils in Ohio. Madison. Soil Science Society of America Journal 57: 506-512.

MC LAREN, A. PETESON, G. 1967. Soil Biochemistry. V1. Marcel and Dekker. Inc. New York. United States. Pp. 1-53.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO. 1999. Conceptos relacionados con las actividades de normalización y certificación técnica [en línea]. Disponible en: <http://www.setsi.mcyt.es/normali/normaliz/concepto.htm> Consultado en: Junio 19 de 2008.

MONTENEGRO, H. MALAGÓN, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Bogotá, Colombia. Pp. 813.

MONTENEGRO, G. 2003. Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad. En: Manejo integral de la fertilidad del suelo. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Editores: Triana, M. Lara, R. Gómez, M. Peñalozza, G. Primera edición. Editorial Guadalupe. Bogotá, Colombia. Pp. 230.

NORAMBUENA, P. LUZIO, W. VERA, W. 2002. Comparación entre los métodos de la Pipeta y Bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la provincia de Parinacota, Chile. Agricultura Técnica 62 (1): 150-157.

ORELLANA, J. PILATTI, M. The Ideal Soil: I. An Edaphic Paradigm for Sustainable Agriculture. Journal of Sustainable Agricultura Pp. 47- 59.

PÉREZ C. 2002. Normalización terminológica: esfuerzos de estandarización e instituciones de normalización [en línea]. Disponible en: <http://elies.rediris.es/elies18/321.html> Consultado en: Junio 13 de 2008.

PRIMAVESI, A. 1982. Manejo ecológico del suelo. Quinta Edición Librería Editorial El ateneo, Bogotá, Colombia. Pp. 499.

ROTH, T. CASTRO, V. CERONI, A. EYZAGUIRRE, R. 2004. Diversidad y densidad de la comunidad de cactáceas en el cerro Umarcata y quebrada Orobel en el valle del río Chillón (Lima) y su relación con los factores edáficos. Ecología Aplicada 3 (1,2): 1-8.

RUCKS, L. GARCÍA, F. KAPLÁN, A. PONCE DE LEÓN, J. HILL, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República. Departamento de Suelos y Aguas. Montevideo, Uruguay. Pp. 13- 14.

SACCHI, G. DE PAULI, C. 2002. Evaluación de los cambios en las propiedades físicas y químicas de un argiustol údico por procesos de degradación. Agrociencia 6 (2): 37 – 46.

SINGER, M. MUNNS, D. Soils an introduction. Cuarta edición. Stewart, C. (ed.). Prentice- Hall, Inc. University of California. USA. Pp. 527.

SOIL SURVEY STAFF. 1999. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Segunda edición. Agriculture Handbook Washington, United States. Pp. 436. 869.

STREBIN, S. PEREZ, J. 1980. Inventario nacional de tierras Guarico central y sur de Aragua. Ministerio del medioambiente y de los recursos renovables capacidad de uso de las tierras del estado Yaracuy. Tomo I. Yaracui, Venezuela.

SHYQ. 1995. El uso del agua en el valle de Quíbor. Sistema hidráulico Yacambú-Quíbor, Venezuela. Pp. 69.

TERMILAT. 1999. Normalización, estandarización. [En línea]. Disponible en: <http://www.termilat.info/env347.htm> Consultado en: Junio 13 de 2008.

THOMPSON, L. & TROEH, F. Los suelos y su fertilidad. Cuarta edición. Ed. Reverté. México, D.F., México. Pp. 672.

TOPPER, K. 1990. Evaluation of quality control techniques utilized by soil testing laboratories. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 21: 13-16.

(UNE-EN 30012-1, 3.23:94)[ISO/IEC GUIDE 25, 3.4:90]. Cita extractada de: Bioaplicaciones Alimentarias y medioambientales. 2002. [en línea]. <http://bioaplicaciones.galeon.com/ENAC/labalim/Page17.html> Consultado en: 22 Junio 22 de 2008.

USDA. 2000. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Si señora! Buenos Aires, Argentina. 82 p.

VALENCIA, I. HERNÁNDEZ, B. 2002. Muestreo de suelos preparación de muestras y guía de campo. Primera edición. Universidad Autónoma de México. México, D.F. México. Pp.111.

VALDÉS, M. SÁNCHEZ, I. 2005. Estado actual de la normalización y la estandarización en las bibliotecas sobre ciencias de la salud. [En línea]. bvs.sld.cu/revistas/aci/vol13_5_05/aci03505.htm Consultado en: 23 junio de 2008.

[VIM, 6.1:94] [UNE-EN 30012-1, 3.18:94] [ISO/CD 10012-2, 3.16:93] Cita extractada de: Bioaplicaciones Alimentarias y medioambientales. 2002. [en línea]. <http://bioaplicaciones.galeon.com/ENAC/labalim/Page17.html> Consultado en: 22 Junio 22 de 2008.

[WELAC/EURACHEM:93] Cita extractada de: Bioaplicaciones Alimentarias y medioambientales. 2002. [en línea].

