AAQ4265

TESIS
ED 2005
S36

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE HUMANIDADES Y EDUCACIÓN
ESCUELA DE EDUCACIÓN
ESPECIALIDAD EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

"EFECTO DE COBERTURAS (PASTOS Y LEGUMINOSAS) EN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE DOS SUELOS DE TEXTURA CONTRASTANTE DEL ESTADO GUARICO"

Autor: **Servio T. Sardi Eugui**

Tutor: **Rosa Mary Hernández**

Caracas, Mayo del 2005

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de tutor del Trabajo Especial de Grado titulado **"Efecto de coberturas (Pastos y leguminosas) en la estabilidad estructural de dos suelos de textura contrastante del Estado Guárico"** realizado por **Servio Tulio Sardi Eugui** para optar al título de Licenciado en Educación, Mención Ciencias Biológicas, considero que dicho trabajo reúne los requisitos suficientes para ser sometido a su defensa oral y evaluación por parte del jurado examinador designado.

En caracas, a los 27 días del mes de mayo de 2005

Firma: .....
Nombre: Rosa Mary Hernández
C.I: 5566057

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias a todas aquellas personas e instituciones que de forma directa o indirecta estuvieron presentes en la participación y elaboración de este trabajo de investigación, en especial a: **La Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez** (UNESR) con sede en el Cuji, por ofrecerme sus laboratorios y sus instalaciones en general, a la **Universidad Católica Andrés Bello** por darme apoyo docente en relación a la obtención de datos valiosos que me ayudaron a visualizar en conjunto todo el trabajo de grado, también les agradezco mucho a todas aquellas personas que me ofrecieron su ayuda a lo largo del proceso de realización del trabajo como lo fueron: A mi amigo **Yanko Sanchéz**, a mi amigo **Paolo Ragone**, quienes pusieron el mayor de los esfuerzos en ayudarme y enseñarme ciertas cosas que antes de la realización de este trabajo no sabia en relación a la utilización de las herramientas de computación más utilizadas en estos casos, y por último quiero dar mil gracias a mi tutora la Doctora **Rosa Mary Hernández** y a mis padres **Beatriz Adrianza Eugui de Hernández**, **Nelson Hernández Grillet** por haber puesto toda su capacidad, dedicación y el apoyo necesario para impulsar la culminación del trabajo de grado que durante un tiempo llevé a cabo, muchas gracias de todo corazón a ellos por su apoyo, sin ellos la realización de este trabajo no pudo haber sido realidad.

INDICE DE CONTENIDO

Págs

AGRADECIMIENTO ii

LISTA DE FIGURAS vi

RESUMEN xi

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I .EL PROBLEMA 4

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 5

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 8

Objetivo general.. 8

Objetivo específico 8

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 9

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 10

MARCO CONCEPTUAL 12

Suelos de sabana 12

Procesos y factores que empobrecen la calidad del suelo 14

Degradación fisica 14

Degradación mecánica 18

Técnicas de mejoramiento del suelo 20

Implementación de la agricultura de conservación 20

Estabilidad del suelo 21

Aplicación y manejo de coberturas 26

Plantas más comunes utilizadas como cultivos de coberturas naturales 29

Centrocema marcrocarpum 29

Urochloa dyctioneura 30

Vegetación natural 31

Región de los Llanos Centrales 31

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO 34

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 35

Finca San Pablo 35
Estación Experimental la Iguana 35
FORMAS DE MANEJO 36
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ZONAS DE ESTUDIO 37
DISTRIBUCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL SUELO DE LA IGUANA Y SAN PABLO 38
DISEÑO EXPERIMENTAL 39
ANÁLISIS ESTADÍSTICO 40
PROCEDIMIENTO ANALÍTICO 40
Tamizado en húmedo de agregados 40
Determinación colorimétrica de carbono orgánico 42
CAPÍTULO IV.RESULTADOS Y ANÁLISIS 44
CASO SUELO ARCILLOSO SAN PABLO-AGREGADOS ESTABLES AL AGUA 45
Distribución de macro y microagregados en el suelo arcilloso de la finca San Pablo 45
Distribución de macro y microagregados en el suelo de la finca San Pablo por cada tratamiento de cobertura 47
Efecto de las coberturas en cada fracción de tamaño de agregado en el suelo de la finca San Pablo 49
Distribución de tamaño de agregados estables en el suelo de la finca San Pablo 54
CARBONO ORGÁNICO EN LOS AGREGADOS DEL SUELO SAN PABLO 57
Distribución de carbono orgánico en las fracciones de macro y micro agregados del suelo de San Pablo bajo las diferentes coberturas 57
Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la finca San Pablo por cada tratamiento de cobertura 59
Distribución de carbono orgánico en el suelo arcilloso de la finca San Pablo en fracciones de agregados por tratamiento de coberturas 61
Efecto de las coberturas en el contenido de carbono orgánico en cada fracción de tamaño de agregados en el suelo de la finca San Pablo 64

CASO SUELO ARENOSO LA IGUANA: AGREGADOS ESTABLES AL AGUA....67
Distribución de agregados en el suelo arenoso de la estación experimental de la Iguana 67
Distribución de agregados en el suelo de la Iguana por cada tratamiento de cobertura 69
Efecto de las coberturas en cada fracción de tamaño de agregados en el suelo de la Iguana 71
Efecto de las coberturas en la distribución de agregados de diferente tamaño en el suelo de la Iguana 75
CARBONO ORGÁNICO EN LOS AGREGADOS DEL SUELO LA IGUANA 78
Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la estación experimental de la Iguana por cada tratamiento de cobertura....80
Distribución de carbono orgánico en la fracción de agregados estables en el suelo arenoso de la Iguana por tratamiento de cobertura 82
Distribución de % de carbono orgánico en cada cobertura por fracción de tamaño de agregados en el suelo arenoso de la Iguana 85
CONCLUSIONES 89
BIBLIOGRAFÍA 90
ANEXOS 97

LISTA DE FIGURAS

GRÁFICOS

		págs
1.	Ubicación geográfica de las zonas de estudio	48
2.	Distribución de los tratamientos en el suelo de La Iguana y San Pablo	49
3.	Porcentaje de microagregados estables en el suelo de la Finca San Pablo con las diferentes coberturas,	57
4.	Porcentaje de macroagregados estables en el suelo de la Finca San Pablo con las diferentes coberturas,	57
5.	Distribución de agregados en el suelo de San Pablo con el tratamiento de ***Udy***,	59
6.	Distribución de agregados en el suelo de San Pablo con el tratamiento de ***Cm***,	59
7.	Distribución de agregados en el suelo de San Pablo con el tratamiento de ***Vn***,	60
8.	Efecto de las coberturas en la fracción I de tamaño de agregados del suelo de San Pablo,	62
9.	Efecto de las coberturas en la fracción II de tamaño de agregados del suelo de San Pablo,	62
10.	Efecto de las coberturas en la fracción III de tamaño de agregados del suelo de San Pablo,	63
11.	Efecto de las coberturas en la fracción IV de tamaño de agregados del suelo de San Pablo,	63
12.	Efecto de las coberturas en la fracción V de tamaño de agregados del suelo de San Pablo,	64
13.	Efecto de la cobertura de ***Udy*** en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Finca San Pablo,	66

14. Efecto de la cobertura de ***Cm*** en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Finca San Pablo, **67**
15. Efecto de la cobertura de ***Vn*** en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Finca San Pablo, **67**
16. Distribución de carbono orgánico en las fracciones de macroagregados (>250mm), **69**
17. Distribución de carbono orgánico en las fracciones de microagregados (<250mm), **69**
18. Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados del suelo de San Pablo con el tratamiento de ***Udy***, **71**
19. Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados del suelo de San Pablo con el tratamiento de ***Cm***, **71**
20. Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados del suelo de San Pablo con el tratamiento de ***Vn***, **72**
21. Distribución de Carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de ***Udy***, **73**
22. Distribución de Carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de ***Cm***, **74**
23. Distribución de Carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de ***Vn***, **74**
24. Efecto de las coberturas en la fracción I de tamaño de agregados con respecto a su porcentaje de carbono, **76**
25. Efecto de las coberturas en la fracción II de tamaño de agregados con respecto a su porcentaje de carbono, **76**
26. Efecto de las coberturas en la fracción III de tamaño de agregados con respecto a su porcentaje de carbono, **77**
27. Efecto de las coberturas en la fracción IV de tamaño de agregados con respecto a su porcentaje de carbono, **77**

28. Efecto de las coberturas en la fracción V de tamaño de agregados con respecto a su porcentaje de carbono, **78**
29. Distribución de microagregados en el suelo de la Iguana con las diferentes coberturas, **79**
30. Distribución de macroagregados en el suelo de la Iguana con las diferentes coberturas, **79**
31. Distribución de agregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de ***Udy***, **81**
32. Distribución de agregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de ***Cm***, **81**
33. Distribución de agregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de ***Vn***, **82**
34. Efecto de las coberturas en la fracción I de tamaño de agregados del suelo de la Iguana, **84**
35. Efecto de las coberturas en la fracción II de tamaño de agregados del suelo de la Iguana, **84**
36. Efecto de las coberturas en la fracción III de tamaño de agregados del suelo de la Iguana, **85**
37. Efecto de las coberturas en la fracción IV de tamaño de agregados del suelo de la Iguana, **85**
38. Efecto de las coberturas en la fracción V de tamaño de agregados del suelo de la Iguana, **86**
39. Efecto de la cobertura de ***Udy*** en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Iguana, **87**
40. Efecto de la cobertura de ***Cm*** en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Iguana, **88**
41. Efecto de la cobertura de ***Vn*** en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Iguana, **88**
42. Distribución de carbono orgánico en las fracciones de mayor tamaño, **90**

43. Distribución de carbono orgánico en las fracciones de menor tamaño, **90**
44. Porcentaje de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de ***Udy***, **91**
45. Porcentaje de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de ***Cm***, **92**
46. Porcentaje de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de ***Vn***, **92**
47. Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregados en la muestra de ***Udy***, **95**
48. Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregados en la muestra de ***Cm***, **95**
49. Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregados en la muestra de ***Vn***, **96**
50. Efecto de las coberturas en la fracción I de tamaño de agregados en relación al porcentaje de carbono presente, **97**
51. Efecto de las coberturas en la fracción II de tamaño de agregados en relación al porcentaje de carbono presente, **98**
52. Efecto de las coberturas en la fracción III de tamaño de agregados en relación al porcentaje de carbono presente, **98**
53. Efecto de las coberturas en la fracción IV de tamaño de agregados en relación al porcentaje de carbono presente, **99**
54. Efecto de las coberturas en la fracción V de tamaño de agregados en relación al porcentaje de carbono presente, **99**
55. Foto de la Estación Experimental de la Iguana, **92**
56. Foto de la Finca de Valle de la Pascua, **92**
57. Fotos de las distintas coberturas utilizadas, **93**

RESUMEN

EFECTO DE COBERTURAS (PASTOS Y LEGUMINOSAS) EN LA ESTABILIDAD ESTRUCTURAL DE DOS SUELOS DE TEXTURA CONTRASTANTE DEL ESTADO GUARICO

Autor: Servio Tulio Sardi Eugui

Tutor: Rosa Mary Hernández

Caracas, Mayo 27 del 2005

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del uso de coberturas perennes, pastos y leguminosas, asociadas a cultivos de maíz bajo siembra directa, en la estabilidad de agregados y distribución del contenido de Carbono orgánico en dos suelos de textura contrastante del estado Guárico; uno arenoso en la Estación Experimental de La Iguana en la zona de Sabanas poco onduladas, y el otro arcilloso ubicado en la Finca San Pablo (Valle de la Pascua) en la zona de los llanos ondulados. Se tomaron al azar 12 muestras de suelos a una profundidad de 5 cm en un área de 30 x 30 m^2 por tratamiento de cobertura, en el caso del suelo La Iguana, y en un área de 30 x 40 m^2 en el suelo de San Pablo. El diseño experimental en campo fue de parcelas grandes sin repetición previo un estudio de variabilidad espacial de algunas características de los suelos, para determinar tamaño y forma de la parcela que fuera similarmente heterogénea. Para la determinación de la estabilidad de los agregados se utilizó el método de tamizado en húmedo (Hernández et al., 2003) y para la cuantificación de Carbono orgánico se usó el método de oxidación con dicromato de potasio (Anderson e Imgram, 1993). Los tratamientos experimentales fueron: **Vegetación Natural**, ***Urochloa Dyctioneura*** y ***Centrocema Marcrocarpum***, coberturas que fueron establecidas desde el año 1999. Para el momento de este estudio las coberturas tenían dos años de establecidas en la Finca San Pablo y tres años en la E.E. La Iguana. Los muestreos se hicieron en la época antes del corte de las coberturas, al comienzo de las lluvias. El fundamento de esta práctica de manejo para el cultivo del maíz, se basa en una forma alternativa, más conservacionista para la producción de este cereal de importancia económica en la región, donde se cultiva en suelos muy degradados y pobres en fertilidad. El objetivo del uso de las coberturas perennes es que una vez establecidas, el aporte orgánico de sus

residuos, y el desarrollo de la biomasa radicular, sirvan como factores conservadores y mejoradores: de la estructura del suelo, aporte de nutrientes potencialmente mineralizables para las plantas de maíz, y algo muy importante, para uno de los rubros de mayor interés en la región como la producción pecuaria, servir como mejor oferta forrajera para el ganado en la época seca, en la cual la alimentación para el ganado se encuentra insuficiente y de muy baja calidad nutricional.

Como resultado se identificaron cuales eran las coberturas que mejoraron la estabilidad de los agregados al agua y si el porcentaje de C orgánico en cada fracción de agregado pudo servir para explicar esta agregación. Encontrándose que la diferente calidad de los residuos de las coberturas evaluadas generaron en el suelo condiciones microambientales en el suelo, que promovieron una mayor actividad microbiana que produjo una mayor presencia de macroagregados en el suelo con *Urochloa dyctioneura*. Se encontró a su vez que dependiendo de la textura del suelo, arcilloso o arenoso, el efecto de las coberturas en la agregación del suelo y en la distribución del Carbono orgánico en las fracciones de agregados era diferente.

INTRODUCCIÓN

En Venezuela al igual que en muchos países tropicales el cultivo de cereales es un rubro de altos beneficios económicos y sociales, sin embargo estos se han visto mermados por la eliminación de los subsidios gubernamentales y los altos costos de producción. A la par de esto, los daños en los suelos por un manejo inadecuado ha motivado el estudio de manejos más sostenibles. El estado Guarico está inmerso en esta problemática que se ve aumentada por el hecho de ser uno de los estados de mayor producción de cereales del pais. Poco son los trabajos que se han realizado en esta zona, en donde se lleve a cabo un estudio de las características de los suelos de sabana, afectadas por la incorporación o no de patrones biológicos de estabilización estructural, siendo el caso que nos concierne la aplicación de coberturas naturales e introducidas en asociación con cereales como el maíz cultivado con siembra directa.

El conjunto de características fisicas que componen el suelo tales como: textura, densidad, porosidad, consistencia, humedad y estructura, representan factores altamente dominantes que afectan el uso de un suelo, ya que estas determinan la disponibilidad total de oxígeno y el movimiento de agua en el mismo. Unas, más que otras, se ven afectadas por el uso continuo del suelo con fines agrícolas, y a su vez, ellas condicionan y establecen las prácticas a utilizar, la producción del cultivo y la degradación en los suelos.

Cabe destacar que una existencia adecuada de la estructura del suelo depende y encierra dos procesos principalmente; el de formación y el de estabilización de agregados y poros. Mientras que las fuerzas fisicas creadas por los ciclos continuos de humedecimiento y secado, son las directrices que dan estructura al suelo, la actividad biológica ejerce el papel fundamental en su estabilización. De esta forma, los procesos de formación y estabilidad pueden acelerarse y mejorarse en los distintos tipos de suelos,

a través de la utilización de prácticas de manejo que incluyan el uso de entradas orgánicas, como las coberturas, que en un sentido directo aumenten la materia orgánica (MO) relacionada con la estructura del suelo.

Debido a que los problemas de degradación han venido incrementándose en los últimos tiempos, por el uso inadecuado e intensivo del suelo, ha surgido mundialmente la necesidad de estudiar y aplicar manejos alternativos que disminuyan esa problemática y provean un margen más amplio de conservación de los mismos, toda vez que este recurso constituye uno de los pilares fundamentales en el funcionamiento y dinámica de ecosistemas naturales y productivos. En este sentido, se ha dedicado especial atención al efecto que produce la labranza de conservación sobre la producción de cultivos, pero poca o casi ninguna ha sido la información sobre el efecto a corto y mediano plazo en las propiedades fisicas del suelo relacionadas con el incremento de la MO. El uso de distintos tipos de manejos agrícolas puede conducir a suelos con diferentes propiedades fisicas, al ser su matriz diferencialmente perturbada por la acción del laboreo. Los cambios generados pueden ser lentos y darse simultáneamente entre varias propiedades fisicas. Existen limitaciones para relacionar los cambios en las propiedades fisicas del suelo inducidos por la labranza de conservación y la producción de cultivos a través del uso de prácticas de manejo de entradas orgánicas (coberturas) sobre los mismos. Sin embargo estudios previos han indicado un efecto positivo en el crecimiento del cultivo y la producción, cuando estos manejos se practican en suelos con bajo nivel de materia orgánica y pobre estructura, en relación, a cuando se usan en suelos con altos contenidos de materia orgánica y buena estructura.

El conocimiento de estos cambios en la condición fisica de suelos tropicales es importante ya que ellos se caracterizan por ser suelos muy meteorizados que por lo general tienen buena estructura, que al perderse por el excesivo laboreo o por la falta de aplicación de buenos y efectivos métodos de conservación estructural de los mismos, agrava aún mas los problemas de erosión y compactación de estos suelos y en

consecuencia su calidad se ve disminuida en sus procesos tanto fisicos, químicos como biológicos. Sin duda la conservación de la calidad de los suelos en los países tropicales es de suma importancia debido a que en esta región se ubican países con alta tasa de crecimiento de la población que en su mayoría tienen una condición socioeconómica de pobreza significativa.

Por lo tanto es evidente la necesidad de investigar el funcionamiento y el efecto de manejos conservacionistas que involucren un mejoramiento de la calidad del suelo, que se traduzca en mayor o más sostenible producción de alimento para la población. Esta problemática ha llevado a muchos países a invertir grandes cantidades de dinero en la implementación de procesos que adecuen las condiciones del suelo tratado, a técnicas que favorezcan y conduzcan a un desarrollo más sostenible y provechoso para los productores del campo y sus productos de siembra. En Venezuela se hacen esfuerzos para establecer alternativas relacionadas con la agricultura de conservación, la cual presenta gran cantidad de ventajas tanto económicas, ecológicas como de conservación, que favorecen directamente a la zona de aplicación de la misma. De allí que el estudio de manejos conservacionistas vienen a representar uno de los elementos primordiales y centrales del presente trabajo en relación, a lo que debería ser un manejo óptimo y adecuado del suelo, en este caso en el suelo de la Finca San Pablo en Valle de la Pascua y en La Estación Experimental de la Iguana, ambos en el estado Guarico.

El presente trabajo tiene el fin de evaluar el efecto en la estabilidad estructural y su relación con el contenido de materia orgánica del uso de diferentes coberturas vegetales, pastos y leguminosas, que pudieran servir de material orgánico de distinta calidad y que pudieran ejercer un efecto distinto en el proceso de estabilización biológica de los suelos de la Finca San Pablo en Valle de la Pascua y Estación Experimental de la Iguana en el estado Guarico.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos 25 años se ha producido un cambio en el patrón de uso de la tierra en la zona Central del país, pasando de ser una zona eminentemente con ganadería extensiva sobre pastos naturales, hacia la producción directa de cultivos limpios con doble propósito (producción del grano y la alimentación animal). Sin embargo esta práctica ha llevado al desmejoramiento progresivo del suelo en su calidad, desde su implementación en los años setenta, por su inadecuada aplicación; por el sobre pastoreo y otras técnicas sumamente perjudiciales para la estructura del suelo, como la quema y la deforestación, las cuales han producido un grave deterioro en la estructura del suelo, y en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como en el afloramiento de malezas, plagas y enfermedades, con la consecuente merma en la producción de los cultivos y deterioro de la calidad de los recursos del suelo y agua, lo que hace que la sustentabilidad en estos suelos no sea la deseada.(Páez y Rodríguez, 1989; Bravo, 1995).

Esta problemática ha llevado recientemente a invertir un gran esfuerzo en el conocimiento del funcionamiento de los agroecosistemas de esta zona y en desarrollar alternativas de manejos que sean más eficientes. La mayoria de estas alternativas están relacionadas con la agricultura conservacionista por sus ventajas económicas y ecológicas de conservación en relación a los sistemas convencionales.(Hernández y López Hernández,1998).

La aplicación directa de prácticas de labranza, condiciona de forma eficiente el control de la degradación y la regeneración del suelo. Cuando se usa adecuadamente puede fungir como una herramienta indispensable para el afianzamiento de un proceso

altamente regenerativo que permita de manera efectiva resolver o mejorar algunas deficiencias o limitaciones que puede presentar el suelo en ese momento, como la eliminación de la compactación, el mezclado de materiales orgánicos, un aumento considerable en la tasa de infiltración, un incremento en la profundidad radical, el enmendado del subsuelo, y la eliminación o reducción del resquebrajamiento o formación de costras. Pero de la misma forma cuando es usada inapropiadamente puede acelerar y contribuir a la formación de patrones de variados procesos degenerativos del suelo como pueden ser: un deterioro extremo de la estructura, disminución de la materia orgánica, alto grado de compactibilidad del suelo, presencia de regímenes de humedad extremos y disminución de nutrientes por la modificación de ciclos de agua, Carbono y la mayoría de los elementos nutritivos presentes en el suelo, lo que hace que el suelo adquiera un nuevo estado de equilibrio, con la pérdida de la calidad natural del mismo.(Tiessen y Stewart, 1983)

La propuesta conservacionista de manejo de estos suelos con diferentes coberturas asociadas al maíz, debe probarse en situaciones de distinta condición textural de suelo, ya que esta característica implica un funcionamiento y un efecto distinto de las coberturas en los suelos analizados. Tal mejoramiento de la estabilidad estructural por un incremento de la materia orgánica (M.O) en presencia de algunas coberturas, pueden mejorar la condición de fertilidad para el cultivo de maíz, mayor contenido de humedad del suelo en las épocas de sequía, menores pérdidas de agua por evaporación, menores pérdidas de agregados y de elementos importantes para plantas por erosión y a su vez desde el punto de vista de producción, estas coberturas perennes pueden servir de forraje para el ganado en la época de sequía, una vez que se cosechó el maíz al final de la estación lluviosa. No obstante es necesario conocer si el sistema alternativo de manejo de suelos es promisorio en los sitios evaluados de textura contrastante, respecto a la estabilidad de los agregados al agua, y su distribución estructural (macro y

microagregados) y la distribución de la materia orgánica en dichas fracciones de agregados.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del uso de coberturas perennes, pastos y leguminosas, asociadas a cultivos de maíz, en la estabilidad de agregados y distribución del Carbono orgánico en agregados de dos suelos de textura contrastante del estado Guárico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar la proporción de macroagregados y microagregados en los suelos bajo las diferentes coberturas.
2. Estimar la distribución de tamaño de agregados estables al agua en dos suelos de textura contrastante y con diferentes coberturas.
3. Cuantificar la distribución de carbono de orgánico en las diferentes fracciones de tamaño de agregados de dos suelos; arenoso y arcilloso, cultivados con diferentes coberturas.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES

Algunas investigaciones previas indican que el uso de sistemas conservacionistas a través de la siembra directa y el uso de coberturas naturales influyen en la estabilidad estructural de los suelos y su distribución de M.O. a lo largo del mismo, pero para ello el manejo debe fundamentarse en lo siguiente:

a) El establecimiento de periodos de barbecho donde el suelo se mantenga cubierto con las diversas coberturas, para contrarrestar asi el efecto climático, vientos, agua de lluvia, cambios extremos de temperatura y humedad relativa, etc.
b) Incrementar el contenido de M.O. de suelo en calidad y cantidad en sus diferentes compartimientos dinámicos, con la finalidad de mejorar las propiedades químicas, fisicas y biológicas del suelo (Oades, 1982; Hernández et al, 1993).
c) Siembras continuas y consecutivas de barbechos mejorados durante todo el año, para así obtener un producto final de alta calidad y cantidad, aumentando así la productividad final de la cosecha.

En la región de los Llanos Centrales, específicamente en el Estado Guárico, se han llevado a cabo experiencias previas en donde se ha evaluado sistemas de siembra directa, (Fundación Polar-UNERG-UNESR-UCV y Proyecto Conicit s1-2164), con resultados altamente positivos, observándose un buen desarrollo en los cultivos y un mejoramiento en las propiedades fisicas del suelo estudiado. Recientemente el proyecto FONACIT S1-97001360 ha venido evaluando la siembra directa junto con el uso de coberturas como pastos y leguminosas donde se plantea una mejor calidad en la oferta forrajera como producto final.

En este proyecto que se viene desarrollando desde 1999 se han realizado evaluaciones en los diferentes aspectos de los agroecosistemas conservacionistas propuesto como plagas, malezas, producción animal y vegetal, características químicas, físicas y biológicas del suelo.

MARCO CONCEPTUAL

La descripción de procesos particulares en el tema de la física, ecología, química y biología de suelos han llevado a definir el fundamento general de los mismos en éste trabajo de investigación.

Los suelos presentan características particulares que los diferencian unos de otros, tales como; densidad aparente, textura, porosidad, estabilidad de los agregados al agua, pH, humedad relativa y distribución de oligoelementos, materia orgánica y microfauna, entre otras.

Aunque estas características son independientes del accionar del hombre, van a verse afectadas en su condición por las diversas actividades que el mismo lleva a cabo en su superficie, como por ejemplo la aplicación de técnicas y recursos de siembra y recolección, manejo de herramientas y maquinarias de acción directa sobre la capa protectora vegetal del suelo.

Es por esto, que es importante conocer los elementos constituyentes que forman parte de la estructura general del suelo, de los procesos y propiedades, de sus requerimientos y cuidados, y de los aspectos más resaltantes que los caracterizan, para asi tener una noción global de cómo tratar al suelo y evitar la pérdida del mismo, e incrementar los niveles de productividad, desarrollo y potencialidad intrínseca del suelo, haciéndolo más fértil y provechoso para el cultivo y la siembra.

Suelos de Sabana

Los ecosistemas de sabanas están dominados por gramineas y se caracterizan porque se encuentran en regiones de clima tropical con una precipitación relativamente alta (1000-2000mm), pero distribuidas en forma biestacional, con una temporada lluviosa y otra

seca. Existe la sabana porque el bosque no puede desarrollarse, ya por déficit o exceso de humedad en el suelo durante una temporada del año, lo cual está determinado por el ciclo de precipitación biestacional y por las características edáficas.

Tenemos sabanas secas y sabanas húmedas, las cuales son distintas ecológicamente, poseyendo sólo en común la dominancia de una cubierta graminosa. Las sabanas secas sufren un déficit hídrico, al menos en la parte superficial del suelo, donde se encuentran las raíces de las gramíneas, durante la temporada de sequía. Por el contrario, las sabanas húmedas están afectadas en la estación lluviosa por un exceso de agua, lo cual no indica que en sequía también ocurra un déficit en la mencionada capa superior del suelo.

El ciclo de humedad del suelo depende no sólo de la precipitación, sino también de otros factores como son la textura, tipo de arcilla, tamaño de las arenas, estructura, mesa de agua, presencia de bosques, profundidad y porcentaje de grava del suelo e igualmente de la posición fisiográfica, unidades fisiográficas adyacentes y pendientes, los cuales no son factibles de cuantificar ni designarles su importancia relativa (Ramia, 1967)

El ecosistema de sabana se caracteriza por presentar suelos de baja calidad nutricional y con pocas cualidades para el uso agrícola, suelen ser ácidos de bajo contenido de MO y cantidades limitantes de nutrientes necesarios para las plantas.

Uno de los factores que inciden en la permanencia de los ecosistemas de sabanas, son los fuegos anuales recurrentes, lo cual también afecta también la cantidad de nutrientes en el suelo y el mantenimiento de la MO que puede estar ligada a una mejor condición estructural del suelo.

Dado las escasas condiciones de fertilidad natural de los suelos de sabana, es altamente recomendable considerar la implementación de sistemas de manejo conservacionistas, con el fin de procurar una mejor calidad de los suelos.

Procesos y factores que empobrecen la calidad del suelo

Degradación Física:

La degradación se manifiesta principalmente en problemas de compactación, sellado, encostramiento, erosión hidrica y eólica. Aunque las principales formas de degradación son relativamente bien conocidas, hay solamente estimaciones muy generales de las áreas reales y potencialmente afectadas, al igual que la velocidad y riesgos de los procesos de degradación y las pérdidas de productividad (Pla, 1995)

La compactación ha sido identificada como una de las causas líderes en la degradación fisica del suelo, amenazando el futuro de la productividad en todo el mundo, porque tiene el potencial para afectar directamente al crecimiento de los cultivos e indirectamente al incrementar el peligro de la erosión, del encharcamiento o de la escorrentia. El problema de la compactación es cada vez más extensivo, debido al incremento en el uso de maquinaria pesada y también por el uso más intensivo del suelo.
La compactación implica una disminución en el volumen o aumento en densidad cuando el suelo responde a fuerzas externas; por lo tanto, el primer efecto de la compactación es la reducción del volumen de poros y la redistribución en el porcentaje del tamaño de los poros. Estos cambios afectarán en una mayor o menor extensión la capacidad de aireación y el intercambio gaseoso, la retención de agua, la conductividad hidráulica, resistencia del suelo y la limitación mecánica al desarrollo de raíces. Indirectamente, también afectará muchos procesos quimicos y biológicos del suelo. La susceptibilidad a la compactación de los suelos es de utilidad para identificar y

caracterizar su susceptibilidad a los problemas de resistencia, a fin de anticipar el manejo requerido y las limitaciones al enraizamiento potencial; dependiendo del tipo de suelo, del contenido de humedad y de la compactación inicial (Pla, 1995).

Efectos de la compactación sobre el suelo:

- Incremento de la densidad aparente
- Disminución de la macroporosidad
- Disminución de la Porosidad total
- Disminución de la infiltración del agua
- Disminución de la conductividad hidráulica
- Incremento de la resistencia mecánica
- Disminución de la concentración de O_2
- Incremento de la concentración de CO_2
- Incremento de riesgo por erosión hídrica.

Efectos de la compactación sobre el cultivo:

- Disminuye la actividad metabólica por déficit de oxígeno en el suelo.
- En suelos compactados, la raíz crece menos y explora menor volumen de suelo. La raíz pivotante se bifurca en forma de horquilla y las laterales se desvían. La presión máxima ejercida por la raíz, que le permite crecer en dirección axial, está en el rango de 0,6 y 1,3 Mpa.
- Disminuye la capacidad potencial de absorción de agua y nutrimentos.
- Se acelera el proceso respiratorio y el consumo de productos fotosintetizados.
- Disminución de rendimientos.

El proceso de compactación en el suelo conduce directamente a cambios en la estructura de la superficie del suelo, como sellado y encostramiento, generado por la baja estabilidad estructural del mismo o por destrucción generada por prácticas inadecuadas

de mecanización, lo que en todo caso limita la germinación y emergencia de las plántulas e incrementa la velocidad de las aguas de escorrentia y, con ello, las pérdidas de suelos y fertilizantes por erosión, que a la larga degradan y empobrecen al suelo sobre el cual se produjeron estos cambios. Dichos procesos de sellado y encostramiento se desarrollan al ser desintegrados por el impacto de las gotas de lluvia, las fracciones más finas de los agregados superficiales del suelo, son depositadas en la superficie del mismo en un arreglo más denso, o movida hacia abajo por el agua percolada para llenar los poros, formando lo que se llama un sello. Esta capa superficial más o menos compactada puede reducir drásticamente la infiltración del agua (efecto de sellado), causando encharcamiento o escorrentía en áreas con pendiente.

La subsiguiente fase de secado consiste en la formación de una costra, la cual puede ofrecer resistencia mecánica a la emergencia de las plantas. Como consecuencia, una superficie del suelo degradado, con baja estabilidad a los procesos de sellado, no solamente reduce la capacidad de almacenaje, al disminuir la tasa de infiltración de agua, sino que también, en combinación con altas intensidades de lluvias, puede incrementar la tasa de erosión por aumento de la escorrentía.

La presencia de costra y sellado puede ocasionar bajos rendimientos, tanto por escasa población de cultivos, debido a la poca emergencia de las plantas, como a limitaciones de agua del suelo o a la limitada aireación. El sello y la costra estructural, formados como resultado del impacto de las gotas de agua, también se presentan por transporte y deposición de partículas finas en un flujo superficial. Debido al proceso de degradación de sellado, las condiciones superficiales del suelo son frecuentemente más importantes que su permeabilidad para la infiltración del agua de lluvias, concentradas en un período corto (Pla, 1995).

Al remover el suelo superficial, ya sea por erosión, o por nivelación con maquinarias, hay un proceso de degradación fisica, el cual, generalmente, reduce la productividad de

los cultivos, debido a las pérdidas de los nutrimentos, reducción de la capacidad de almacenaje de agua y baja estabilidad de la estructura superficial del suelo.

En este contexto nuevamente se justifica la aplicación de sistemas de manejos conservacionistas, ya que estos minimizan o reducen el riesgo de la aparición o presencia de factores degradantes del suelo. Influyendo en la distribución de agregados, y en consecuencia en el transporte de agua y nutrientes, la disposición y desarrollo de raíces, la aireación, la distribución de poros y de MO.

Otro de los factores externos que afectan la estabilidad y estructura del suelo degradándolo a su máxima expresión es el proceso conocido como erosión, el cual es la pérdida de un suelo fértil por la acción física del viento y del agua, constituyendo uno de los grandes problemas originados por la explotación que hace el hombre de su medio ambiente. La producción de cultivos, y aún el pastoreo, pueden ocasionar serios disturbios o la destrucción de la cubierta protectora de vegetación y por tanto, exponer el suelo a posible erosión. Las zonas bien arboladas y los pastizales no alterados, prácticamente no están sujetos a erosión por el viento, y la erosión por el agua está reducida a una cantidad insignificante. La vegetación actúa como una cubierta protectora en varias formas. Las ramas de las plantas reducen la fuerza de la lluvia al caer al suelo. El agua cae suavemente sobre la superficie, con un mínimo de desalojamiento de partículas del suelo. La cubierta vegetal acumulada, actúa en forma similar y, además, retarda el flujo lateral de agua, reduciendo el movimiento del suelo por corrientes fuertes. Las raíces de las plantas muy ramificadas aumentan la porosidad y la capacidad absorbente del suelo, reduciendo así el flujo superficial. El suelo erosionado por supuesto, es inadecuado para la agricultura, ya que la fértil cubierta superior del suelo se ha perdido (Greulach y Adamas, 1976)

En este contexto, también se desprende la importancia de usar manejos conservacionistas que ayuden a reducir los problemas de erosión. Es por ello, que para

lograr mantener un nivel alto de fertilidad en la capa superior y protectora del suelo y disminuir asi su erodabilidad, se requiere de la aplicación de tratamientos mediante coberturas naturales o artificiales para enriquecer y fomentar la inserción de nutrientes y la producción de MO, como resultado de la descomposición de estas coberturas y del aumento considerado de la población bacteriana y microbiotica presente en el suelo tratado.

Es de notar que aparte de los procesos y eventos de degradación fisica del suelo, existen también procesos y eventos de degradación mecánica del suelo.

Degradación mecánica del suelo:

Estos son procesos degradativos del suelo que se generan por la mala aplicación de técnicas y herramientas, que de forma directa pueden afectar la estructura y composición del suelo, haciéndolo más inestable y pobre, es decir poco fértil para la siembra en ellos, lo que genera bajos niveles de productividad al trabajador del campo y pérdidas enormes de los recursos que fueron implementados.

Dentro de estos procesos de degradación mecánica los más comunes son los ocasionados por la técnica de labranza y de preparación del suelo, puesto que una buena preparación, específicamente a nivel del área de cultivo, debe llevar consigo ciertos pasos como:

- Trabajar en hileras o franjas paralelas, esto se hace con la finalidad de obtener una superficie más homogénea y estable del suelo sobre el cual se va a trabajar, para asi inducir un aumento en la fertilidad del mismo.
- Evitar la aplicación constante de sistemas de labranza convencionales, esto debido a que tienden a desgastar la composición de la microflora del suelo, haciéndolo cada vez más pobre en sus contenidos de nutrientes y minerales esenciales para su desarrollo y productividad.

- Evitar la utilización constante de maquinarias de canalaje de franjas, o de riel muy pesadas en la preparación del suelo, ya que éstas pueden provocar la compactación y sellado del suelo.

Otro factor mecánico que influye en la degradación y desgaste del suelo es el piso del arado. Se refiere en general al grado de compactación que se genera en el suelo por fuerzas mecánicas aplicadas en la superficie del mismo.

Los implementos ejercen, en el área de deslizamiento, presiones de compactación, creando superficies pulidas al sellar los espacios porosos, limitando en dicha zona las posibilidades de penetración del agua en el suelo.

Igualmente, las operaciones de siembra, aplicación de pesticidas y cosecha, producen pisos de tránsito, generando una compactación localizada, que ejerce restricción a la penetración del agua en el suelo, incrementa la resistencia mecánica y limita el desarrollo radical del cultivo. Generalmente, el efecto principal de la formación de piso o fondo de labor es el cambio en la distribución de tamaño en el espacio poroso (reducción de la macroporosidad).

La rehabilitación de suelos compactados es un proceso complejo que requiere de equipos especiales (arados subsoladores y de cincel), mucha energía y tiempo. Es conveniente adoptar el método de agricultura de tránsito controlado, a los efectos de evitar cubrir un alto porcentaje de la superficie del suelo con huellas del tractor. Sin embargo, es conveniente evaluar profundamente los efectos sobre suelo y cultivo.

Todos estos procesos influyen de forma directa en la estructura y estabilidad del suelo, haciéndolo más ó menos productivo para la siembra, los cuales van a depender a su vez de la aplicación y manejo de los procesos agrícolas allí implementados.

Un buen manejo de los recursos en el campo, crea las condiciones óptimas para un aprovechamiento completo de las potencialidades y requerimientos necesarios para un incremento en la tasa de productividad final. De alli que sea necesario la implementación de técnicas de trabajar la tierra, que proporcionen un buen rendimiento.

Técnicas de mejoramiento del suelo

Implementación de la agricultura de conservación:

El sistema alternativo conservacionista induce cambios favorables en las propiedades del suelo, y por ende en el desarrollo de los cultivos, por el efecto del incremento de MO y nutrimentos en el suelo, a mediano y largo plazo. Es por ello que muchos países han invertido un gran esfuerzo en el conocimiento del funcionamiento de agroecosistemas de conservación, como sistemas alternativos de manejo que sean más eficientes y menos dañinos para el suelo, de alli que el efecto de esta agricultura de conservación sobre el incremento de MO en los suelos sea de vital importancia para el desarrollo y mejora de los mismos. Dentro de los cambios más resaltantes que se dan por el incremento de MO en el suelo, inducido por la agricultura de conservación, tenemos los siguientes:

- Se producen cambios a largo plazo en las propiedades relacionadas con la estructura del suelo y su estabilidad, como disminución de la densidad aparente y de la resistencia mecánica, y un aumento del porcentaje de agregados estables al agua (Elliot, 1986; Oades et al, 1989; Unger, 1991; Anger, 1992; Hernández y López –Hernandez, 2002).
- Aumenta la estabilidad y continuidad de los macroporos lo que hace que mejoren las propiedades de transmisión y retención de agua en el suelo (Dunn y Phillips, 1991; Lal, 1994).

- Disminuyen los valores de pH a nivel superficial y varían los contenidos totales, disponibles y de reserva de los nutrientes principales, dentro de la zona de exploración de las raíces (Duxbury, 1989; Hulugalle, 1994). Aumentan los niveles de nitrógeno total y disminuyen los contenidos de nitrato (NO_3), disminuyendo así los riesgos de lixiviación y contaminación (Wood, 1991; Anger, 1993; Drury, 1993).
- Aumentan las actividades de los macro y microorganismos, afectando los requerimientos de manejo, principalmente la fertilización y los controles de los competidores bióticos del cultivo (Eckert y Martín, 1994; De Back, 1997; Pérez-Greiner, 1995; Van Venn y Paul, 1981; Hernández et al, 2003).

Algunas investigaciones indican que el uso de sistemas de labranza conservacionista en suelos y sistemas similares a los de los Llanos Centrales Venezolanos, debe estar fundamentada principalmente en:

- El establecimiento de períodos de barbecho donde el suelo se mantenga cubierto, para contrarrestar el efecto climático.
- Incrementar el contenido de MO del suelo en cantidad y calidad en sus diferentes compartimientos dinámicos, con el fin de mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos (Tisdal y Oades, 1982; Anger, 1992; Dutartre, 1993; Hernández et al, 2003).
- Mejorar los barbechos con la introducción de pastos y leguminosas, para incrementar la oferta forrajera durante todo el año (Vera, 1986).

Estabilidad del suelo

La estabilidad del suelo está íntimamente relacionada, con la estabilidad que puedan presentar los agregados que lo conforman ante fuerzas externas (como el agua y la

presión por compactación), y que tiene que ver mucho con el equilibrio dinámico y la relación e interacción que existe entre los diversos parámetros y procesos físicos, que dan forma y constituyen al suelo, tales como: macro y microporosidad, textura, densidad aparente, resistencia mecánica, distribución de raíces o pelos radicales, distribución de MO y de organismos como elementos transformadores del suelo. Cualquier alteración en la relación entre estos factores, puede conducir a un desequilibrio e inestabilidad del suelo, disminuyendo así su calidad o por el contrario, aumentarla.

Existen varios conceptos en términos de estabilidad del suelo que deben ser considerados:

Agregados: Los agregados representan las fracciones de grupo de partículas de diferentes tamaños que conforman la estructura del suelo. Estos agregados pueden variar de tamaño desde muy pequeño (< 0,250mm) llamados microagregados hasta muy grandes (> 250mm) llamados macroagregados, los cuales dependiendo de su distribución van a proporcionarle al suelo un aspecto y característica particular que los van a diferenciar uno del otro.

Estabilidad de los agregados: Representa una función del equilibrio que se establece entre las diversas fuerzas cohesivas existentes entre partículas y el conjunto de fuerzas de rompimiento aplicadas.

Estas fuerzas se pueden clasificar de dos tipos entre las que tenemos a las fuerzas de impacto, la cual se ejerce durante la manipulación y toma de las muestras. Están las fuerzas abrasivas que se realizan durante el tamizado y durante el lavado y humedecimiento de los agregados por la acción de la entrada del agua a presión.

Hay que destacar que estas fuerzas son análogas a las originadas por los procesos del laboreo, al proceso de erosión creado por agua y el viento, y al humedecimiento del

suelo por la acción de las constantes lluvias. Todas estas fuerzas actúan de forma directa en la estabilidad de los agregados, haciéndolos cada vez más propensos a resquebrajamientos y fracturas, de allí que se deba mantener un control adecuado de estas fuerzas para obtener mejores y más provechosos resultados, en la estabilidad y disposición de los agregados en el suelo de estudio (Bravo et al, 1999).

El fundamento para la determinación de la estabilidad de los agregados, se basa en la aplicación de una fuerza llamada desintegradora, que repercute en una cantidad de agregados de tamaño conocido, lo cual conduce a su rompimiento en agregados más pequeños y en partículas primarias de un tamaño previamente seleccionado.

Otra fuerza es la ocasionada por el laboreo, la cual está intimamente relacionada con los procesos propios de la siembra y el cultivo del suelo. Este tipo de fuerza tiene un efecto directo y perjudicial en la estructura general del suelo, inducido por la acción del laboreo constante y del pisoteo del ganado o por la utilización constante de maquinaria pesada para trabajar el suelo, esto crea un empobrecimiento y desmejora la calidad del suelo, trayendo grandes pérdidas al productor del campo.

En el contexto de la estructura del suelo existen una serie de parámetros o características del suelo que la determinan y estos son:

Humedad: La humedad puede ser un factor que influye fuertemente en la estabilidad de los agregados, especialmente influye en la velocidad de humedecimiento. Si un agregado se humedece rápidamente, la porción húmeda se hincha más que la porción seca, creando un plano de rompimiento. Algunos de los materiales de unión son solubles y otros se pueden debilitar por hidratación y hacerse más flexibles. Si los agregados se humedecen lentamente, la unión es todavía lo suficientemente fuerte para mantener juntos los agregados, pero si es rápidamente, la capacidad de unión o cohesión entre

agregados se rompe y se diluyen o resquebrajan en porciones más pequeñas e inestables (Kemper y Rosenan, 1986).

Porosidad: Este parámetro está representado por el grupo de poros que se encuentran distribuidos en un área determinada del suelo y que se pueden clasificar en macropororos y microporos. Estos poros se definen en función, tanto de su capacidad para transmitir agua y aire, como espacios en los cuales las raíces puedan crecer y fijarse, dándole estabilidad y estructura al suelo. Sin embargo el conocimiento del estado estructural de un suelo en un momento determinado no es suficiente para decir que éste cambia continuamente por la acción del agua o el aire que se transmiten por los poros, y es por ello que en la mayoría de los casos, la estabilidad estructural que es una característica dinámica, es más importante que el estado en sí mismo del suelo en ese momento.

Se considera que una buena estructura para facilitar e inducir el crecimiento de cultivos y cosechas, depende en gran medida de la existencia de agregados de suelo de 1 a 10mm de diámetro aproximadamente, que permanecen estables ante los cambios de humedad. Dichos agregado deberán tener una buena y homogénea distribución de tamaño de poros, tanto a nivel, de macroporos como de microporos, que permitan una aireación y contenido de humedad para el crecimiento de las plantas (Bravo, 1986).

Distribución de tamaños de partículas: Otro elemento o parámetro físico importante en la organización estructural del suelo viene representado por la distribución de partículas en el suelo por tamaño. Esta distribución de partículas es una de las características físicas que más influencia ejercen sobre la densidad aparente, la estabilidad estructural y la retención de humedad.

Densidad aparente: El término de densidad aparente es considerado como un buen índice del grado de compactación existente en una fracción del suelo, por la reducción del

espacio poroso, sobre todo de aquellos de radio grande. El grado de densidad aparente puede aumentar o disminuir en las fracciones de suelo afectadas, dependiendo del trato e impacto que éstas reciban del exterior, y debido a las fuerzas que se apliquen sobre ellas. Dichas fuerzas de alto impacto como las fuerzas mecánicas por pisoteo del ganado y maquinaria pesada, inducen un aumento en el grado de compactación de las fracciones del suelo sobre el cual se aplican éstas fuerzas, haciendo que la densidad aparente de las mismas se vea incrementada, lo que crea una capa o costra impermeable, que limita el intercambio de gases y nutrientes con el exterior por la reducción de los espacios entre poros, perjudicando de ésta forma el buen desarrollo y fertilidad del suelo afectado.

Distribución de materia orgánica: La distribución de materia orgánica se relaciona con la formación de asociaciones orgánico-minerales con las partículas presentes en el suelo ya sean macro o microagregados.

Altos niveles de MO en suelos favorecen mayores contenidos de nutrientes y organismos con tasas metabólicas de alto recambio, que ayudan de forma directa en la incorporación de MO en el suelo.

Los residuos vegetales y animales, fungen como fertilizantes naturales orgánicos, con una capacidad alta de incorporar elementos minerales, además de mejorar la estructura del suelo, haciéndolo más fácil de cultivar y aumentando la capacidad de retención de aire, agua y sales minerales.

Todos éstos parámetros físicos y químicos pueden afectar de forma positiva o negativa el desarrollo y la estabilidad del suelo, por lo que es necesario inducir manejos que afecten estos parámetros con el fin de conducir al suelo a niveles adecuados de fertilidad, es por ello que se deben aplicar tratamientos naturales que faciliten y ayuden al proceso de recuperación y regeneración del suelo, para así minimizar el riesgo por la

acción de agentes o fuerzas externas de alto impacto que reducen y desmejoran la calidad del mismo.

Aplicación y manejo de coberturas

En términos generales se puede de definir a una cobertura como; especies vegetales vivas que cubren el suelo y que se caracterizan porque pueden ser de aplicación temporal ó de carácter permanente, y cultivados en asociación con otras plantas.

El uso de las coberturas vivas, ya sea de forma permanentes o no, como forma de cultivo natural, tienen como objetivo primordial, proporcionar mayor estabilidad en el suelo sobre el cual se aplicaron, incorporar nitrógeno por medio de las raíces, nódulos y hojas desprendidos durante el ciclo de vida de las plantas que allí se encuentran, inducir el incremento en el número de organismos que allí habitan, para que mediante su actividad metabólica de descomposición, degradación y fijación, puedan incorporar al suelo mayor cantidad de MO y nutrientes, al igual que darle protección al suelo contra agentes o factores externos de alto impacto como la erosión y las precipitaciones constantes, que degradan y empobrecen al suelo,

Esta práctica es particularmente útil en plantaciones permanentes, tales como siembras de frutales, cafetales y otros cultivos en donde la siembra de leguminosas entre hileras de las plantas cumplen con éxito este doble propósito. En cultivos de ciclo corto puede resultar conveniente mantener las leguminosas como coberturas vivas por algún tiempo, procediendo posteriormente a cortar las plantas antes del cultivo siguiente pero sin incorporarlas al suelo, manteniéndolas como coberturas muertas, lo cual ayuda a proteger al suelo contra la erosión y a reducir la velocidad de descomposición del material, favoreciendo la formación de humus en el suelo (Delgado, 2001).

Los términos de cultivos de coberturas y abonos verdes se han usado como sinónimos en el pasado; sin embargo, estos cultivos de coberturas están caracterizados por sus funciones más amplias y multi-propósitos, las cuales incluyen la reducción, eliminación y supresión de maleza, conservación del suelo y agua, control de plagas y enfermedades, alimentación humana y para el ganado. Para que los cultivos de coberturas sean efectivos, deben tener un establecimiento rápido, proporcionar pronto una cubierta vegetal y poseer un profundo sistema radicular para mejorar la macroporosidad del suelo (Morgan, 1997).

El uso de coberturas implica varias ventajas para el manejo agrícola:

Versatilidad: Las especies tienden a tener un rango ecológico bastante amplio.
Simplicidad: No hay necesidad de conocimientos o herramientas sofisticadas.
Competitividad: Una característica que permite su selección es que algunas especies son excepcionalmente buenas para competir con malezas agresivas.
Variabilidad: Existe un inmenso rango para escoger la mejor combinación de características, por ejemplo, tolerancia al frío, calor, sequía e inundaciones.

Pero también presenta algunas desventajas:

En algunas situaciones, el cultivo de cobertura podría contribuir a problemas de plagas y enfermedades en el cultivo principal.
Los cultivos de cobertura ocupan en parte o todo el año, suelo que podría ser utilizado por otros propósitos, por ejemplo, producción ganadera.
Se necesita un manejo cuidadoso para prevenir la competencia entre el cultivo de cobertura y los cultivos asociados. En casos extremos puede llevar a que el cultivo sea clasificado como una maleza.
Ciertas especies pueden tener un efecto alelopático en el cultivo siguiente.

Muchas veces las especies más comunes utilizadas como coberturas son de difícil establecimiento y de alto costo para quienes la utilizan.

Se requiere de un estudio previo o datos específicos de la actividad que llevan las diferentes coberturas, en los diversos tipos de suelos utilizados para la siembra y el cultivo, y así obtener mayor información en el momento de trabajar un determinado tipo de suelo con las coberturas recomendadas.

Lal (1975), resalta que pueden distinguirse dos grandes grupos de coberturas: Coberturas que protegen al suelo mientras no se efectúa la siembra de un determinado cultivo, en donde la vegetación natural primaria y secundaria, los barbechos mejorados, las plantaciones forestales y los pastizales son buenos ejemplos de este tipo. Ellos mantienen y proporcionan niveles adecuados y óptimos de nutrientes y MO que inducen la estabilidad del suelo sobre el cual se encuentran, preparando así la estructura principal del suelo para la futura siembra y de esta manera mejorar la calidad de la misma y de las coberturas que protegen al suelo mientras se efectúa la siembra de un determinado cultivo. Uno de los ejemplos más característicos de ellos son el "mulch" colocado en superficie (residuos vegetales o de cualquier otro origen), el "mulch" local (residuos de cosecha o de barbecho natural o mejorado). Morgan (1997), describe que el "mulching" es la cobertura del suelo con residuos inertes de cultivo, como la paja, hojas de palma o rastrojos, que protege al suelo del impacto de gotas de lluvia y reduce la velocidad de la escorrentía y del viento.

Sánchez (1981) sugiere, que la mayoría de estos sistemas deben confiarse en mezclas de gramíneas y leguminosas; ya que la función de estas últimas en tales mezclas es contribuir con nitrógeno, y las gramíneas proporcionan energía al ganado debido a su mayor producción de materia seca. También es común el control de los procesos erosivos del suelo por parte de estos sistemas naturales de cultivo, aumentando así la productividad y la fertilidad de mismo.

Plantas más comunes utilizadas como cultivos de coberturas naturales:

En muchos países de América incluyendo a Venezuela, se han venido utilizando una gran variedad de especies de plantas como cultivos de coberturas naturales, entre los que se pueden mencionar; *Medicago sativa* (Alfalfa), *Urochloa dyctioneura*, *Vicia sativa* (Arveja), *Centrocema marcocarpum* (Zajamus), *Urochola humidicola*, *Pueraria phaseoloides* (Kudzu), *Stylosanthes guianensis* (Stylosanthes), *Centrocema pubenscens*, *Cajanus* (Frijol), *Urochola decumbens*, *Eritrina* (Amasisa) (Roche, 1990, citado por Zoughon, 2002); *Calopogonium mucunoides* y; *Crotalaria anagyroides* (Crotalaria) (Morgan, 1997 y Suárez, 1999).

La necesidad de mantener un número elevado de coberturas de distinta calidad como elementos naturales útiles para el desarrollo y optimización del suelo, hace de vital importancia, el buen manejo y uso de las mismas, para así reducir el riesgo de alteraciones y modificaciones en la zona de aplicación de los tratamientos y de esta forma evitar la degradación y empobrecimiento del área tratada.

A continuación se presentan las características más representativas de las especies de plantas utilizadas como coberturas naturales en este trabajo de investigación. Entre las especies utilizadas como coberturas naturales específicas tenemos:

– ***Centrocema macrocarpum:*** Es una planta que se caracteriza por ser de consistencia robusta voluble, la cual crece postrada en ausencia de soporte. Los tallos son pubescentes, de forma cilíndrica o subangular, con la edad se vuelve leñoso en su base, alcanzando hasta 5 cm de diámetro. Esta especie desarrolla un sistema radical muy profundo lo cual le permite soportar la sequía. Los rangos de adaptación van desde los bosques de galería de las regiones de sabana, hasta los extremos de los bosques lluviosos tropicales a 2050 msnm y precipitaciones de hasta 4000 mm/año. Se adapta a suelos

ácidos, a ligeramente alcalinos y de baja fertilidad natural. Tiene un potencial agronómico alto, debido a la alta producción de materia seca, potencial de producción de semillas, la tolerancia a plagas, su capacidad de fijación de nitrógeno y su capacidad de recuperación de suelos. (Schultzet-Kraft, 1997). Son muy importantes en el campo ecológico ya que constituyen extensas formaciones herbáceas en las sabanas, praderas y sirven de alimento a grandes manadas de herbívoros.

– ***Urochloa dyctioneura:*** Es una gramínea estolonífera, perenne con ramas ascendentes de 30 a 150 cm de altura, invasora de alta resistencia a la sequía y al pisoteo, y se adapta a los suelos pobres. Produce entre 6 y 9% de proteína bruta y entre 7-9 Mg de materia seca. Su adaptación, producción de materia seca y semillas es similar a la *Urochloa humidícola*, presenta estolones hasta de 1,5 m de longitud. La *U. dyctioneura* y la *U.humidicola* son muy parecidas morfológicamente presentándose dificultades para reconocerlas, pero a diferencia de la *U.dyctioneura*, la *U.humidicola* no presenta en su lado abaxial o lado extremo de la unión de la vaina y el limbo, un anillo conspicuo de fácil percepción al tacto (Roche, 1990, citado por Zoughon, 2002). Forma parte de las llamadas gramínea forrajeras.

Es de vital importancia mantener un número elevado de las especies de plantas que son propias de la zona, para que el suelo mantenga su aspecto y su estructura, aunque posteriormente al incorporarle las coberturas sobre éste, cambie un poco su condición, aumentando su fertilidad, estabilidad y estructura. Pero siempre manteniendo como base, los elementos constituyentes principales que conforman el suelo y que le dan una determinada particularidad, diferenciándolo de otros. Cualquier alteración en la vegetación natural de una determinada zona, puede disminuir la calidad del suelo y puede empobrecer su desarrollo, y es por ello que se deben implementar métodos y técnicas de mejoramiento en la calidad de los mismos, y es allí cuando la incorporación de coberturas juega un papel indispensable como herramientas naturales de

repotenciación y estabilización del suelo sobre el cual se encuentran, haciéndolos más fértiles y más provechosos para el cultivo.

La **vegetación natural** es dominada por gramíneas como ***Trachypogon*** sp y ***Axonopus*** sp, y puede haber también una alta proporción de leguminosas en la zona de las sabanas venezolanas en donde se lleva a cabo esta investigación.

La vegetación propia de la zona puede mantener condiciones de estructura y estabilidad adecuadas. De allí que la tierra bien administrada rinda mucho más que la tierra cultivada sin control, y la incorporación al suelo de estiércol, residuos vegetales producto de siembra de coberturas naturales como mantillos protectores, van a contribuir a conservar el contenido orgánico del suelo. Estas potencialidades pueden perderse con el uso de monocultivos de forma continua.

Región de los Llanos Centrales:

Esta región tradicionalmente ganadera, donde la cría de vacunos se inició en Venezuela en gran escala, a base de la explotación extensiva del ganado suelto, es hoy objetivo de un proceso de creación sistemática de áreas agrícolas integradas, sobre la base de sistemas de riego y de métodos conservacionistas auspiciados por el propio Estado. Las áreas llaneras de desarrollo agrícola en expansión se centran en el Sistema del Guárico, con capacidad para 110.000 Ha, donde el principal cultivo es el arroz; el de la Majaguas, con un área máxima calculada en 90.000 Ha; el de San Carlos con 5.000 Ha, el de Guanapito con 3.500 Ha, Boconó, Guanare y Santo Domingo, con un área total de 3.100 Ha.

Como ecosistemas naturales se tiene el bosque de galería que interrumpe el dominio herbáceo, al ocupar las márgenes húmedas de numerosos ríos con su cobertura de

árboles y arbustos. Estos bosques longitudinales se prolongan, en algunos casos, durante muchos kilómetros. Dominan los ecosistemas de sabana extensas y sin árboles, en las cuales predominan las gramineas. Se ubican en su mayoria en el estado Guarico, ocupando una superficie de aproximadamente 65000 Km2, lo que equivale a un 7,14% del territorio nacional. La formación vegetal representada en los Llanos Centrales, es consecuencia de la distribución estacional de las lluvias, concentradas en una estación anual, o de la permeabilidad excesiva de los suelos.

Esta zona tiene una precipitación media anual entre 400-1300 mm, distribuidos en una marcada estacionalidad climática, esto quiere decir periodos fuertes de lluvias marcados entre los meses de mayo a noviembre en forma de fuertes chaparrones y tormentas que a menudo ocasionan inundaciones y desbordamiento de muchos rios, lo que trae consigo la pérdida de una gran cantidad de productos de consumo, y un periodo de poca lluvia o seco, entre los meses de diciembre a abril en los cuales la vegetación se torna secas y poco palatables. La temperatura es una medida anual de 27.5C°

Poseen un relieve variado, desde áreas planas con pendientes que tienden a cero, hasta abruptas pendientes con paisajes de: altiplanicies (llanos altos), piedemontes de colinas y planicies aluviales (llanos bajos e intermedios).

Con respecto a los suelos que conforman la región de los Llanos centrales, predominan además de los órdenes alfisoles (posiciones altas), los vertisoles (posiciones bajas e intermedias), los cuales se caracterizan porque son muy susceptibles a la erosión, y hacia la parte sur-oriental del estado Guarico se encuentran un gran diversidad de suelos de los ordenes ultisoles, oxisoles, y vertisoles que generalmente son ácidos, de una fertilidad natural baja y de altas concentraciones de aluminio intercambiable, lo cual produce serias limitaciones para la actividad agrícola (Marvez y Falcón,1991).

Los suelos de la zona son altamente meteorizados predominando los sesquióxidos de hierro y aluminio, los cuales se comportan como agentes inorgánicos de uniones muy fuertes (Tisdall y Oades, 1982), entre las partículas del suelo. La estabilidad encontrada especialmente en los suelos de textura franca, puede limitar el acceso de los microorganismos al sustrato orgánico, coadyuvando a que el proceso de descomposición sea poco intenso. La menor descomposición del material orgánico ocluido en los agregados hace que exista una menor mineralización del N en suelos de Sabanas de la región del sombrero (Hernández y López-Hernández, 2002).

La región de los Llanos Centrales tiene una gran variedad de productos agrícolas derivados de la ganadería extensiva, cultivo de cereales como arroz, maiz, sorgo, avena y otros granos. De allí que la implementación de planes para el mantenimiento y el mejoramiento del suelo de la zona de trabajo, sea de vital importancia para los productores del campo quienes buscan mejorar la calidad de sus productos, lo cual conlleva a la aplicación de un plan de carácter conservacionista que minimice el deterioro y el empobrecimiento del suelo.

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

CAPÍTULO III
MARCO METODOLÓGICO

Descripción del área de estudio:

Finca San Pablo: Ubicada en el Estado Guarico especificamente en Valle de la Pascua (V.D.P) (Figura 1), cercana a la población de Jácome, en una zona de bosque seco tropical a una altura aproximada de 100 m.s.n.m, con una precipitación anual promedio de 850mm y 1074 mm, cuyo gradiente de precipitación aumenta en sentido oeste-este y una temperatura de 27,3 °C. El suelo pertenece a un Vertisol, con pH ligeramente ácido, moderada fertilidad y relieve ondulado con una pendiente entre 8-20%. Fisiográficamente es una superficie de denudación colinosa generalmente suave, con colinas algo más fuertes pero no en general. Presenta pendientes de alrededor de 8%, con zonas de 3-8% y otras zonas con pendientes de 8-20%.

Predominan la mezcla de suelos pesados con texturas arcillosas y suelos livianos producto de la erosión de las areniscas de la formación de Chaguarama, en la cual predomina la textura franco arcillosa o franca. Presenta una fertilidad mediana, con bajos valores de fósforo (valores de 3 y 8 $mg.Kg^{-1}$), nitratos con disponibilidad mediana a alta, con valores entre (20 y 45$mg.Kg^{-1}$), con contenido de calcio alto que va desde (300 y 400 $mg.Kg^{-1}$). Los niveles de materia orgánica medios (2 y 3%), con erosión de ligera a moderada dependiendo de la textura y pendiente del terreno (3-8% erosión laminar), y en topes (erosión fuerte). Presenta amplia red de drenajes, lo cual hace que no haya problemas de inundación. Con un drenaje externo rápido debido a la pendiente y texturas fundamentalmente pesadas.

Estación Experimental de la Iguana: Ubicada en las sabanas de Sur-Oriente de Guárico específicamente en el eje Espino-Santa María, con una altura entre 80-120

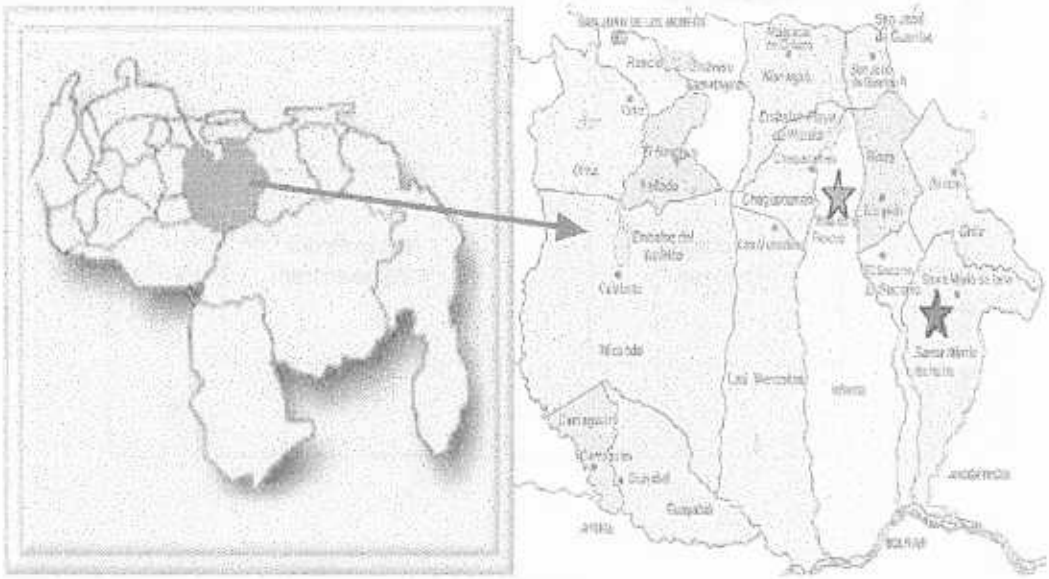
m.s.n.m. (Figura 1). Tiene un período húmedo de 3 a 4 meses, con una precipitación anual promedio de1369 mm y una temperatura de 27,3°C (Matheus, 1996; Chacón et al., 1991). Dentro de la estación Experimental se observa una gran diversidad de suelos, como Ultisoles, Vertisoles, Inseptisoles y Alfisoles, pero el que predomina es el suelo clasificado como Entisol de textura arenosa, pH ácido, y relieve suavemente ondulado con pendientes de 1-3%, de baja fertilidad natural , baja capacidad de retención de nutrientes y bajo contenido de materia orgánica (Matheus,1987) Constituye un área de las llamadas sabanas infértiles de los Llanos Altos de los estados Guárico, Anzoategui y Monagas.

Formas de manejo:

Inicialmente se llevó a cabo el establecimiento de las diferentes coberturas sobre la superficie del suelo en el cual se cultivó el maíz siendo estas coberturas; la *vegetación natural*, *Urochloa dyctioneura* y *Centrocema marcrocarpum*. Para ello se tuvo que realizar un trabajo previo en la preparación del suelo sobre el cual se incorporarían los tratamientos. Dicho trabajo de preparación del suelo, contó de una preparación tradicional de dos pares de rastra, con la finalidad de facilitar el establecimiento de las coberturas. Cada una de las coberturas fuéron sembradas en unidades experimentales (parcelas) de 30 m de largo y 40 m de ancho en San Pablo y de 30m de largo por 30 m de ancho en la Estación Experimental de la Iguana (Figura 2). Se aplicó una fertilización basal con dosis según los resultados de la caracterización química previa del suelo.

La siembra de las coberturas se realizó de dos maneras: al voleo para las gramíneas a razón de 4kg/ha y en hileras separadas da 0,25 m para la leguminosa a razón de 10 semillas por metro lineal. Después de la siembra de las coberturas, se procedió a la espera de su germinación y desarrollo por un año (mayo de 1999 a mayo del 2000).

Figura 1. Ubicación geográfica de las zonas de estudio

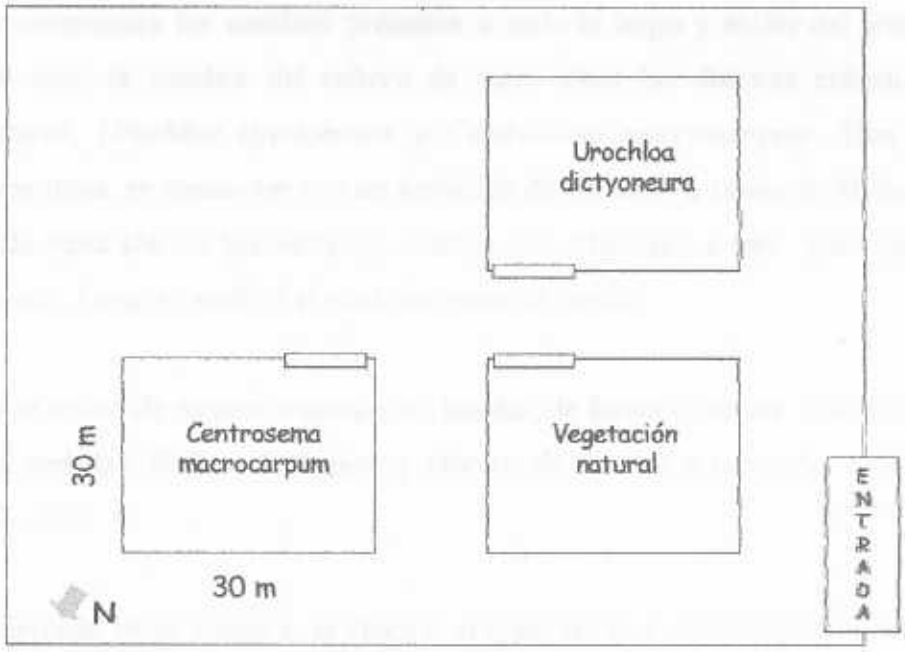


Finca San Pablo Valle la Pascua (suelo arcilloso)

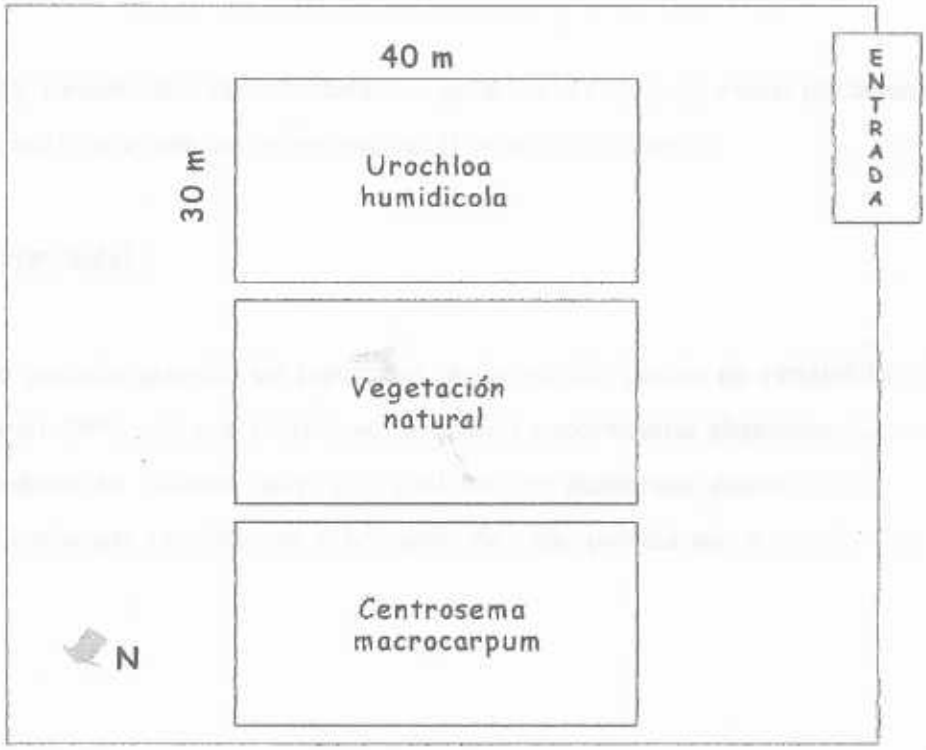
Estación Experimental La Iguana (suelo arenoso)

Figura 2. Distribución de los tratamientos en el suelo La Iguana y San Pablo

La Iguana



San Pablo



Una vez establecidas las coberturas, se procedió al corte de las mismas (en la segunda quincena de mayo del año 2000) mediante el empleo de una rotativa de modo de distribuir homogéneamente los residuos presentes a todo lo largo y ancho del área en que se llevó a cabo la siembra del cultivo de maíz sobre las distintas coberturas: *Vegetación natural, Urochloa dyctioneura* y *Centrocema marcrocarpum*. Una vez cortadas las coberturas, se atenuaron con un herbicida de contacto a razón de 4L/ha. Se utilizó semilla de maíz blanco Sefloarca 02, tratada con Thidicarb a una distancia de 0,90 m entre hileras, luego se sembró el maíz con siembra directa.

La fertilización se aplicó de manera manual y en bandas, de forma continua usando una mezcla de úrea perlada+ fosfato diamónico y cloruro de potasio a razón de 70-90-90 kg/ha de N-P_2O_5-K_2O.

A los 30 días después de la siembra, se efectuó el reabono y se utilizó como fuente la úrea perlada a una dosis de 46 kg/Ha de nitrógeno. Posteriormente se produjo la cosecha de maíz, y luego de finalizar esta etapa se introdujo el ganado ovino 3 ua/Ha (5 corderos/ parcela), con la finalidad de que éstos consumieran todos los residuos vegetales.

Se utilizaron (3) tratamientos de coberturas: *Vegetación natural, Urochloa dyctioneura* y *Centrocema marcrocarpum* como leguminosa (Figura2).(ver anexo)

Diseño experimental:

El diseño es de parcelas grandes sin repetición según estudio previo de variabilidad del suelo realizado en 1999, lo que constituye un diseño experimental altamente eficiente, que lleva el nombre de diseño Strip y el cual incluye muestreos dentro de parcelas establecidas, sin efectuar repeticiones y tomando de cada parcela muestras de tamaño

"n". (Smith,1992, citado por Machado, 2000). Los tratamientos en los dos sitios experimentales quedaron estructurados tal y como se muestran en la figura 2.

La época de muestreo del suelo para esta investigación, se realizó al final del segundo ciclo maíz-ganado después del pastoreo. Se tomaron 12 muestras al azar en cada parcela o tratamiento a una profundidad de 0-5 cm.

Análisis estadístico:

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el paquete STATISTIX. Los resultados fueron analizados previamente para la detección y eliminación de valores anormales. Los datos de cada variable fueron sometidos a pruebas de normalidad de Will Shapiro y de homogeneidad de varianza de Barlett. En el caso de las variables que no presentaron una distribución normal o que presentaron heterogeneidad de las varianzas se utilizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis.

Procedimiento analítico:

Tamizado en húmedo de agregados:

El procedimiento está basado en la separación de agregados por tamaño según la clasificación de Tisdal y Oades (1982) de considerar macroagregados por encima de 250 mm y microagregados por debajo de 250mm.

Se colocaron un juego de tamices en orden descendente de arriba abajo 850, 500, 250 y 150 mm (ver anexo); en el soporte sumergido de tal manera que el nivel de agua llegue exactamente al fondo del tamiz superior de 850 mm, la posición del soporte fue tal que al iniciar los movimientos ascendentes y descendentes, el nivel del agua llegó cerca, sin sobrepasar el borde superior del tamiz de 850 mm (ver anexo), se separó el suelo seco al

aire, mediante tamizado, unos 200 gr de agregados de 2 a 4 mm, se pesaron 60 gramos de ellos secos al aire, esparciéndolos cuidadosa y uniformemente sobre el tamiz de 850 mm. Luego se dejaron humedecer por capilaridad durante 30 minutos, al cabo de ese tiempo se inició el agitado dentro del agua, con movimientos ascendentes y descendentes de 3 a 5 cm, 30 a 40 veces por minuto, del soporte con los tamices (dicha agitación se prolongó por 5 minutos en las muestras de Valle de la Pascua y 2 minutos para las muestras de la Iguana), transcurrido ese tiempo, se sacó cuidadosamente el juego de tamices y se separó uno del otro, el suelo que quedó en cada tamiz fue recogido en una lata aplicando agua a presión, con una piceta por la parte posterior del tamiz, se dejó sedimentar por 30 minutos (ver anexo) y succionando con una pera de goma se removieron parte del agua que quedó como sobrenadante, antes de colocar la lata a secar a 60° C en la estufa (ver anexo) , una vez seco se pesó el suelo recogido en cada lata (ver anexo); con agregados de tamaño 850, 500, 250 y 150 mm, toda la corrección de las arenas que pudieran tener el mismo tamaño de agregados se añadió una solución de Calgon de 10% a cada lata.(ver anexo).

Se dejó reposar por unos 15 minutos y se transfirió el contenido al frasco de agitación, donde se agitó la suspensión por unos 10 minutos usando el agitador de análisis mecánico (ver anexo) , una vez cumplida la agitación, se hizo pasar cada suspensión por el mismo tamiz en el cual quedó retenido el suelo (ver anexo), aplicando agua a presión con una piceta para remover todas las partículas con diámetro inferior al de los huecos el tamiz, lo que queda en cada tamiz se recogió en una lata (ver anexo), se secó a 60° C (ver anexo) y se pesó las muestras de 850, 500, 250 y 150 mm (ver anexo). Estos pesos representaron las partículas de arena con diámetros comprendidos entre los milímetros anteriormente nombrados de los tamices y retenidos en cada uno de ellos, así restando los valores iniciales con los finales se obtuvieron los pesos de agregados estables en cada fracción de: 850,500, 250 y 150 mm,

Todo este procedimiento se realizó por segunda vez con el fin de obtener los agregados donde se realizaron los análisis de carbono total.

Determinación colorimétrica de Carbono orgánico:

Se uso el método de Walkley-Black, donde el carbono orgánico del suelo se oxida con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) al 8 %, en presencia de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (96% aproximadamente) es equivalente a la cantidad de iones dicromato reducidos. Estos últimos pueden determinarse colorimétricamente, debido al cambio de color que origina la reducción de los mismos, realizando la lectura en un espectofotómetro (ver anexo) (Spectronic 20). Para expresar los resultados como porcentaje de materia orgánica, se usó el factor de Van Bemmelen (1,724), el cual parte del supuesto de que la materia orgánica contiene 58 % de carbono.

Con esta técnica colorimétrica se requirió la elaboración de una curva patrón, para ello se transfirió con pipeta 0; 1,25; 2,50; 3,75; 5 y 6,25 ml de solución madre de 50 mg de CO/ml a balones aforados de 50 ml y se enrasó con agua destilada. Estos son los patrones de trabajo que contuvieron 0; 1,25; 2,5; 3,75; 5 y 6,25 mg de CO/ml.

Se colocó aproximadamente 0,1 g de suelo al aire (<2mm) en un tubo de ensayo grande. Y se le añadió 1ml de agua destilada.

El blanco solo contenía 1ml de agua destilada y otros tubos contenían 1 ml de cada uno de los patrones de la curva de calibración. (ver anexo)

A cada tubo se añadió 2ml de dicromato de potasio al 8% y 3 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se dejó enfriar y se añadió a cada tubo 10 ml de agua destilada. (ver anexo)

Se agitó y transfirió en una centrífuga a 2500 rpm por 10 minutos. (ver anexo)

Finalmente se midió la absorbancia de cada patrón y de la muestra de suelo en un fotocolorímetro a 650µm.(ver anexo)

La cantidad de M.O. se determinó indirectamente midiendo la cantidad de CO oxidado por el agente oxidante dicromato. Para asegurar una oxidación completa de todo el CO en las muestras del suelo, seria necesario calentar la reacción a 150°C por 30 minutos (método con calentamiento externo). En este trabajo no se utilizó calentamiento externo, y el calor de dilución del ácido en la solución acuosa de dicromato solo oxidó alrededor de 74% del CO existente en el suelo (oxidación parcial). La cantidad de CO oxidado parcialmente en la muestra de suelo se determinó comparando su valor de absorbancia en la curva de calibración de los patrones.

Para cada uno de los patrones se calculó la constante K=C/A, donde C= concentración de CO en mg/ml y A= a la absorbancia.

El promedio de las constantes se identificó como KP = K1 + K2 +K3 + ...Kn.

Para calcular el porcentaje de CO de las muestras de suelo se utilizó la siguiente fórmula:

El % de CO = (Kp x Am x 0,1) / (M x 0,74), donde M = peso del suelo, Am = absorbancia de la muestra del suelo; 0,1 = gr CO x 100% / 1000mg y 0,74 representa la concentración de CO oxidado.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

CAPÍTULO IV

Caso suelo arcilloso San Pablo - Agregados estables al agua:

Distribución de macro y microagregados en el suelo arcilloso de la Finca San Pablo:

En la **figura 3** se puede observar que el porcentaje de microagregados (<250mm) para las coberturas de ***Vn*** y ***Cm*** es significativamente mayor en comparación con ***Udy***. El suelo tratado con ***Vn*** tuvo un valor de 6,3%, con una diferencia leve con respecto a ***Cm*** de aproximadamente 0,5% y una diferencia significativamente mayor de 1,5% en relación a ***Udy***. Los resultados indican que las fracciones de agregados de menor tamaño (<250 mm) permanecieron estables, y en mayor proporción en el suelo de la Finca San Pablo tratado con ***Vn y Cm***.

Para el caso de los macroagregados (>250 mm), **(figura 4)** el porcentaje de estos agregados presentes en el tratamiento con ***Udy*** es significativamente mayor, en comparación a las otras dos coberturas, las cuales presentan valores similares. Siendo esta diferencia de 23% con respecto a ***Cm*** y de 18% en relación a ***Vn***. En el tratamiento con ***Udy*** la proporción de los macroagregados estables al agua permaneció en un 60%, indicando que el grado de unión de las partículas que conforman los macroagregados es mayor en este tratamiento. El suelo de San Pablo tiene una fuerte tendencia al encostramiento y a la compactación por lo cual, es importante el desarrollo de una buena estructura para el mejor crecimiento de los cultivos. La ***Udy*** puede estar incrementando la estabilidad de los macroagregados y por ello ofrecer mejores condiciones al suelo para disminuir las pérdidas por erosión.

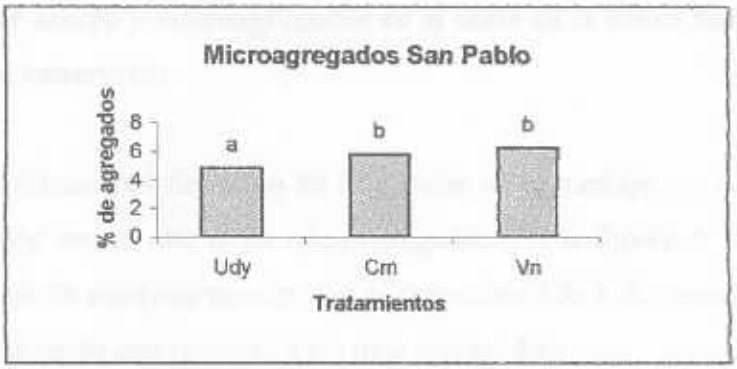


Figura 3: **Porcentaje de microagregados estables en el suelo de la Finca San Pablo con las diferentes coberturas.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

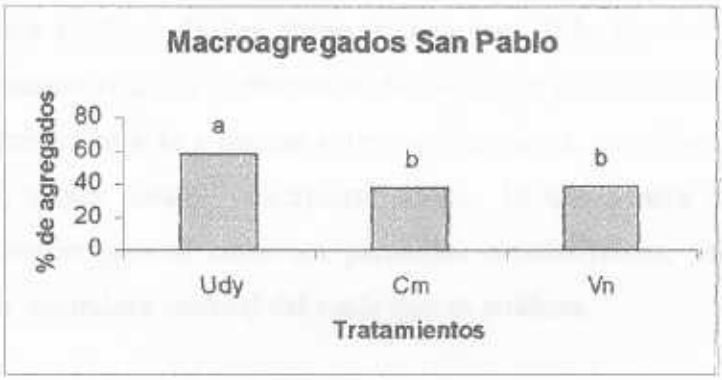


Figura 4: **Porcentaje de macroagregados estables en el suelo de la Finca San Pablo con las diferentes coberturas.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Distribución de macro y microagregados en el suelo de la Finca San Pablo por cada tratamiento de cobertura:

En todos los tratamientos del suelo de San Pablo el porcentaje de macroagregados es significativamente mayor que el de microagregados. En la **figura 5** se puede observar que el porcentaje de macroagregados con el tratamiento de ***Udy***, tiene una diferencia de 52% aproximadamente con respecto a los microagregados.

En el caso del suelo con el tratamiento de ***Cm*** presentado en la **figura 6**, la diferencia entre macro y microagregados está representada por un 30%. Con una diferencia parecida; 35% más de macroagregados con respecto a los microagregados está el suelo tratado con **Vn** (control), cuyos resultados son mostrados en la **figura 7**.

En general el suelo arcilloso de San Pablo tratado con ***Udy***, ***Cm*** y ***Vn***, muestra altos porcentajes de macroagregados a diferencia de microagregados, lo que nos indica que este suelo es altamente estable a fuerzas externas dispersivas, específicamente a nivel, de las fracciones de mayor tamaño (macroagregados), lo qué genera un alto grado de estabilidad y cohesión general entre sus partículas constituyentes, esto es debido en buena medida a la naturaleza textural del suelo que es arcillosa.

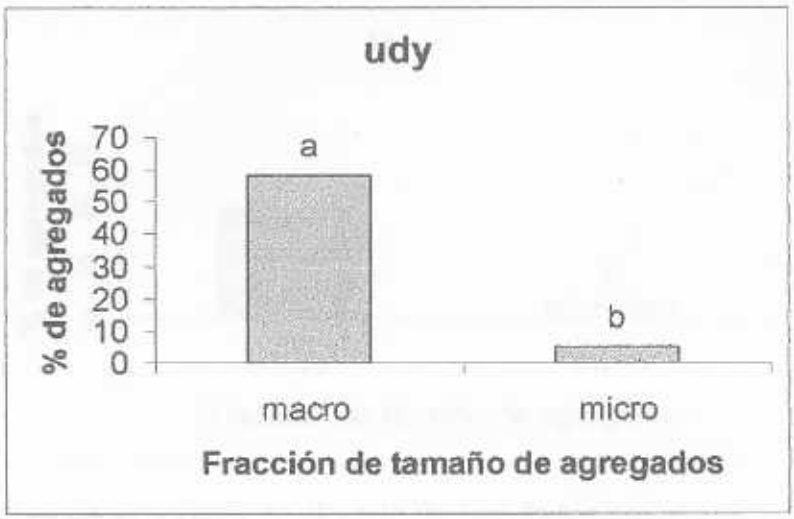


Figura 5: **Distribución de agregados en el suelo de San Pablo con el tratamiento de *Udy***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

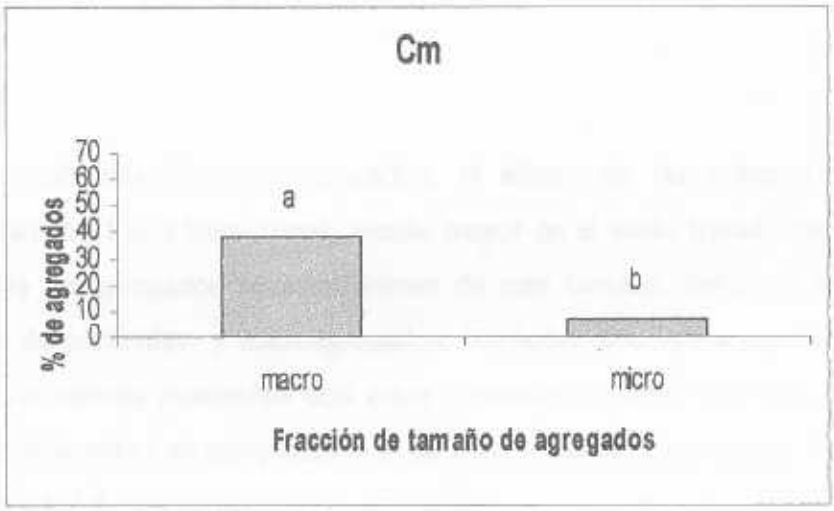


Figura 6: **Distribución de agregados en el suelo de San Pablo con el tratamiento de *Cm***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

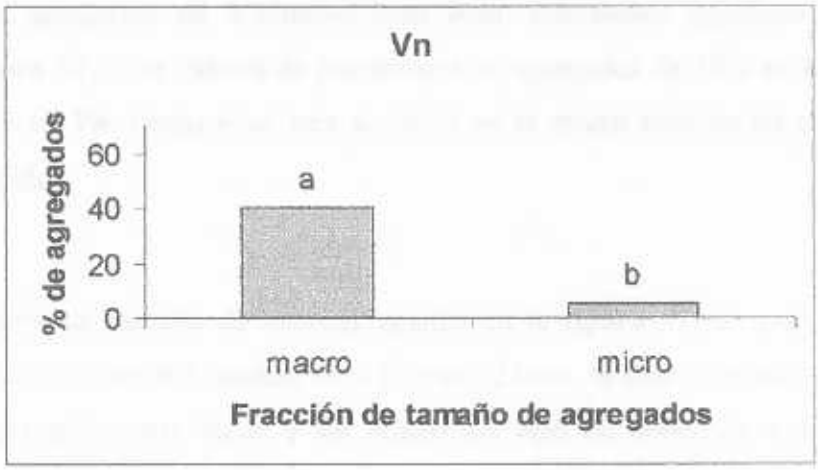


Figura 7: **Distribución de agregados en el suelo de San Pablo con el tratamiento de *Vn***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Efecto de las coberturas en cada fracción de tamaño de agregado en el suelo de la finca San Pablo:

De las fracciones evaluadas de macroagregados, el efecto de las coberturas fue significativo en el tamaño I (0,85mm-2mm), siendo mayor en el suelo tratado con ***Udy*** **(figura 8)**. Un 44% de agregados se mantuvieron de este tamaño, debido a su alta capacidad de unión de partículas y microagregados. No hubo diferencias significativas entre ***Vn*** y ***Cm***. Los valores mostrados con estos tratamientos sobre este tamaño de agregados, fue casi de la mitad en comparación al de ***Udy***, lo que lo hace menos efectivo para inducir la estabilidad de los agregados de este tamaño.

En la **figura 9** puede observarse que no hubo efecto de las coberturas en el tamaño de agregados (0,5mm-0,850mm), manteniendo cifras muy bajas de porcentajes de agregados, con valores de 10% en ***Udy***, 9% en ***Cm*** y 8% en ***Vn***.

Tampoco en los agregados de 0,25mm-0,5mm hubo diferencias significativas entre tratamientos (**figura 10**). Los valores de porcentajes de agregados de 10% en ***Udy***, 11% en ***Cm*** y de 10% en ***Vn***, demuestran una similitud en el efecto final de las coberturas sobre estos agregados.

Entre las fracciones de tamaño de microagregados en la **figura 11**, se presentan los porcentajes para la fracción del tamaño de 0,15mm-0,25mm, la cual muestra valores de porcentaje de agregados muy bajos y sin efecto del tipo de cobertura usado como tratamiento.

Para las fracciones de < 0.15mm representados en la **figura 12**, ***Cm*** fue la que produjo significativamente mayor porcentaje de agregados estables de este tamaño (24,16%), los valores menores fueron encontrados con el tratamiento ***Udy*** 1,33%, estableciéndose de ésta manera una diferencia de 22,83% aproximadamente entre ambos tratamientos. Esta fracción donde hay microagregados, también incluye las particulas más finas del suelo como las arcillas, los limos y las arenas muy finas. La presencia con esta cobertura de un mayor contenido de agregados en sus fracciones más finas, podría estar relacionada con la calidad de los tejidos de más dificil descomposición de la ***Cm*** que se asocian en el suelo con las fracciones más finas del mismo (Ruiz, 2002). En general se puede decir, que los tratamientos de coberturas ejercieron un efecto mayor en las fracciones de tamaño de agregados comprendidos entre 0,850mm-2mm, lo que sugiere que el tratamiento con ***Udy*** promueve condiciones que favorecen la producción de compuestos orgánicos que sirven como "gomas", que actúan como agentes de unión orgánica que podría favorecer la macroagregación (Tisdale y Oades, 1982). Por otra parte al ser un suelo arcilloso, la raiz pivotante de ***Cm*** podría estar favoreciendo el rompimiento del suelo, ocasionando un efecto taladrador en suelos muy pesados como los arcillosos, y

posiblemente el aporte orgánico que pudiera servir de agente de unión entre partículas no es importante con este tratamiento.

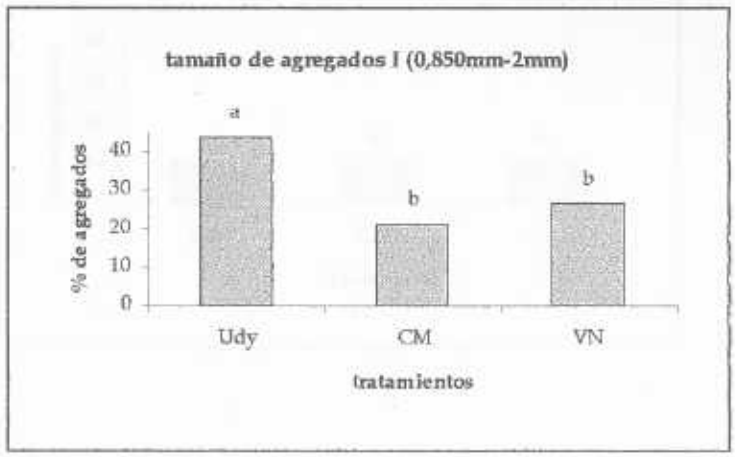


Figura 8: **Efecto de las coberturas en la fracción I de tamaño de agregados del suelo de San Pablo**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

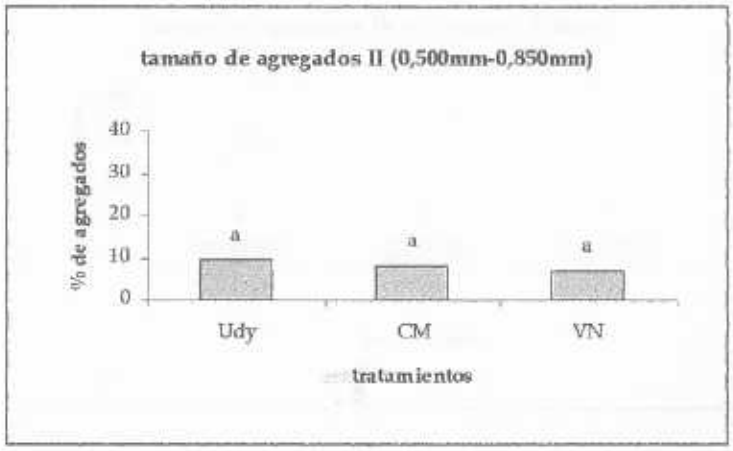


Figura 9: **Efecto de las coberturas en la fracción II de tamaño de agregados del suelo de San Pablo**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

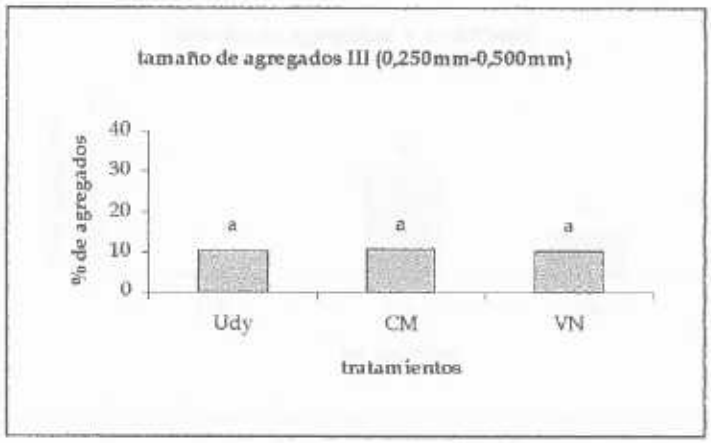


Figura 10: **Efecto de las coberturas en la fracción III de tamaño de agregados del suelo de San Pablo**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

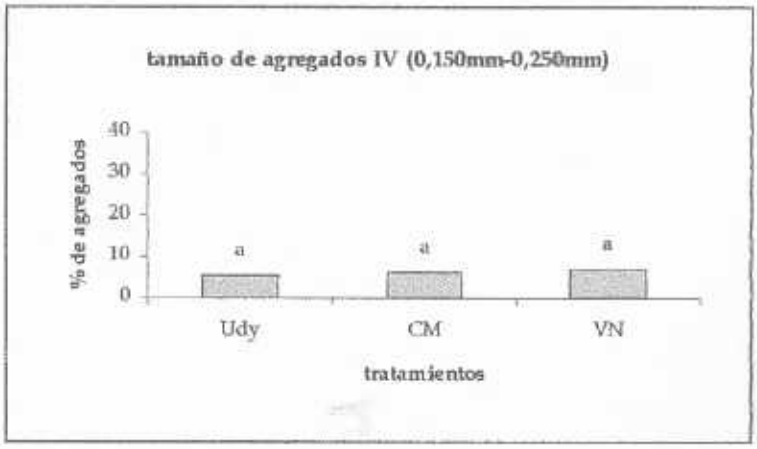


Figura 11: **Efecto de las coberturas en la fracción IV de tamaño de agregados del suelo de San Pablo**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

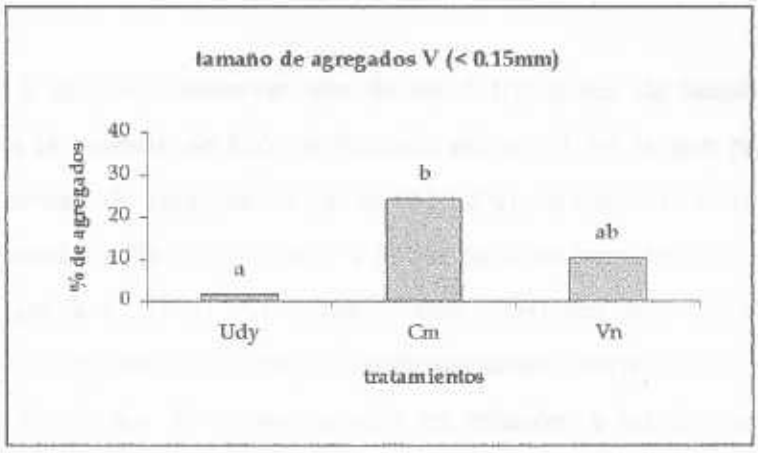


Figura 12: **Efecto de las coberturas en la fracción V de tamaño de agregados del suelo de San Pablo**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Distribución de tamaño de agregados estables en el suelo de la Finca San Pablo:

En la **figura 13** se puede observar que de las 5 fracciones de tamaño de agregados pertenecientes a la muestra de ***Udy***, la fracción número I fue la que presentó el mayor tamaño de porcentaje de agregados estables (43,82%), en relación, a las otras fracciones de agregados, siendo la fracción número V la que tuvo los menores valores de porcentaje de estos agregados (1,33%). Se produjo una diferencia de 42,49% entre ambas fracciones, lo que representa un efecto significativamente mayor de este tratamiento de ***Udy*** sobre las fracciones de mayor tamaño en relación, a las de menor tamaño. La distribución de tamaño de agregados con esta cobertura muestra una tendencia a mantenerse estables los agregados de mayor tamaño.

La distribución de agregados estables con ***Cm*** que se observa en la **figura 14**, presenta una tendencia a manifestar una mayor homogeneidad en el porcentaje de agregados estables de diferente tamaño, aunque hay una mayor efecto en las fracciones <150mm, haciendo que estos agregados sean mas estables y resistentes ante fuerzas externas dispersivas. El material orgánico generado por el tratamiento de ***Cm***, tiene una calidad mas recalcitrante (Padrino, 2004), lo cual puede proveer uniones más estables a nivel de microagregados.

Con el tratamiento control de la **Figura 15**, la distribución de agregados es parecida a la del tratamiento con ***Udy***, lo que proporciona mayor estabilidad en los agregados más grandes.

En general el suelo de San Pablo es muy estable, causado por su textura arcillosa. Bajo este contexto predominan los mecanismos de unión entre particulas de tipo inorgánico,

ya que las arcillas son partículas muy reactivas. No obstante hay un cierto efecto de las coberturas puesto que se observan diferencias en las tendencias de distribución de los tamaños de agregados estables. Siendo similares las observadas para ***Udy*** y ***Vn***.

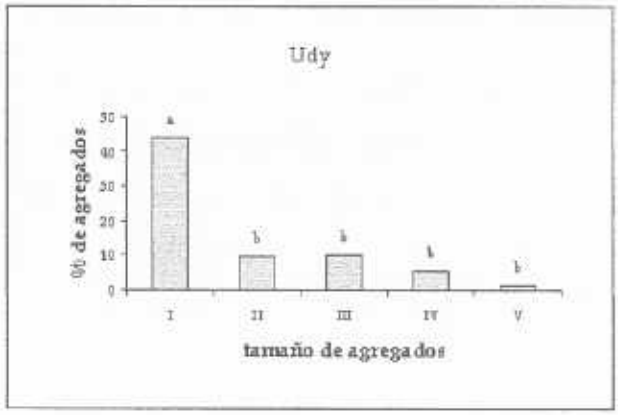


Figura 13: **Efecto de la cobertura de *Udy* en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Finca San Pablo**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p < 0.05$. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

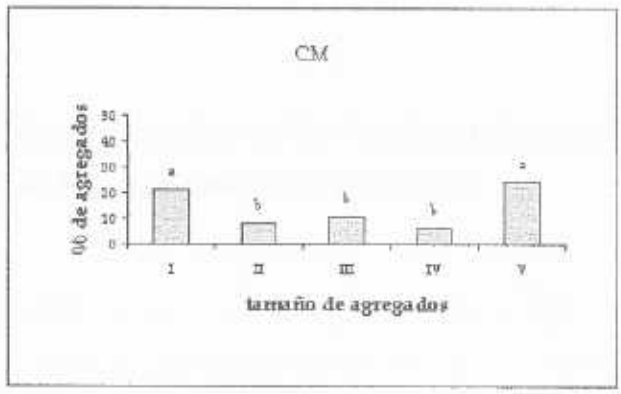


Figura 14: **Efecto de la cobertura de *Cm* en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Finca San Pablo**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p < 0.05$. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

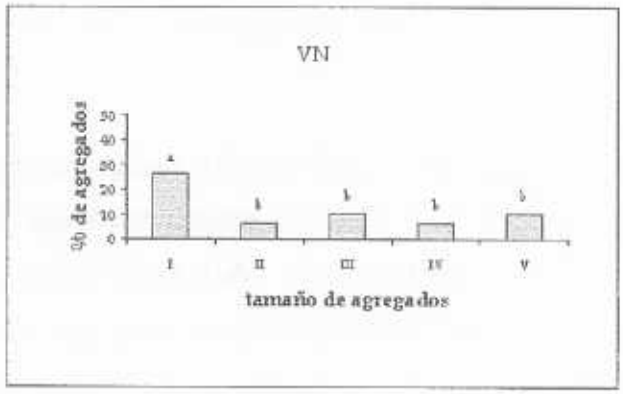


Figura 15: **Efecto de la cobertura de *Vn* en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Finca San Pablo**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p < 0.05$. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

Carbono orgánico en los agregados del suelo San Pablo

Distribución de Carbono Orgánico en las fracciones de macro y micro agregados del suelo de San Pablo bajo las diferentes coberturas:

Las diferencias de comportamiento en los porcentajes de agregados estables al agua pueden deberse a la cantidad y calidad de la M.O.S aportada por las coberturas. De allí que un buen indicador para estudiarlo sea analizar la distribución del contenido de carbono orgánico (Co) en los agregados.

En la **Figura 16** se puede observar que el porcentaje de carbono orgánico (Co) presente en las fracciones de mayor tamaño (macroagregados) es mayor en el suelo tratado con ***Cm*** que con los otros dos tratamientos, presentando valores de porcentaje de carbono orgánico (Co) acumulado en las fracciones de 4,2%, en relación a los tratamientos de ***Udy*** con 3,70% y de ***Vn*** con 3,8% respectivamente.

El porcentaje de carbono orgánico (Co) en los microagregados (<250mm) mostrados en la **Figura 17** no es significativamente diferente entre tratamiento de coberturas. Los valores presentados son 1,3% con ***Udy***, 1,2% con ***Cm*** y 1,2% con ***Vn***. Por tanto no hay un efecto de las coberturas a este nivel de agregados en el suelo de San Pablo. Hay que destacar que en esta fracción no se sumaron el contenido de (Co) de las fracciones de partículas, limos y arcillas, que se encontraban en la fracción < 150 mm. En estas últimas partículas se pudiera encontrar C orgánico, en asociaciones orgánico-minerales (Tisdal y Oades, 1982)

De lo mostrado se deduce que el contenido de carbono orgánico (Co) en los microagregados (todos los tratamientos) es menor que en los macroagregados. Si se considera que este suelo tiene un alto porcentaje de partículas como macroagregados estables (>0,250mm), hay una fuerte protección física del carbono orgánico (Co) del suelo, habiendo poco riesgo a perderse por erosión, respiración de los microorganismos, etc.

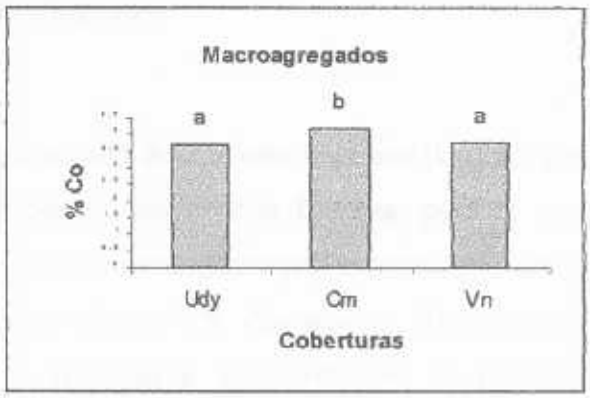


Figura 16: **Distribución de carbono orgánico en las fracciones de macroagregados (>250mm)**.Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

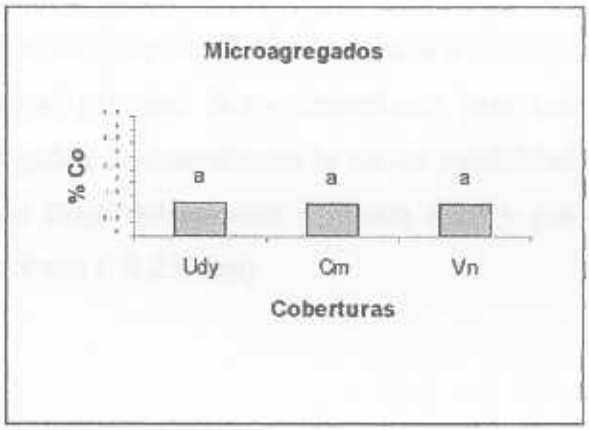


Figura 17: **Distribución de carbono orgánico en las fracciones de microagregados (<250mm)**.Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Distribución de Carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la finca San Pablo por cada tratamiento de cobertura:

Como fue señalado anteriormente el contenido de carbono orgánico (Co) en la **Figura 18, 19 y 20** fue significativamente mayor en los macroagregados que en los microagregados de todos los casos.

Este incremento en el contenido de carbono orgánico (Co) por parte de las fracciones de mayor tamaño, puede ocurrir, entre otros factores, por: un incremento en la tasa de crecimiento y desarrollo de microorganismos, inducido por los tratamientos los cuales en su metabolismo son capaces de degradar y descomponer ciertos compuestos orgánicos. De allí que se observe un incremento en el efecto de estabilización y equilibrio del carbono orgánico presente.

No obstante, por ser el suelo de San Pablo de textura arcillosa, el incremento de carbono orgánico (Co) no es el principal factor cementante para que haya partículas unidas formando macroagregados. Indirectamente la mayor estabilidad de los macroagregados permite la protección física del carbono orgánico (Co) y por eso también su mayor contenido en las fracciones (>0,250mm).

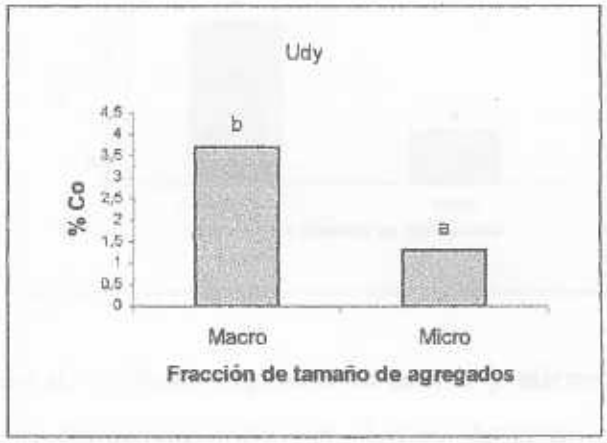


Figura 18: **Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados del suelo de San Pablo con el tratamiento de *Udy***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

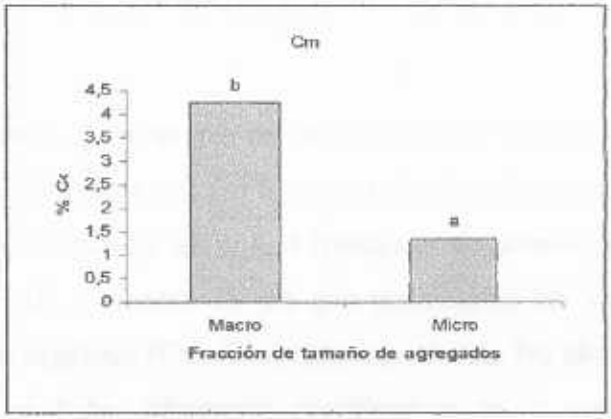


Figura 19: **Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados del suelo de San Pablo con el tratamiento de *Cm***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

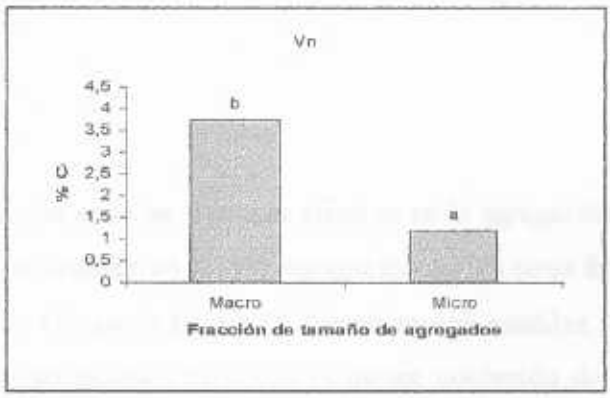


Figura 20: **Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados del suelo de San Pablo con el tratamiento de *Vn*.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Distribución de Carbono orgánico en el suelo arcilloso de la finca San Pablo en fracciones de agregados por tratamiento de coberturas:

En la **Figura 21** se puede observar que de las 5 fracciones de tamaño de agregados del suelo con ***Udy***, la fracción número I fue la que presentó valores mayores de porcentaje de Carbono (1,5%), en relación, a las otras 4 fracciones de tamaño de agregados, siendo las fracciones número III y número IV las que presentaron los valores más bajos de porcentaje de carbono orgánico (Co) (1%) respectivamente. No obstante desde el punto de vista estadístico no hubo diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico (Co) entre las fracciones de agregados evaluadas.

En la **Figura 22** se puede observar que de las 5 fracciones de tamaño de agregados pertenecientes al suelo con ***Cm***, las fracciones I, II, III presentaron porcentajes de 1,5% de carbono orgánico (Co), seguida por la fracción IV con (1,38%). Estos valores se diferencian significativamente de la fracción V que tenía (0,5%) de carbono orgánico (Co).

De allí que este tratamiento con ***Cm*** sea más efectivo en la agregación de las fracciones I, sin embargo esto no se traduce en mayor agregación en las otras fracciones (II, III, y IV), las cuales como se vio en la figura 12 fueron menos estables. Los agregados de tamaño (V) fueron mas abundantes pero con el menor contenido de carbono orgánico (Co). Constituyendo una baja protección de (Co) en esta fracción de agregados.

Siguiendo en la **Figura 23** se aprecia que de las 5 fracciones de tamaño de agregados pertenecientes a la muestra de ***Vu***, la fracción número I y número II fueron las que presentaron los valores mayores de porcentaje de carbono orgánico (Co) (1,48%) y (1,47%) respectivamente, en relación, a las otras 4 fracciones de tamaño de agregados en las cuales se obtuvieron valores menores de porcentaje de carbono orgánico (Co). En este tratamiento de cobertura la distribución del contenido de carbono orgánico (Co) es similar al observado en el suelo con ***Udy***.

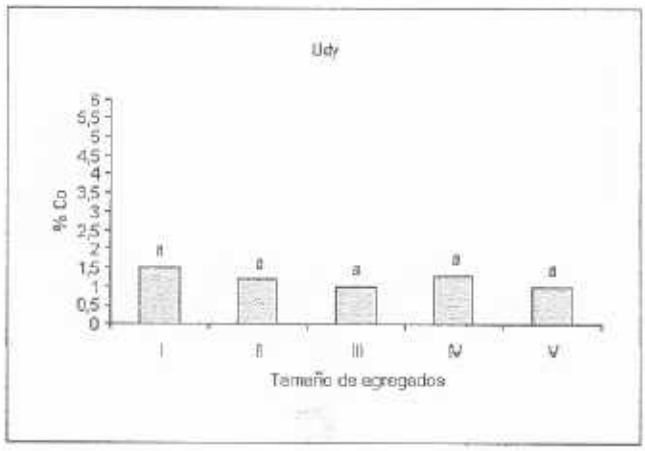


Figura 21: **Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de *Udy*.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$.

Fracciones de agregados: Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

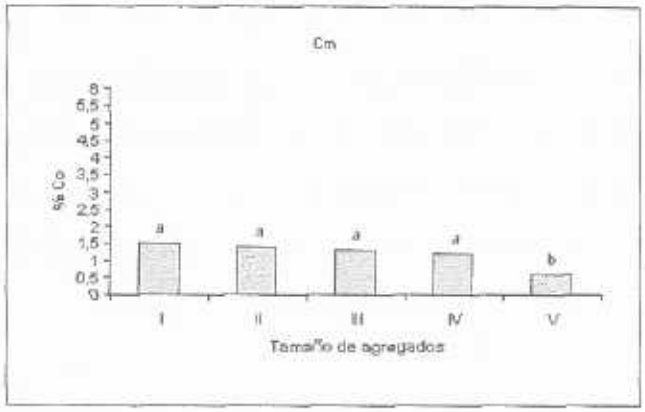


Figura 22: **Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de *Cm*.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

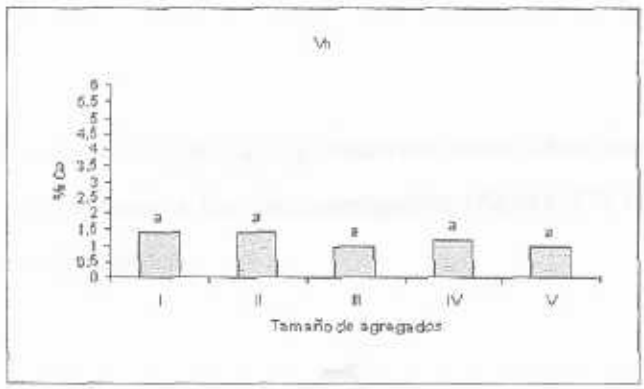


Figura 23: **Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de *Vn*.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$ **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

Efecto de las coberturas en el contenido de Carbono orgánico en cada fracción de tamaño de agregados en el suelo de la finca San Pablo:

En la **Figura 24** se puede observar que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de cobertura, únicamente se vio diferencias entre ***Udy*** y ***Cm***, para el contenido de carbono orgánico (Co) en la fracción de macroagregados más grandes (0,8mm-2mm). Esto indica que hubo un efecto similar de las coberturas en la capacidad de éstas, de inducir un incremento en la cantidad de Carbono orgánico en el suelo tratado, ya sea por una mayor retención e incorporación del mismo.

Representado el contenido de carbono orgánico (Co) en la fracción de tamaño II, en la **Figura 25** se puede observar que de los tres tratamientos aplicados al suelo de la finca San Pablo, la muestra de ***Cm*** junto con la de ***Vn*** fueron las que presentaron los mayores valores significativos del porcentaje de carbono orgánico para esta fracción de agregados, (4%) con ***Cm*** y (3,8%) con ***Vn***, a diferencia del tratamiento con ***Udy*** que presentó valores menores de porcentaje de carbono (1,2%).

En la fracción III no hubo diferencias significativas entre tratamientos (**figura 26**). En la fracción IV, que corresponde a los microagregados (**figura 27**) tampoco hubo cambios significativos entre tratamientos.

En la **Figura 28** se puede observar que de los tres tratamientos aplicados al suelo de San Pablo, la muestra de ***Vn*** fue la que presentó los mayores valores de porcentaje de carbono orgánico (Co) (1,35%) para esta fracción de tamaño de agregados, siendo la muestra de ***Cm*** la que tuvo el menor valor de porcentaje de carbono orgánico (Co) (0,78%), estableciéndose una diferencia no significativa del (0,57%) entre ambos

tratamientos, lo que demuestra que el efecto de retención, fijación e incorporación de (M.O) fue mayor a nivel, de ***Vn*** que de ***Udy*** y ***Cm.***

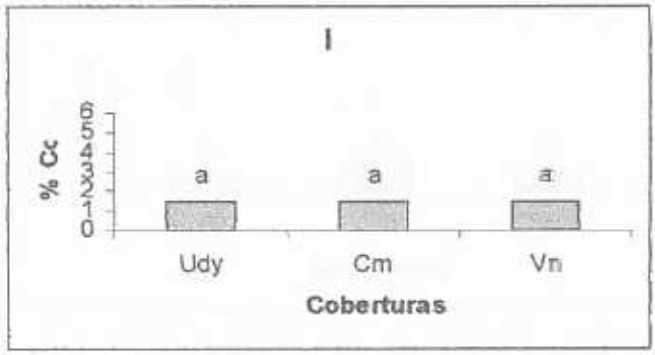


Figura 24: **Efecto de las coberturas en la fracción I de tamaño de agregados con respecto a su % de carbono**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

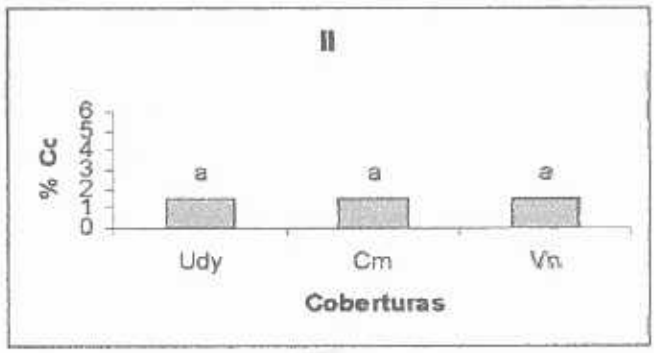


Figura 25: **Efecto de las coberturas en la fracción II de tamaño de agregados con respecto a su % de carbono**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

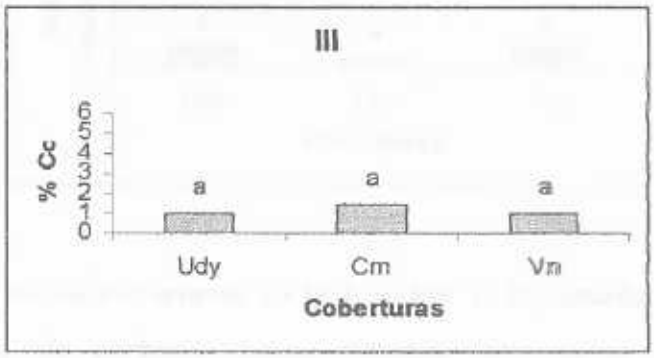


Figura 26: **Efecto de las coberturas en la fracción III de tamaño de agregados con respecto a su % de carbono**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

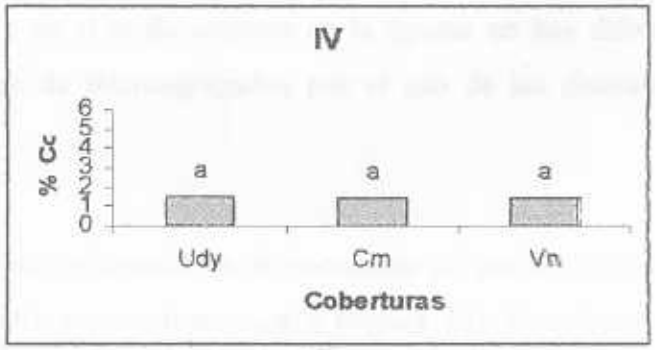


Figura 27: **Efecto de las coberturas en la fracción IV de tamaño de agregados con respecto a su % de carbono**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

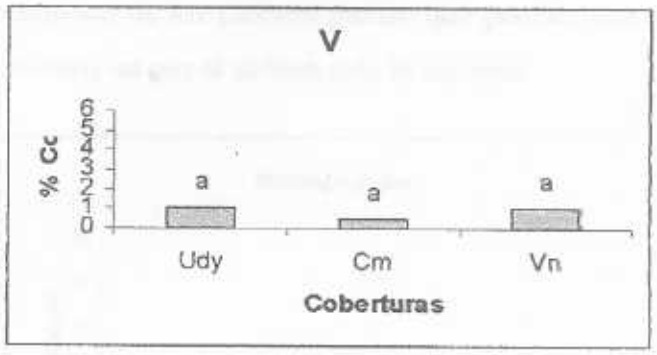


Figura 28: **Efecto de las coberturas en la fracción V de tamaño de agregados con respecto a su % de carbono**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Caso suelo arenoso La Iguana: Agregados estables al agua

Distribución de agregados en el suelo arenoso de la Estación Experimental de La Iguana:

A diferencia de lo encontrado en el suelo arcilloso de San pablo, en la **figura 29** se puede observar que en el suelo arenoso de la Iguana no hay diferencias significativas entre el porcentaje de microagregados por el uso de los distintos tratamientos de coberturas.

Igual comportamiento se detectó en el porcentaje de macroagregados; no se produjo diferencias significativas entre tratamientos **(figura 30)**. Con las coberturas ***Udy y Vn*** hay una tendencia levemente mayor de macroagregación en relación al suelo con ***Cm***, diferencia representada por un 1% en relación a ***Cm*** y por un 2% en relación a ***Vn*** aproximadamente, lo que indica que puede haber una tendencia al presentar el suelo ***Udy*** una estabilidad mayor ante las fuerzas externas dispersivas. Dado que este es un suelo arenoso, una mayor estabilidad de macroagregados, aunque sea temporal, es importante

para el manejo agronómico de los cultivos puesto que permite una mayor conservación de nutrientes en momentos en que el cultivo más lo necesita.

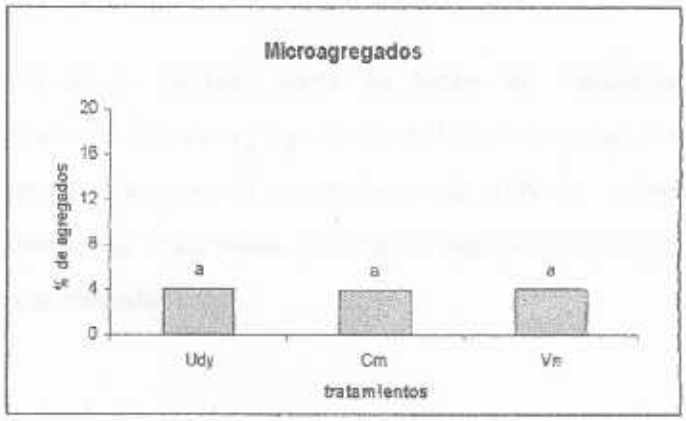


Figura 29: **Distribución de microagregados en el suelo de la Iguana con las diferentes coberturas**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p < 0.05$

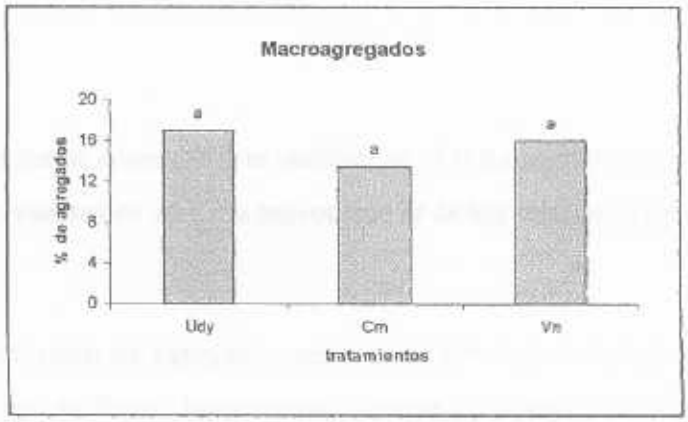


Figura 30: **Distribución de macroagregados en el suelo de la Iguana con las diferentes coberturas**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p < 0.05$

Distribución de agregados en el suelo de La Iguana por cada tratamiento de cobertura:

En el suelo arenoso de la Iguana, existe en todos los tratamientos un porcentaje significativamente mayor de macroagregados que de microagregados. Así en la **figura 31**, se puede observar que con el tratamiento de ***Udy*** la diferencia fue de 13% aproximadamente, entre las fracciones de mayor tamaño (macroagregados) y las de menor tamaño (microagregados).

En el tratamiento del suelo de la Iguana con ***Cm***, la diferencia fue de un 9% aproximadamente entre las fracciones de mayor y menor tamaño, lo que indica que las fracciones de mayor tamaño al igual que con el tratamiento de ***Udy***, se mantuvieron estables ante fuerzas externas dispersivas, en relación, a las fracciones de menor tamaño (**figura 32**).

En la **figura 33** se puede observar que también en el tratamiento con ***Vn*** el porcentaje de macroagregados presentes es un 13% mayor que el de los microagregados.

En general la distribución de agregados en el suelo arenoso de la Iguana, se mantiene en los tres tratamientos de forma homogénea, aunque se observa un ligero incremento de los macroagregados a nivel del tratamiento con ***Udy***, probablemente la calidad de la (M.O) generada por esta cobertura contribuye a una actividad microbiana que permite la secreción de sustancias orgánicas que sirven como gomas cementadas de las partículas, mejorando ligeramente la estabilidad del suelo con relación a cuando se usan las otras coberturas.

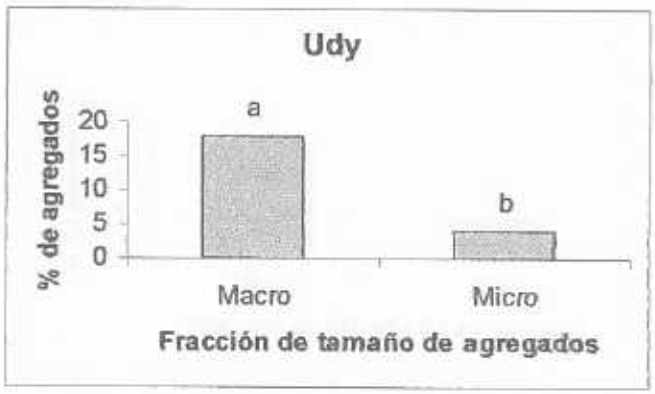


Figura 31: **Distribución de agregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de *Udy***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

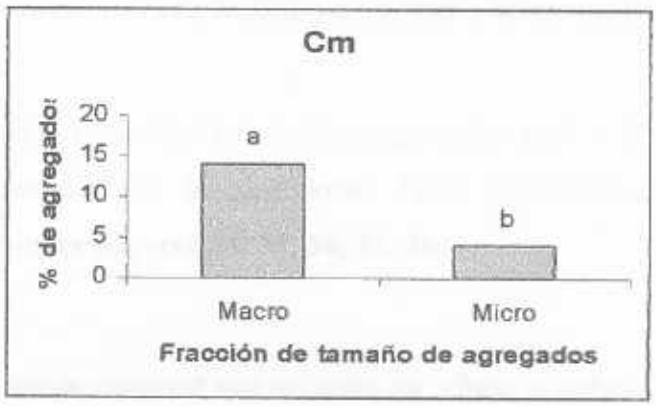


Figura 32: **Distribución de agregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de *Cm***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

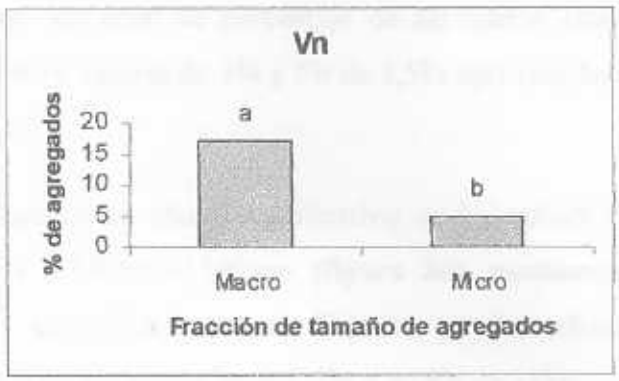


Figura 33: **Distribución de agregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de *Vn***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Efecto de las coberturas en cada fracción de tamaño de agregados en el suelo de La Iguana:

Cuando se comparan el efecto de las coberturas en cada fracción de tamaño evaluada se aprecia que en ninguna de las fracciones hubo diferencias significativas entre tratamientos de cobertura (**figuras 34, 35, 36, 37, 38**).

En la **figura 34** se puede observar que no hubo un efecto significativo de las diferentes coberturas en la fracción de tamaño de agregados comprendida entre 0,850mm-2mm, estableciéndose valores muy bajos de porcentajes de agregados. No obstante hubo una cierta tendencia a haber más agregados en el suelo ***Udy*** con un 4%, ***Cm*** con un 2% y ***Vn*** con un 3%.

No hubo un efecto significativo de las coberturas presentes (**figura 35**), en la fracción de tamaño de agregados 0,500mm-0,850mm, siendo la muestra de ***Udy*** la que mostró una

tendencia a mantener un nivel de porcentaje de agregados estables mayor (4%), en relación a ***Cm*** que obtuvo valores de 3% y ***Vn*** de 3,5% aproximadamente.

Igualmente no se observó un efecto significativo de las coberturas en la fracción de tamaño de agregados 0,250mm-0,500mm **(figura 36)**, manteniendo valores de estos relativamente bajos, específicamente en ***Udy*** se pueden observar porcentajes de agregados establecidos en 10%, en ***Cm*** de 8,3% y en ***Vn*** de 11%.

Los tres tratamientos produjeron el mismo efecto, en la formación y estabilización de los agregados, aunque de las tres coberturas, la de ***Cm*** fue la que sostuvo un porcentaje ligeramente menor de todas las fracciones de macroagregados estudiadas. El uso de coberturas perennes en el suelo de la Iguana confiere material orgánico y acondicionamiento microambiental por parte de las raices y del material de hojarasca que promueve en cierta medida la estabilidad y cohesión entre las partículas para mantener más estable los agregados que se pudieran formar. No obstante pareciera que el tipo de material orgánico que ofrece ***Cm*** pudiera ser diferente en calidad, puesto que generaría actividades microbianas distintas a las generadas por las otras coberturas y ello promovería una menor agregación. (Hernandez et al., 2003) señalan que con ***Cm*** la actividad microbiana es menor porque los residuos orgánicos son más difíciles de descomponer.

En relación a las fracciones de microagregados, se puede observar que no hubo un efecto significativo de las coberturas en la fracción de tamaño de agregados comprendidos entre 0,150mm-0,250mm **(figura 37)**, manteniendo entre ellos patrones similares de estabilización, con porcentajes de agregados de 4% en los tres tratamientos.

Tampoco hubo diferencias en la fracción más pequeña (< 0.15mm) **(Figura 38)**. En las dos fracciones de microagregados evaluadas hubo una ligera tendencia a ser mayor los porcentajes en el tratamiento de ***Cm***, lo cual podría apoyar la hipótesis que el material orgánico es más recalcitrante y humificado con esta cobertura, manteniendo enlaces más resistentes a nivel de microagregados.

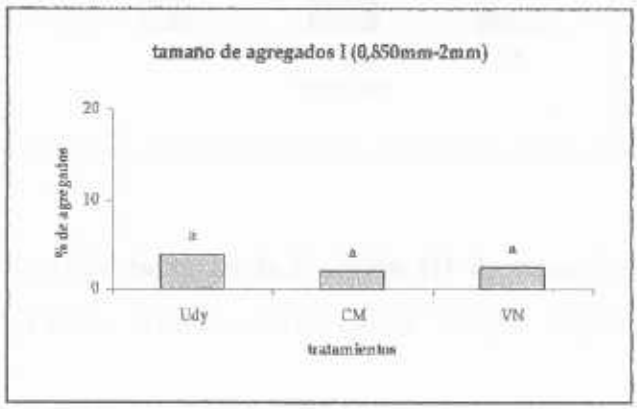


Figura 34: **Efecto de la coberturas en la fracción I de tamaño de agregados del suelo de la Iguana**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas p<0.05

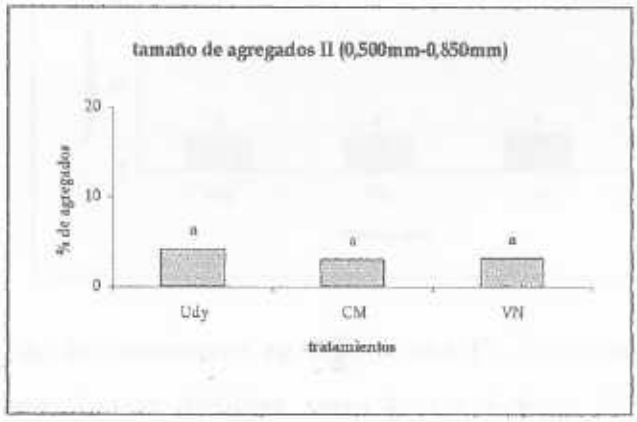


Figura 35: **Efecto de la coberturas en la fracción II de tamaño de agregados del suelo de la Iguana**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas p<0.05

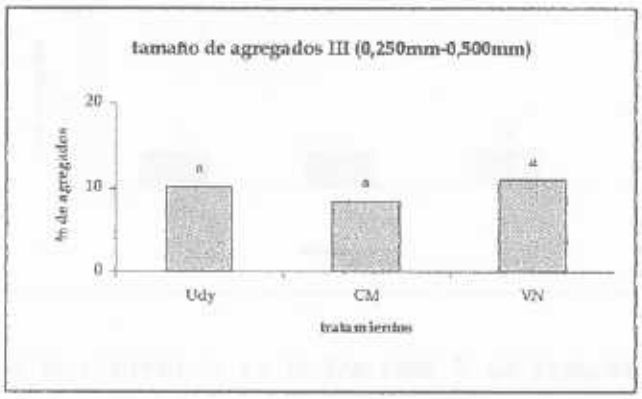


Figura 36: **Efecto de la coberturas en la fracción III de tamaño de agregados del suelo de la Iguana**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

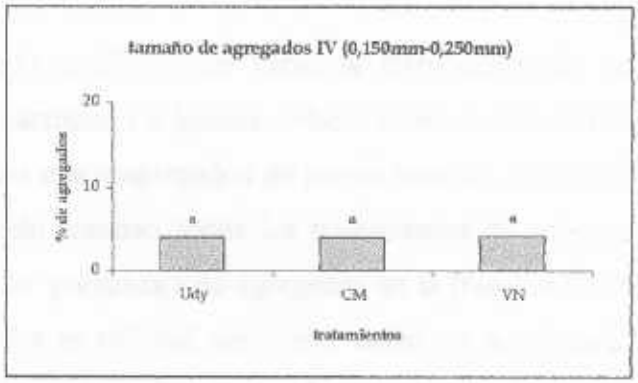


Figura 37: **Efecto de la coberturas en la fracción IV de tamaño de agregados del suelo de la Iguana**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

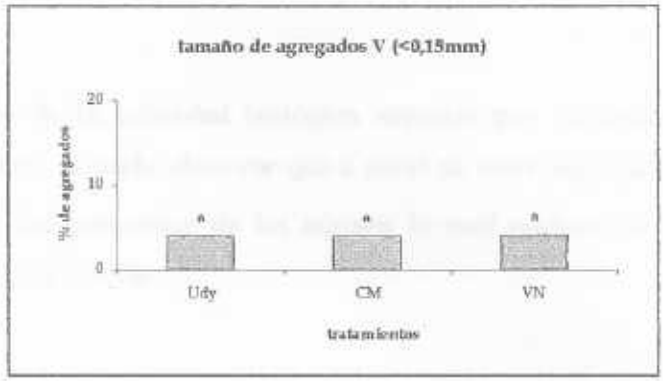


Figura 38: **Efecto de la coberturas en la fracción V de tamaño de agregados del suelo de la Iguana**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Efecto de las coberturas en la distribución de agregados de diferente tamaño en el suelo de la Iguana:

Con relación al suelo arcilloso San Pablo la distribución de agregados estables es diferente en el suelo arenoso La Iguana. Mientras en el suelo arcilloso se mantiene una alta proporción de los macroagregados de mayor tamaño, y se observa un efecto de las coberturas, en el suelo arenoso todos los tratamientos de coberturas tienen un efecto significativo mayor de porcentaje de agregados en la fracción III (0,250mm-0,500mm), lo cual refleja la poca estabilidad del suelo, debido a su textura arenosa y sus bajo porcentaje de agregados de mayor tamaño **(figura 39, 40 y 41)**.

El patrón de distribución de agregados fue el mismo para las tres coberturas, lo cual reconfirma el escaso efecto del uso de coberturas de distinta calidad. Posiblemente la textura arenosa con mas de 80% de arena (Hernández et al., 2003) hace poco evidente la acción de las coberturas como un inductor indirecto de formación y estabilización de

agregados a través de la actividad biológica asumida por la descomposición de las coberturas. Solamente se pudo observar que a nivel de macroagregados la *Udy* produjo un ligero aumento del porcentaje de los mismos lo cual pudiese ser positivo desde el punto de vista de conservación.

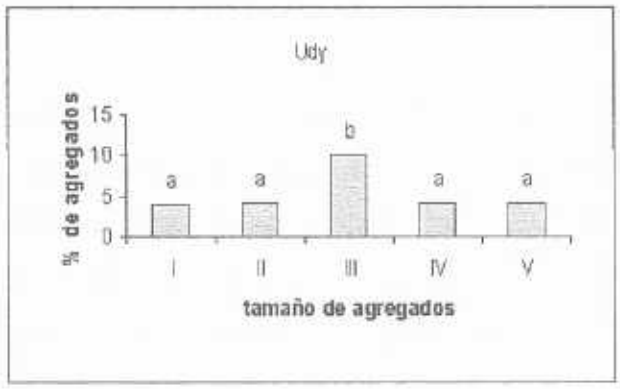


Figura 39: **Efecto de la cobertura de *Udy* en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Iguana**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

Figura 40: **Efecto de la cobertura de *Cm* en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Iguana.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas p<0.05. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

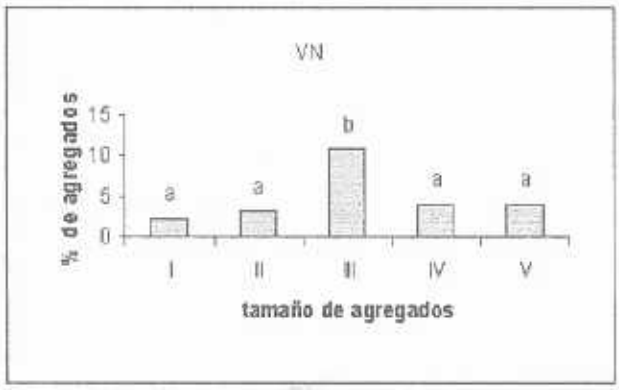


Figura 41: **Efecto de la cobertura de *Vn* en la distribución de los diferentes tamaños de agregados en el suelo de la Iguana.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas p<0.05. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

Carbono orgánico en los agregados del suelo La Iguana

Contenido de carbono orgánico macro y micro en las fracciones de agregados del suelo de la estación experimental de la Iguana

En la **Figura 42** se puede observar que el porcentaje de carbono orgánico (Co) presente en las fracciones de (macroagregados) (>250mm), es mayor en el suelo tratado con ***Udy*** que con los otros dos tratamientos, con valores de 1,23% en ***Udy***, 0,7% con ***Cm*** y de 0,41% con ***Vn***.

Siguiendo con la **Figura 43** el porcentaje de carbono orgánico (Co) presente en las fracciones de (microagregados) (<250mm) es mayor en el suelo tratado con ***Cm*** que con los otros dos tratamientos. En esta fracción de agregados los valores de carbono orgánico (Co) son muy bajos aproximadamente 0,66% en el suelo tratado con ***Udy***, de 0,96% con ***Cm*** y de 0,62% con el tratamiento de ***Vn***.

Estos resultados apoyan la hipótesis que la mayor macroagregación en el suelo ***Udy*** de la Iguana, comparada con los otros dos tratamientos puede deberse a la calidad y mayor cantidad de residuos con esta cobertura. Ello produce mayor contenido de carbono orgánico (Co) y en consecuencia mayor actividad y desarrollo microbiano por lo cual sirve de agente de unión temporal de partículas en este suelo arenoso.

La materia orgánica del suelo generada a partir de la muestra de ***Cm***, es más recalcitrante y puede dar lugar a la mayor microagregación en estos suelos. Este

argumento se basa en lo planteado por Tisdal y Oades (1982) quienes señalan que los microagregados están conformados por material orgánico más humificado.

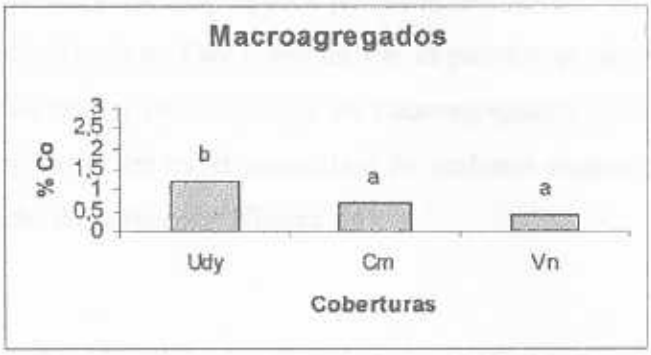


Figura 42: **Distribución de carbono orgánico en las fracciones de mayor tamaño**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

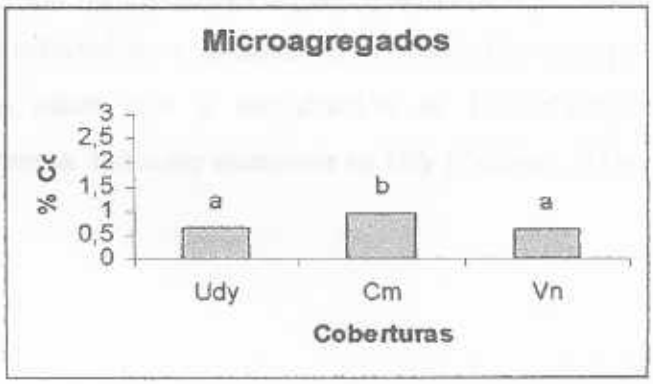


Figura 43: **Distribución de carbono orgánico en las fracciones de menor tamaño**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Distribución de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la estación experimental de la Iguana por cada tratamiento de cobertura:

En la **Figura 44, 45 y 46** son presentadas la distribución de porcentaje de carbono orgánico (Co) en macro y microagregados por cada tratamiento de cobertura, ***Udy***, ***Cm*** y ***Vn***, respectivamente. Tanto en ***Udy*** como en ***Vn*** el porcentaje de carbono orgánico (Co) es significativamente mayor en macro que en microagregados, a diferencia del suelo de ***Cm*** donde no hay variación en el porcentaje de carbono orgánico (Co) entre las dos fracciones de tamaño de agregados (**figura 44**).

Este incremento en el contenido de carbono orgánico (Co) por parte de las fracciones de mayor tamaño se puede deber a un aumento en las fraccione lábiles de la materia orgánica que favorecen el desarrollo de los microorganismos en esas fracciones de agregados y que son capaces de descomponer los residuos que entran al suelo, así como el hecho conocido que las gramíneas tienden a favorece la producción de humus –formas orgánicas más transformadas y estables en el suelo. Por otra parte ha sido notable el desarrollo de las raíces con la introducción de las coberturas, especialmente fue significativo la biomasa radicular alcanzada en ***Udy*** (Padrino, 2004).

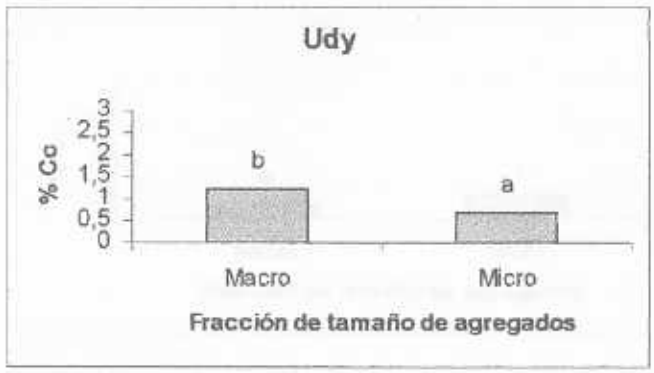


Figura 44: **Porcentaje de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de *Udy***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

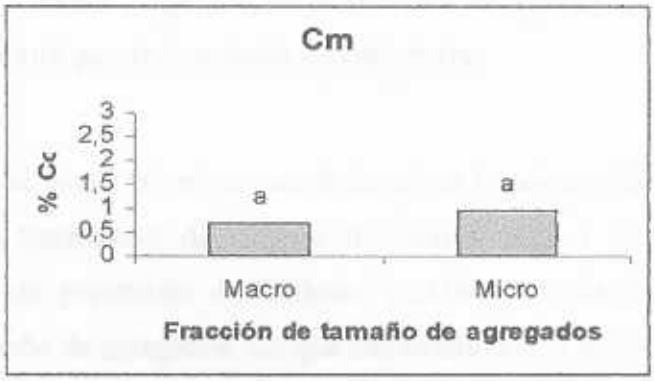


Figura 45: **Porcentaje de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de *Cm***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

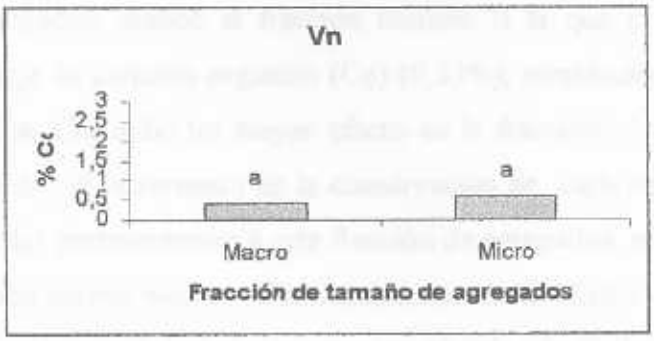


Figura 46: **Porcentaje de carbono orgánico en macro y microagregados en el suelo de la Iguana con el tratamiento de *Vn***. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

Distribución de carbono orgánico en la fracción de agregados estables en el suelo arenoso de la Iguana por tratamiento de cobertura:

En la **Figura 47** se puede observar que de las cinco fracciones de tamaño de agregados pertenecientes al tratamiento de ***Udy***, la fracción número I fue la que presentó los mayores valores de porcentaje de Carbono (1,23%), en relación, a las otras cuatro fracciones de tamaño de agregados. Lo que demuestra que el suelo tratado con ***Udy*** tuvo un efecto mayor sobre la fracción I (0,850mm-2mm), en cuanto al incremento en su capacidad de fijar y conservar carbono orgánico (Co) en su estructura. Esto pudiera deberse a un mayor desarrollo de la biomasa microbiana (Ruiz, 2004) y de su actividad metabólica de descomposición y fijación de nutrientes, haciendo del suelo temporalmente una superficie más útil y provechosa para el cultivo y la siembra, en este caso de maíz.

En el tratamiento con ***Cm***, **(Figura 48)** la fracción número IV fue la que presentó el mayor porcentaje de carbono orgánico (0,96%), en relación, a las otras cuatro fracciones

de tamaño de agregados, siendo la fracción número II la que presentó los menores valores de porcentaje de carbono orgánico (Co) (0,33%), estableciéndose una diferencia no significativa. Con ***Cm*** hubo un mayor efecto en la fracción número IV (0,250mm-0,150mm) en relación, al incremento en la conservación de carbono orgánico (Co) por parte de las partículas pertenecientes a esta fracción de agregados, mientras que el efecto de ésta cobertura fue mucho menor en la fracción número II. Estos valores más bajos de Carbono pudieran estar relacionados con mayores pérdidas de Carbono soluble producto de las actividades metabólicas microbianas y de los compuestos más fácilmente descomponibles con esta cobertura en el suelo arenoso de la Iguana. Por otra parte esta cobertura tiene un mayor contenido de fracciones orgánicas, como la lignina, que pasan a formar parte de las fracciones estables de materia orgánica, y que tienden asociarse en los microagregados (0,250 mm), los cuales son más estables en el suelo.

Siguiendo con la **Figura 49 la** cobertura de ***Vn***, promovió que en la fracción número III de agregados hubiera los mayores valores de porcentaje de carbono orgánico (Co) (0,67%).

En general se pudo observar que los niveles de porcentaje de carbono orgánico (Co) presente en las fracciones de agregados, se manifestaron en mayor grado en las fracciones número I correspondiente al tamaño de los macroagregados. Esta mayor cantidad de C pudiera estar favoreciendo la mayor macroagregación en estos suelos arenosos, cuando se usan las coberturas introducidas como (***Udy***, ***Cm*** y ***Vn***). Sin embargo se observa diferencias en la distribución entre ellas, sobre todo de aquellas fracciones donde hay el mayor nivel de C orgánico. Es notorio que en Cma se tiende a favorecer más el C a asociarse con partículas que conforman los microagregados entre 0,250-0,150 mm, y ello pudiera deberse al tipo de material orgánico que genera esta planta.

Figura 47: **Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de *Udy*.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

Figura 48: **Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de *Cm*.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

Figura 49: **Distribución de carbono por cada fracción de tamaño de agregado en la muestra de *Vn*.** Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$. **Fracciones de agregados:** Fracción I: agregados (0,85mm-2mm), fracción II: agregados (0,5mm-0,85mm), fracción III: agregados (0,25mm-0,5mm), fracción IV: agregados (0,15mm-0,25mm), fracción V: agregados (< 0,15 mm)

Distribución de % de Carbono orgánico en cada cobertura por fracción de tamaño de agregados en el suelo arenoso de la Iguana:

En las **Figuras 50, 51, 52, 53 y 54**, se presentan el efecto de las diferentes coberturas en el contenido de carbono orgánico (Co) por cada tamaño de agregado del suelo arenoso de la Iguana. Se destaca que en alguna de las fracciones se produzcan cambios significativos por las distintas coberturas.

En la **Figura 54** se puede observar que de los tres tratamientos, el de ***Cm*** fue el que presentó los mayores valores de % carbono (1,02%) para la fracción más pequeña de agregados evaluados en este trabajo, mientras que el tratamiento que tuvo los menores valores de porcentaje de carbono fue el de ***Vn*** (0,15%), estableciéndose una diferencia significativa entre ambos tratamientos ($p<0.05$). La leguminosa promovió una mejora en el contenido de C en esta fracción d agregados. Se observa también que el efecto de los

tratamientos de ***Udy***, ***Cm*** y ***Vn*** en el suelo arenoso de la Iguana fue muy bajo con relación al de San Pablo, y a la capacidad de retener carbono orgánico en su estructura.

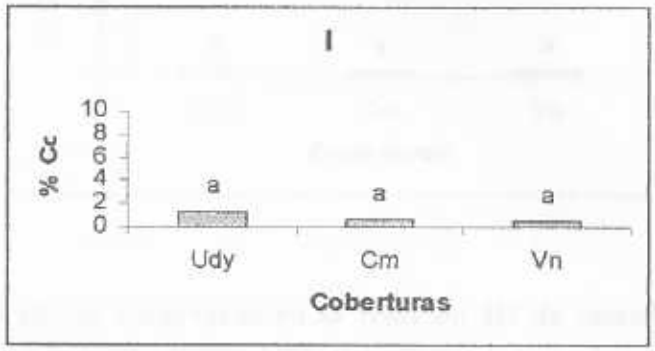


Figura 50: **Efecto de las coberturas en la fracción I de tamaño de agregados en relación, al % de carbono presente**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

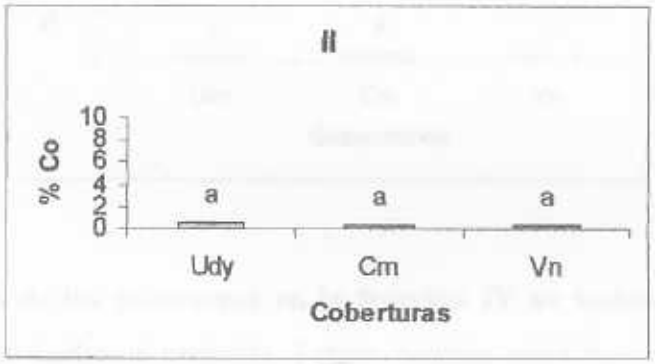


Figura 51: **Efecto de las coberturas en la fracción II de tamaño de agregados en relación, al % de carbono presente**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

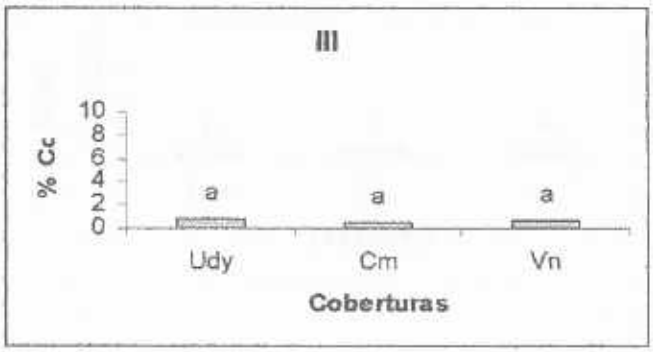


Figura 52: **Efecto de las coberturas en la fracción III de tamaño de agregados en relación, al % de carbono presente**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

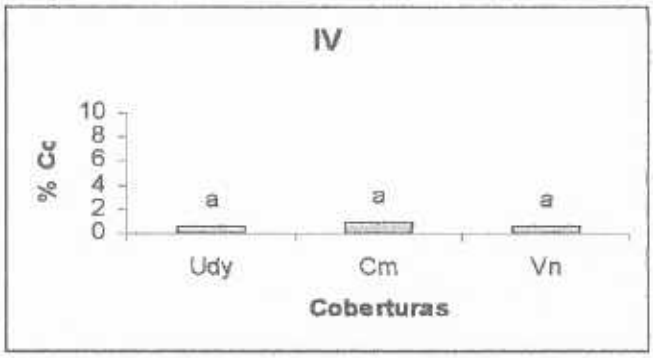


Figura 53: **Efecto de las coberturas en la fracción IV de tamaño de agregados en relación, al % de carbono presente**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

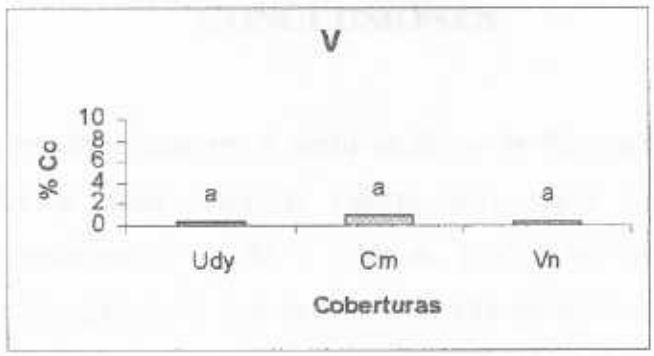


Figura 54: **Efecto de las coberturas en la fracción V de tamaño de agregados en relación, al % de carbono presente**. Letras distintas entre barras indican diferencias significativas $p<0.05$

CONCLUSIONES

Se obtuvo como resultado que en el suelo arcilloso de San pablo el porcentaje de agregados estables al agua mantuvo valores muy bajos en las fracciones de microagregados especialmente las de < 0.15mm, y altos en las fracciones mayores (>0.850mm) macroagregados, lo que demostró la alta estabilidad de estos suelos que ante la aplicación de fuerzas externas dispersivas como el agua, no hay desintegración en agregados de menor tamaño como los microagregados.

El hecho que sean suelos arcillosos promovió una fuerza de cohesión que le dio mayor estabilidad al suelo y las coberturas no tuvieron la principal responsabilidad en la estabilidad de sus agregados.

El carbono generado por los residuos orgánicos que entran al suelo por el uso de coberturas ejerció su mayor efecto en los macroagregados de estos suelos.

El efecto de las coberturas sobre la estabilización de los agregados en el suelo arenoso la Iguana fue más notorio en el sentido que se promovió más macroagregados estables en la fracción de agregados de tamaño I, se atribuye que esta macroagregación sea temporal por la calidad de los residuos y las altísimas deficiencias de C en estos suelos a nivel general. La ***Cm*** favoreció que los microagregados tuvieran mayor contenido de C por lo cual corrobora el carácter de mayor recalcitrancia de sus residuos.

Tanto para el suelo de San Pablo como el de la Iguana, el tratamiento con ***Udy***, parece favorecer la inducción de cambios positivos en la macroagregación, especialmente en el suelo arenoso, lo cual le confiere un mejoramiento de la calidad para el uso agrícola especialmente del maíz, cereal de gran importancia en la región del Estado Guárico.

BIBLIOGRAFÍA

Anger, D. 1992. Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. Can. J.Soil Sci. 73: 39-50.

Angers, D. 1993. Tillage- Induced differences in organic matter of particle-size fractions and microbial biomass. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 115-119.

Biederbek, V. 1997. Soil microbial and biochemical properties after ten years of fertilization with urea and anhydrous ammonia. Can. J. Soil Sci. 76:7-14.

Bravo, C. y Albarracin, M. 1995. Prácticas de manejo a ser incorporadas al sistema de labranza mínima en cultivos de maíz y soya en el Estado Guárico. Informe final. Convenio REUNERG, C. A. Fundación Polar. Venezuela. 305 pp.

Bravo, C., Hernández, R.M. y Lozano, Z. 1999. Alternativas para mejoramiento de la producción del sistema maíz-ganado en suelos del estado Guárico. Primer informe de avance del proyecto S1-97001360. 152 pp.

Chacón, P. 1991. Estudio de la producción primaria de una gramínea tropical bajo diferentes frecuencias de corte y su interpretación en base a la dinámica de las superficies asimilatorias. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida.

Delgado, E. F. 2001. Agricultura sostenible y mejoramiento de suelos de ladera. CIDIAT. Mérida. 200 pp.

Drury, C. F. 1993. Microbial biomass and soil structure associated with corn, grasses and legumes. Soil Sci. Soc. Am. J. 55: 805-811.

Dunn, D. and Phillips, D. A. 1991. Rhizosphere flavonoids released by alfalfa. In: Keister, D. L. and Cregan, P.B (eds). Rhizosphere and Plants Growtth: Symposium Proceedings. Kluwer Academia Publishers, Dordrecht, pp. 149-154.

Dutartre, P. H. 1993. Influence of content and nature of organic matter on the structure of some sandy soil from West Africa. Geoderma. 56:460-478.

Duxbury, J. M. 1989. Soil organic matter as a source and a sink of plants nutrients. In: Coleman, D. , J. M. Oades, G. Uehara, eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystem. Niftal Proyect. Departament of Agronomy and Soil Science. Collage of Tropical Agricultura and Human Resources. University of Hawai. pp 97-122.

Eckert, J. and Martín, J. K. 1994. A model system for studying the biochemistry and biology of root-surface. Soil Biol. Biochem. 17:57-63.

Elliot, L. 1986. The microbial component of soil quiality.. In: Soil Biochemistry. Vol. 9. G. Stotzky (Ed.). Marcel Dekker, New York. pp. 1-21

Greulach, H. and Adams, L. 1976. The efects of agronomy on the carbon and nitrogen contained in the soil biomass. J. Agric. Sci. Cambridge. 97: 319-327.

Hernández, R. M. (1998). Transformaciones del nitrógeno y carbono, y su distribución en agregados de un suelo tropical bajo dos tipos de labranza. Tesis Doctoral. Facultad de ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas. Venezuela. 299 pp.

Hernández, R. M., Lozano, Z y Bravo, C. 1998. Mineralización del N y C microbiano y su inmovilización en la biomasa microbiana en agregados de un suelo tropical bajo dos tipos de labranza. Memorias XVI Congreso Mundial de la Ciencia del suelo. Francia. CD ROM.

Hernández, R. M., Florentino, A. y López-Hernández, I. D. 2000. Efecto de la siembra directa y la labranza convencional sobre la estabilidad estructural y otras propiedades físicas de ultisol en el Estado Guárico-Venezuela. Agronomía Tropical 50: 9-29.

Hernández, R.M. y López-Hernández, D. 2002. El tipo de labranza como agente modificador de la materia orgánica: Un modelo para suelos de sabana de los llanos centrales. Interciencia. 27: 529-535.

Hernández, R. M. y López-Hernández, D. 2002. Microbial biomasa, mineral nitrogen and carbon content in savanna soil aggregates under convencional and no tillage. Soil Biol biochem. 34: 1563-1570.

Hulugalle, N. R. 1994. Amelioration of a highly degraded tropical Alfisol by planting. I.Changes in soil Physical and chemical properties 1989-1991. Land Degrad. Rehabil. 3: pp 141-152.

Juma, N. J. 1993. Interrelaciones entre la estructura de los suelos / textura, la biota de los suelos / la materia orgánica de los suelos y la producción de agregados, Geoderma 57: 3-30.

Kemper, W. D. and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. Methods of Soil Análisis, part I. Physical and Mineralogical methods-Agronomy Monograph nº 9 (2nd edition). pp 427-442.

Lal, R. 1994. Soil Management for sustainability. Soil and Conservation Society. IOWA. USA. 189 pp.

Lal, R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture efects on tropical Alfisol in Western Nigeria. I: Crop yield and soil physical properties. Soil and Tillage. Research 42: 145-160.

Márvez, P. y Falcón, R. 1991. Resultados preliminares de la caracterización del recurso suelo y del impacto imprevisible de la erosión en áreas maiceras, sector Tucupido, Estado Guárico. XI Congreso Venezolano de la Ciencia del suelo. Coro. Venezuela. 11 pp.

Matheus, R. 1986. Los suelos de la Estación Experimental de la Iguana. Tesis de Maestría en Ciencia del suelo. Facultad de agronomía, UCV (Maracay). 199 pp.

Morgan, W. 1997. Effects of management history and legume green on soil microorganism under "organic" vegetable production. Aust, J. Soil Res. 34: 427-440.

Oades, J. M. 1982. Soil organics matter and structural stability: mechanisms and implications for management. Plants and soil 76: 319-337.

Oades, J. M. 1989. Influence of management on the composition of organic matter in a red-brow earth as show by 13C Nuclear Magnetic Resonante. Aust. J. Soil. Res. 26: 289-299.

Oades, J. M. 1993. El rol de la biología en la formación, estabilización y degradación de la estructura de los suelos, Geoderma 56: 377-400.

Padrino, M. 2004. Dinámica de la descomposición de coberturas en un sistema conservacionista maíz-ganado del estado Guarico. Maestria en ciencia del suelo. Universidad Central de Venezuela. Facultad de agronomía. 93 pp.

Páez, L. y Rodríguez, B. 1989. Caracterización de la materia orgánica de suelos del Alto y del Bajo Llano. Trabajo de grado para obtener el título de Magister Scientarum en Biologia, Mención Ecologia. IVIC-CEA, Caracas. 141 pp.

Pérez-Greiner, G. 1995. Prácticas de manejo a ser incorporadas al sistema de labranza mínima en cultivos de maíz y soya en el Estado Guárico. Informe final. Convenio REUNERG, C.A. Fundación Polar. Venezuela. 305 pp.

Pla, I. 1995. Evaluación y diagnóstico de propiedades fisicas del suelo en relación a la labranza. In: Memorias de la II Reunión Bienal de la red Latinoamericana de labranza Conservacionista. Guanare-Acarigua. pp 42-50.

Ramia, M. 1967. Tipos de sabana en los llanos de Venezuela. Bol. Sociedad Venezolana de Ciencias. Nat. 27:264-288.

Ruiz, O. 2002. Efecto de la incorporación de residuos orgánicos en combinación con fertilizantes químicos sobre el C y N de la biomasa microbiana en dos suelos Venezolanos. Tesis de grado. Maracay Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 109 pp.

Sánchez, P. 1981. Organic input management in tropical agroecosystems. En: Coleman, D., J. M. Oades, G. Uehara, (eds). Dynamics of soil organics matter in tropical ecosystem. Niftal Proyect. Departament of agronomy and Soil Science. Collage of tropical Agricultura and Human Resources. University of Hawai. pp 5-32.

Schultzet-Kraft, K. 1997. Characterization of cultivation effects on soil organic matter. pp 97-105.

Smith, D. 2000. Soil organics matter dynamics and crop residue management. In: Soil Microbial Ecology. F. Blaine Meeting, Jr. (Ed). Marcel Dekker, New Cork. pp 65-94

Suárez, L. 1999. Caracterización en la composición taxonómica y dieta de la herpetofauna colectada en trampas de caída ubicadas en algunas sabanas de Trachypogon sp y bosques de Pinus caribaea en Uverito, Edo Monagas. Trabajo especial de Grado.Universidad Central de Venezuela. 80 pp.

Tiessen, H. and Stewart, J.W.B. 1983. Particle-size fractions and their use in studies of soil organics matter: II Cultivation effects on organics matter composition in size fractions. Soil Sci. Soc. Am. J. 47: 509-514

Tisdal, J and Oades, M. 1982. Early cropping-induced changes in soil aggregation, orgánics matter, and microbial biomass. Soil Biol Brochem 21: 471-479.

Tisdal, J. and Oades, M. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. Journals of Soil Science. 33: 141-163.

Unger, P.W. 1988. Sistemas de labranza para la conservación del suelo y del agua. Boletín de la FAO N°54. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. ISBN 92-5-302154-3. pp 19-25

Unger, P.W. 1991. Tillage implements disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation: a literature review. Soil Tillage Res. 19: 363-382.

Van Venn y Paul, 1981. Organics C dynamics in grassland soils. Background information and computer simulation. Can. J. Soil Sci. 61:185-201.

Vera, R. M. 1996. Actividades de investigación del CIAT del Programa Tierras Bajas Tropicales en las sabanas neotropicales. En sarmiento, G. y Cabido, M. (Eds): Biodiversidad y Funcionamiento de pastizales y Sabanas en América Latina, Ediciones CYTED y CIELAT. Venezuela. pp 261-268

Waters, A. G. and Oades, W. 1991. Materia orgánica en la estabilidad de los agregados al agua. En: W. S Wilson (ed), 1991, Avances en la búsqueda de la materia orgánica en los suelos. Impacto sobre la agricultura y el desarrollo, Royal Soc. Chem, London. pp 163-174

Woods, L. E. 1991. Cultivation and slope position effect on soil organics matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 52: 1371-1376.

Zoughon, H. 2002. Dynamics of soil microbial biomasa C, soluble organics C and Co2 evolution alter three years of manure application. Can. J. Soil Sci. 78: 283-290.

ANEXOS

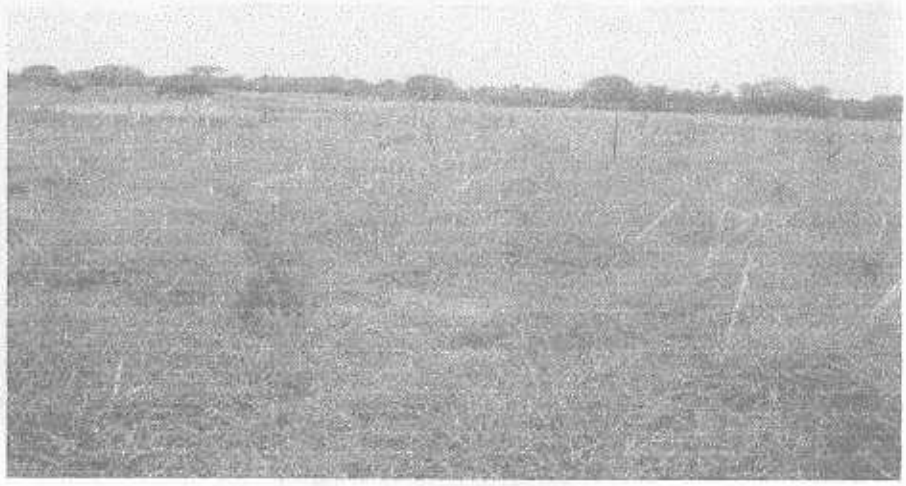
a) Coberturas en la Finca San Pablo

Urochloa dyctioneura

Centrocema marcrocarpum

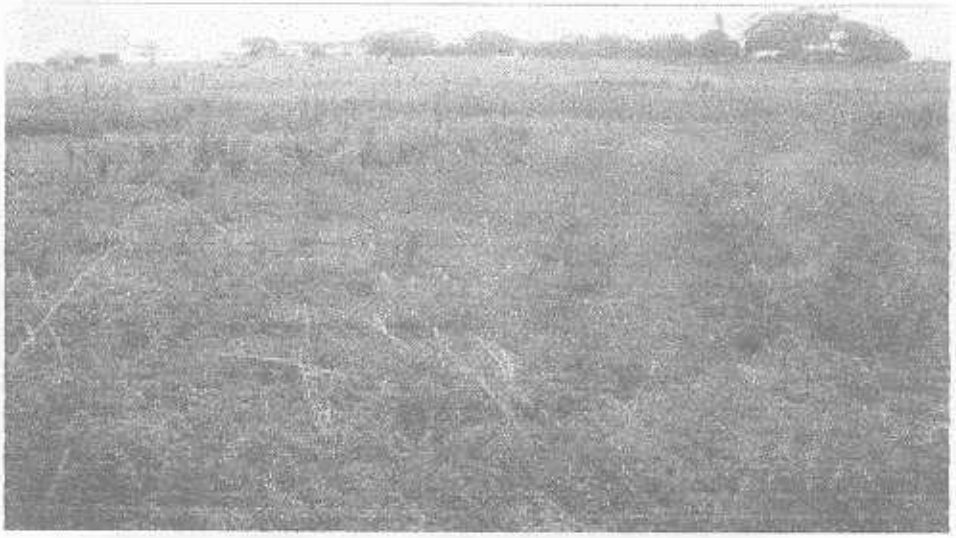
Vegetación natural

b) Coberturas en la estación Experimental de la Iguana



Urochloa dyctioneura

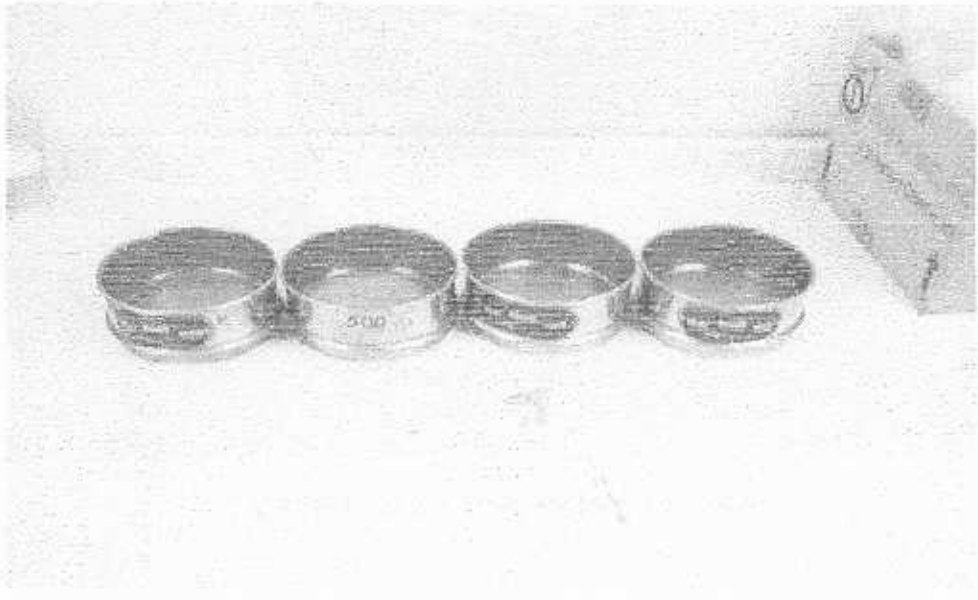
Centrocema marcrocarpum



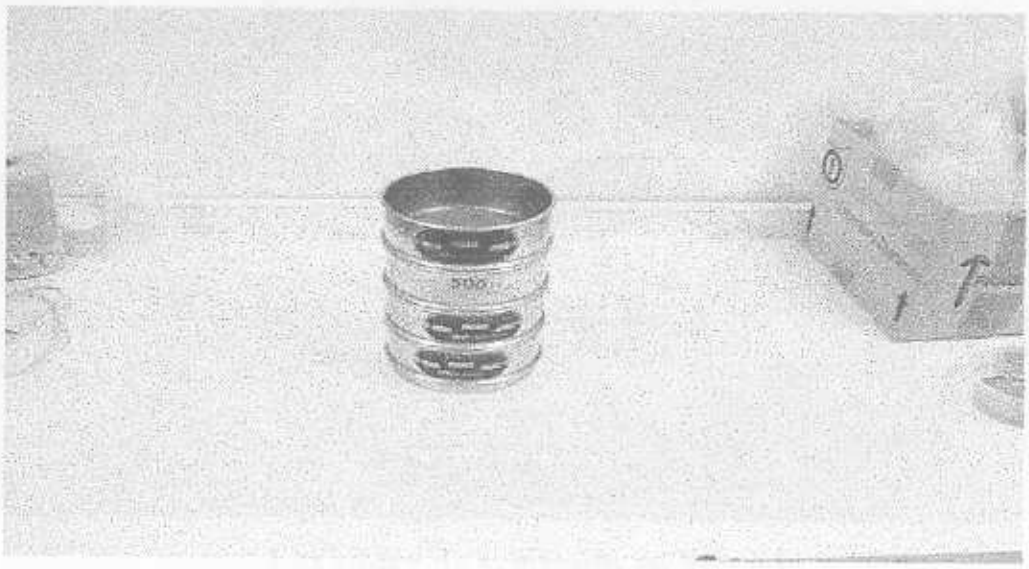
Vegetación natural

Materiales utilizados en la determinación de la estabilidad de los agregados al agua

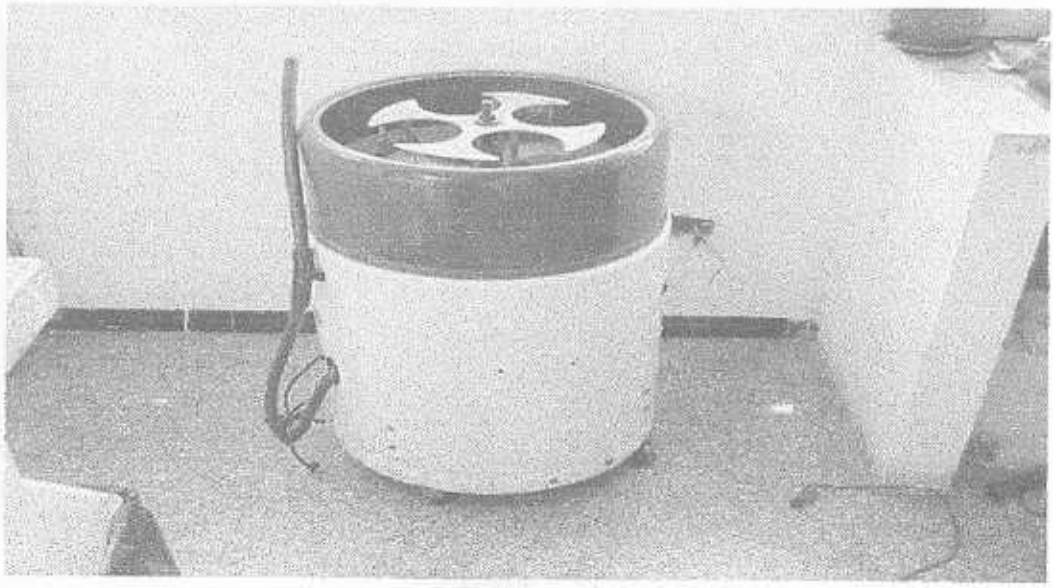
Calgón al 10 %



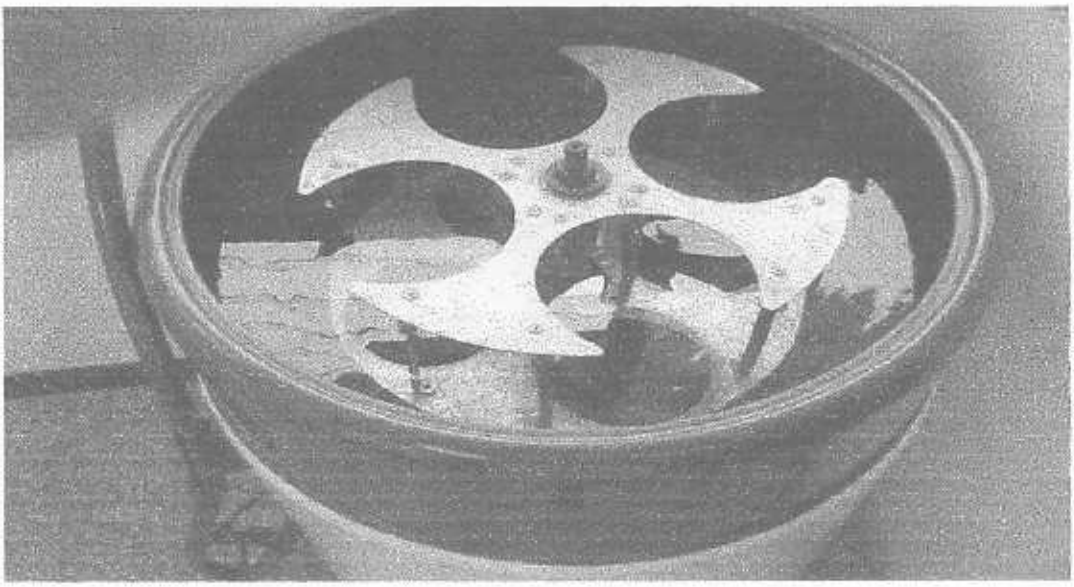
Tamices de (850, 500, 250 y 150 µm)



Juego de tamices

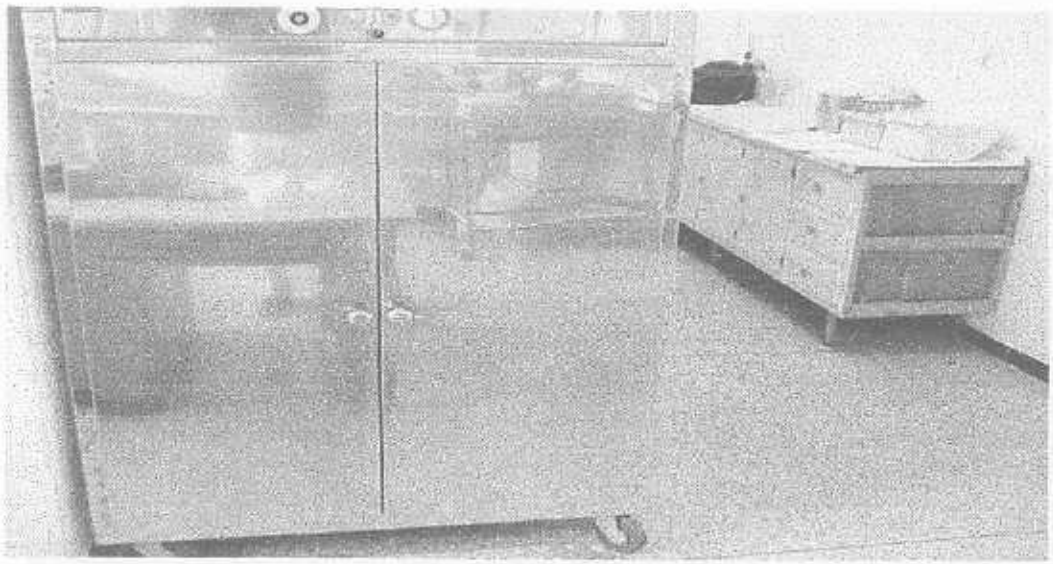


Lavadora de tamizado en húmedo

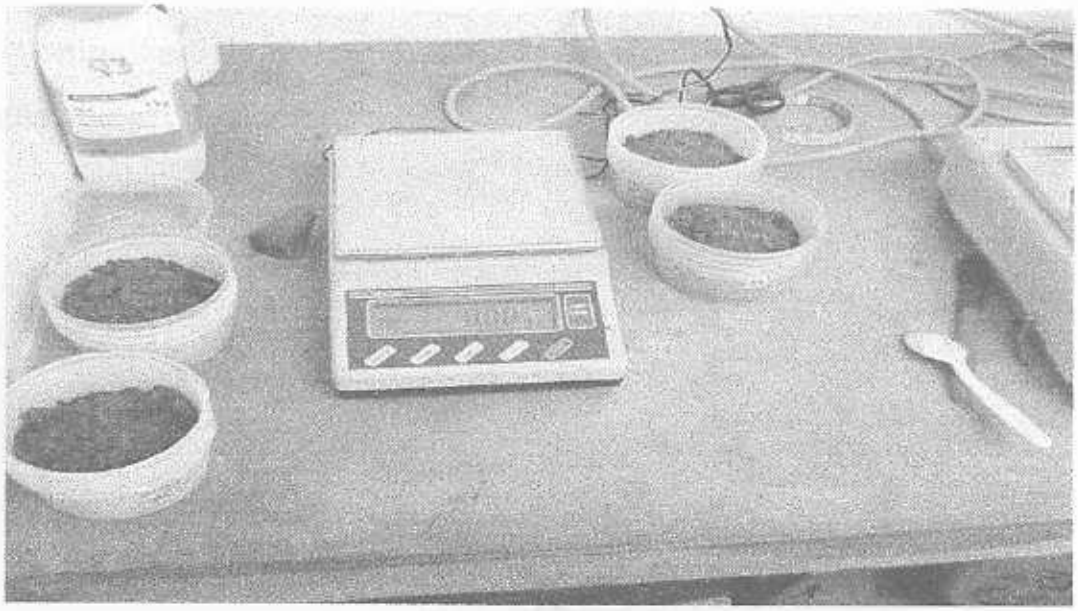


Lavadora de tamizado en húmedo

Estufa



Estufa

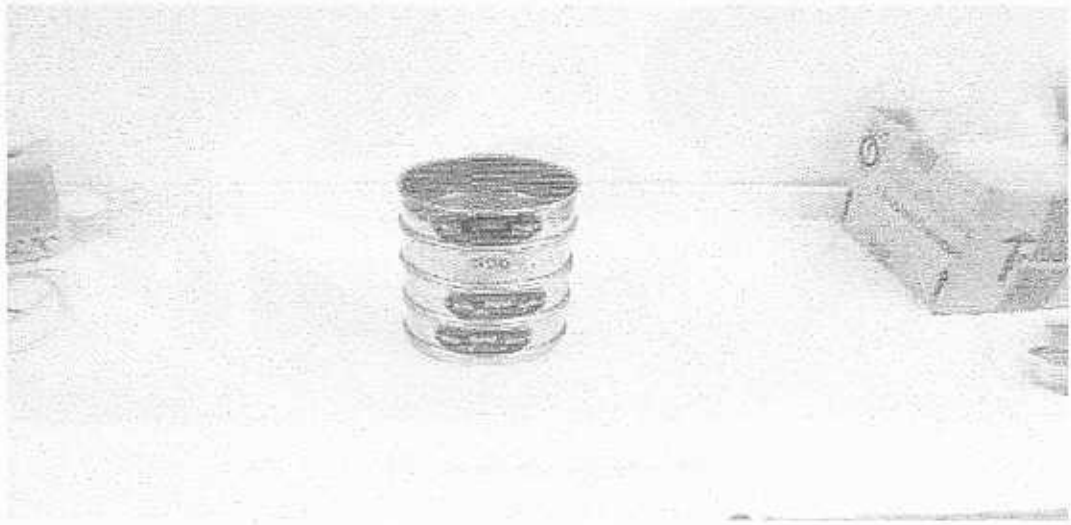


Balanza digital

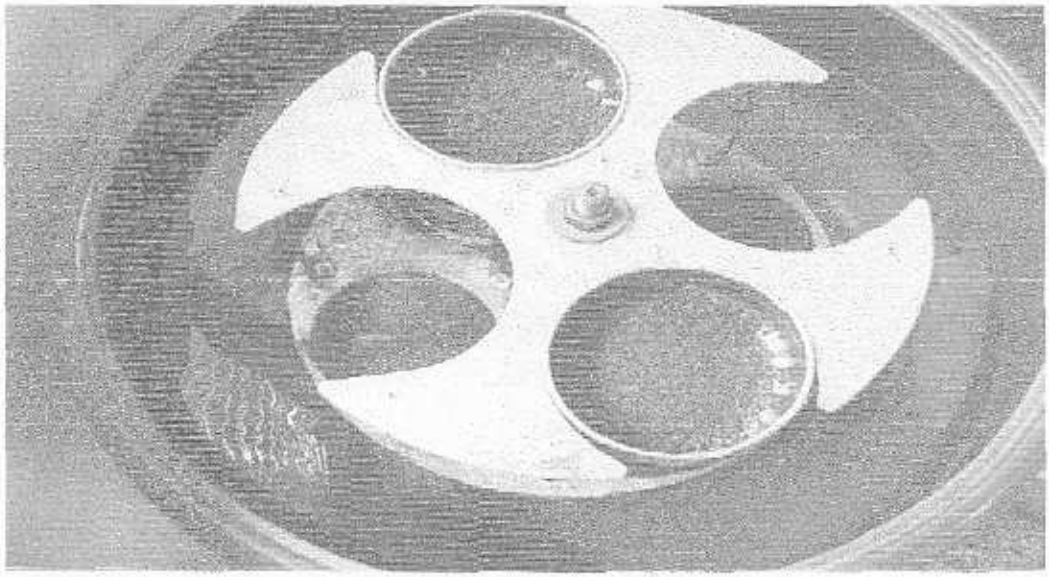
Agitador para el análisis mecánico

Procedimiento de determinación de la estabilidad de los agregados al agua:

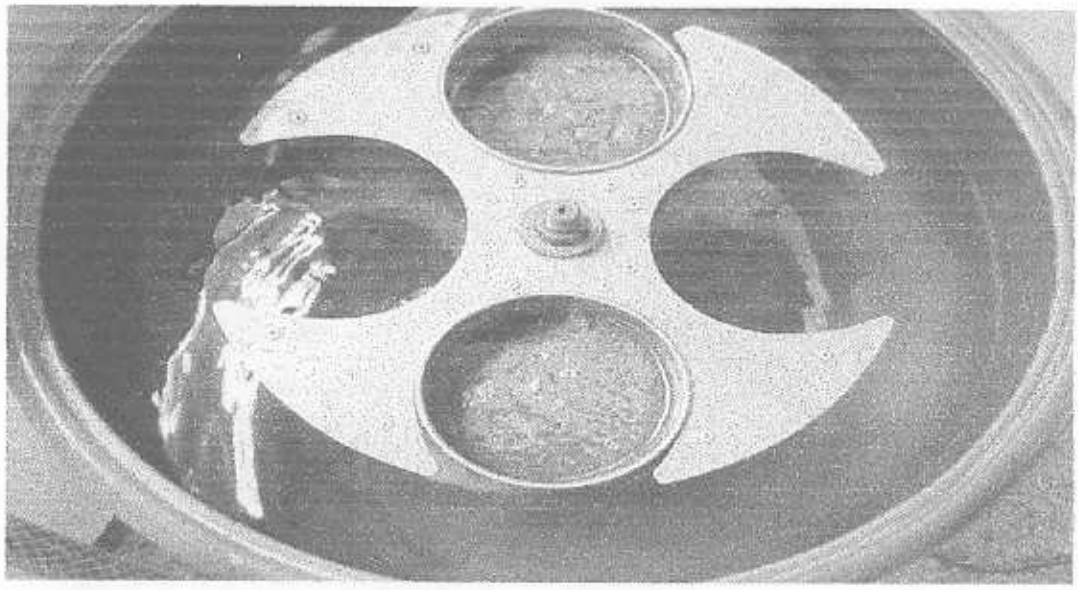
Tamiz de (4mm) y de (2mm) superpuestos con fondo recolector



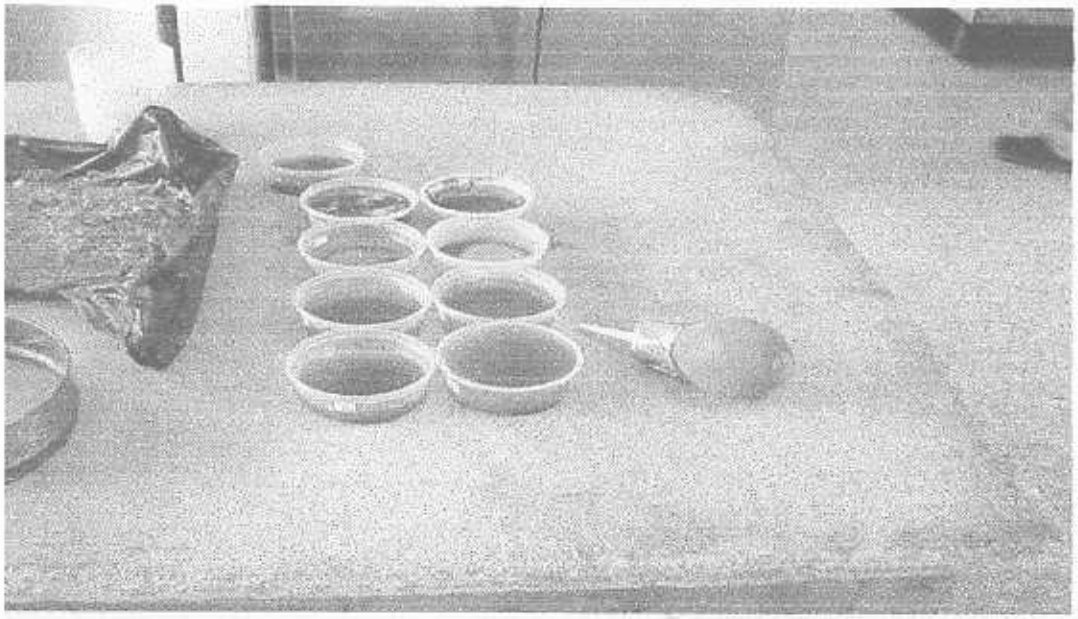
Tamices superpuestos de (850, 500, 250 y 150μm)



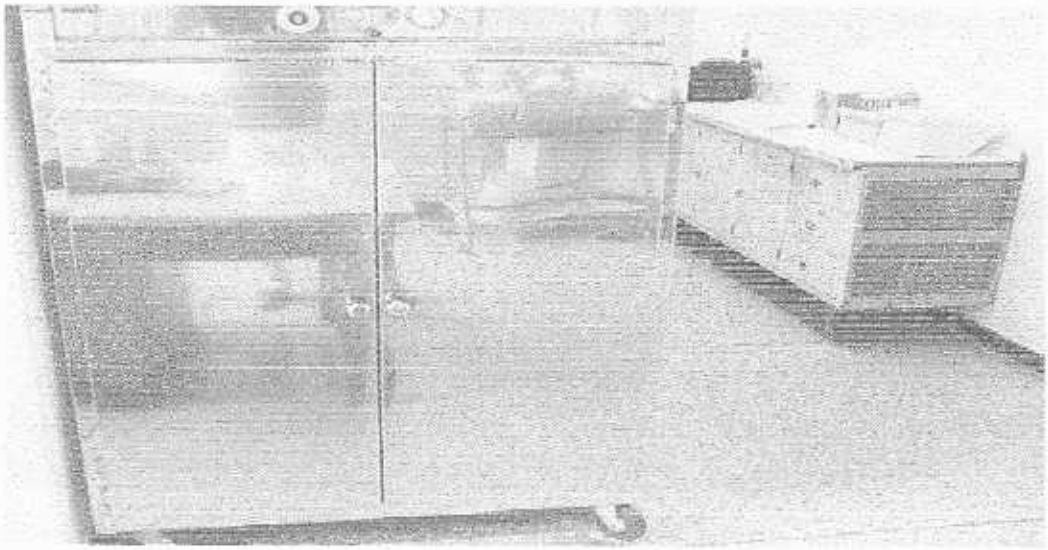
Tamices en el soporte de la lavadora de tamizado en húmedo



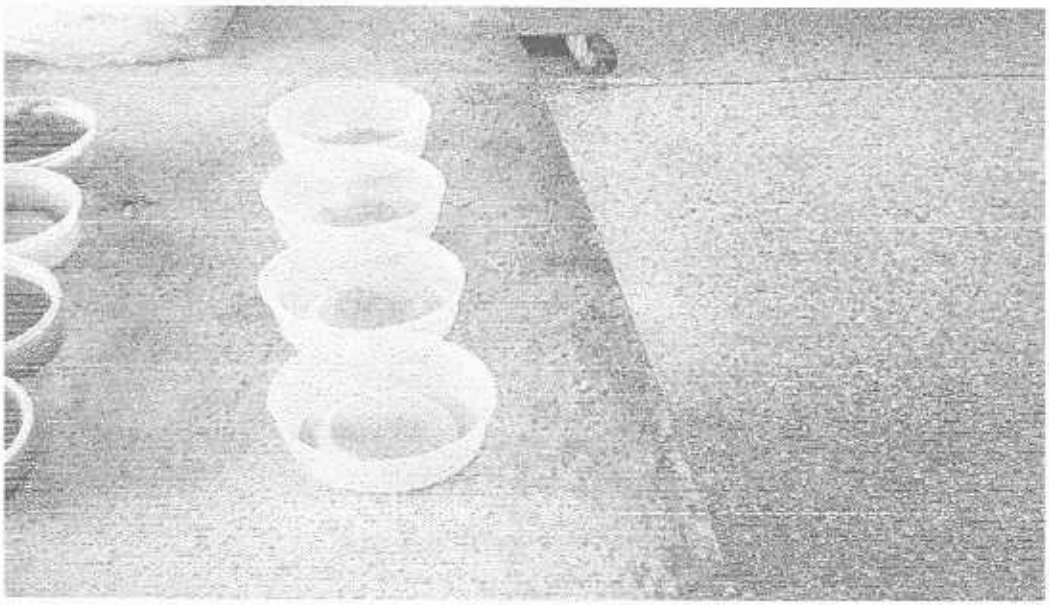
Proceso de agitación

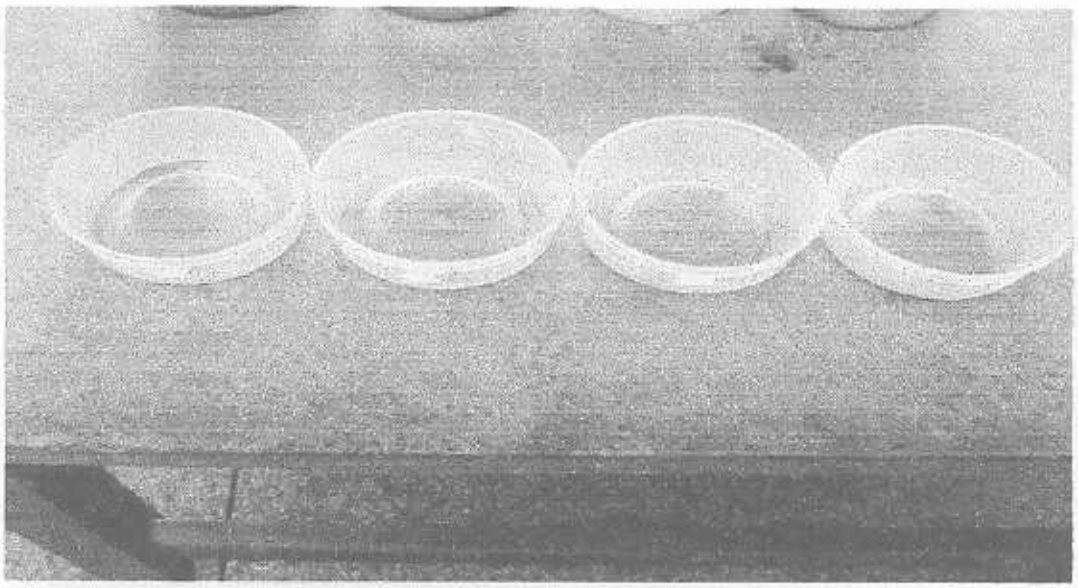


Recolección de las muestras en húmedo

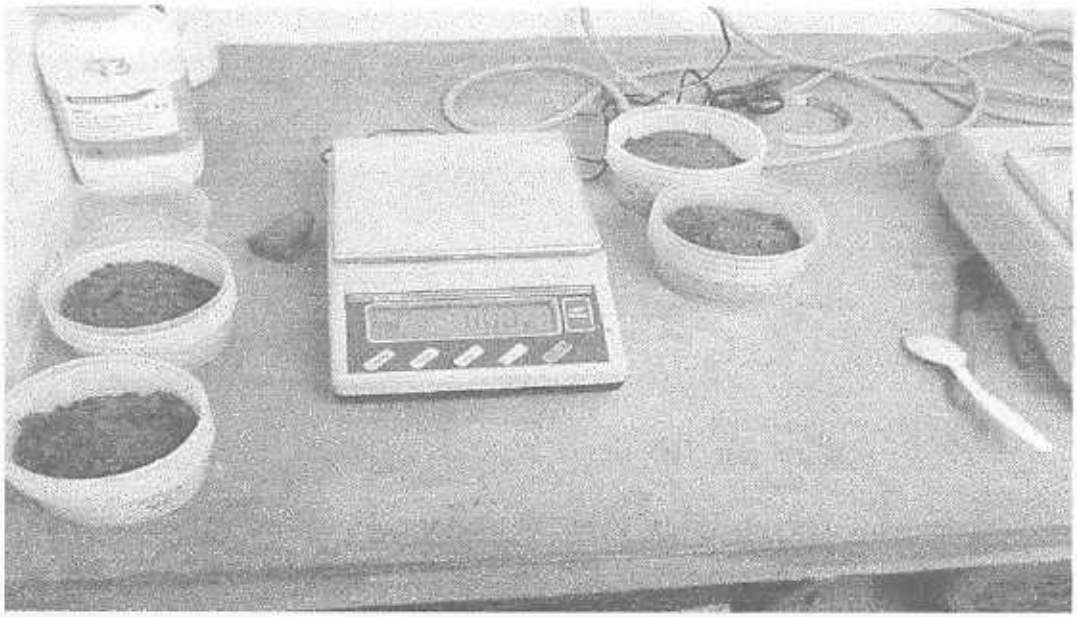


Muestras dentro de la estufa (60°C)





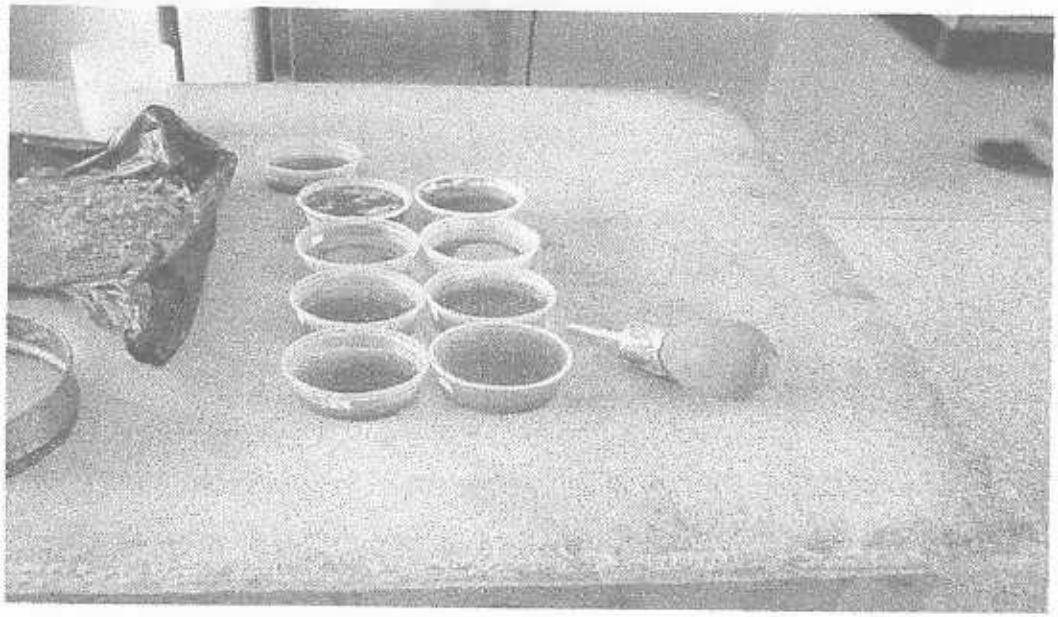
Muestras secas sacadas del horno



Pesado de muestras secas

Muestras en el agitador de análisis mecánico (10 minutos)

Procedimiento de la determinación colorimétrica del carbono



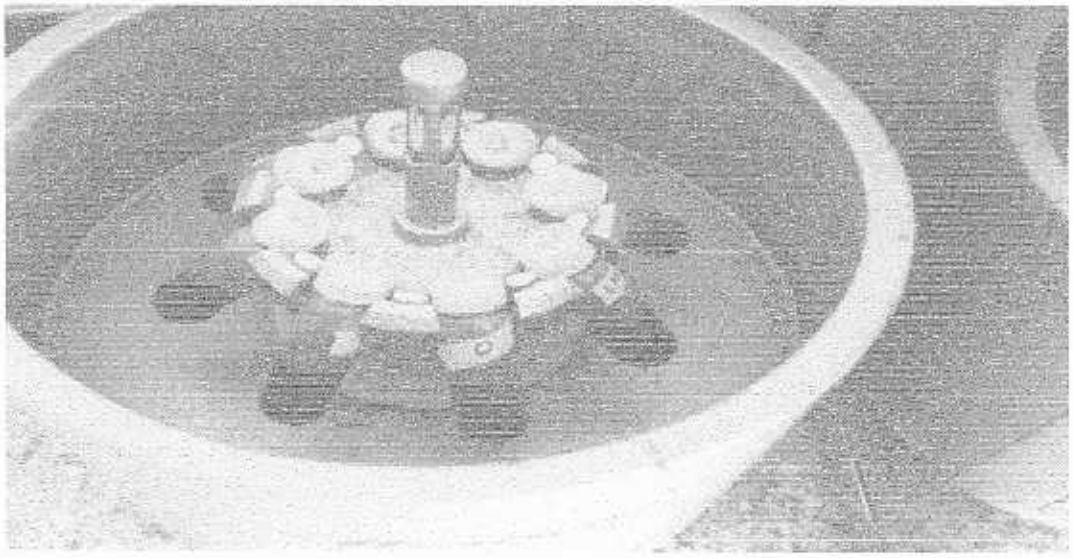
Muestras húmedas salidas de la lavadora (duplicado)

Diferentes tubos con muestras de suelo, patrones y blanco

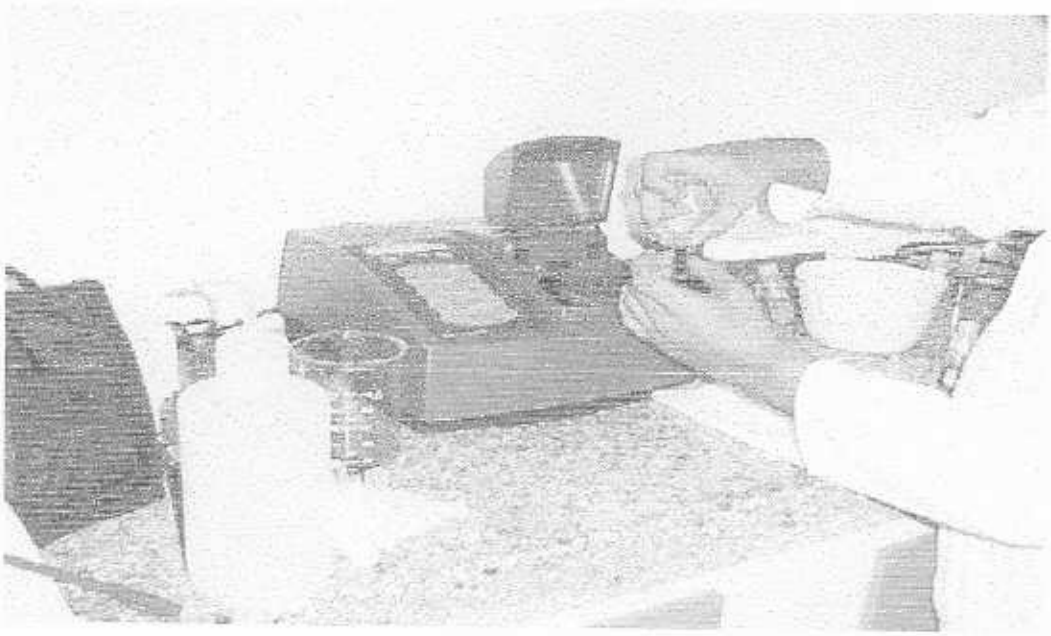
Diferentes patrones, el blanco y la muestra de suelo (*Ud, Cm y Vn*)

(2ml añadidos de K2Cr207 al 8% y 3 ml de acido sulfúrico)

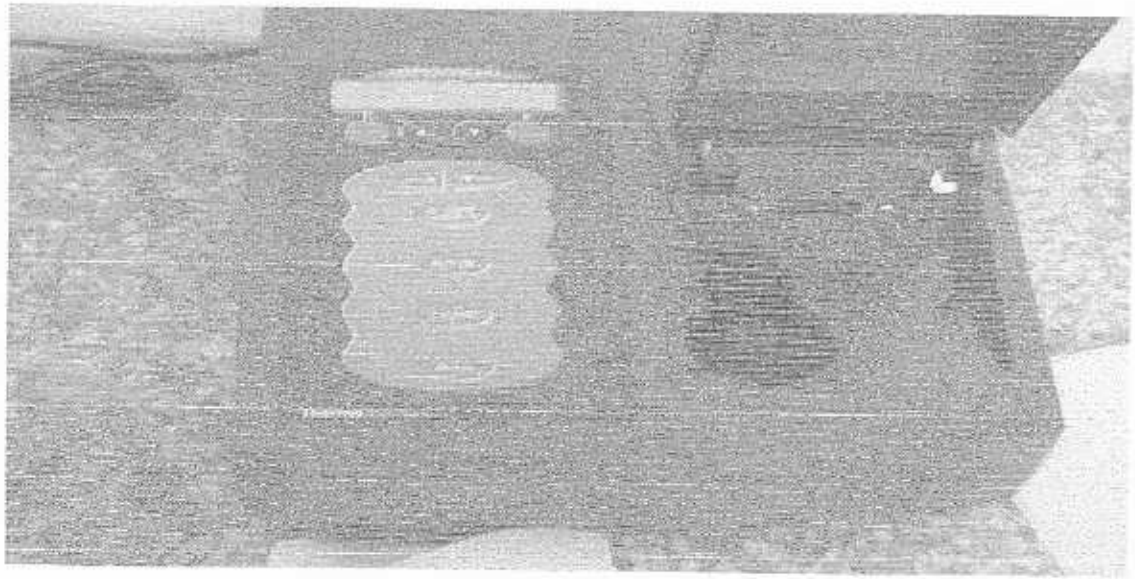
Centrifugación de los tubos con los patrones, el blanco y las muestras del suelo (*Ud, Cm y Vn*) a (2500 rpm) por 10 minutos



Tubos con los patrones, el blanco y las muestras de suelo



Medición de absorbancia de los patrones, el blanco y las muestras del suelo (fotocolorímetro)



Pantalla digital que especifica el valor de absorbancia de las muestras