



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
EDAFOLOGÍA

**LA AGREGACIÓN DEL SUELO COMO
INDICADOR DE CALIDAD EN UN
ECOSISTEMA TROPICAL SECO**

SERGIO MARTÍNEZ TRINIDAD

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada **La agregación del suelo como indicador de calidad en un ecosistema tropical seco**, realizada por el alumno **Sergio Martínez Trinidad** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

Dr. Jorge D. Etchevers Barra

DIRECTORA DE TESIS:

Dra. Helena Cotler Ávalos

ASESOR:

Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro

ASESOR:

Dr. Fernando de León González

A G R A D E C I M I E N T O S

A Dios por darme su bendición siempre y dejar que logre mis ideales.

Al Colegio de Postgraduados y a los catedráticos que ahí laboran por mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, organismo promotor de la investigación en México, por el apoyo económico.

Al Proyecto Cuencas, especialmente al Dr. Manuel Maass por el apoyo económico para la realización de esta investigación.

A la Dra. Helena Cotler Ávalos por haber dirigido este trabajo, por sus consejos, paciencia, aprecio y el gran apoyo que me ha brindado siempre.

Al Dr. Jorge D. Etchevers Barra por sus consejos, orientación y acertadas sugerencias en la realización de ésta investigación.

Al Dr. Víctor M. Ordaz Chaparro y al Dr. Fernando de León González por sus oportunos comentarios y acertadas sugerencias que contribuyeron a la mejora de la presente tesis.

A la Dra. Claudia Hidalgo por su apoyo en el análisis mineralógico de arcillas.

A la Estación de Biología Chamela del Instituto de Biología – UNAM por las facilidades otorgadas durante la etapa de campo. Particularmente agradezco a Salvador Araiza y a Abel Verduzco.

Al personal del laboratorio de Fertilidad de Suelos y Física de Suelos – Edafología.

A todos mis Amigos y Compañeros por brindarme una amistad sincera.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a mi familia: a mi padre Gervasio Martínez Rosales y a mi madre María Gloria Trinidad Machuca, personas maravillosas porque gracias a su amor, apoyo y confianza constante, me han estimulado para concluir una etapa más en mi vida.

Con cariño a mis hermanos y cuñadas: Francisco y Norma, José y Griselda, Tomás y Lizbeth, por la confianza y el apoyo incondicional que siempre me han demostrado.

Para mis pequeños sobrinos: Angélica, José Isaac y Paco, por su alegría que es un aliento para poder seguirme superando.

Con amor y respeto para ti Alejandra, que siempre sabes estar en el momento y forma necesarios, por tu apoyo y comprensión.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	v
SUMMARY	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
Ecosistema Tropical Seco (ETS)	4
El Recurso Suelo	5
Calidad del Suelo	7
Indicadores de Calidad del Suelo	9
Agregación del Suelo	12
Factores de Formación de los Agregados	13
Materia Orgánica	14
Textura	14
Minerales Arcillosos	14
Cementantes Inorgánicos	15
Iones Intercambiables	15
Hongos	15
Raíces	16
La Agregación del Suelo como Indicador de Calidad del Suelo	16
Índices de Agregación	17
Estado Estructural del Suelo (EES)	17
Diámetro Medio Ponderado (DMP)	18
Índice de Estabilidad de Agregados (ASI)	18
Valores Extremos del Índice ASI (ASImax y ASImin)	19
Índices Auxiliares (δ ASI y qASI)	20
Porosidad	21
Evaluación de la Porosidad	22
Porosidad Interna de Agregados	22
Variabilidad Temporal y Espacial de la Agregación	23
Variabilidad Temporal	23
Variabilidad Espacial	24
Esfoque Morfo-Edafológico	25
Conclusiones de la Revisión de Literatura	26

	Pág.
III. OBJETIVOS	27
IV. HIPÓTESIS	28
V. MATERIALES Y MÉTODOS	29
Caracterización del Área de Estudio	29
Localización Geográfica	29
Relieve	29
Geología	30
Clima	31
Hidrología	31
Suelos	32
Vegetación	32
Uso del Suelo	33
Cartografía Morfo-Edafológica	34
Muestreo de Suelos	36
Agregación del Suelo	37
Distribución de Agregados en Seco	37
Estabilidad de Agregados en Húmedo	38
Macro y Micro Agregados	38
Porosidad Interna de Macro-Agregados	39
Propiedades Edáficas	39
Propiedades Físicas	39
Contenido de Humedad	39
Densidad Aparente	40
Densidad Real	40
Porosidad Total	40
Análisis Mecánico	41
Propiedades Químicas	42
Reacción del Suelo (pH)	42
Carbono Orgánico por Combustión Seca	42
Bases Intercambiables	42
Propiedades Biológicas	43
Biomasa de Raíces	43
Mineralogía Arcillosa	43
Evaluación del Efecto de la Posición	44
Evaluación de la Época de Muestreo	44

	Pág.
Indicadores de Agregación	44
Estado Estructural del Suelo (EES)	44
Diámetro Medio Ponderado (DMP)	45
Índice de Estabilidad de Agregados (ASI)	45
Valores Extremos del Índice ASI (ASI _{max} y ASI _{min})	47
Índices Auxiliares (δ ASI y qASI)	48
Análisis Estadístico	48
VI. RESULTADOS	49
Mapa Morfo-Edafológico	49
Propiedades Edáficas	54
Análisis Factorial	54
Efecto de Uso del Suelo	55
Efecto de la Posición	56
Efecto de la Época de muestreo	57
Porosidad Interna de Macroagregados	59
Mineralogía Arcillosa	60
Agregación del Suelo	62
Distribución de Agregados en Seco	62
Análisis Factorial	62
Efecto de Uso del Suelo	63
Efecto de la Posición	64
Efecto de la Época de muestreo	66
Estabilidad de Agregados en Húmedo	68
Análisis Factorial	68
Efecto de Uso del Suelo	69
Efecto de la Posición	71
Efecto de la Época de muestreo	72
Relación de las Propiedades Edáficas con la Distribución de Agregados en Seco	76
Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados en los Usos de Suelo .	76
Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados por Posición de Muestreo (Alta y Baja) para una misma Época de Muestreo	77
Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados para una misma Época de Muestreo en los Usos de Suelo	79

	Pág.
Relación de las Propiedades Edáficas con la Estabilidad de Agregados en Húmedo	80
Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados en los Usos de Suelo .	80
Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados por Posición de Muestreo (Alta y Baja) para una misma Época de Muestreo	81
Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados para una misma Época de Muestreo en los Usos de Suelo	83
Indicadores de Agregación	85
Análisis Factorial	85
Efecto de Uso del Suelo	86
Efecto de la Posición	87
Efecto de la Época de muestreo	88
VII. DISCUSIONES	89
VIII. CONCLUSIONES	96
IX. REFERENCIAS	98
ANEXO A. Descripción de Horizontes Superficiales	109
ANEXO B. Análisis de Suelos	112
ANEXO C. Correlaciones	122

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Niveles y unidades elementales de organización del sistema suelo (Oleschko, 1994)	6
Cuadro 2. Ordenamiento Jerárquico de la evaluación de la calidad del suelo (Karlen <i>et al.</i> , 1997)	9
Cuadro 3. Clasificación de suelos conforme a su estado estructural del suelo (Kaúrichev, 1984)	17
Cuadro 4. Clasificación de estabilidad de agregados con base al diámetro medio ponderado (DMP) por Le Bissonnais (1996)	18
Cuadro 5. Clasificaciones del tamaño de poros	21
Cuadro 6. Distribución del relieve en la cuenca de Cuixmala	30
Cuadro 7. Distribución de la geología en la cuenca de Cuixmala (INEGI, 1975)	30
Cuadro 8. Distribución del clima en la cuenca de Cuixmala (García, E. y CONABIO, 1998)	31
Cuadro 9. Distribución de los suelos en la cuenca de Cuixmala (INEGI, 1975)	32
Cuadro 10. Distribución del uso de suelo en la cuenca de Cuixmala	34
Cuadro 11. Características generales de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	36
Cuadro 12. Tabla de transición para la obtención del indicador ASI (Niewczas y Witkowska, 2003a)	46
Cuadro 13. Distribución de las unidades morfo-edafológicas de la cuenca de Cuixmala	49
Cuadro 14. Leyenda del mapa morfo-edafológico de la cuenca de Cuixmala	52
Cuadro 15. Análisis de varianza factorial de las propiedades edafológicas en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	54
Cuadro 16. Medias de las propiedades edáficas de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	55

	Pág.
Cuadro 17. Medias de las propiedades edáficas de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de posición e interacciones de posición*uso del suelo	56
Cuadro 18. Medias de las propiedades edáficas de las muestras colectadas en época de secas y de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo e interacciones de época*uso del suelo	58
Cuadro 19. Medias de la porosidad interna de macroagregados correspondientes a los efectos principales de uso del suelo y de posición, e interacción uso del suelo*posición* época de muestreo, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	59
Cuadro 20. Análisis factorial de la distribución de agregados en seco en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	62
Cuadro 21. Análisis factorial de la estabilidad de agregados en húmedo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	68
Cuadro 22. Análisis de varianza factorial de los indicadores de agregación en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	85
Cuadro 23. Medias de los indicadores de agregación de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	86
Cuadro 24. Medias de los indicadores de agregación de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de posición e interacciones de posición*uso del suelo	87
Cuadro 25. Medias de los indicadores de agregación de las muestras colectadas en época de secas y de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo	88

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación entre indicadores, funciones y calidad del suelo (Seybold <i>et al.</i> , 1997)	8
Figura 2. Factores que están afectando a la agregación del suelo (Bronick y Lal, 2005)	13
Figura 3. Ubicación de la cuenca de Cuixmala	29
Figura 4. Sistemas que componen el mapa morfo-edafológico	35
Figura 5. Mapa morfo-edafológico de la cuenca de Cuixmala, Jalisco	51
Figura 6. Porosidades internas de macroagregados de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	60
Figura 7. Difractogramas de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	61
Figura 8. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizada en muestras de suelo seco al aire de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	63
Figura 9. Medias de macro (>1mm) y micro (<1mm) agregados de la distribución de agregados, realizada en muestras de suelo seco al aire de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	64
Figura 10. Medias de macro (>1mm) y micro (<1mm) agregados de la distribución de agregados, realizada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en la posición alta y baja de la ladera en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de posición	65
Figura 11. Medias de la distribución de agregados en seco por tamaño de las posiciones alta y baja de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	65
Figura 12. Medias de macro (>1mm) y micro (<1mm) agregados de la distribución de agregados, realizada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de secas y de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo	66
Figura 13. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de secas de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	67

	Pág.
Figura 14. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de lluvias de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	67
Figura 15. Medias de la estabilidad de agregados, realizada en muestras de suelo con diferente uso en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	69
Figura 16. Medias de macro (>1mm) y micro (<1mm) agregados resultantes de la prueba de estabilidad de agregados practicada en muestras de suelo, colectados en sitios con diferente usos en la cuenca de Cuixmala, Jalisco	70
Figura 17. Medias de la estabilidad de agregados de muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en tres usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco	71
Figura 18. Medias de la estabilidad de agregados, realizada en muestras de suelo colectadas en época de secas y época de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo	73
Figura 19. Medias de la estabilidad de agregados determinada en muestras de suelo colectadas en época de secas de distintos usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco	74
Figura 20. Medias de la estabilidad de agregados determinada en muestras de suelo colectadas en época de lluvias de distintos usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco	74
Figura 21. Medias de la estabilidad de agregados para el tamaño 1.00-2.00 mm, correspondientes a la interacción época*posición, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco .	75

RESUMEN

Los ecosistemas constituidos por bosques tropicales secos caducifolios (BTC) presentan un intenso cambio de uso principalmente a agroecosistemas con pastizales y cultivos. Los efectos de tales cambios en el suelo deben ser evaluados integralmente, en términos de su funcionamiento, aptitud y vulnerabilidad para asegurar que la calidad del recurso no sufrirá deterioros. Para ello se requiere contar con indicadores edáficos y, en particular, del tipo que se muestre los cambios tempranos que experimenta el sistema recurso suelo. La agregación del suelo es considerada una excelente herramienta para evaluar la calidad del suelo porque integra propiedades edáficas (físicas, químicas y biológicas), es fácil de medir, sensible a variaciones del clima, manejo, y detecta cambios en el suelo como resultado de la degradación antropogénica. Existen pocos estudios referentes a la agregación del suelo en ecosistemas BTC. Hoy en día, es de importancia conocer el comportamiento de la agregación del suelo en situaciones climáticas y topográficas típicas del ecosistema BTC, porque está relacionado con la capacidad de amortiguamiento del suelo ante el cambio de uso y con los procesos de erosión.

Los objetivos que se plantean en esta investigación fueron: 1) realizar el mapa morfo-edafológico de la zona de estudio; 2) determinar el efecto de uso del suelo en la agregación del suelo y otras propiedades físicas, químicas, biológicas y establecer la relación entre la agregación del suelo y las propiedades edáficas; 3) evaluar el efecto de la posición en la agregación del suelo y en las propiedades edáficas; 4) evaluar el efecto de la época de muestreo en la agregación del suelo y en las propiedades edáficas; 5) Obtener indicadores de agregación.

La cartografía morfo-edafológica generó que la unidad más representativa del ecosistema BTC en la costa de Jalisco, México, fue ladera sobre granito con Regosol eútrico, en la cuál se identificaron tres usos de suelo: BTC conservado, BTC pastoreado y Pastizal cultivado.

El efecto de uso del suelo modificó la humedad residual, la densidad aparente, la porosidad total, la porosidad interna de macroagregados, carbono, pH, Σ Bases y el volumen radical del suelo. Asimismo, la posición influyó a los cambios de dichas propiedades, a excepción del carbono y del volumen radical.

La proporción de macroagregados y microagregados resultantes de la prueba de distribución de agregados en seco, presentó un efecto de uso del suelo y de posición. El carbono orgánico y el volumen radical no son únicamente los principales agentes en la agregación, sino también hubo participación del calcio y del contenido de arcilla. En la estabilidad de agregados el uso del suelo fue el principal factor que afectó a los tamaños de agregados, pero en menor grado estuvo la posición. A mayor contenido de carbono orgánico, de volumen radical, de arcilla y de calcio se incrementó la estabilidad de agregados.

El efecto de la época de muestreo se observó en la humedad residual del suelo al momento de la obtención de la muestra, densidad aparente, porosidad total, pH, Σ Bases y en el volumen radical. En el caso de los macro y micro agregados de la distribución de agregados en seco el efecto se mostró en época de lluvias, obteniéndose menor proporción de macroagregados, lo cual influyó en el incremento de microagregados. La mayor estabilidad de los macroagregados en época de lluvias se presentó en los sistemas sometidos a manejo.

Los indicadores DMP_h , DMP_s , EES, ASI_{max}, ASI_{test}, ASI_{min} y δ ASI permitieron diferenciar el efecto de uso del suelo. Los indicadores EES, ASI_{test}, ASI_{min} y δ ASI presentaron efecto de la posición. Los indicadores DMP_s , ASI_{max}, ASI_{test} y ASI_{min} fueron afectados por la época de muestreo.

SUMMARY

Ecosystems with tropical dry forests (TDF) show an intense land-use change mainly to agro-ecosystems with pasture or cropland use. The effects of land-use changes have to be integrally evaluated based on functionality, aptitude, and vulnerability in order to ensure that the quality resources will not be deteriorated; therefore, edaphic indicators that can show early changes in soil conditions are required. Soil aggregation is considered an excellent tool for evaluating soil quality because it considers edaphic properties (physic, chemical, and biological properties), is easy to measure, is sensible to climate changes or management, and detects land changes as a result of anthropogenic degradation. There are a few researches dealing with soil aggregation in tropical dry forest ecosystems. Nowadays, knowing the behavior of soil aggregation in climatic and topographic conditions of TDF ecosystems is very important because this is related with the buffering capacity against land-use change and erosion processes.

The objectives of this research were: 1) to made a morpho-edaphology map of the study site; 2) to determine the effect of land use in the aggregation and physic, chemical, biological properties and relationship between soil aggregation and edaphic properties; 3) to evaluate the effect of position with soil aggregation and edaphic properties; 4) to evaluate the effect of sampling season with soil aggregation and edaphic properties; 5) to determine indicators of aggregation.

Morpho-edaphology cartography indicates that the unit more representative of the TDF ecosystem in the cost of Jalisco, Mexico was the hillslope over granite with eutric regosol soil. The unit mainly presents three land uses: conserved TDF, TDF with cattle, and pasture.

Effects of land use modified the residual humidity, bulk density, total porosity, internal porosity of macroaggregates, carbon, pH, Σ Bases, and root volume of the soil. Besides, position had an influence in the change of these properties except carbon and root volume.

The proportion of macro and resulting micro-aggregates of the test in the distribution of dry aggregates were affected by land use and position. Organic carbon and root volume are not the only agents in the aggregation, but calcium and clay also participate in aggregation. About aggregate stability, land use was the main factor that affects the aggregates size, but position affects in less degree. There is a direct relationship between carbon content, root volume, and clay and calcium content with aggregate stability.

The effect of sampling season was observed with the residual humidity of soil at the moment of obtaining the sample, bulk density, total porosity, pH, Σ Bases, and root volume. In the case of macro and micro-aggregates of dry aggregates distribution, the effect was shown in the rainy season where the low proportion of macro-aggregates was obtained. This had an effect in the increase of microaggregates. The greater stabilization of macroaggregates in the rainy season was shown in the subjected systems to management.

The DMP_h , DMP_s , EES, ASI_{max}, ASI_{test}, ASI_{min} and δ ASI indicators allow us to differentiate the effect of land use. The EES, ASI_{test}, ASI_{min} y δ ASI indicators showed effect of position. The DMP_s , ASI_{max}, ASI_{test} and ASI_{min} indicators were affected by sampling season.

I. INTRODUCCIÓN

En el ecosistema tropical seco (ETS) que se ubica en la costa de Jalisco existe una serie de estudios relacionados con la estructura y funcionamiento del sistema desarrollados por la Fundación Ecológica de Cuixmala, A.C., la Universidad Nacional Autónoma de México e investigadores de universidades del extranjero (Maass *et al.*, 1994; Martínez-Yrizar *et al.*, 2000; Noguera *et al.*, 2002). Sin embargo en la actualidad, son pocos los estudios que se refieren a la caracterización y evaluación de las funciones del suelo dentro de este ETS.

En general los ETS presentan un persistente disturbio antropogénico que causa el deterioro de los recursos naturales y modificaciones del ecosistema (Murphy y Lugo, 1986; Southgate, 1998). Uno de los problemas existentes del ETS en México es la pérdida de aproximadamente 36,258 km² de bosque tropical seco ocurrida entre 1976 y 2000, de los cuales 23% corresponde a cambios de uso del suelo para aumentar la superficie destinada a la agricultura y la ganadería (Palacio *et al.*, 2000; Velásquez *et al.*, 2002). En este cambio de uso de suelo destaca una clara tendencia a la conversión de pastos (Maass, 1988; Houghton *et al.*, 1991). Estos cambios de cobertura vegetal repercuten en la disminución de la calidad del suelo.

La calidad del suelo es la capacidad que tiene éste para funcionar dentro de los límites del ecosistema, para sostener la productividad biológica, mantener la calidad ambiental y promover la salud de plantas y animales (SSSA, 1997). Esta condición se encuentra hoy en día amenazada por la degradación del suelo a causa de la actividad antrópica (Karlen *et al.*, 2004).

En la actualidad la información edáfica es analizada mediante indicadores de calidad ya que facilitan la evaluación integral del recurso del suelo, en términos de su funcionamiento, aptitud y vulnerabilidad. La generación de indicadores para evaluar su calidad es prioritaria porque permite planear un mejor manejo de la sostenibilidad del recurso y de la agricultura sustentable. Estos indicadores deben ser relativamente sensibles

a los cambios de uso de la tierra y a cambios climáticos, para habilitar el monitoreo de la calidad del suelo en el tiempo e identificar tendencias adversas.

La agregación del suelo es considerada un indicador que proporciona información acerca de la capacidad del mismo para funcionar en un ecosistema, debido a que interviene en el transporte de líquidos, gases, calor, y además influye en procesos físicos como la infiltración, aireación y erosión (Doran y Parkin, 1994; Topp *et al.*, 1996). La agregación del suelo integra propiedades edafológicas (físicas, químicas y biológicas), es fácil de medir, sensible a variaciones del clima, manejo, y detecta cambios en el suelo como resultado de la degradación antropogénica (Boehm y Anderson, 1997; Seybold y Herrick, 2001). Por lo tanto, se le considera una excelente herramienta para evaluar la calidad del suelo (Cammeraat y Imeson, 1998).

Existen pocos estudios referentes a la agregación del suelo en ETS (Pérez-Bolaún *et al.*, 2004). Hoy en día, es de suma importancia conocer el comportamiento de la agregación del suelo en situaciones climáticas y topográficas típicas del ETS, porque está relacionado con la capacidad de amortiguamiento del suelo ante el cambio de uso y con los procesos de erosión (Cotler y Ortega-Larrocea, 2006).

La agregación del suelo se encuentra en una continua interacción con distintos agentes como los procesos de formación (procesos pedogenéticos), propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas), factores exógenos (condiciones del terreno y clima) y la intervención de las perturbaciones antropogénicas. Estas interacciones establecen una dinámica continua en la agregación del suelo y por consiguiente, es necesario considerarlas cuando se estudie este indicador (Bronick y Lal, 2005).

El estudio de la variabilidad espacial de la agregación del suelo se debe hacer al interior de unidades integrales que involucren patrones de clima, suelo, vegetación y geomorfología homogénea (Cammeraat y Imeson, 1998; Boix-Fayos *et al.*, 2001). Dado que las condiciones litológicas y de relieve influyen en numerosas características edáficas y microclimáticas determinantes en la agregación del suelo (textura, humedad, exposición,

inclinación), es necesario considerar unidades relativamente homogéneas, en términos morfo-edafológicos.

La variabilidad temporal también puede ocasionar cambios en la agregación del suelo a través de las variaciones de los regímenes de temperatura y humedad, las cuales pueden provocar una afectación a la actividad microbiana, un reordenamiento de las partículas del suelo, incremento del aislamiento de carbono orgánico dentro de los agregados, y cambios en los ciclos de expansión y contracción (Singer *et al.*, 1992). Algunos trabajos muestran efectos de temperatura y humedad en la estabilización de los agregados (Chappell *et al.*, 1999; Franzluebbers *et al.*, 2001).

El objetivo de este estudio fue evaluar la agregación del suelo de una forma espacial y temporal bajo distintos usos, para emplearlo como un indicador de calidad del suelo ante la intervención antrópica en el ecosistema tropical seco ubicado en la costa de Jalisco.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Ecosistema Tropical Seco (ETS)

El ecosistema se define como un sistema relativamente homogéneo desde los puntos de vista físico, químico y biológico, donde poblaciones de especies se agrupan en comunidades interactuando entre sí y con el ambiente abiótico (Karr, 1994; Pidwirny, 2000). El ETS se caracteriza por la presencia de selva baja conocida también como bosque tropical caducifolio, presente en regiones de clima cálido entre los 0 a 2000 msnm, con una temperatura media anual de 22 a 26°C y precipitación media anual de 400 a 1300 mm. El ETS presenta una estación de secas (6 a 8 meses sin precipitación) y otra de lluvias muy marcadas a lo largo del año; la precipitación se concentra entre junio a octubre (Rzedowski, 1978).

La distribución espacial del ETS está representado por una matriz heterogénea de topografía, exposición, clima y de condiciones edáficas (Rzedowski, 1979). El ETS se encuentra distribuido a lo largo de todo el país, cubriendo grandes extensiones casi continuas desde el sur de Sonora y el suroeste de Chihuahua hasta Chiapas, así como parte de Baja California Sur. En la vertiente del Golfo se presentan tres franjas aisladas, en Tamaulipas, San Luís Potosí y norte de Veracruz; otras franjas están en Yucatán y Campeche (INE, 2005).

El ETS mantiene una alta diversidad de especies y contiene las mayores concentraciones de taxa endémicos del país (Martínez-Yrizar *et al.*, 2000; Noguera *et al.*, 2002); cuenta con 20% de las especies de plantas de toda la flora mexicana y posee el resguardo más alto en vertebrados terrestres en género y especie. A pesar de su gran importancia, la información que existe en México con respecto al estado de conservación es limitada, debido a que los científicos y la atención pública se han concentrado en los ecosistemas tropicales húmedos (Trejo y Dirzo, 2000).

Trejo y Dirzo (2000) realizaron un estudio empleando el mapa de vegetación potencial hecho por Rzedowski en 1990 y encontraron que el área total de bosque tropical seco era 269,555 km², de los cuales el 27% estaban intactos, otros 27% presentaban algún grado de alteración, 23% resultaron degradados y 23% fueron remplazados por otro uso de tierra, como la agricultura o pastizales.

Los principales motivos de pérdida del bosque tropical se deben a la deforestación y al asentamiento de actividades productivas. La perturbación del ecosistema ocasiona cambios en los procesos biológicos, químicos y físicos, los cuales repercuten en pérdida del potencial productivo de los recursos naturales. La degradación del recurso suelo es una de las amenazas más serias en el futuro de la humanidad y se manifiesta por la erosión eólica e hídrica, la acidificación, la pérdida de materia orgánica, cambio en la estructura del suelo, la salinización y la contaminación agroquímica.

El Recurso Suelo

La definición de suelo en la tendencia moderna, con un fuerte enfoque ecológico, visualiza al suelo como un cuerpo viviente, natural, dinámico, con funciones primordiales para mantener la productividad de las especies vegetales que en él se establecen; como un recurso en el mantenimiento de la biodiversidad, la calidad del aire y agua, del hábitat y salud humana, esto lo hace vital para el funcionamiento de los ecosistemas terrestres (Doran y Parkin, 1994). Cabe señalar que no existe un concepto único de suelo, está en función de la disciplina de estudio y en edafología es un concepto que ha sido modificado a través del tiempo (Singer y Ewing, 2000).

El suelo tiene seis funciones esenciales en los ecosistemas terrestres (Seybold *et al.*, 1997; Brady y Weil, 1999): 1) controla el destino del agua en el sistema hidrológico y su purificación, 2) mantiene el desarrollo de plantas superiores proporcionando un medio para sus raíces y suministra los nutrientes que necesitan, 3) proporciona hábitats adecuados para el sostenimiento, diversidad y productividad de la biota del suelo, 4) funciona como un sistema natural de reciclaje de los desechos y residuos de plantas, animales y humanos, 5)

constituye la base para la construcción de obras ingenieriles como casas, carreteras etc., 6) actúa como filtro, proporciona amortiguamiento, inmovilización y desintoxicación de un gran número de productos químicos, residuos industriales y biológicos producidos por el hombre.

El suelo es considerado como un sistema, porque presenta un conjunto de numerosas relaciones funcionales, tanto internas como externas, dinámicas en el tiempo y variables en el espacio. El sistema suelo presenta una organización jerárquica de la cual se derivan sus propiedades y pueden ser identificadas a diferentes niveles del sistema (Oleschko, 1994). Cada nivel de organización del sistema está compuesto por su propio conjunto de unidades elementales de organización, las cuales explican el funcionamiento y las interacciones entre los componentes que lo constituyen. Las unidades elementales pueden ser descritas cualitativa y cuantitativamente con la resolución de los métodos de análisis comunes a un determinado nivel (Cuadro 1).

Cuadro 1. Niveles y unidades elementales de organización del sistema suelo (Oleschko, 1994).

Nivel de Organización	Unidad Elemental	Resolución	Método Estudio	Procesos
Ion o Molecular	Isótopos	Å - nm	Espectroscópicos y Submicroscópicos	Transformación de compuestos minerales y orgánicos
Textura	Partículas Elementales	µm – mm	Microscopia óptica cualitativa	Valencias químicas
Agregados	Peds	mm o cm	Métodos macro de laboratorio	Propiedades derivadas
Horizontes genéticos del suelo	Horizonte	m m ² - km ²	Observación Cualitativa GPR, TDR	Propiedades derivadas y variables de estado
Perfiles o pedón	Perfil	m ² a km ²	GPR, Cartografía, Fotos Aéreas	Lixiviación, Acumulación
Cubierta edáfica Sistema terrestre	Geosistemas	km	SIG, Fotos Aéreas, Imágenes Satélite	Erosión, Escurrimiento, Degradación

El suelo en el ecosistema es considerado como medio de soporte para la vida (Dumanski *et al.*, 1998) por lo cual es necesario preservar e incrementar su calidad. Una de las herramientas que nos permiten lograr lo anterior, es mediante la creación de indicadores de calidad, los cuales son capaces de describir de una manera simple y eficiente la calidad del suelo, al mismo tiempo permiten comparar una condición específica de calidad con otra y son sensibles al cambio del agente que lo provoca.

Calidad del Suelo

La definición de calidad de suelo desde un punto de vista ecológico es la capacidad que tiene para funcionar dentro de los límites naturales, para sostener la productividad de plantas y animales, mantener la calidad del aire y agua, y sostener la salud humana (Karlen *et al.*, 1997). Este concepto se encuentra en continua evolución (Singer y Ewing, 2000; Karlen *et al.*, 2004).

Larson y Pierce (1991) postularon que la calidad del suelo puede ser vista de dos maneras: 1) como propiedades inherentes a éste y 2) como procesos dinámicos del suelo influidos por el clima, el uso antropogénico y el manejo. Las propiedades inherentes son el resultado de los factores de formación del suelo. Los segundos, se reflejarían en dinámicas negativas como la pérdida de arcilla, de materia orgánica y nutrientes, y dinámicas positivas como el uso de coberturas para evitar la erosión.

El criterio de calidad del suelo se ha usado para decidir el mejor uso y manejo del mismo. Por lo tanto, la evaluación de la calidad del suelo es una herramienta enfocada en la dinámica y procesos de sus propiedades que son útiles para la evaluación de la sustentabilidad de las prácticas de su manejo (Karlen *et al.*, 2004).

En varios documentos se ha indicado que el manejo del suelo afecta al carbono orgánico edáfico, la estructura, la actividad biológica (lombrices) y la retención de humedad, que usualmente son usadas como indicadores físicos, químicos y biológicos en el estudio de la calidad de suelos (Singer y Ewing, 2000; Karlen *et al.*, 2004). Estos

indicadores muestran cambios no favorables en el transcurso del tiempo a causa del manejo del suelo, pero esta variación puede disminuir si se reduce la intensificación del manejo y si se adopta nuevas prácticas de cultivo.

La evaluación de calidad del suelo debe hacerse según Seybold *et al.* (1997) de acuerdo a las funciones que éste puede desempeñar en la biodiversidad o productividad, en el flujo de agua y solutos, en la filtración y amortiguamiento, en el ciclo de nutrimentos y como soporte estructural (Figura 1). Por otro lado, Karlen *et al.* (1997) proponen un ordenamiento jerárquico de evaluación de la calidad del suelo, en el que se observa el nivel de interés, la actividad correspondiente y algunos indicadores (Cuadro 2).

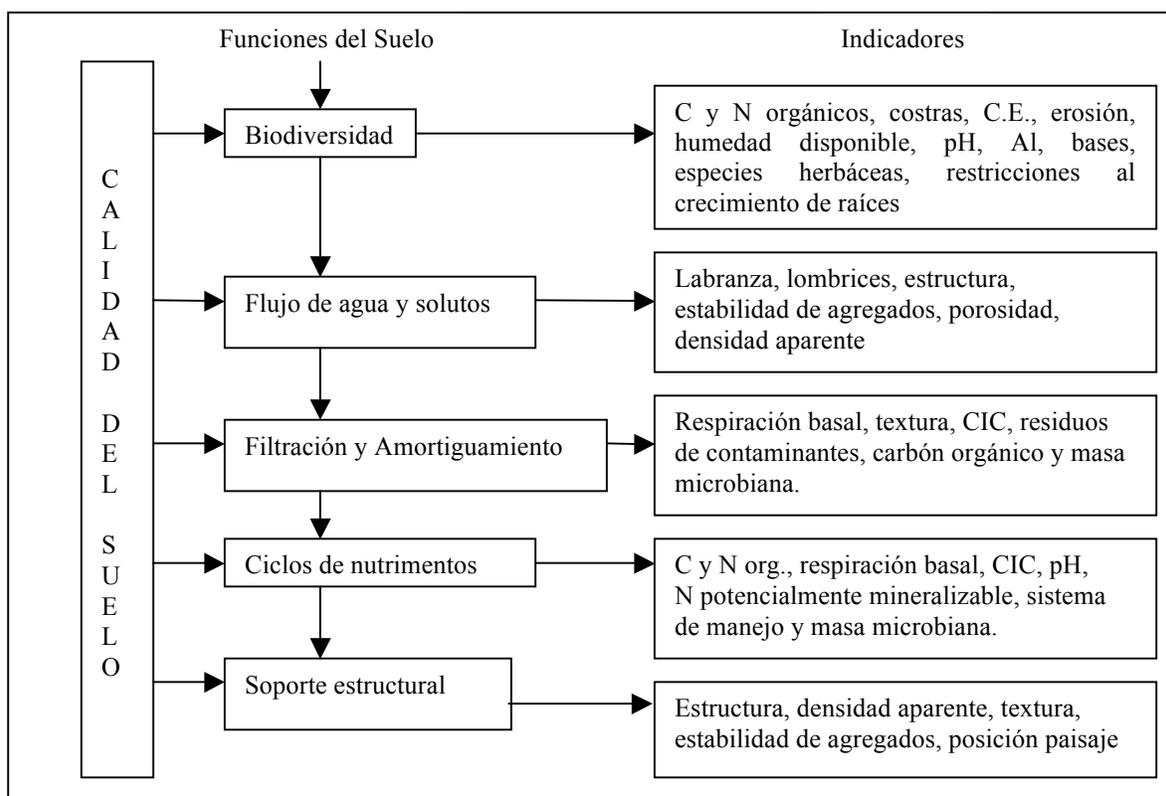


Figura 1. Relación entre indicadores, funciones y calidad del suelo (Seybold *et al.*, 1997).

Cuadro 2. Ordenamiento jerárquico de la evaluación de la calidad del suelo (Karlen *et al.*, 1997)

	Nivel de Interés	Actividad	Indicadores
Nivel 5	Internacional Nacional Regional	Desarrollo de políticas e instrumentación	Calidad ambiental y productividad biológica
Nivel 4	Cuenca y Micro-cuenca	Monitoreo y planificación, uso para mantener y mejorar la calidad ambiental	Riesgo de erosión, inundación y deslizamientos
Nivel 3	Unidad de producción	Selección de prácticas de manejo que produzcan características de calidad de suelos deseables	Topografía, lixiviación y cobertura vegetal
Nivel 2	Parcela experimental	Investigación disciplinaria para demostrar cómo cambia la calidad con el manejo	Contenido de materia orgánica, nivel nutrimental y actividad microbiana
Nivel 1	Escala puntual, procesos y mecanismos	Investigación subdisciplinaria básica en atributos e indicadores de calidad	Espacio poroso, textura y pH

En este sentido la calidad del suelo debe definirse para un tipo de suelo en una zona agro-ecológica específica con condiciones socio-económicas y de manejo del suelo comunes (Bouma y Droogers, 1998). A partir de esta base, la modelación permitirá el conocimiento de la relación entre propiedades del suelo, su ambiente (paisaje) y su potencialidad productiva en una dinámica temporal, permitiendo la elaboración de indicadores de calidad.

Hoy en día, todavía se discuten los indicadores de calidad del suelo más apropiados a diferentes escalas de evaluación, para la toma de decisiones, de manejo o acciones que deban llevarse a cabo (Pieri *et al.*, 1995). Por lo tanto, los indicadores de calidad del suelo deben ser capaces de ajustarse a cada una de estas escalas (Izac y Swift, 1994).

Indicadores de Calidad del Suelo

La capacidad del suelo para funcionar y proporcionar servicios dependen de sus propiedades físicas, químicas, biológicas y sus interacciones, por lo que la calidad del suelo no puede evaluarse directamente sino que se infiere midiendo los cambios en las propiedades que se relacionen con las funciones de éste; a estas propiedades se les llama indicadores (Seybold *et al.*, 1997). Los indicadores pueden ser propiedades físicas, químicas o biológicas, que permitan medir los cambios que ocurren en él (Etchevers, 1999;

Astier *et al.*, 2002), se convierten en un instrumento de análisis que permite simplificar y cuantificar que tan adecuadamente funciona un suelo (Adriaanse, 1993).

Los indicadores deben tener algunas características para que puedan ser consideradas como indicadores de calidad edáfica (Doran y Parkin, 1994; Dumanski, 1998) entre las cuales se encuentran: 1) descriptores de procesos del ecosistema, 2) aplicables a un amplio rango de ecosistemas y agroecosistemas, 3) integradores de propiedades y procesos físicos, químicos y biológicos, 4) susceptibles de monitorear, fáciles de medir, basados en información confiable y fácilmente disponible, 5) sensibles a variaciones del clima y manejo, 6) capaces de medir cambios de los sistemas en periodos cortos, 7) sensibles para detectar cambios en el suelo como resultado de la degradación antropogénica.

Los indicadores físicos reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se encuentran en el crecimiento de las raíces, la emergencia de plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil (Karlen *et al.*, 1997). Los indicadores químicos se refieren a condiciones que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas y microorganismos (Doran y Parkin, 1994). Los indicadores biológicos se derivan de la presencia de múltiples organismos que viven en el suelo, donde realizan una extensa variedad de funciones esenciales para el funcionamiento del mismo, como es la descomposición de la materia orgánica, la formación de estructura del suelo, control de la disponibilidad nutrimental, etc. (Roming *et al.*, 1995).

En el ecosistema es imposible utilizar todas las propiedades de suelo como indicadores, por lo cual, se deben seleccionar aquellas que proporcionen información acerca de los cambios o tendencias de una condición en particular. La selección de indicadores deberían basarse de acuerdo a SQI (1996) en: a) el uso del suelo, b) la relación entre un indicador y la función del suelo que se esté evaluando, c) la facilidad y

confiabilidad de la medición, d) variación a través del área de muestreo, e) la habilidad requerida para su uso e interpretación, f) los indicadores cambian en periodos cortos.

Entre otros criterios que se han empleado para la selección de indicadores se encuentran los de Bouma (1989) quien propone funciones de pedotransferencia, debido a que ciertas propiedades de suelo están interrelacionadas y a partir de estas funciones se pueden predecir otras propiedades. Larson y Pierce (1991) identifican una lista de propiedades del suelo (pH, M.O., C.E., textura, estructura, estabilidad de agregados, entre otros) que se relacionan con los procesos más importantes de su funcionamiento. Doran y Parkin (1994) propusieron algunas propiedades del suelo (textura, profundidad del suelo, densidad aparente, masa microbiana, respiración del suelo entre otras), que consideran que son útiles en un amplio rango de situaciones socioeconómicas y ecológicas para valorar la calidad del suelo.

Parr *et al.* (1992) y Hunnmeyer *et al.* (1997) mencionan los usos que se le pueden dar a los indicadores de calidad edáfica:

1) evaluar al suelo antes y después del impacto de las prácticas de manejo sobre la calidad y seguridad alimentaria, salud humana y animal, calidad de agua y degradación del suelo.

2) analizar la sustentabilidad del suelo mediante la identificación de los puntos críticos para un medio productivo o recurso natural importante para la calidad de vida o mantenimiento de la biodiversidad.

3) evaluar los beneficios de programas de conservación así como para proporcionar bases para sus políticas.

4) establecer una base realista para el valor de renta y venta de tierras, cobro de impuestos y tasas de crédito.

5) proveer información para simular y predecir cambios ambientales.

6) proporcionar bases para una mejor clasificación de capacidad de tierras.

Agregación del Suelo

La agregación del suelo se define como un grupo de dos o más partículas primarias que presentan una cohesión mucho más fuerte entre ellas que con las partículas que las rodean (Hillel, 1988 y Porta *et al.*, 1999). La agregación del suelo es un producto de interacciones entre la comunidad microbiana, componentes orgánicos y inorgánicos, y de la presencia de plantas sobre la superficie de la tierra (Tisdall y Oades, 1982).

Brady (1999) menciona cuatro niveles de organización jerárquica de los agregados que fueron elaborados por Oades (1993) y Tisdall (1994). En cada nivel se mencionan los factores principales que intervienen en la agregación del suelo. (a) Un macroagregado está compuesto de muchos microagregados, unidos por hifas y raíces finas, (b) un microagregado está constituido principalmente de granos finos de arena y grupos más pequeños de limo y arcilla, unidos principalmente por la actividad microbiana, restos orgánicos, raíces y hifas, (c) un submicroagregado está constituido de partículas finas de limo incrustados con restos orgánicos y restos microbianos, incluso también con arcilla, humus y óxidos de Fe o Al, (d) conglomerados de arcilla, unidos por la interacción con óxidos de Fe o Al y en las más pequeñas escalas con polímeros orgánicos.

Existen varias clasificaciones de tamaño de agregados según el objetivo de estudio, como la de Oades (1993) y Tisdall (1994) donde ordenan a los agregados de la siguiente manera: macroagregados de 3 mm, microagregados 0.3 mm, submicroagregado 0.03 mm y conglomerados de arcilla de 0.003 mm. Warrick (2002) cataloga a los macroagregados como mayores de 250 micras y microagregados menores de 250 micras. Cammeraat y Imeson (1998) establecen a los macroagregados como mayores de 106 micras y microagregados menores de 106 micras, mientras que Barthés y Roose (2002) categorizan a los macroagregados como mayores de 0.2 mm, mesoagregados 0.02-0.2 mm y microagregados menores de 0.02 mm.

Bronick y Lal (2005) mencionan que la agregación del suelo se encuentra en una continua interacción con distintos agentes como son: i) procesos de formación del suelo

(procesos pedogenéticos), ii) propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas), iii) factores exógenos (condición del terreno y clima), iv) intervención de las perturbaciones antropogénicas. Estas interacciones establecen una dinámica continua en la agregación del suelo (Figura 2).

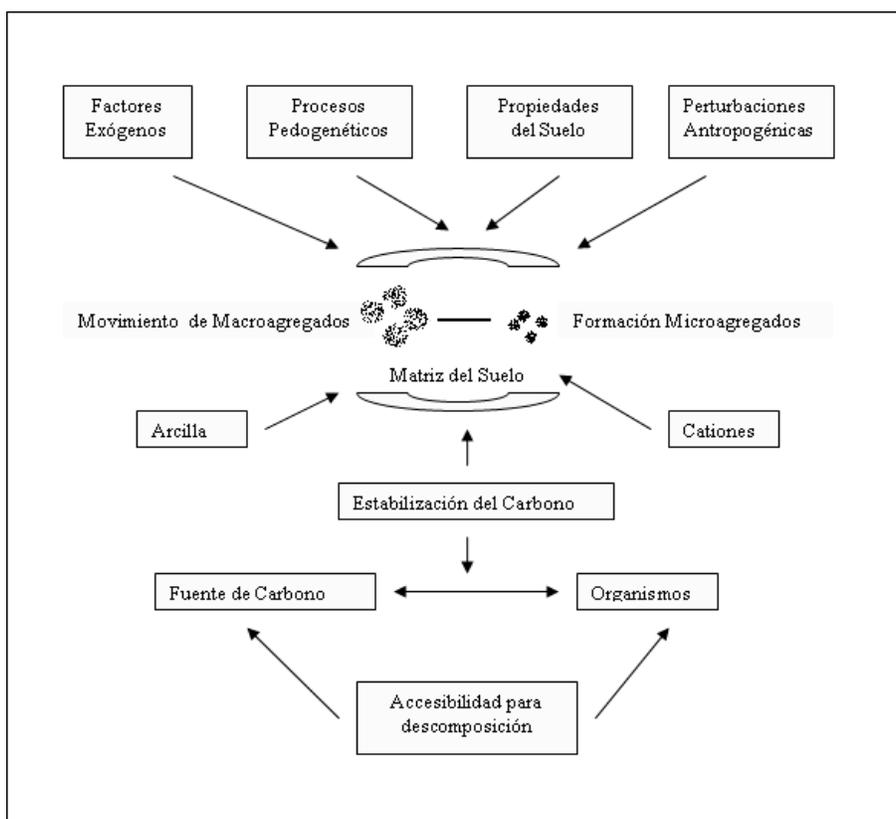


Figura 2. Factores que están afectando a la agregación del suelo (Bronick y Lal, 2005)

Factores de Formación de los Agregados

Las propiedades de suelo que participan en la agregación del suelo son la materia orgánica (concentración de carbono orgánico del suelo), textura (contenido de arcilla), mineralogía arcillosa, cementantes inorgánicos (carbonato de calcio, sesquióxidos de fierro y aluminio), iones intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), actividad microbiana (micorrizas) y raíces. La contribución de un mayor o menor grado de cada uno de estos factores, dependen de las condiciones del medio físico que se encuentren dentro del ecosistema (Le Bissonnais, 1996; Chappell *et al.*, 1999).

Materia Orgánica

El efecto de la materia orgánica del suelo (M.O.) en la formación y estabilización del agregado depende de la dinámica de descomposición o transformación de la M.O. a las diferentes formas de carbono orgánico, su localización espacial y el grado de asociación con materiales minerales (Kay, 1998). Varios estudios han encontrado una relación muy estrecha entre el nivel de agregación y la materia orgánica del suelo (descritos en la revisión por Tisdall y Oades, 1982), otros muestran que la incorporación de residuos orgánicos influye en la formación de agregados estables en agua (Lynch y Bragg, 1985).

Textura

La textura del suelo tiene una influencia significativa en la agregación. Kay (1998) señala que cuando el contenido de arcilla es alto, la forma y estabilidad del agregado están en función de sus características debido a la acción cementante, a la propiedad de expansión y contracción que ocurre con los cambios de humedad y al potencial electrocinético que sirve para la atracción de las demás partículas. Sin embargo, Le Bissonnais (1996) menciona que no siempre hay una intervención clara de la textura en los agregados. Las propiedades físicas de los suelos cambian con el incremento del contenido de arcilla, cuando es mayor del 30% el comportamiento de los suelos depende del tipo de arcilla (Oades, 1993).

Minerales Arcillosos

Los minerales arcillosos influyen en propiedades que intervienen en la agregación del suelo, como la superficie específica, la capacidad de intercambio catiónico, la densidad de carga, la dispersión y expansibilidad (Dimoyiannis *et al.*, 1998). Las partículas con mayor agregación son las esmécticas, por su gran superficie específica y alta capacidad de interacción fisicoquímica. La arcilla con baja capacidad de intercambio catiónico como la kaolinita, induce una menor agregación que la montmorillonita porque tiene menos área superficial, sin embargo, los agregados son menos estables con arcilla montmorillonita ya

que puede dispersarse más fácilmente que la kaolinita. Lo anterior se debe a que la kaolinita está más asociada con los óxidos de hierro y aluminio (Stern *et al.*, 1991; Chappell *et al.*, 1999).

Cementantes Inorgánicos

Los cementantes inorgánicos colaboran en la formación y estabilidad de los agregados. Los sesquióxidos de Fe y Al, forman coloides muy lentamente reversibles y ayudan a formar agregados estables a la acción del agua (Bartoli *et al.*, 1988). El carbonato de calcio que se precipita alrededor de las partículas de suelo también actúa como cementante (Le Bissonnais, 1996).

Iones Intercambiables

El efecto de los iones intercambiables en la estabilidad o dispersión depende del tamaño y valencia del catión. Por consiguiente, los cationes pueden ser clasificados en el siguiente orden: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ (Levy *et al.*, 1988; Levy y Van Der Watt, 1990). La participación del calcio, magnesio y potasio en el proceso de la agregación es revertir al coloide coagulado a un estado disperso. El Ca^{2+} y en menor grado el Mg^{2+} , inducen la floculación de la arcilla permitiendo que las partículas puedan agregarse, además de que son importantes en la nutrición del suelo (Brady, 1999). Por otro lado, el Na^+ tiende a deflocular la arcilla y a crear una reacción en la que muchos de los nutrientes presentes no pueden aprovecharse, por lo tanto, disminuye el crecimiento de raíces y microorganismos, causando condiciones no favorables a la agregación (Armstrong y Tanton, 1992).

Hongos

Los hongos unen a los agregados mediante diferentes mecanismos tales como la adsorción, envolvimiento físico y cementación, debido a la excreción de productos mucilaginosos. El funcionamiento de los hongos en la agregación del suelo depende de los regímenes de humedad, pH del suelo, del potencial oxido-reducción, estatus de nutrientes

del sustrato, el tipo y cantidad de materia orgánica (Brady, 1999). Principalmente, los hongos arbusculares micorrizicos producen una proteína llamada glomalina, que tiene características excepcionales como adherente y por lo tanto favorece a la estabilización y estructuración del suelo (Tisdall, 1991; Miller y Jastrow, *et al.*, 2000).

Raíces

Las raíces favorecen a la agregación del suelo debido a que presenta ciertas características como son: a) la excreción de compuestos orgánicos y minerales, que sirven como ligamentos para la unión de partículas, b) la presión ejercida por la raíz causa grietas al contraerse el suelo, lo que origina rompimientos y posteriormente formación de otro tipo de agregados, c) las raicillas ayudan a mantener juntas las partículas del suelo (Oades, 1993; Czarnes *et al.*, 2000).

La Agregación del Suelo como Indicador de Calidad del Suelo

La agregación del suelo como indicador de calidad presenta cuatro características importantes de acuerdo a Cammeraat e Imeson (1998):

- a) los parámetros de agregación del suelo se pueden usar para demostrar su potencial como una fuente importante para estudios de degradación de tierras.
- b) el monitoreo de este indicador ofrece un medio para el establecimiento de la vulnerabilidad de áreas en los ecosistemas
- c) el empleo de la agregación se puede usar para entender las perturbaciones de un ecosistema
- d) este indicador es representativo de cada geosistema.

Boix-Fayos *et al.* (2001) señalan que el parámetro de agregación del suelo no debe ser utilizado como único indicador de evaluación del mismo. Por otro lado, la relación de la estabilidad de agregados y la erosión del suelo ha sido poco estudiada en investigaciones de los ecosistemas tropicales secos (Cotler y Ortega-Larrocea, 2006), por consiguiente, la identificación de las propiedades que influyen en la estabilización de agregados se

convierte en un tema central para el entendimiento de los mecanismos de la erosión del suelo (de Roo, 1993).

Índices de Agregación

Estado Estructural del Suelo (EES)

El estado estructural del suelo (EES) es la relación entre las fracciones mecánicas dotadas de capacidad cementadora y las fracciones mecánicas que participan como material pasivo en la formación de la estructura (Kaúrichev, 1984). La evaluación se hace desde el punto de vista agronómico y es igual al peso de los agregados de tamaño óptimo (0.25 a 4.75 mm) entre el peso total de la muestra. A mayor factor de estado estructural corresponde mayor capacidad de estructuración (Cuadro 3). El EES ha sido empleado en México bajo diferentes sistemas de manejo y unidades de suelo (Lomelí, 1996; Navarro *et al.*, 2000; Sustaita-Rivera *et al.*, 2000) observándose un aporte importante para el entendimiento de la capacidad de estructuración que puede tener un suelo bajo ciertas condiciones de manejo.

$$\text{EES} = ([\sum \text{Pa } 0.25 \text{ a } 4.75] / \text{Peso Total de la Muestra}) * 100$$

donde:

EES = Estado Estructural del Suelo (%)

Pa = Peso de agregados (g)

Cuadro 3. Clasificación de suelos conforme a su estado estructural del suelo (Kaúrichev, 1984)

Tamizado en Seco (%)	Tamizado en Húmedo (%)	Estado estructural del Suelo (Cualitativo)
> 80	> 70	Excelente
80 – 60	70 – 75	Bueno
60 – 40	55 – 40	Satisfactorio
40 – 20	40 – 20	No Satisfactorio
< 20	< 20	Malo

Diámetro Medio Ponderado (DMP)

El DMP se define a partir del porcentaje de agregados retenidos en cada tamiz, es decir, se basa en las masas de los agregados de determinado tamaño. La distribución del tamaño de agregados se expresa con el parámetro denominado diámetro medio ponderado. Este índice de agregación puede relacionarse con los procesos de erosión, infiltración, compactación, evaporación o aireación. La evaluación de este indicador se realiza mediante la clasificación hecha por Le Bissonnais (1996) quien propone índices para clasificar la estabilidad de agregados de acuerdo a valores de diámetro medio ponderado (DMP), estos se pueden observar en el Cuadro 4.

$$DPM = \frac{[\sum(M_{si} * X_i)]}{\text{Peso de la muestra}}$$

donde:

DPM = Diámetro ponderado medio (mm)

M_{si} = Agregados retenidos en cada tamiz (g)

X_i = Promedio del diámetro de abertura del tamiz (mm)

Cuadro 4. Clasificación de estabilidad de agregados con base al diámetro medio ponderado (DMP).

Clase	DMP (mm ø)	Estabilidad
1	< 0.4	Muy inestable
2	0.4-0.8	Inestable
3	0.8-1.3	Medio
4	1.3-2.0	Estable
5	> 2.0	Muy estable

Fuente: Le Bissonnais (1996)

Índice de Estabilidad de Agregados (ASI)

Las evaluaciones del estado de la agregación del suelo y la estabilidad de agregados del suelo se han estudiado a través de varios índices como el diámetro medio geométrico, diámetro medio ponderado, estado estructural del suelo, el peso del diámetro medio, el coeficiente de agregación y por la pérdida de arrastre. Sin embargo, no existe una

prescripción universal donde se mencione cual de éstos se deba de preferir o utilizar en determinados casos. Niewczas y Witkowska (2003a) proponen el índice de estabilidad de agregados (ASI) como una nueva herramienta para comparar los cambios de la agregación del suelo causada por los diferentes factores o procesos de destrucción, este puede ser utilizado con distintos métodos de determinación de estabilidad de agregados.

El indicador ASI presenta las características siguientes:

- a) expresa numéricamente la destrucción de los agregados del suelo como un resultado de la actividad de diferentes factores o procesos, por ejemplo el efecto del agua y manejo.
- b) hace posible incorporar un rango amplio de resultados de los análisis de agregación obtenidos por diferentes métodos y evaluar su descomposición.
- c) de los valores obtenidos, le permiten a uno determinar directamente la estabilidad de agregados, por ejemplo, las estabilidades de agregados más altas deben corresponder con los valores más altos del índice.
- d) se puede determinar la estabilidad de cada clase de agregados así como de toda la muestra completa de suelo.
- e) es el primer indicador de estabilidad de agregados que se evalúa a partir de la distribución de agregados (antes del impacto) y la estabilidad de agregados (después del impacto).
- f) es fácil de calcular.

Valores Extremos del Indicador ASI (ASI_{max} y ASI_{min})

Los agregados del suelo son clasificados de acuerdo a su tamaño, no solamente el estado temporal de la agregación describe la calidad del suelo sino también su variabilidad. Los valores extremos del indicador ASI son propuestos por Niewczas y Witkowska (2003b). De los valores disponibles durante la obtención del indicador ASI, es posible obtener información adicional acerca de los cambios de agregación. No existe otro método o una investigación similar en la literatura especializada que estudie los cambios (máximos o mínimos) de la estabilidad de los agregados del suelo. A través de estos índices se puede saber cual es la menor o mayor estabilidad de agregados que se puede presentar en una

muestra de suelo. Los valores de ASI_{min} , ASI_{max} y ASI pueden ser usados para comparar cambios de agregación de varias unidades de suelos, de varios factores de destrucción, del mismo suelo pero en diferentes momentos o procesos.

Índices Auxiliares (δASI , $qASI$)

Niewczas y Witkowska (2005) emplean el ASI_{test} , ASI_{min} y ASI_{max} , para proponer índices auxiliares que describan el comportamiento de los cambios de agregación en la muestra de suelo. Estos índices auxiliares son usados para evaluar la calidad relativa del cambio de la agregación. El δASI es el rango relativo de la estabilidad de agregados, que esta definido por la siguiente ecuación:

$$\delta ASI = \frac{[ASI_{max} - ASI_{min}]}{ASI_{test}} \times 100$$

El δASI es un índice relativo de variabilidad de la agregación y es semejante al índice de coeficiente de variación (W) de características X , usado en estadística:

$$W(\%) = 100 \text{ dev}(x) / \text{media}$$

El $qASI$ es el índice de calidad de cambio de la agregación. Esta es una medición de la posición del ASI_{test} en el intervalo de estabilidad [ASI_{min} y ASI_{max}]. Esta definido por la siguiente ecuación:

$$qASI (\%) = \frac{ASI_{test} - ASI_{min}}{ASI_{max} - ASI_{min}}$$

Se puede encontrar el ASI_{test} en diferentes situaciones:

- $ASI_{test} = ASI_{max}$, entonces $qASI = 100\%$
- $ASI_{test} = ASI_{min}$, entonces $qASI = 0\%$
- ASI_{test} esta en la mitad del intervalo de estabilidad [ASI_{min} y ASI_{max}], entonces $qASI = 50\%$
- $ASI_{test} = ASI_{max} = ASI_{min}$, entonces debería ser asumido que $qASI = 100\%$

Porosidad

La porosidad es un indicador físico de los cambios que presenta el suelo a causa del manejo. Un suelo ideal debe tener igual número de poros grandes y pequeños (Baver, *et al.*, 1980). En este sentido Brady y Weil (1999) señalan que el valor óptimo del espacio poroso es de 50% y su reducción está asociada con el decremento en el contenido de materia orgánica. También reportan que el espacio poroso en un suelo arenoso varía de 35-50% y en un suelo de textura fina varía de 40-60%. La clasificación del tamaño de poros por diversos investigadores se observa en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Clasificaciones del tamaño de poros

Macroporosidad	Mesoporosidad	Microporosidad	Autores
> 80 μm	80 – 20 μm	< 20 μm	Ordaz (1995)
> 80 μm	80 – 30 μm	< 30 μm	Brady (1999)
> 30 μm		< 30 μm	Thomsen <i>et al.</i> , 1999
> 50 μm	50 – 0.5 μm	< 0.5 μm	Sustaita <i>et al.</i> , 2000
> 50 μm		< 50 μm	Pagliai <i>et al.</i> , 2004

En suelos bien agregados existe un amplio rango de tamaño de poros, estos se presentan tanto dentro como entre los agregados (Dalal y Bridge, 1996). Los poros grandes (>30 μm) incluyen bioporos, grietas y poros entre agregados. Estos poros son importantes para mejorar la difusión de gases y agua. El espacio, tamaño y cantidad de poros pueden influir en el carbono orgánico del suelo para la formación de agregados, recíprocamente, el carbono orgánico del suelo y la textura del suelo pueden influir en la porosidad (Thomsen *et al.*, 1999).

Los poros pequeños (<30 μm) pueden proteger al carbono orgánico del suelo de la descomposición, limitando el acceso microbiano a través del control de la difusividad de gas y disponibilidad de agua (Kay, 1998; Thomsen *et al.*, 1999). La dispersión de arcilla, compactación, encostramiento y manejo del suelo ocasionan una disminución de la porosidad (Dalal y Bridge, 1996). El aumento de la porosidad se relaciona con el contenido de humedad en el suelo y con las características de expansión y contracción (Kay, 1998). El efecto de manejo del suelo a corto plazo causa un incremento en porosidad, pero a largo plazo disminuye la agregación (Bronick y Lal, 2005).

Evaluación de la Porosidad

La medición de porosidad se ha realizado de manera indirecta a través de la relación de densidad aparente y densidad real, curvas de contracción, difusión de gas, conductividad hidráulica y por la intrusión de mercurio (Coulombe *et al.*, 1996). Actualmente hay métodos directos de medición como el análisis de imágenes que consiste en diferenciar y cuantificar de manera real la porosidad del suelo a través de instrumentos ópticos (Moran y McBratney, 1992; Sustaita *et al.*, 2000). Jungerious *et al.* (1985) aplicó por primera vez el análisis de imágenes para cuantificar la porosidad y observar su relación con el efecto de uso y manejo del suelo (Miedema, 1997). Hoy en día, es una técnica empleada en los diferentes trabajos de investigación para evaluar la porosidad y observar el efecto del manejo en los agregados y estructura del suelo (Pagliai *et al.*, 2004).

Porosidad Interna de Agregados

El análisis de la porosidad interna de agregados y terrones es un parámetro para evaluar el efecto de los sistemas de manejo en la estructura del suelo (Roger-Estrade *et al.*, 2004). La medición de la porosidad interna es fundamental para demostrar que existen diferencias entre los tipos de agregados, esto permite sustentar el uso del método para evaluar los efectos de varios factores que intervienen en la dinámica del manejo en el campo, como son compactación, fragmentación, clima y actividad biológica.

Los macroagregados pueden ser clasificados en tres tipos, en base a la importancia y origen de sus porosidades estructurales internas visibles (Roger-Estrade *et al.*, 2004):

- a) macroagregados tipo Δ : con porosidad estructural no visible; los agregados que lo constituyen están muy juntos debido al efecto de una severa compactación, esto repercute en una destrucción del espacio poroso de los inter-agregados. Cuando manualmente se rompen, estos macroagregados exhiben una fase de ruptura lisa.
- b) macroagregados tipo Γ : su porosidad estructural está claramente visible entre los agregados que le constituyen.
- c) macroagregados tipo Φ : estos se originan de los macroagregados Δ , presentan grietas debido al efecto del clima.

Variabilidad Temporal y Espacial de la Agregación

En la evaluación de calidad del suelo se deben considerar las dimensiones espaciales como temporales, ya que ninguna propiedad de suelo es continua, la tasa y frecuencia de cambio de éstas varía ampliamente. Bezdiceck *et al.* (1996) menciona una propuesta ampliamente usada en la evaluación de calidad edáfica, la cual consiste en determinar algunos atributos inherentes a un suelo sin disturbio antropogénico y utilizar éstos como referencia para evaluar su calidad, partiendo de la idea que ese suelo tiene las características ideales.

Variabilidad Temporal

El tiempo es importante por el efecto del clima (temperatura y humedad), las acciones humanas, la etapa de desarrollo vegetal y otros factores que incrementan la variabilidad temporal del indicador. El intervalo de tiempo apropiado para medir los cambios en un indicador de calidad del suelo está determinado por el tiempo que este indicador tarda en cambiar.

El clima afecta a la agregación del suelo a través de variaciones de temperatura y regímenes de humedad. El régimen de humedad es uno de los factores más importantes para la proliferación de microorganismos, principalmente para los hongos, porque ejercen una función predominante en la agregación del suelo (Pérez-Bolaún *et al.*, 2004). Por otro lado se ha observado que un incremento de aridez causa un decremento en la estabilidad del agregado (Lavee *et al.*, 1996). Las temperaturas calurosas producen una alta respiración de las especies vegetales y una mayor actividad biológica favoreciendo a la agregación del suelo, mientras que bajas temperaturas ocasionan una detención de la acción del carbono orgánico en la agregación del suelo (Franzluebbers *et al.*, 2001).

En regiones áridas factores como carbonatos, actividad biológica y encostramiento pueden incrementar la estabilidad de agregados (Boix-Fayos *et al.*, 2001). El encostramiento reduce la infiltración del agua, disminuye el desprendimiento de partículas

por consecuente causa menos erosión; este factor tiene un impacto positivo en la agregación del suelo (Amezketá, 1999). La humedad baja en el suelo ocasiona reducción de vegetación, esto promueve una disminución en el desarrollo de los agregados, por consiguiente, provoca una mayor susceptibilidad a la erosión.

En regiones húmedas factores como óxidos de hierro y aluminio, contenido de arcilla y capacidad de intercambio catiónico favorecen a la estabilidad de agregados (Chappell *et al.*, 1999). La vegetación en estas áreas es abundante, por tanto, se incrementa la concentración de carbono orgánico que mejora la estabilidad de agregados (Cammeraat y Imeson, 1998).

Las acciones humanas como la labranza, el manejo de residuos, la fertilización y la aplicación de abono intervienen en la agregación del suelo. La labranza puede aumentar los macroporos y biocanales que influyen en la disponibilidad y movimiento del agua (Boehm y Anderson, 1997). La colocación de residuos en la superficie del suelo disminuye la erosión, reduce la evaporación, protege del impacto de lluvia e incrementa un mayor número de agregados estables (Layton *et al.*, 1993). La aplicación de abono como el estiércol, es una gran fuente de carbono orgánico que proporciona incremento en la actividad biológica y en porosidad, esto mejora la estabilidad del agregado (Kay, 1998). La aplicación de fertilizantes generalmente favorece la agregación del suelo, sin embargo, bajo algunas condiciones los fertilizantes podrían disminuir la concentración de carbono orgánico y actividad microbiana, causando una menor agregación (Haynes y Naidu, 1998).

Variabilidad Espacial

Las propiedades del suelo varían ampliamente porque es un cuerpo heterogéneo, por consiguiente, el suelo se analiza en términos de los cinco factores responsables de la formación del suelo. En algunas ocasiones, los suelos son referidos de acuerdo al material parental que le dió origen, pero debe considerarse que sus características varían de acuerdo a la acción del clima, vegetación, topografía, tiempo y las actividades humanas. Por ello, Cammeraat y Imeson (1998) y Boix-Fayos *et al.* (2001) sugieren que el estudio de la

variabilidad espacial de la agregación del suelo se realice al interior de unidades integrales que involucren patrones de clima, unidad de suelo, vegetación y geomorfología. Un método que permite esta delimitación constituye el enfoque morfo-edafológico.

Enfoque Morfo-Edafológico

Las unidades morfo-edafológicas son porciones de territorio que poseen una estructura, dinámica y atributos específicos, es una expresión de los sistemas naturales (Cotler, 2003). La estructura representa la organización espacial de las unidades, en términos del arreglo de las formas de relieve. La dinámica se refiere a los procesos de morfogénesis o pedogénesis que se llevan a cabo en el material parental y dan ciertas características particulares al suelo, estas permiten entender si un medio es estable o inestable (Geissert, 2000). Los atributos específicos se clasifican de acuerdo a las características presentes en el medio en términos de pendiente, vegetación y uso del suelo, etc. (Geissert y Rossignol, 1987).

El método morfo-edafológico fue ideado para proporcionar un conocimiento integral del medio natural, que permite llegar rápidamente a un diagnóstico global de la complejidad del medio ambiente y de los principales problemas de ordenamiento como de conservación de tierras (Cotler, 2003). Este es el resultado de una búsqueda metodológica realizada por geomorfólogos y edafólogos, con el fin de obtener nuevas herramientas de evaluación del suelo para la planeación de su uso. El enfoque morfo-edafológico ha sido aplicado con éxito desde hace varios años en diversos países tropicales incluyendo a México (Geissert *et al.*, 1994; Geissert, 2000).

El uso de unidades morfo-edafológicas se ha empleado para la evaluación de la calidad del sitio (Cotler *et al.*, 2002) y constituye una herramienta de evaluación del suelo para la planeación del uso. Este tipo de estratificación del ambiente es suficientemente flexible para incorporar otras variables, como la vegetación y el uso del suelo, permitiendo la generación de unidades de paisaje. La unidad del paisaje se conceptualiza como la

unidad mínima cartografiable que permite denotar espacialmente los principales componentes de un ecosistema.

Conclusiones de la Revisión de Literatura

Los suelos de ecosistemas tropicales secos están expuestos a diferentes procesos de degradación a causa del intenso cambio de uso del mismo, como es de bosque tropical caducifolio a áreas de pastizales y de cultivo. El suelo en el ecosistema es considerado como medio de soporte para la vida por lo cual es necesario preservar e incrementar su calidad. Una de las herramientas que permiten lograr lo anterior, es mediante la creación de indicadores de calidad.

La agregación del suelo es considerado una excelente herramienta para evaluar la calidad del mismo, porque proporciona información de la capacidad que tiene para funcionar en el ecosistema, es fácil de medir, sensible a variaciones de clima, manejo y detecta cambios en el suelo como resultado de la degradación antropogénica. La agregación del suelo esta relacionada con algunas propiedades edáficas como son: el carbono orgánico, contenido de arcilla, mineralogía arcillosa, iones intercambiables, cementantes inorgánicos, actividad microbiana y las raíces. El análisis de la porosidad interna de agregados y terrones es un parámetro para evaluar el efecto de los sistemas de manejo en la estructura del suelo.

Los indicadores de agregación permiten evaluar el efecto de cambio en la calidad del suelo como resultado del manejo inadecuado del mismo, provocando susceptibilidad a la erosión. Son parámetros que permiten evaluar el estado actual o estado de degradación en que se encuentra el suelo.

En la evaluación de la calidad del suelo se deben considerar las dimensiones espaciales como temporales, ya que ninguna propiedad de suelo es continua, la tasa y frecuencia de cambio de éstas varía ampliamente. Por ello, se sugiere que el estudio de la agregación del suelo se realice al interior de unidades integrales que involucren patrones de clima, unidad de suelo, vegetación y geomorfología. Un método que permite esta delimitación constituye el enfoque morfo-edafológico.

III. OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar temporal y espacialmente la agregación del suelo en una unidad morfo-edafológica representativa con tres usos de suelo característicos del ecosistema tropical seco, en la costa de Jalisco, México.

Objetivos Específicos

- Realizar el mapa morfo-edafológico de la zona de estudio.
- Determinar el efecto de uso del suelo en la agregación del suelo y otras propiedades físicas, químicas, biológicas y establecer la relación entre la agregación del suelo y las propiedades edáficas.
- Evaluar el efecto de la posición en la agregación del suelo y en las propiedades edáficas.
- Evaluar el efecto de la época de muestreo en la agregación del suelo y en las propiedades edáficas.
- Obtener indicadores de agregación.

IV. HIPÓTESIS

- El manejo de una misma unidad morfo-edafológica, hace que su agregación y sus propiedades edáficas difieran.
- A mayor concentración de carbono orgánico y volumen de raíces, la estabilidad de los agregados es mayor.
- Las muestras de suelo colectadas en la posición alta y baja de la ladera, difieren en su agregación y en sus propiedades edáficas.
- La época de muestreo hace que la agregación del suelo y las propiedades edáficas difieran.
- Los indicadores de agregación permiten diferenciar el efecto de uso del suelo, el efecto de la posición y el efecto de la época de muestreo.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del Área de Estudio

Localización Geográfica

El área de estudio se localiza en la cuenca de Cuixmala, al suroeste del estado de Jalisco, México. La ubicación geográfica es: 19° 29' a 19° 34' latitud norte y los meridianos 104° 58' a 105° 04' longitud oeste y su extensión 1089.27 km² (Figura 3). Abarca parte de los municipios de Purificación y la Huerta, donde destacan las poblaciones y rancherías de Francisco Villa, Emiliano Zapata, San Miguel, Jirosto, La Eca, San Miguelito, Nacastillo, Los Achotes y Espinos del Judio.

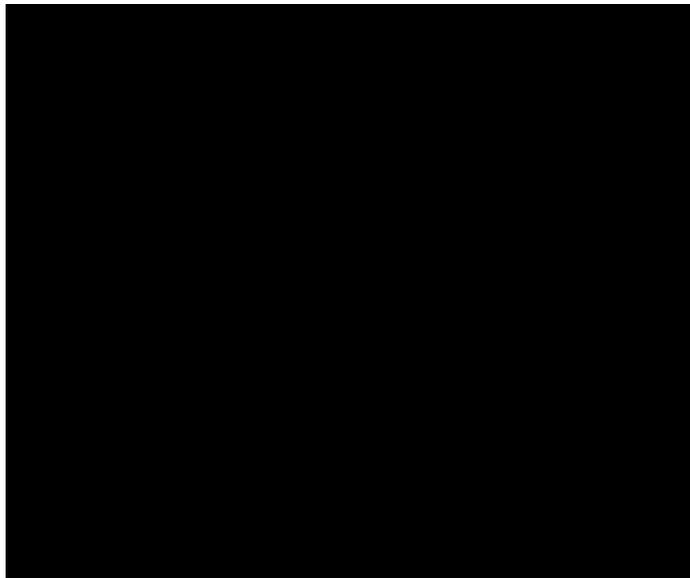


Figura 3.

Ubicación de la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Relieve

En la zona se distinguen cinco formas de relieve a nivel regional de acuerdo a la altitud: las montañas se extienden entre 500 a 100 msnm, los lomeríos desde 100 a 40 msnm, las colinas de 40 a 15 msnm, las llanuras de 15 a 2.5 msnm y las planicies menores de 2.5 msnm. La distribución de cada relieve que se encuentra en la cuenca se puede observar en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Distribución del relieve en la cuenca de Cuixmala

Unidad de Relieve	Superficie (km ²)	Área Relativa (%)
Montañas	761.2	69.8
Lomeríos	257.6	23.6
Colinas	51.1	4.6
Llanuras	10.4	0.9
Planicies	8.7	0.8
Total	1089.2	100

Nota: Los datos mencionados fueron obtenidos a partir de la cobertura de disección vertical hecha en el presente estudio.

Geología

El origen geológico de la cuenca de Cuixmala es volcánico y sedimentario (Cuadro 7). Entre las rocas de origen ígneo se encuentra principalmente el granito, seguido por basalto, andesita, riolita, toba y roca volcano-clástico. Los materiales sedimentarios están compuestos por calizas, areniscas-conglomerados, además de sedimentos aluviales y residuales. En el área existen litorales y zonas lacustres.

Cuadro 7. Distribución de la geología en la cuenca de Cuixmala

Unidad de Geología	Superficie (km ²)	Área Relativa (%)
Granito	866.5	79.5
Aluviales	62.6	5.7
Calizas	53.0	4.8
Volcano Clástico	51.7	4.7
Areniscas-Conglomerados	27.3	2.5
Residuales	15.6	1.4
Toba	5.6	0.5
Riolita	2.2	0.2
Lacustre	1.5	0.1
Litorales	1.1	0.1
Basalto	1.0	0.09
Andesita	0.6	0.06
Total	1089.27	100

Fuente: INEGI, 1975

Clima

La temperatura media anual es 24.9 °C. La precipitación media anual es 748 mm, de la cuál 80% se concentra durante los meses de verano (julio a noviembre), los meses de máxima precipitación son agosto y septiembre. Los climas de la región están listados en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Distribución del clima en la cuenca de Cuixmala

Subtipo Climático	Formula Climática	Superficie (km ²)	Área Relativa (%)
Calido subhúmedo el más húmedo	Aw ₂	626.5	57.5
Calido subhúmedo el intermedio en humedad	Aw ₁	129.9	11.9
Calido subhúmedo el más seco	Aw ₀	263.3	24.1
Semicalido Subhúmedo	(A)C(w ₂)	5.7	0.5
Semiárido Cálido	BS ₁ (h')w	63.6	5.8
---	Total	1089.2	100

Fuente: García (1998)

Hidrología

La cuenca Cuixmala se encuentra en la región hidrológica 15 de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua. La cuenca es exorreica, su corriente principal es el río Cuixmala, tiene una longitud aproximada de 105 km, corre en dirección al noreste-suroeste y desemboca en el Pacífico. El río Cuixmala obtiene el aporte de un gran número de corrientes perennes e intermitentes, entre las que destacan los ríos: El Horno, El Carrizo, El Veladero, San Miguel y Tepetate, y los arroyos de Sila, San Luis, Telpitita, El Tene, El Cuate, Los Metates y Las Truchas (Cortés, 2001).

Suelos

Los factores de formación del suelo en la cuenca son variables, por consiguiente, existe una amplia gama de condiciones edáficas para el desarrollo de la vegetación natural, las actividades agrícolas y pecuarias. Los suelos que se han desarrollado son principalmente Regosol, Phaeozem, Leptosol, Cambisol, Fluvisol, Solonchak, Vertisol, Luvisol y Gleysol (INEGI, 1975; Cotler *et al.*, 2002).

Cuadro 9. Distribución de los suelos en la cuenca de Cuixmala

Unidad de Suelo	Superficie (km ²)	Área Relativa (%)
Regosol	831.2	76.3
Phaeozem	140.8	12.9
Leptosol	59.9	5.5
Cambisol	27.7	2.5
Fluvisol	14.1	1.2
Solonchak	5.6	0.5
Vertisol	3.7	0.3
Luvisol	3.0	0.2
Gleysol	2.7	0.2
Total	1089.2	100

Fuente: INEGI, 1975

Vegetación

La región de Cuixmala es una de las más importantes en el país desde el punto de vista biológico, ya que presenta un gradiente de ambientes desde los muy húmedos como el manglar, hasta los secos estacionales como la selva baja. Además, esta región mantiene una alta diversidad de especies y contiene las mayores concentraciones de taxa endémicos del país (Martínez-Yrizar *et al.*, 2000; Noguera *et al.*, 2002). Existen numerosos tipos de vegetación como selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia, selva mediana subperennifolia, pastizales, carrizal, vegetación riparia, vegetación acuática, vegetación de dunas costeras y manglar.

Lott *et al.* (1987) mencionan que la región contiene especies endémicas como árboles (*Sciadodendron excelsum*, *Jatropha chamelensis*, *Celanodendron mexicanum*), cactus (*Penicereus cuixmalensis* y *Opuntia excelsa*) y otras especies (p.ej. *Agave colimana*), también se observan especies conspicuas como el ciruelillo (*Phyllanthus elsiae*) y la anona (*Annona glabra*). De acuerdo a Castillo y Gómez-Pompa, 1991, algunas especies presentes de la selva baja caducifolia son el iguanero (*Caesalpinia eriostachys*), cuachalalate (*Amphypterigium adstringens*) y cascalote (*Caesalpinia alata*), y en la selva mediana subcaducifolia las especies fueron el cedro macho (*Sciadodendrom excelsum*), ramón (*Brosimum alicastrum*), palma de coquito (*Orbignya cohune*) y primavera (*Tabebuia donnell-smithi*). La selva mediana subperennifolia se presenta solamente en áreas localizadas, entre las especies arbóreas más importantes están *Brosimum alicastrum*, *Astronium graveolens*, *Couepeia polyandra*, *Tabebuia donnell-smithii* y *Ficus sp.* En pastizales se encuentran las especies de *Cathestecum breviflorum*, *Setariopsis auriculata*, *Aristida adscencionis*, *Diectomis fastigiata*, *Digitaria ciliaris*. El manglar y los humedales son la vegetación más dominante en las lagunas, canales y zonas pantanosas de la planicie costera. Las especies de mangle principales son *Laguncularia racemosa* y *Rhizophora mangle*.

Uso del Suelo

Los usos de suelo en la cuenca Cuixmala son la agricultura de temporal, agricultura de riego, cultivo de pastizales y ganadería extensiva. Asimismo como consecuencia del uso, el suelo presenta un proceso de cambio debido al incremento de la intervención antrópica, esto ha provocado un aumento en las superficies agrícolas y pecuarias, pero también ha ocasionado disminución de las áreas de bosque y selva. La comparación de información sobre uso del suelo de los trabajos de INEGI (1976) y Palacio *et al.* (2000) correspondiente al Inventario Forestal Nacional (2000) se puede observar en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Distribución del uso de suelo en la cuenca de Cuixmala

Uso del Suelo	INEGI (1976)	INEGI (1976)	Palacio <i>et al.</i> (2000)	Palacio <i>et al.</i> (2000)
	Escala 1:250,000 Superficie km ²	Área Relativa (%)	Escala 1:250,000 Superficie km ²	Área Relativa (%)
Agrícola	69.2	6.3	117.4	10.7
Pecuario	155.4	14.2	293.5	26.9
Bosque	211.9	19.4	190.6	17.5
Selva	636.9	58.4	480.3	44.0
*Otros	15.6	1.4	5.1	0.4
Cuerpos de Agua	-----	-----	1.0	0.09
Asentamientos Humanos	-----	-----	1.0	0.09
Total	1089.2	100	1089.2	100

*Otros: Tular, Matorral, Manglar, Vegetación de Dunas Costeras, Vegetación Halófila.

Cartografía Morfo-Edafológica

El mapa morfo-edafológico se elaboró mediante el método utilizado en Cotler *et al.* (2002) llevándose a cabo las siguientes fases:

a) Gabinete: Recopilación de información cartográfica de INEGI a escala 1:50,000 (mapas topográficos, geológicos, edafológicos, uso del suelo y vegetación). Esta información se digitalizó empleando sistemas de información geográfica (SIG) y se incorporó a una base de datos. La cobertura de clima utilizada en este estudio fue elaborada por García (1998) a escala 1:1,000,000.

b) Modelación del Relieve: A partir de la cobertura topográfica (digitalizada) se construyó la cobertura de disección vertical (relieve) y de pendientes mediante el programa Arc/Info (SIG).

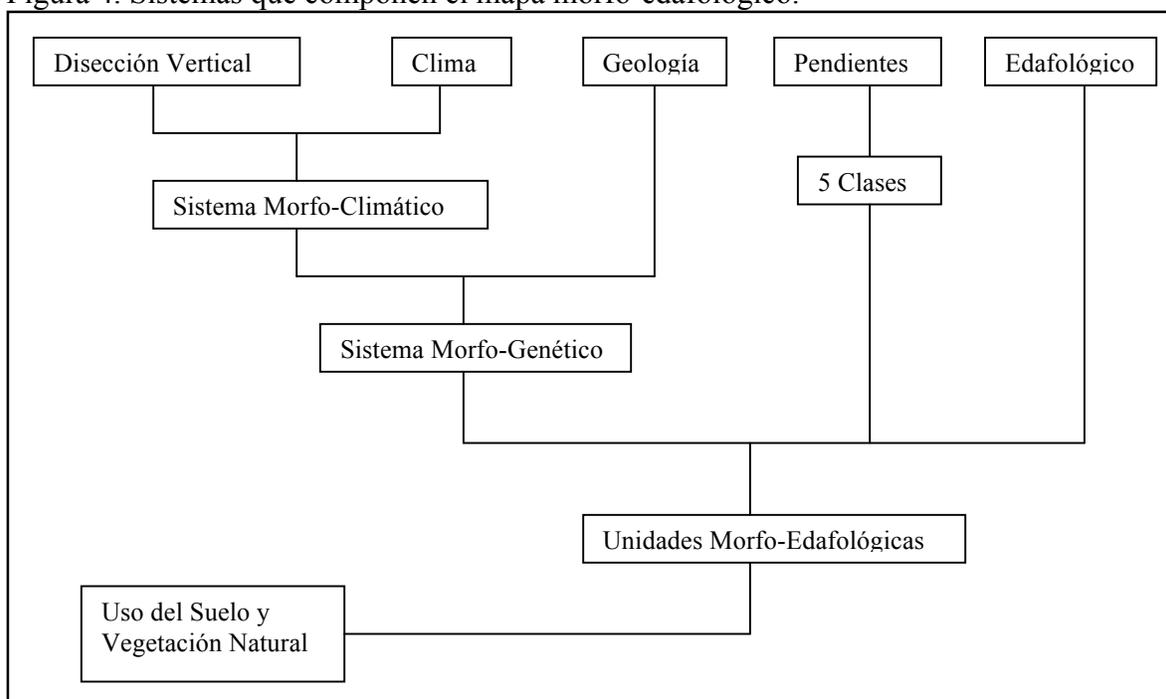
c) Fase de Integración: El mapa morfo-edafológico se obtiene de una cartografía inductiva y no de un procedimiento deductivo de sobreposición de mapas. Las unidades morfo-edafológicas no son el producto de la adición de unidades fisiográficas, de suelos y vegetación, sino el resultado de un proceso progresivo de la formación de unidades a través del entendimiento de los diferentes componentes de formación del suelo, permitiendo hacer unidades sintéticas, mientras que el proceso de sobreposición de mapas sólo conduce a unidades fragmentadas (Geissert, 1995).

El cruce de coberturas se hizo en forma secuencial bajo el principio de los factores de formación del suelo para la obtención de los diferentes sistemas (Figura 4), en este proceso se empleo Arc View 3.1 (SIG). En cada uno de los cruces se aplicó el criterio de área mínima cartografiable que en este caso fue de 6.25 ha. A cada una de estas unidades finales se le asignó los atributos más predominantes de uso de suelo y vegetación.

d) Análisis de la Información: Consistió en visualizar la estratificación de las diferentes unidades morfo-edafológicas y evaluar cuál era la unidad más representativa del área de estudio.

e) Validación de las Unidades Morfo-Edafológicas: En el terreno se verificaron las diferentes unidades morfo-edafológicas del mapa preliminar, con varias observaciones de campo para la corrección de los límites (Sólo se hizo para la unidad a evaluar).

Figura 4. Sistemas que componen el mapa morfo-edafológico.



f) Edición del Mapa Final: Concernió a la elaboración de la leyenda y la edición de un mapa final donde se visualiza el área de estudio con sus respectivas unidades morfo-edafológicas.

Muestreo de Suelos

La selección de los sitios de muestreo se hizo mediante el criterio de unidad morfo-edafológica, empleado por Cotler *et al.* (2002) debido a que cada unidad presenta procesos de morfogénesis-pedogénesis homogéneos, a causa de los patrones de clima, relieve, litología, topografía, unidad de suelo y uso del suelo. De acuerdo al resultado obtenido en la cartografía morfo-edafológica, la unidad morfo-edafológica más representativa de la zona de estudio fue Ladera sobre granito con Regosol eútrico como suelo representativo. Esta unidad se evaluó con tres usos de suelo característicos del área de estudio: bosque tropical caducifolio (BTC) conservado, BTC pastoreado y Pastizal cultivado. Quedando finalmente la unidad morfo-edafológica con tres usos de suelo distintos: Ladera sobre granito con BTC conservado, Ladera sobre granito con BTC pastoreado y Ladera sobre granito con Pastizal cultivado. Las características generales de los sitios muestreados se pueden observar en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Características generales de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Características	Ladera sobre granito con BTC Conservado	Ladera sobre granito con BTC Pastoreado	Ladera sobre granito con Pastizal cultivado
Coordenadas UTM	19°29'28'' LN 104°56'14'' LW	19°38'55'' LN 104°49'35'' LW	19°36'2.4'' LN 104°52'29.2'' LW
Exposición	168° S-SE	220° S-SE	236° S-SW
Geoforma	Ladera de lomerío	Ladera de lomerío	Ladera de lomerío
Material Parental	Granito	Granito	Granito
Pendiente Promedio	12°	12°	13°
Vegetación Natural	Selva Baja Caducifolia, cactáceas, "higuanero", "barcino", "tahuitale".	Selva Baja Caducifolia "huazuma", "acahual", "sabebull", "espino blanco".	Pasto Andropon
Signos de Erosión	Ligero arrastre de hojarasca, acumulación hojarasca en algunos arbustos, distribución hojarasca en forma continua.	Acumulación de partículas sólidas en los tallos de los árboles.	Acumulación de partículas sólidas en los bordes de los macollos.
Antecedentes	Sin disturbio antropogénico.	Actividad de ganado desde hace 10 años, evidencias de excrementos, pisadas de ganado y presencia de ramoneo.	Cultivado desde hace 10 años, práctica de quema cada 2 años, pastoreo por el ganado.

BTC = Bosque tropical caducifolio

En cada uso de suelo se colectaron un total de 12 muestras, correspondiente a seis de la época de secas y seis de la época de lluvias. De las cuales, tres muestras se tomaron al azar en la parte alta y tres en la parte baja de la ladera en su respectiva época de muestreo.

En cada unidad de estudio seleccionada se hizo una verificación de la unidad morfoedafológica mediante la realización de un pozo pedológico, para constatar la presencia de procesos de formación derivados de granito. El horizonte superficial se describió utilizando la guía de Siebe *et al.* (1995). La colecta de muestras para el estudio de la agregación del suelo se realizó mediante el empleo de cajas de tetrapak para mantener la estructura del suelo inalterada. La colecta de muestras para el análisis de propiedades edafológicas se hizo con pala y bolsas de plástico.

Las determinaciones de laboratorio que se hicieron para el estudio de la agregación del suelo fueron la distribución de agregados en seco, estabilidad de agregados en húmedo, y porosidad interna de macroagregados (1mm). El análisis de las propiedades edafológicas consistió en propiedades físicas (humedad, densidad aparente, porcentaje de arcilla y porosidad total), propiedades químicas (pH, carbono orgánico, bases intercambiables), propiedades biológicas (biomasa de raíces en seco y húmedo) y mineralogía arcillosa.

Agregación del Suelo

Distribución de Agregados en Seco

La distribución de agregados en seco se cuantificó por el método de tamizado en seco propuesto por Savinov (1936). En una muestra de suelo de 100 g tamizada a malla de 8 mm, se eliminaron los residuos, raíces y piedras. Mediante un agitador eléctrico se tamizó la muestra a través de una serie de mallas (4.76, 3.36, 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 mm de diámetro) y se colocó en la parte inferior un receptor. Las muestras se agitaron durante 10 minutos. Los tamices se separaron individualmente, se pesó la fracción retenida en cada tamiz y se calculó su contenido proporcional.

$$M_{si} = [M_{ssi} / M_{ss}] * 100$$

donde:

M_{si} = Agregados retenidos en cada tamiz (%)

M_{ssi} = Masa de los agregados del suelo seco en cada tamiz (g)

M_{ss} = Masa total del suelo seco (g)

Estabilidad de Agregados en Húmedo

La estabilidad de agregados en húmedo se evaluó por el método Yoder modificado por Kemper y Rosenau (1986). Una muestra de suelo de 100 g tamizada a malla de 8 mm, se colocó en una columna de mallas (4.76, 3.36, 2.0, 1.0, 0.5 y 0.25 mm de diámetro) que estuvo oscilando en subidas y bajadas en agua a una velocidad de 30 oscilaciones por minuto por un periodo de 10 minutos. La fracción retenida en cada tamiz se colocó en frascos de vidrio y se secó a 105°C durante 24 horas. Para eliminar la fracción de arena se agregó hexametáfosfato de sodio (15 a 20 ml) y se dejó reposar durante 24 hrs. El producto anterior se pasó por el tamiz que le corresponde y el remanente se secó a 105°C durante 24 horas para luego obtener su peso. De esta manera el material que no es agregado (arenas) se le restó a la fracción primaria.

$$A_{ew} = [P_a / (P_s - P_{are})] * 100$$

donde:

A_{ew} = Agregados estables al agua (%)

P_a = Peso de agregados retenidos en cada tamiz (g)

P_s = Peso del suelo (g)

P_{are} = Peso de las arenas (g)

Macro y Micro Agregados

Los macro y microagregados explican el comportamiento general del suelo a la acción de una actividad de manejo. Estos se obtuvieron para la condición en seco y en húmedo a partir de la distribución y estabilidad de agregados. La suma de los agregados >1

mm se consideraron macroagregados, mientras que la suma de los agregados <1 mm se denominaron microagregados (Cotler y Ortega-Larrocea, 2006).

Porosidad Interna de Macro-Agregados

La porosidad interna de los macroagregados se determinó por el método propuesto por Roger-Estrade *et al.*, 2004. La selección de macroagregados fue aproximadamente de 1 mm, los cuales se partieron a la mitad y se situaron en el microscopio para su observación con el objetivo 2x. Para la cuantificación de porosidad interna se aplicó la técnica de análisis de imágenes con el paquete de computo IMAGE-PRO-PLUS Versión 5.0 para Windows. El procedimiento consistió en utilizar una cámara montada en un estereoscopio, ésta se conectó a una computadora con interfase para el programa IMAGE-PRO-PLUS, lo cual permitió captar la imagen a partir del microscopio, fotografiarla y archivarla para posteriores análisis. Mediante la imagen captada y el uso del programa con la función count/size, se cuantificó la porosidad interna de agregados (León-González *et al.*, 2006).

Propiedades Edáficas

Propiedades Físicas

Contenido de Humedad

La humedad en campo se cuantificó gravimétricamente. En un bote de aluminio (250 cm³) previamente tarado (peso A), se colocó una muestra de suelo y se volvió a pesar (peso B), posteriormente se puso a secar a 105°C durante 24 hrs. El bote se dejó enfriar a temperatura ambiente para después pesarse (peso C). El contenido de humedad en porcentaje se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad (\%H)} = \left(\frac{(\text{Peso B-A}) - (\text{Peso C-A})}{\text{Peso C-A}} \right) \times 100$$

Densidad Aparente

La densidad aparente se evaluó con el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986a), que consiste en obtener una muestra de suelo de volumen conocido con un recipiente cilíndrico, este volumen fue de 250 cm³. El suelo se secó a 105°C por 24 hrs, posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó (peso A).

$$Da \text{ (Mg m}^{-3}\text{)} = A / 250 \text{ cm}^3$$

Densidad Real

La densidad real se determinó con el método del picnómetro (Blake y Hartge, 1986b). Matraces de 25 ml se pesaron (peso A). En el interior del matraz se colocaron 5 g de suelo (peso B). Agua destilada hervida y fría se adicionó hasta la mitad del matraz y se colocó en el desecador de vacío durante 15 minutos para eliminar todo el aire retenido en el suelo. La succión de la bomba se fue incrementando paulatinamente para evitar pérdidas de material por formación de espuma. En el desecador se dejó reposar por 30 minutos y se eliminó el vacío del desecador paulatinamente, después se sacó el matraz y se llenó hasta aforarlo con agua destilada (peso C). Finalmente, el matraz se enjuagó y se aforó con agua destilada (peso D).

$$Dr \text{ (Mg m}^{-3}\text{)} = \frac{(B - A)}{(B - A) - (C - D)}$$

Porosidad Total

El cálculo de porosidad total se calculó a partir de los datos de densidad aparente (Da) y densidad real (Dr) descritos anteriormente y se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$Pt \text{ (\%)} = (1 - [Da/Dr]) * 100$$

Análisis Mecánico

El análisis mecánico se determinó por el método de la Pipeta (FAO, 1984). A una muestra de suelo seco de 50 g tamizado a malla de 2 mm, se le adicionó 20 ml de agua destilada y 30 ml de peróxido de hidrógeno para eliminar la materia orgánica. Esta muestra se colocó en la plancha a una temperatura de 60° para acelerar la oxidación de la materia orgánica y eliminar el exceso de agua como de peróxido de hidrógeno. Posteriormente se puso a secar a 105°C por 24 horas. La muestra se molió, en seguida se pesó 10 g de suelo y se añadió 10 ml de hexametáfosfato de sodio más 100 ml de agua destilada para dejar reposar por 10 minutos. Mecánicamente se agitó por 15 min y se realizó el lavado de arenas con el tamiz de 0.05 mm, el suelo retenido en el tamiz se pasó a un vaso de precipitados y se secó a 105°C por 24 hrs, después se pesó. La solución de suelo que pasó la malla de 0.05 mm se depositó en una probeta de 1 litro y se aforó con agua destilada, se agitó mecánicamente un minuto para posteriormente tomar una alícuota de 25 ml a los 15 cm de la parte superior de la probeta para la obtención de limos más arcillas, se seco a 105°C por 24 hrs y se pesó. A las ocho horas se tomó una segunda alícuota de 25 ml para obtener las arcillas y se hizo el mismo procedimiento que el anterior. La preparación del blanco consistió en colocar 10 ml de hexametáfosfato en una probeta y aforar a 1 litro con agua destilada, se obtuvo la primera y segunda alícuota, se secó a 105°C por 24 hrs y se pesó.

$$\text{a) \% Arenas} = [(\text{Peso Vaso} + \text{Arenas}) - (\text{Peso del Vaso})] * 10$$

$$\text{b) \% Limos} + \text{Arcillas} = [[(\text{Peso Vaso} + \text{1er Alícuota}) - (\text{Peso del Vaso})] * 400] - \% \text{ Blanco}$$

$$\text{c) \% Arcillas} = [[(\text{Peso Vaso} + \text{2da Alícuota}) - (\text{Peso del Vaso})] * 400] - \% \text{ Blanco}$$

$$\text{d) \% Limos} = [(\% \text{Limos} + \text{Arcillas}) - (\% \text{Arcillas})]$$

Propiedades Químicas

Reacción del Suelo (pH)

El pH se determinó en agua (relación 1:2) con un potenciómetro Conductronic pH 20. Una muestra de suelo de 10 g tamizado en malla de 2 mm, se colocó en un vaso de precipitados de 50 ml, se adicionó 20 ml de agua destilada y se agitó de forma manual por 1 minuto con una varilla de vidrio. La suspensión se dejó reposar por 15 minutos y se repitió la operación. La lectura se hizo a los 30 minutos de la primera agitación después de volver a agitar vigorosamente la suspensión suelo-agua.

Carbono Orgánico por Combustión Seca

El carbono orgánico se realizó por el método de combustión seca (Etchevers, 1988). Una muestra de suelo de 3 g tamizado en malla del No. 100 y libre de residuos vegetales y animales visibles al ojo, se secó a 105°C por 24 hrs. Posteriormente se almacenó en un desecador de vidrio. En crisoles de porcelana se pesó 0.80 g de muestra y se fueron colocando en el horno del módulo de sólidos del autoanalizador de carbono donde fueron sometidos a un proceso de combustión seca a una temperatura de 900°C por un periodo de 3 a 4 min. El CO₂ desprendido de la muestra se registró por medio de un sensor infrarrojo. El carbono orgánico del suelo se cuantificó mediante un autoanalizador de carbono marca Shimadzu, modelo TOC-5050A, el cual cuenta con un software que permite obtener de manera directa el contenido de carbono orgánico a partir de una curva de calibración hecha con sacarosa.

Bases Intercambiables

Las bases intercambiables se evaluaron con el método acetato de amonio 1N pH 7.00 (Sumner y Millar, 1996). Una muestra de suelo de 5 g tamizado en malla de 2 mm, se colocó en una jeringa que contenía fibra de vidrio y se situó en el extractor. Posteriormente se hicieron dos lavados de 50 ml con acetato de amonio 1N pH 7.00. Esta solución se

depositó en matraces de 100 ml y se aforó con la solución extractora. La solución obtenida se utilizó para las respectivas diluciones y se mantuvieron en refrigeración hasta la cuantificación de calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiables por espectrofotometría de absorción atómica, mediante un Spectronic Varian 2000.

Propiedades Biológicas

Biomasa de Raíces

La biomasa de raíces se cuantificó con la metodología empleada en Castellanos *et al.* (2001). En una muestra de suelo de 1 kg., se realizó la separación de raíces con la mano para las raíces más grandes y con el tamiz de 1 mm para las raíces finas. Posteriormente se lavaron las raíces con la finalidad de que no tuvieran suelo impregnado y se dejaron a temperatura ambiente. El volumen radical se obtuvo mediante el principio del volumen desplazado. La medición se hizo en una probeta con agua y las unidades se expresaron en cc. La evaluación de biomasa raíces húmedas se efectuó al secarse las raíces a temperatura ambiente y la biomasa de raíces secas al término del secado a 70°C.

Mineralogía Arcillosa

La mineralogía arcillosa se determinó con el método de Rayos X. En una muestra de suelo de 20 g tamizado a malla de 2 mm, se hizo una previa eliminación de materia orgánica con H₂O₂ al 30% a 70°C. La solución se decantó en una probeta de 1 litro, se aforó y se agitó 40 veces, a las 16 horas se sifoneó a una altura de 15 cm. Posteriormente se centrifugó a 3500 rpm durante 20 minutos. La solución de suelo colectada se empleó para impregnar portaobjetos previamente etiquetados de cada sistema. Estos se pusieron a secar a temperatura ambiente. Unas muestras fueron tratadas con etilén glicol y otras se calcinaron a 400°C durante 2 horas en una mufla. Finalmente, se utilizó un difractómetro de rayos X a una resolución de 2k, estos iniciaron desde 35° a 2° (2 θ). Las reflexiones (picos) de los difractogramas se identificaron usando las fichas reportadas en el Mineral Powder Diffraction File (1980).

Evaluación del Efecto de la Posición

La colecta de muestras de suelo de las posiciones altas y bajas de los usos de suelo dió como resultado un total de 18 muestras en la parte alta y 18 en la parte baja. Esto permitió evaluar el efecto de la posición en la agregación del suelo y en las propiedades edafológicas.

Evaluación de la Época de Muestreo

Para evaluar el efecto de la época de muestreo en el comportamiento de los agregados del suelo y en las propiedades edafológicas, el muestreo se realizó en dos momentos climáticos contrastantes, al término de la época de lluvia (octubre del 2004) y durante la época se secas (mayo del 2005). En cada época de muestreo se obtuvo 18 muestras de suelo, las cuales corresponden a las colectadas en los usos de suelo.

Indicadores de Agregación

Estado Estructural del Suelo (EES)

El coeficiente de estructuración del suelo se calculó mediante la suma del peso de los agregados de tamaño óptimo (0.25 a 4.75 mm) entre el peso total de la muestra (Navarro *et al.*, 2000).

$$EES = ([\sum Pa \text{ 0.25 a 4.75}] / \text{Peso Total de la Muestra}) * 100$$

donde:

EES = Estado Estructural del Suelo (%)

Pa = Peso de agregados (g)

Diámetro Medio Ponderado (DMP)

El diámetro medio ponderado se calculó mediante el porcentaje de agregados retenidos en cada tamiz, es decir, se basa en las masas de los agregados de determinado tamaño (Kemper y Rosenau, 1986).

$$\text{DPM} = \frac{[\sum(M_{si} * X_i)]}{\text{Peso de la muestra}}$$

donde:

DPM = Diámetro ponderado medio (mm)

M_{si} = Agregados retenidos en cada tamiz (g)

X_i = Promedio del diámetro de abertura del tamiz (mm)

Índice de Estabilidad de Agregados (ASI)

El indicador ASI se calculó mediante el registro de los datos experimentales en una tabla de transición (Niewczas y Witkowska, 2003a). La tabla de transición es propiamente una forma modificada de una matriz de transición. Las matrices de transición son usadas en la teoría de probabilidad y en operaciones de investigación (Hillier y Lieberman, 1990). En este estudio se consideraron seis clases de agregados: primera (>4.76 mm); segunda (4.76-3.36 mm); tercera (3.36-1.00 mm), cuarta (1.00-0.50 mm); quinta (0.50-0.25 mm) y sexta (<0.25 mm). En este método se asume que agregados de clases particulares podría no llegar hacer agregados de clases más altas, pero si pueden permanecer en la misma clase o convertirse a agregados de clases más bajas.

Los datos que se consideraron para hacer el análisis de estabilidad son las frecuencias relativas (son igual al porcentaje de contribución de las fracciones particulares de agregados divididos por 100):

- $p_i = [p_1, p_2, \dots, p_k]$: distribuciones de entrada (antes de la ocurrencia del factor de destrucción) de frecuencias de agregados.
- $p_{.j} = [p_{.1}, p_{.2}, \dots, p_k]$: distribuciones de salida (después de la ocurrencia del factor de destrucción) de frecuencias de agregados.

- $p_{ij} = [p_{ij}]$ ($i = 1, 2, \dots, k; j = i, i + 1, \dots, k$): dos dimensiones de distribución de frecuencias de agregados.

El número p_{ij} muestra cual es la porción de peso de la muestra de suelo que permanece bajo la destrucción del factor en la misma clase ($j = 1$) o se descompone ($j > i$), pasando de la clase i a una de las siguientes clases j . Estos datos son obtenidos durante el desarrollo del experimento. Las frecuencias $p_i, p_{.j}$ y p_{ij} son tratados como probabilidades empíricas de eventos respectivamente al azar. En el Cuadro 12 se presenta la tabla de transición para las seis clases de agregados, con sus respectivas columnas de dos dimensiones de distribución. Este análisis permite tener un balance en todas sus columnas, y cada celda de la tabla de transición está definida por un par específico de clases de entrada y salida. La asignación de pesos en forma diagonal es una medida de estabilidad, estos se consideran dentro de todas las frecuencias de distribución y es para diferenciar la importancia del significado de los elementos consecutivos.

Cuadro 12. Tabla de transición para la obtención del indicador ASI (Niewczas y Witkowska, 2003a).

>4.76 mm p1.	4.76-3.36 mm p2.	3.36-1.00 mm p3.	1.00-0.50 mm p4.	0.50-0.25 mm p5.	<0.25 mm p6.	Suma todas clases (p=1)
32						>4.76 mm p.1
16	32					4.76-3.36 mm p.2
8	16	32				3.36-1.00 mm p.3
4	8	16	32			1.00-0.50 mm p.4
2	4	8	16	32		0.50-0.25 mm p.5
1	2	4	8	16	32	<0.25 mm p.6

$$p_1 = p_{11} + p_{12} + p_{13} + p_{14} + p_{15} + p_{16}; p_4 = p_{44} + p_{45} + p_{46}$$

$$p_{.1} = p_{11}; p_{.4} = p_{14} + p_{24} + p_{34} + p_{44}$$

$$p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6 = 1$$

$$p_{.1} + p_{.2} + p_{.3} + p_{.4} + p_{.5} + p_{.6} = 1$$

$$w_0 = 32, w_1 = 16, w_2 = 8, w_3 = 4, w_4 = 2, w_5 = 1$$

$$d_0 = (p_{11} + p_{22} + p_{33} + p_{44} + p_{55} + p_{66}) * 32; d_4 = (p_{15} + p_{26}) * 2$$

El indicador ASI es una suma de productos de las frecuencias de distribución diagonal y pesos: $ASI = d_0 w_0 + d_1 w_1 + \dots + d_5 w_5$. Los valores de la escala del ASI tienen un rango [1:32]. El valor más alto del $ASI=32$, representa estabilidad completa de agregados después del factor de destrucción, esto significa que las distribuciones de agregados antes del impacto es el mismo después del efecto. El valor más bajo del $ASI = 1$,

corresponde a las estabilidades más pequeñas de los agregados, esto sucede cuando después de la acción del factor de destrucción los agregados son descompuestos a agregados de más pequeño diámetro. El indicador ASI puede ser calculado para cada clase de agregado, para este propósito los productos de frecuencias y pesos en cada columna deberían ser sumados por separado. Por lo tanto, el índice de estabilidad (ASI) para la muestra de suelo puede ser definido como la suma de los índices de estabilidad de las clases particulares de agregados: $ASI = ASI_1 + ASI_2 + \dots + ASI_6$. El indicador ASI es una medida aditiva de las estabilidades de las diferentes clases de agregados. La forma más general para expresar este indicador es la siguiente:

$$ASI = \sum_{i,j} p_{ij} w_{ij}$$

Donde p_{ij} son las frecuencias de la tabla de transición, w_{ij} son los pesos asignados a cada elemento por separado de p_{ij} . La asignación de pesos w_{ij} , hace que el indicador ASI este representado como valor de una función lineal de las frecuencias (probabilidades empíricas) de la tabla de transición.

Valores Extremos del Indicador ASI (ASImax y ASImin)

De los datos disponibles durante la obtención del indicador ASI, se obtuvieron los valores extremos ASImax y ASImin, como información adicional acerca de los cambios de la agregación del suelo (Niewczas y Witkowska, 2003b). El índice de estabilidad ASI es referido como ASI_{test} , de una manera similar que la tabla T_{test} , es necesario construir una tabla de T_{min} y T_{max} para obtener el ASI_{min} y ASI_{max} . Para obtener estos índices es necesario considerar las frecuencias de entrada y de salida de la tabla T_{test} y los pesos asignados de forma diagonal. Posteriormente se emplea un algoritmo de programación lineal para encontrar los valores extremos que corresponden al ASI_{min} y ASI_{max} , este procedimiento se encuentra detallado en Niewczas y Witkowska (2003b). El ASI_{min} y ASI_{max} determinan el intervalo del índice de estabilidad ASI, es un rango de las posibles variaciones que se pueden encontrar en una muestra de suelo.

Índices Auxiliares (δ ASI, qASI)

El δ ASI y qASI se calcularon con los indicadores ASI_{test} , ASI_{max} y ASI_{min} (Niewczas y Witkowska, 2005). El δ ASI es el rango relativo de la estabilidad de agregados, el cuál esta definido por la siguiente ecuación:

$$\delta ASI = \frac{[ASI_{max} - ASI_{min}]}{ASI_{test}} \times 100$$

El qASI es el índice de calidad de cambio de la agregación; es la medición de la posición del ASI_{test} en el intervalo de estabilidad [ASI_{min} y ASI_{max}] y esta definido por la siguiente ecuación:

$$qASI (\%) = \frac{ASI_{test} - ASI_{min}}{ASI_{max} - ASI_{min}}$$

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados a través de un análisis de varianza factorial para los factores de uso del suelo, posición y época de muestreo, con sus respectivas interacciones: uso del suelo*posición, uso del suelo*época, posición*época y uso del suelo*posición*época. Las medias se separaron mediante el criterio de diferencia mínima significativa con Tukey ($\alpha=0.05$) en los casos que existieron efectos e interacciones significativas. Por último, se realizaron correlaciones entre las propiedades edafológicas y los tamaños de agregados del suelo. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SAS versión 8 (Cody y Smith, 1991).

VI. RESULTADOS

Mapa Morfo-Edafológico

La cuenca de Cuixmala consta de una estructura de 27 unidades morfo-edafológicas definidas por límites espaciales. Esta cartografía permite tener una visión global del área de estudio, pero al mismo tiempo percibir los diferentes aspectos que lo componen. La distribución de cada unidad morfo-edafológica se puede observar en el Cuadro 13. El mapa de la cuenca de Cuixmala con las diferentes unidades morfo-edafológicas se presenta en la Figura 5, donde se visualizan los límites espaciales de cada unidad. En la leyenda descriptiva del mapa morfo-edafológico se encuentran los diferentes sistemas morfo-genéticos y las unidades morfo-edafológicas, así como sus atributos de pendiente y uso del suelo (Cuadro 14).

Cuadro 13. Distribución de las unidades morfo-edafológicas de la cuenca de Cuixmala

Unidades Morfo-Edafológicas	Superficie (Km ²)	Área relativa (%)
I. Piedemonte y Laderas sobre granito con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	646.7	59.3
II. Piedemonte y Laderas sobre volcano clástico y toba con Phaeozem háplico y Regosol eútrico	51.6	4.7
III. Superficies Planas y Laderas sobre riolita, basalto y andesita con Regosol eútrico, Cambisol crómico y Phaeozem háplico	2.9	0.2
IV. Piedemonte y Laderas sobre calizas con Leptosol lítico	45.9	4.2
V. Piedemonte y Laderas sobre areniscas-conglomerados con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	10.4	0.9
VI. Superficies Planas y Terrazas Aluviales sobre depósitos aluviales con Fluvisol eútrico y Cambisol crómico	14.1	1.2
VII. Superficies Planas sobre materiales residuales con Cambisol crómico y Cambisol eútrico	0.8	0.08
VIII. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	200.5	18.4
IX. Superficies Planas y Piedemonte sobre volcano clástico con Phaeozem háplico, Regosol eútrico y leptosol lítico	2.5	0.2
X. Superficies Planas y Piedemonte sobre riolita, basalto y andesita con Regosol eútrico, Cambisol crómico y Phaeozem háplico	0.6	0.06
XI. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosol lítico	4.6	0.4
XII. Superficies Planas y Laderas sobre areniscas-conglomerados con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	14.7	1.3
XIII. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvisol eútrico y Cambisol crómico	19.3	1.7
XIV. Superficies Planas sobre materiales residuales con Cambisol crómico y Cambisol eútrico	3.9	0.3

Cuadro 13. Continuación

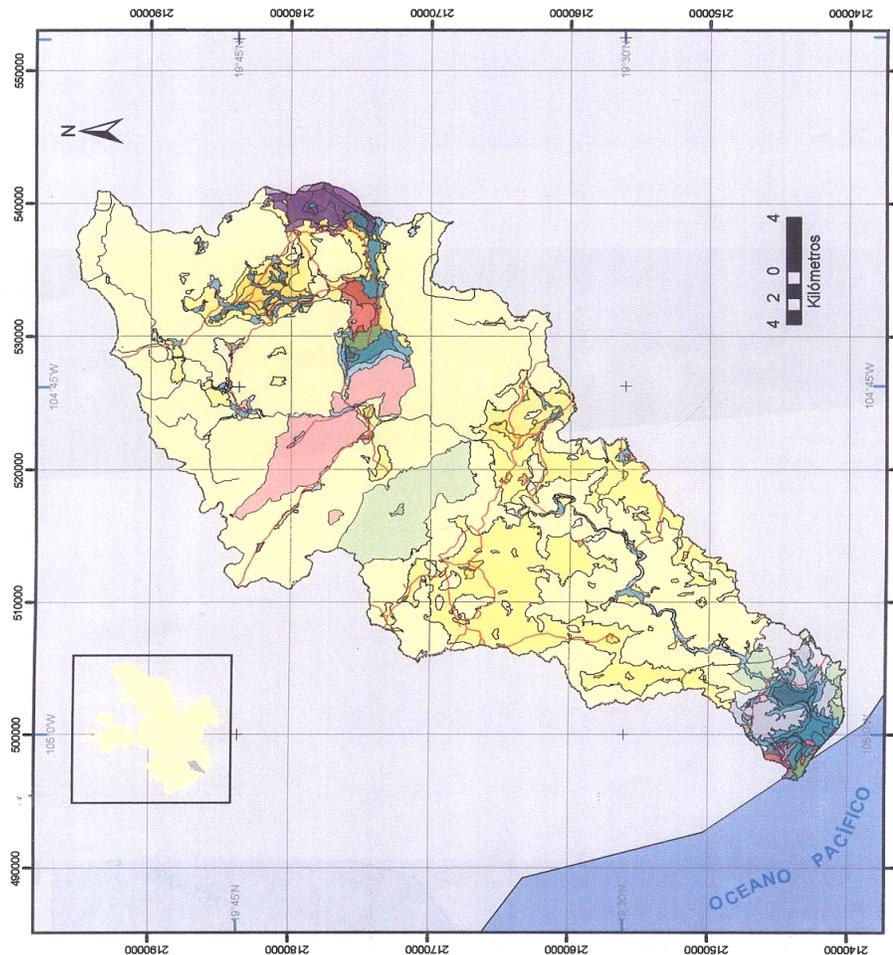
Unidades Morfo-Edafológicas	Superficie (Km2)	Área relativa (%)
XV. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak háplico y gléyico	0.2	0.02
XVI. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	17.2	1.5
XVII. Superficies Planas y Piedemonte sobre volcanos clásticos con Phaeozem háplico y Vertisol crómico	3.8	0.3
XVIII. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosol lítico	3.1	0.2
XIX. Superficies Planas y Piedemonte sobre areniscas-conglomerados con Regosol eútrico y Leptosol lítico	1.7	0.1
XX. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvisol eútrico, Cambisol crómico, solonchak háplico y gléyico	22.1	2.0
XXI. Superficies Planas sobre materiales residuales con Cambisol crómico y Cambisol eútrico	10.8	0.9
XXII. Superficies Planas y Piedemonte sobre depósitos lacustres con Solonchak háplico y gléyico	1.2	0.1
XXIII. Superficies Planas sobre litorales con Solonchak háplico	0.7	0.07
XXIV. Superficies Planas sobre granito con Phaeozem háplico y Regosol eútrico	2.5	0.2
XXV. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvisol eútrico y Cambisol crómico	5.7	0.5
XXVI. Superficies Planas sobre materiales residuales con Cambisol crómico y Cambisol eútrico	0.5	0.05
XXVII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak háplico y gléyico	0.06	0.006
TOTAL	1089.2	100

La unidad morfoedafológica representativa de la cuenca de Cuixmala es Piedemonte y Ladera sobre granito con Regosol eútrico ó Phaeozem háplico distribuyéndose en 852.1 Km2, que equivalen al 78.2% del área.

MAPA MORFO-EDAFOLÓGICO

UNIDADES MORFO-EDAFOLÓGICAS

- | MONTAÑAS | LOMEROS | COLINAS Y LLANURAS | PLANICIES |
|--|--|--|---|
| I. Piedemonte y Laderas sobre granito con Regusal ártico y Pfluazem léplico | III. Superficies Planas y Laderas sobre rólta, basalto y andesito con Regusal ártico, Cambial crónica y Pfluazem léplico | XI. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | XIV. Superficies Planas sobre granito con Pfluazem léplico y Regusal ártico |
| II. Piedemonte y Laderas sobre volcanso cédstico y toba con Pfluazem léplico y Regusal ártico | IV. Piedemonte y Laderas sobre calizas con Leptosal lítico | XII. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XV. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico |
| III. Superficies Planas y Laderas sobre rólta, basalto y andesito con Regusal ártico, Cambial crónica y Pfluazem léplico | V. Piedemonte y Laderas sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XIII. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico | XVI. Superficies Planas sobre granito con Fluvial ártico y Cambial ártico |
| IV. Piedemonte y Laderas sobre calizas con Leptosal lítico | VI. Piedemonte y Laderas sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XIV. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico | XVII. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico |
| V. Piedemonte y Laderas sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Pfluazem léplico | VII. Superficies Planas y Terrazas Aluviales sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónica | XV. Superficies Planas sobre materiales residuales con Cambial crónica y Cambial ártico | XVIII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico |
| VI. Piedemonte y Laderas sobre calizas con Leptosal lítico | VIII. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XVI. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico | XIX. Superficies Planas sobre volcanso cédstico con Pfluazem léplico y Leptosal lítico |
| VII. Superficies Planas sobre materiales residuales con Cambial crónica y Cambial ártico | IX. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico, Cambial crónica y Pfluazem léplico | XVII. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XX. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosal lítico |
| VIII. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico, Cambial crónica y Pfluazem léplico | X. Superficies Planas y Piedemonte sobre volcanso cédstico con Pfluazem léplico, Regusal ártico y Leptosal lítico | XVIII. Superficies Planas y Piedemonte sobre volcanso cédstico con Pfluazem léplico y Leptosal lítico | XXI. Superficies Planas sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Leptosal lítico |
| IX. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico, Cambial crónica y Pfluazem léplico | XI. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosal lítico | XIX. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosal lítico | XXII. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico, Cambial crónica, Solonchak léplico y gléyico |
| X. Superficies Planas y Piedemonte sobre volcanso cédstico con Pfluazem léplico, Regusal ártico y Leptosal lítico | XII. Superficies Planas y Laderas sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XX. Superficies Planas y Piedemonte sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Leptosal lítico | XXIII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Cambial crónica y Cambial ártico |
| XI. Superficies Planas y Piedemonte sobre rólta, basalto y andesito con Regusal ártico, Cambial crónica y Pfluazem léplico | XIII. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico | XXI. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico | XXIV. Superficies Planas sobre granito con Pfluazem léplico y Regusal ártico |
| XII. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosal lítico | XIV. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico | XXII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | XXV. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico |
| XIII. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico | XV. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | XXIII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | XXVI. Superficies Planas sobre materiales residuales con Cambial crónica y Cambial ártico |
| XIV. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico | XVI. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XXIV. Superficies Planas sobre litoreales con Solonchak léplico | XXVII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Cambial crónica y Cambial ártico |
| XV. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico | XVII. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XXV. Superficies Planas sobre granito con Pfluazem léplico y Regusal ártico | XXVIII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico |
| XVI. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico | XVIII. Superficies Planas y Piedemonte sobre volcanso cédstico con Pfluazem léplico y Leptosal lítico | XXVI. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico | |
| XVII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | XIX. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosal lítico | XXVII. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico | |
| XVIII. Superficies Planas y Piedemonte sobre volcanso cédstico con Pfluazem léplico y Leptosal lítico | XX. Superficies Planas y Piedemonte sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Leptosal lítico | XXVIII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | |
| XIX. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosal lítico | XXI. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico, Cambial crónica, Solonchak léplico y gléyico | | |
| XX. Superficies Planas y Piedemonte sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Leptosal lítico | XXII. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Cambial crónica y Cambial ártico | | |
| XXI. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | XXIII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | | |
| XXII. Superficies Planas y Piedemonte sobre granito con Regusal ártico y Pfluazem léplico | XXIV. Superficies Planas sobre granito con Pfluazem léplico y Regusal ártico | | |
| XXIII. Superficies Planas y Piedemonte sobre volcanso cédstico con Pfluazem léplico y Leptosal lítico | XXV. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico | | |
| XXIV. Superficies Planas y Piedemonte sobre calizas con Leptosal lítico | XXVI. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico y Cambial crónico | | |
| XXV. Superficies Planas y Piedemonte sobre areniscas-conglomerados con Regusal ártico y Leptosal lítico | XXVII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Cambial crónica y Cambial ártico | | |
| XXVI. Superficies Planas sobre depósitos aluviales con Fluvial ártico, Cambial crónica, Solonchak léplico y gléyico | XXVIII. Superficies Planas sobre depósitos lacustres con Solonchak léplico y gléyico | | |



DATOS DE PROYECCIÓN
 Proyección: UTM
 Elipsoidal: Clarke 1866
 Datum: Antártico (Chile)
 Primer Esdado: MAD 1927
 Segundo Esdado: 2006

ELABORADO POR:
 SERGIO MARTÍNEZ TRINIDAD

SIMBOLOGÍA
 Ríos
 Carreteras

Cuadro 14. Leyenda del mapa morfo-edafológico de la cuenca de Cuixmala

Sistema Morfo-Genético	Unidades Morfo-Edafológicas	Pendientes principales	Vegetación Natural y Uso del Suelo
I. Montañas formadas por granitos	Piedemonte y Laderas con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	6°-15° 15°-35°	Bosque de Encino y Pino Pastizal Inducido Selva Baja Caducifolia Selva Mediana Sub-Caducifolia
II. Montañas formadas por rocas volcano clástico y toba	Piedemonte y Laderas con Phaeozem háplico y Regosol eútrico	6°-15° 15°-35°	Bosque de Encino Selva Mediana Sub-Caducifolia
III. Montañas formadas por riolita, basalto y andesita	Superficies Planas y Laderas con Regosol eútrico, Cambisol crómico y Phaeozem háplico	< 1° 15°-35°	Pastizal Inducido Selva Baja Caducifolia
IV. Montañas formadas por calizas	Piedemonte y Laderas con Leptosol lítico	6°-15° 15°-35°	Pastizal Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
V. Montañas formadas por arenisca-conglomerado	Piedemonte y Laderas con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	6-15° 15°-35°	Selva Baja Caducifolia
VI. Montañas formadas por depósitos aluviales	Superficies Planas y Terrazas Aluviales con Fluvisol eútrico y Cambisol crómico	< 1° 3°-6°	Pastizal Inducido Selva Baja Caducifolia Selva Mediana Sub-Caducifolia
VII. Montañas formadas por materiales residuales	Superficies Planas con Cambisol crómico y Cambisol eútrico	1°-3°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Inducido
VIII. Lomeríos formados por granitos	Superficies Planas y Piedemonte con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	< 1° 6°-15°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Inducido Selva Baja Caducifolia Selva Mediana Sub-Caducifolia
IX. Lomeríos formados por rocas volcano clástico y toba	Superficies Planas y Piedemonte con Phaeozem háplico, Regosol eútrico y Leptosol lítico	< 1° 6°-15°	Bosque de Encino Selva Mediana Sub-Caducifolia
X. Lomeríos formados por riolita, basalto y andesita	Superficies Planas y Piedemonte con Regosol eútrico, Cambisol crómico y Phaeozem háplico	< 1° 6°-15°	Selva Baja Caducifolia Selva Mediana Sub-Caducifolia
XI. Lomeríos formados por calizas	Superficies Planas y Piedemonte con Leptosol lítico	< 1° 6°-15°	Pastizal Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XII. Lomeríos formados por areniscas-conglomerados	Superficies Planas y Laderas con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	< 1° 15°-35°	Pastizal Inducido Selva Baja Caducifolia
XIII. Lomeríos formados por depósitos aluviales	Superficies Planas con Fluvisol eútrico y Cambisol crómico	1°-3°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XIV. Lomeríos formados por materiales residuales	Superficies Planas con Cambisol crómico y Cambisol eútrico	1°-3°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Cultivado e Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XV. Lomeríos formados por depósitos lacustres	Superficies Planas con Solonchak háplico y gléyico	< 1°	Tular

Cuadro 14. Continuación

Sistema Morfo-Genético	Unidades Morfo-Edafológicas	Pendientes principales	Vegetación Natural y Uso del Suelo
XVI. Colinas y Llanuras formadas por granitos	Superficies Planas y Piedemonte con Regosol eútrico y Phaeozem háplico	< 1° 3°-6°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XVII. Colinas formadas por volcano clástico	Superficies Planas y Piedemonte con Phaeozem háplico, Vertisol crómico, Regosol eútrico y Leptosol lítico	< 1° 6°-15°	Pastizal Inducido. Selva Mediana Sub-Caducifolia
XVIII. Colinas formadas por calizas	Superficies Planas y Piedemonte con Leptosol lítico	< 1° 3°-6°	Pastizal Inducido. Selva Mediana Sub-Caducifolia
XIX. Colinas y Llanuras formadas por areniscas-conglomerados	Superficies Planas y Piedemonte con Regosol eútrico y Leptosol lítico	< 1° 6°-15°	Pastizal Inducido Selva Baja Caducifolia
XX. Colinas y Llanuras formadas por depósitos aluviales	Superficies Planas con Fluvisol eútrico, Cambisol crómico, Solonchak háplico y Solonchak gléyico	< 1° 1°-3°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Cultivado e Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XXI. Colinas y Llanuras formadas por materiales residuales	Superficies Planas con Cambisol crómico y Cambisol eútrico	1°-3°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Cultivado e Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XXII. Colinas y Llanuras formadas por depósitos lacustres	Superficies Planas y Piedemonte con Solonchak háplico y gléyico	< 1° 3°-6°	Tular
XXIII. Colinas conformadas por litorales	Superficies Planas con Solonchak háplico	1°-3°	Vegetación de Dunas Costeras
XXIV. Planicies formadas por granito	Superficies Planas con Phaeozem háplico y Regosol eútrico	< 1°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XXV. Planicies formadas por depósitos aluviales	Superficies Planas con Fluvisol eútrico y Cambisol crómico	< 1°	Agricultura de Riego y Temporal Pastizal Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XXVI. Planicies formadas por materiales residuales	Superficies Planas con Cambisol crómico y Regosol eútrico	< 1°	Pastizal Inducido Selva Mediana Sub-Caducifolia
XXVII. Planicies formadas por depósitos lacustres	Superficies Planas con Solonchak háplico y gléyico	< 1°	Tular Vegetación Halofila

Propiedades Edáficas

En el Cuadro 1 del Anexo B se presentan los resultados de los análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas en cada uso de suelo¹ en la unidad morfo-edaforológica ladera sobre granito con regosol eútrico en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Análisis Factorial. En el Cuadro 15 se presenta el resultado del análisis factorial correspondiente al efecto de los sistemas de uso del suelo, la posición de obtención de la muestra (parte alta y baja de la pendiente) y la época de obtención de la misma.

Cuadro 15. Análisis de varianza factorial de las propiedades edafológicas en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Factores e interacciones	Propiedades físicas						Propiedades químicas						Propiedades biológicas	
	Pr > F												Vrh	Vrs
	H	Da	Ar	PT	Pi	pH	C	Ca	Mg	K	Na	ΣBa		
Uso del Suelo (US)	<.01	<.01	*	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	0.06	0.07	<.01	0.01	0.09
Posición	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	0.13	<.01	0.09	<.01	0.70	<.01	0.96	0.72
Época	<.01	<.01	*	<.01	0.61	0.01	0.07	0.01	0.63	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
US*Posición	<.01	<.01	<.01	<.01	0.02	0.10	0.83	<.01	0.48	0.32	0.93	<.01	0.22	0.18
US*Época	<.01	0.19	*	0.30	0.12	0.67	0.49	0.03	0.12	0.63	0.11	0.02	<.01	0.01
Posición*Época	0.01	0.12	*	0.15	0.18	0.12	0.94	0.77	0.17	0.05	0.75	0.70	0.96	0.54
US*Posición*Época	<.01	0.66	*	0.72	0.02	0.16	0.92	0.24	0.52	0.49	0.93	0.34	0.27	0.32

H=Humedad residual; Da=Densidad aparente; Ar=Contenido de arcilla; PT=Porosidad total; Pi=Porosidad interna de macroagregados; C=Carbono; Ca=Calcio; Mg=Magnesio; K=Potasio; Na=Sodio; ΣBa=Suma de bases; Vrh=Volumen de raíces húmedas; Vrs=Volumen de raíces secas; *=La arcilla es una propiedad poco variable en el tiempo.

El análisis de varianza factorial, muestra que, en general los factores principales tuvieron efecto significativo en todas las propiedades físicas y en la mayoría de las químicas y biológicas, con algunas excepciones que se indican más adelante. Los efectos principales, es decir, uso del suelo, posición y época de muestreo fueron, en general, independientes, ya que se observaron sólo algunas interacciones. Una excepción la constituyó la humedad residual del suelo, ya que prácticamente todas las interacciones de los factores principales resultaron ser significativas, es decir, afectaron la respuesta. La interacción más importante fue la de uso del suelo*posición, que resultó significativa en todas las propiedades físicas, en el caso de dos variables químicas (Ca y ΣBa), pero dicha interacción no afectó a ninguna variable biológica (raíces). En cuanto a las excepciones de

¹ En este estudio se considera al BTC conservado, al BTC pastoreado y al Pastizal cultivado como usos de suelo, por ser una manera más práctica para referirse a ellos.

los efectos principales, hay que mencionar el caso del Na y el K que no fueron afectados por el uso de suelo, el del C, Mg y el Na que no fueron influenciados por la posición de la muestra en la pendiente y el de la PIMa, C y Mg que no fueron afectados por la época de muestreo. La posición en la pendiente tampoco afectó a la cantidad de raíces tanto húmedas como secas.

Efecto de Uso del Suelo. En el Cuadro 16 se presentan los valores medios de las propiedades físicas, químicas y biológicas y sus respectivas desviaciones estándar (Ds) y diferencias mínimas significativas estadísticas (DMS) correspondientes a las tres condiciones de uso de suelo estudiadas.

Cuadro 16. Medias de las propiedades edáficas de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Propiedades edáficas	BTC Conservado		BTC Pastoreado		Pastizal cultivado		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
Humedad Residual (%)	5.7	5.9	8.4	8.5	3.8	4.5	1.5
Densidad Aparente (Mg/m ³)	0.9	0.1	1.0	0.1	1.2	0.1	0.06
Porosidad Total (%)	61.0	4.1	56.1	5.5	51.0	5.1	4.9
pH (1:2 H ₂ O)	7.0	0.3	5.9	0.6	5.7	0.3	0.4
Carbono (%)	4.9	1.3	3.1	0.6	2.1	0.6	0.9
Calcio (meq/100g)	21.0	7.1	7.0	3.3	4.5	1.4	4.6
Magnesio (meq/100g)	4.8	0.9	3.3	0.9	1.1	0.2	0.7
Potasio (meq/100g)	0.6	0.5	0.8	0.4	0.5	0.5	0.5
Sodio (meq/100g)	0.08	0.07	0.1	0.1	0.05	0.05	0.08
Σ Bases (meq/100g)	26.5	7.9	11.4	4.2	6.2	1.7	5.3
Raíces Húmedas (cc)	1.3	1.3	2.9	3.5	3.0	3.0	1.4
Raíces Secas (cc)	0.6	0.4	1.0	1.0	1.1	1.1	0.3

BTC = Bosque tropical caducifolio; M = Media; Ds = Desviación estándar; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Las variables edáficas que mostraron respuestas al cambio de uso del suelo fueron las siguientes:

a) El contenido de humedad residual al momento del muestreo en el BTC conservado fue menor que en el BTC pastoreado, pero mayor que en el del Pastizal cultivado. La densidad aparente (Da) y la porosidad total fueron significativamente distintas en los tres sistemas de uso del suelo, siendo la Da mínima en el BTC conservado y máxima en el Pastizal cultivado pero el comportamiento de la porosidad total fue exactamente lo contrario.

b) El contenido de carbono disminuyó cuando el BTC conservado fue transformado en Pastizal cultivado; los niveles más bajos de pH y Σ Bases² se observaron en el BTC pastoreado y en el Pastizal cultivado.

c) La mayor cantidad de raíces secas y raíces húmedas en la profundidad 0 a 8 cm se contabilizó en el Pastizal cultivado y en el BTC pastoreado, resultando significativamente menor el BTC conservado.

Efecto de la Posición. Los valores medios de las propiedades edáficas de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, y algunos datos estadísticos asociados correspondientes al efecto principal de posición e interacciones de posición*uso del suelo se muestran en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Medias de las propiedades edáficas de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de posición e interacciones de posición*uso del suelo.

Propiedades Edáficas	Efecto Principal						DMS
	Posición alta			Posición baja			
	M	Ds		M	Ds		
Humedad Residual (%)	5.0	6.5		6.9	6.8		1.0
Densidad Aparente (Mg/m ³)	1.0	0.1		1.1	0.1		0.04
Porosidad Total (%)	58.2	4.8		53.8	7.0		1.8
Arcilla (%)	12.4	6.3		17.6	6.6		1.7
pH (1:2 H ₂ O)	5.9	0.6		6.5	0.7		0.2
Σ Bases (meq/100g)	11.7	7.3		17.7	11.7		1.9

Propiedades Edáficas	Interacciones Posición*Uso del Suelo												DMS
	BTC Conservado				BTC Pastoreado				Pastizal cultivado				
	BTCCa		BTCCb		BTCPa		BTCPb		PCa		PCb		
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
Densidad Aparente (Mg/m ³)	0.9	0.1	0.9	0.07	0.9	0.1	1.1	0.04	1.1	0.09	1.3	0.09	0.1
Porosidad Total (%)	59.7	5.1	62.3	2.6	60.3	4.3	51.9	2.6	54.7	3.4	47.4	3.6	6.6
Arcilla (%)	15.0	2.3	25.0	0.8	18.0	1.7	18.6	0.5	4.3	2.0	9.3	0.5	2.7
Σ Bases (meq/100g)	20.1	3.5	32.9	5.2	10.0	5.4	12.7	2.2	5.0	0.4	7.5	1.8	6.3

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); M= Media; Ds= Desv. Std; DMS= Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

El efecto de la posición sobre las muestras colectadas fue significativo en las siguientes variables de respuesta: (a) porosidad total, la mayor porosidad total se presentó en la posición alta de la ladera; (b) en contraste, la densidad aparente, la arcilla y la suma de

² El elemento principal de la Σ Bases es el calcio, mientras que el magnesio, el potasio y el sodio están en pequeñas proporciones. En el escrito solo se mencionará Σ Bases.

bases resultaron ser mayores en la posición baja. Estos efectos no pueden ser considerados como independientes porque la interacción posición*uso del suelo fue significativa. El pH más elevado se encontró en la posición baja, únicamente hubo efecto principal. La humedad residual al momento del muestreo resultó ser más elevada en la posición baja, aunque en esta propiedad, todas las interacciones de los factores principales afectaron la respuesta.

Del análisis de la interacción posición*uso de suelo se observó las variables de respuesta edáficas:

La densidad aparente fue mayor en ambas posiciones del Pastizal cultivado y en la posición baja del BTC pastoreado, e inferior en ambas posiciones del BTC conservado y en la posición alta del BTC pastoreado. La mayor porosidad total se encontró en ambas posiciones del BTC conservado y en la posición alta del BTC pastoreado, siendo menores en las posiciones bajas del BTC pastoreado y del Pastizal cultivado. En cuanto al contenido de arcilla y la suma de bases, los mayores valores se observaron en la posición baja del BTC conservado. El menor porcentaje de arcilla se registró en la posición alta del Pastizal cultivado y la menor Σ Bases se obtuvo en la posición alta del BTC pastoreado y en ambas posiciones del Pastizal cultivado.

Efecto de la Época de Muestreo. Los valores medios de las propiedades físicas, químicas y biológicas y sus respectivas desviaciones estándar (Ds) y diferencias mínimas significativas (DMS) de las muestras colectadas en el periodo de lluvias y de secas, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo e interacciones de época*uso del suelo se presentan en el Cuadro 18.

La época de muestreo tuvo un efecto significativo en las variables de respuesta: suma de bases y cantidad de raíces secas y raíces húmedas; éstas resultaron ser mayores en la época de lluvias. El efecto no puede considerarse como independiente porque la interacción época*uso del suelo fue significativa. Los valores más altos de densidad aparente y de pH se presentaron en época de secas, mientras que el valor más alto de porosidad total se encontró en época de lluvias. Estas variables tuvieron solamente efecto

principal. La humedad residual resultó ser más elevada en la época de lluvias, aunque en esta propiedad, todas las interacciones de los factores principales afectaron la respuesta.

Cuadro 18. Medias de las propiedades edáficas de las muestras colectadas en época de secas y de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo e interacciones de época*uso del suelo.

<u>Efecto Principal</u>							
Propiedades Edáficas	<u>Época de Secas</u>		<u>Época de Lluvias</u>		DMS		
	M	Ds	M	Ds			
Humedad Residual (%)	0.4	0.3	11.6	5.0	1.0		
Densidad Aparente (Mg/m ³)	1.1	0.1	1.0	0.1	0.04		
Porosidad Total (%)	53.6	5.4	58.5	6.3	1.8		
pH (1:2 H ₂ O)	6.4	0.7	6.1	0.7	0.2		
∑ Bases (meq/100g)	13.0	8.4	16.3	11.5	1.9		
Raíces Húmedas (cc)	0.2	0.1	1.6	2.5	0.3		
Raíces Secas (cc)	0.2	0.1	4.6	0.8	1.0		
<u>Interacciones Época*Uso del Suelo</u>							
Propiedades Edáficas	<u>BTC Conservado</u>		<u>BTC Pastoreado</u>		<u>Pastizal cultivado</u>		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
<u>Época de Secas</u>							
Humedad Residual (%)	0.6	0.3	0.5	0.4	0.1	0.1	0.4
∑ Bases (meq/100g)	22.9	6.4	10.2	3.4	6.1	2.2	6.5
Raíces Húmedas (cc)	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.08	0.1
Raíces Secas (cc)	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.08	0.1
<u>Época de Lluvias</u>							
Humedad Residual (%)	10.7	4.0	16.4	3.1	7.6	3.4	5.3
∑ Bases (meq/100g)	30.1	8.1	12.5	4.9	6.4	1.3	8.3
Raíces Húmedas (cc)	2.3	1.3	5.5	3.1	5.9	1.1	3.1
Raíces Secas (cc)	1.0	0.4	2.0	0.7	1.8	0.9	1.0

BTC = Bosque tropical caducifolio; M = Media; Ds = Desviación estándar; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Se hizo un análisis de la interacción época*uso de suelo y se encontró lo siguiente:

En ambas épocas de muestreo, el BTC pastoreado y el Pastizal cultivado fueron los usos de suelo que presentaron los niveles más bajos de ∑Bases, mismos que difirieron significativamente de los del BTC conservado, que resultaron ser más altos.

En época de secas, la mayor humedad residual correspondió al BTC conservado, siendo mínima en el Pastizal cultivado, mientras que el BTC pastoreado fue semejante a ambos usos de suelo. En época de lluvias, la humedad residual fue mayor en el BTC pastoreado, resultando significativamente menor en el BTC conservado y en el Pastizal Cultivado.

En época de secas, el BTC conservado presentó la mayor cantidad de raíces secas y raíces húmedas, siendo menor en el Pastizal cultivado, mientras que el BTC pastoreado fue semejante a los usos de suelo antes mencionados. En época de lluvias, la mayor cantidad de raíces húmedas se obtuvo en el BTC pastoreado y en el Pastizal cultivado, siendo menor significativamente en el BTC conservado. Las raíces secas no tuvieron diferencias entre los usos de suelo.

Porosidad Interna de Macroagregados (PIMa)

En el Cuadro 19 se presentan los valores medios de la porosidad interna de macroagregados y sus respectivas desviaciones estándar (Ds) y diferencias mínimas significativas (DMS) correspondientes a los efectos principales de uso del suelo y de posición, así como la interacción uso del suelo*posición*época de muestreo.

Cuadro 19. Medias de la porosidad interna de macroagregados correspondientes a los efectos principales de uso del suelo y de posición, e interacción uso del suelo*posición* época de muestreo, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

<u>Efecto principal de Uso del Suelo</u>						
	<u>BTC Conservado</u>	<u>BTC Pastoreado</u>	<u>Pastizal cultivado</u>			
*Arcilla (%)	20	18.3	6.8			
PIMa Media	21.6	9.9	13.2			
Desv. Std	5.3	3.2	3.5			
DMS _{GENERAL}		2.3				
<u>Efecto principal de Posición</u>						
	<u>Posición alta</u>		<u>Posición baja</u>			
PIMa Media	16.0		13.7			
Desv. Std	6.89		5.75			
DMS _{GENERAL}	1.17					
<u>Interacciones posición*uso del suelo*época</u>						
<u>Época de Secas por posición alta y baja</u>						
PIMa Posición	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
Media	24.0	18.8	10.4	7.7	14.9	12.8
Desv. Std	4.3	6.3	4.1	1.9	3.2	3.1
DMS _{GENERAL}	4.8					
<u>Época de Lluvias por posición alta y baja</u>						
PIMa Posición	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta	Baja
Media	23.2	20.5	12.1	9.3	14.5	10.6
Desv. Std	5.1	3.8	2.7	2.3	4.2	1.6
DMS _{GENERAL}	4.5					

PIMa= Porosidad interna de macroagregados; DMS = Diferencia Mínima Significativa; *= El dato de arcilla se colocó porque parece existir un efecto del contenido (%) y el tipo de mineralogía arcillosa en la PIMa; BTC=Bosque tropical caducifolio.

Efecto de Uso del Suelo. La PIMa del Pastizal cultivado fue menor que la del BTC conservado, pero mayor que la del BTC pastoreado (Figura 6).

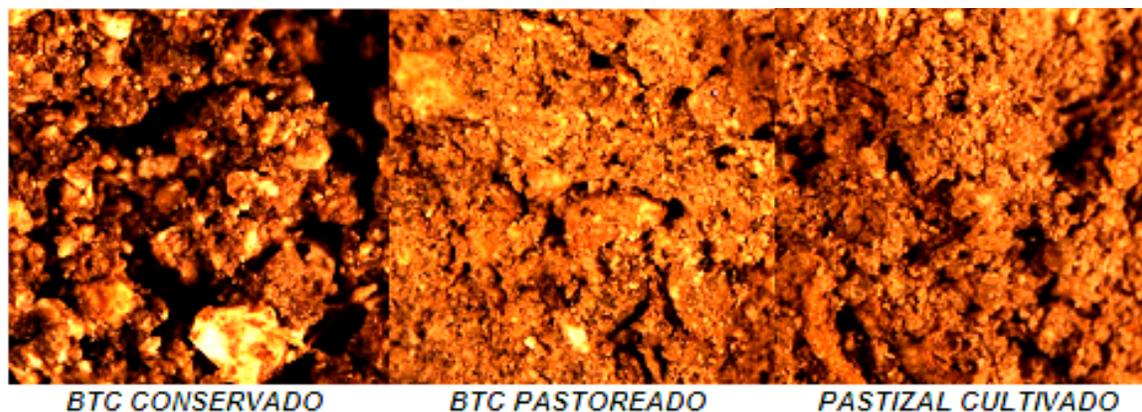


Figura 6. Porosidades internas de macroagregados de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Efecto de la Posición. Las posiciones altas de las laderas presentaron mayor porosidad interna de macroagregados. El efecto de la posición en el valor de la PIMa no fue independiente, porque como ya se señaló hubo interacción de uso de suelo*posición y uso de suelo*posición*época. Durante la época de secas, la mayor PIMa se encontró en la posición alta de la ladera del BTC conservado, mientras que ocurría lo contrario con la PIMa del BTC pastoreado, en ambas posiciones. En época de lluvias, las mayores PIMa se obtuvieron en ambas posiciones del BTC conservado, siendo menores significativamente en ambas posiciones del BTC pastoreado y en la posición baja del Pastizal cultivado.

Mineralogía Arcillosa

El estudio de los difractogramas de las arcillas aisladas de la muestra de suelo superficial permitió distinguir el tipo de mineralogía arcillosa presente en el BTC conservado y en los sistemas de manejo (Figura 7). En BTC conservado se observó arcilla esmectita de tipo montmorillonita y un poco de mica. En BTC pastoreado se encontró arcilla caolinítica, también una escasa frecuencia de mica mal cristalizado y de arcilla expandible, aunque esta última sólo se mostró en la preparación con etilén glicol. En Pastizal cultivado se obtuvo un poco de arcilla esmética de tipo montmorillonita y de mica.

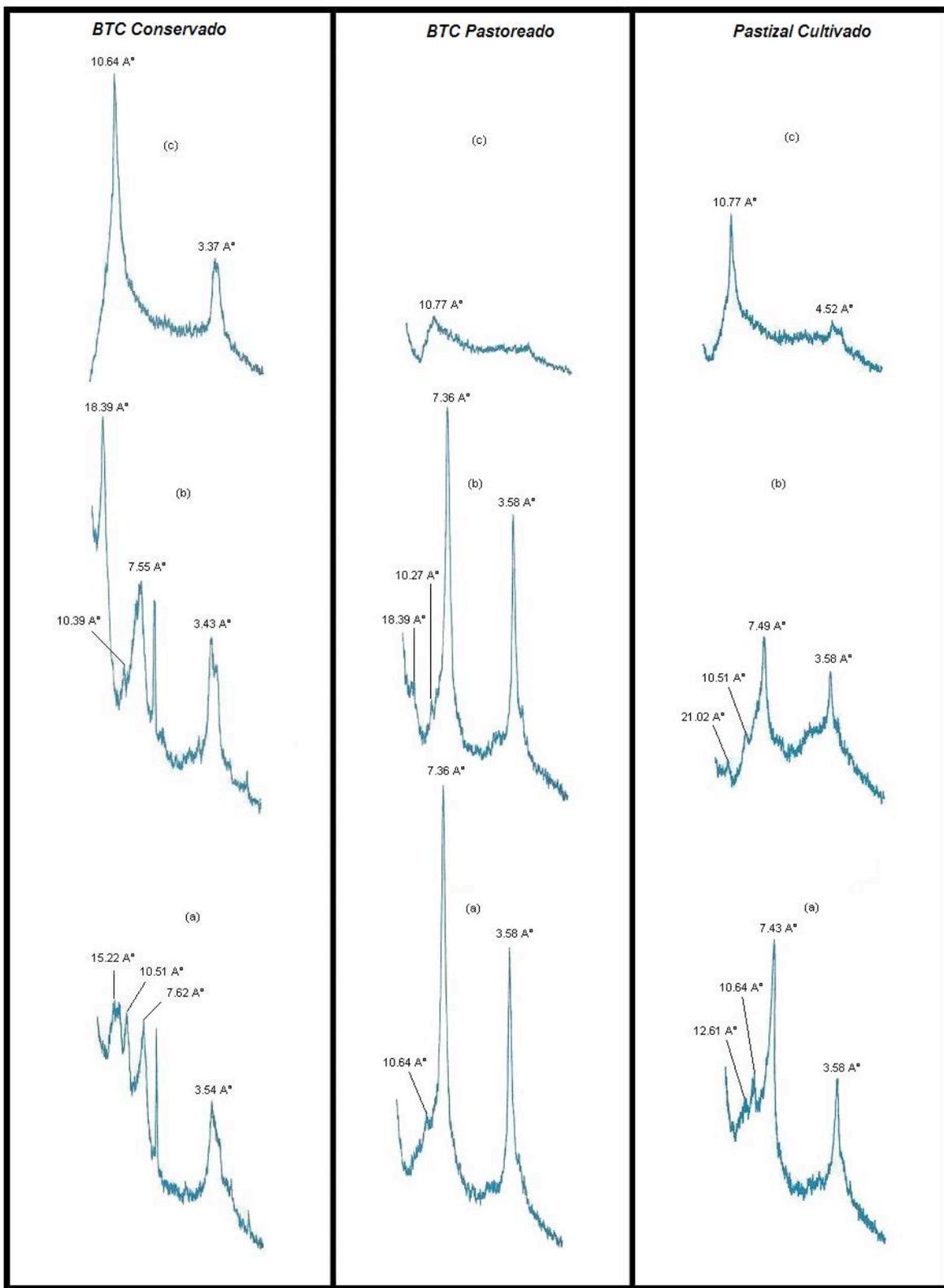


Figura 7. Difractogramas de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco

* BTC = Bosque tropical caducifolio; Preparaciones: a=Natural, b=Etilén Glicol, c=Calentamiento.

Agregación del Suelo

En el Cuadro 2 del Anexo B se presentan los resultados de la distribución de agregados en seco y en el Cuadro 3 los de la estabilidad de agregados en húmedo, en cada uso de suelo en la unidad morfo-edafológica ladera sobre granito con regosol eútrico en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Distribución de Agregados en Seco

Análisis Factorial. En el Cuadro 20 se presenta el resultado del análisis factorial correspondiente al efecto de los sistemas de uso del suelo, la posición de obtención de la muestra (parte alta y baja de la pendiente) y la época de obtención de la misma.

Cuadro 20. Análisis factorial de la distribución de agregados en seco en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Factores e interacciones	Tamaños de Agregados							Macro (>1mm)	Micro (<1mm)
	Pr > F								
	<0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2.00-3.36	3.36-4.76	>4.76		
Uso del Suelo (US)	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	0.14	<.01	<.01	<.01
Posición	<.01	0.03	0.56	0.15	<.01	<.01	0.71	<.01	<.01
Época	<.01	<.01	0.88	<.01	0.47	0.29	<.01	0.01	0.02
US*Posición	0.44	0.95	0.12	<.01	0.36	0.59	<.01	0.57	0.64
US*Época	0.03	0.07	0.59	<.01	0.29	0.98	0.76	0.14	0.17
Posición*Época	0.71	0.22	0.76	0.40	0.43	0.81	0.45	0.95	0.81
US*Posición*Época	0.42	0.62	0.89	0.33	0.98	0.86	0.71	0.77	0.82

Macro=Macroagregados; Micro=Microagregados

Los efectos: uso del suelo, posición y época de muestreo fueron, en general, independientes; sólo se observaron pocas interacciones. Estos efectos resultaron ser significativos en la mayoría de los tamaños de agregados de la distribución de agregados en seco, con algunas excepciones que se señalan posteriormente. Las interacciones más importantes fueron la de uso del suelo*posición, que resultó ser significativa en los tamaños de agregados 1.00-2.00 mm y >4.76 mm, y la interacción uso del suelo*época que fue significativa para los tamaños de agregados <0.25 mm y 1.00-2.00 mm. En cuanto a las excepciones de los efectos principales, hay que mencionar el caso de los tamaños de agregados 3.36-4.76 mm que no fue afectado por el uso del suelo, el de los tamaños de agregados 0.50-1.00 mm, 1.00-2.00 mm y >4.76 mm que no fueron influenciados por la

posición y el de los tamaños de agregados 0.50-1.00 mm, 2.00-3.36 mm y 3.36-4.76 mm que no fueron afectados por la época de muestreo. La suma de los macroagregados y microagregados presentaron únicamente efectos principales.

Efecto de Uso del Suelo. En la Figura 8 se presentan los valores medios de las proporciones relativas de la distribución de agregados en seco correspondientes a las tres condiciones de uso de suelo estudiadas. Algunos datos estadísticos asociados a estos valores se muestran en el Cuadro 4 del Anexo B.

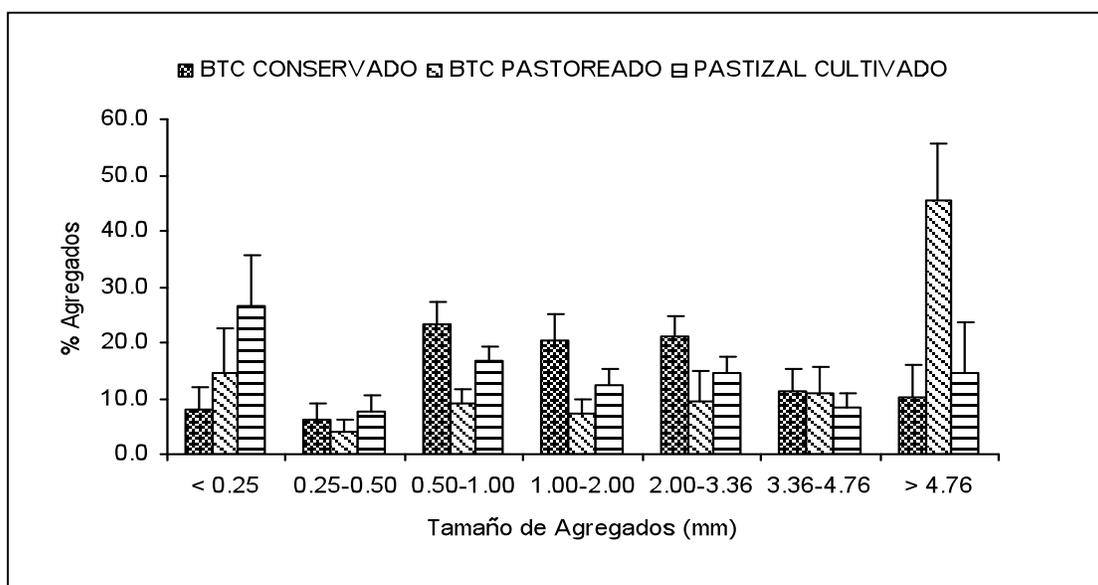


Figura 8. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizada en muestras de suelo seco al aire de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*BTC = Bosque tropical caducifolio; Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Los tamaños de agregados que presentaron respuestas al cambio de uso del suelo fueron los siguientes:

a) La mayor proporción relativa de agregados >4.76 mm correspondió al BTC pastoreado, resultando significativamente menor en el BTC conservado y en el Pastizal cultivado. La proporción de agregados 0.50 a 3.36 mm del Pastizal cultivado fue menor que en el BTC conservado, pero mayor que en el del BTC pastoreado. La mayor proporción de agregados 0.25-0.50 mm se obtuvo en el BTC pastoreado, siendo mínima en el Pastizal cultivado, mientras que estos agregados en el BTC conservado fueron semejantes a ambos

usos de suelo. La mayor proporción de agregados <0.25 mm se presentó en el Pastizal cultivado, mismos que difirieron significativamente de los del BTC conservado y del pastoreado.

b) La proporción de macroagregados del BTC conservado fue menor que en el BTC pastoreado, pero mayor que en el del Pastizal cultivado. Con respecto a la proporción de microagregados la del BTC conservado fue menor que la del Pastizal cultivado, pero mayor que la del BTC pastoreado (Figura 9).

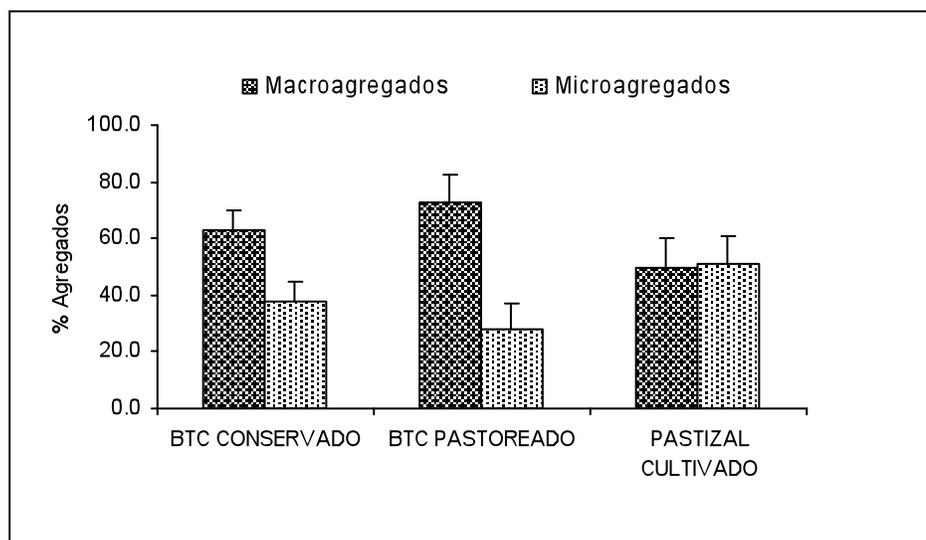


Figura 9. Medias de macro (>1mm) y micro (<1mm) agregados de la distribución de agregados, realizada en muestras de suelo seco al aire de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*BTC = Bosque tropical caducifolio; Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Efecto de la Posición. El efecto de la posición de donde se obtuvieron las muestras, fueron significativos para los siguientes tamaños de agregados: 2.00-3.36 mm, 3.36-4.76 mm y macroagregados que presentaron la mayor proporción en la posición baja de la ladera; en contraste, los tamaños de agregados más pequeños <0.25 mm, 0.25-0.50 mm y microagregados resultaron ser mayores en la posición alta (Figura 10). Estos efectos fueron considerados como independientes porque no hubo interacciones. Algunos datos estadísticos asociados a la información anterior se muestran en el Cuadro 5 del Anexo B.

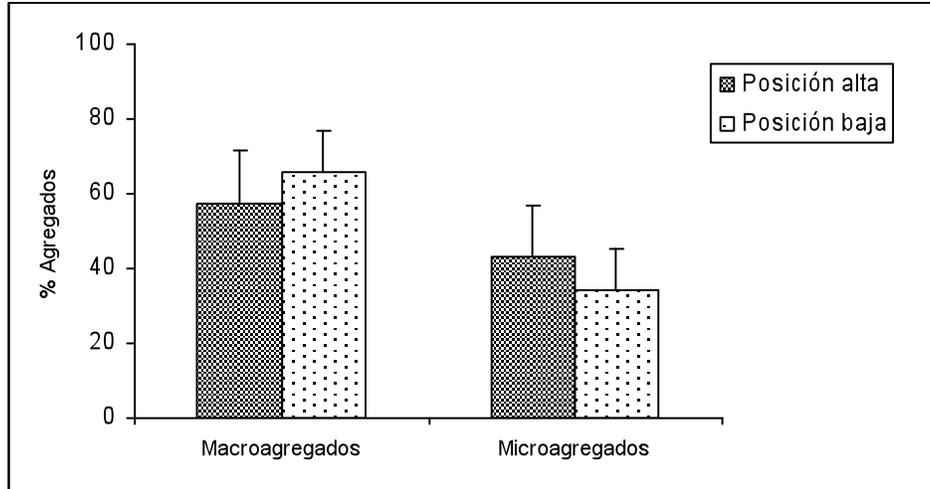


Figura 10. Medias de macro (>1mm) y micro (<1mm) agregados de la distribución de agregados, realizada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en la posición alta y baja de la ladera en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de posición.

* Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Los valores medios de la distribución de agregados en seco por tamaño de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de los usos de suelo, se muestra en la Figura 11. Algunos datos estadísticos asociados a estos valores se muestran en el Cuadro 6 del Anexo B.

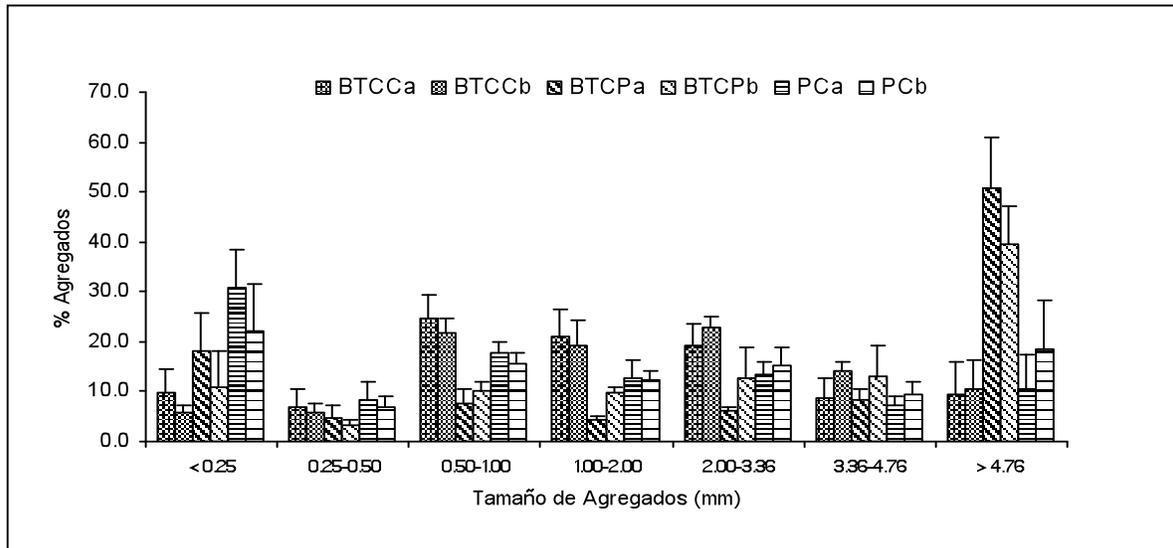


Figura 11. Medias de la distribución de agregados en seco por tamaño de las posiciones alta y baja de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*BTC=Bosque tropical caducifolio, BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Los tamaños de agregados 1.00-2.00 mm y >4.76 mm tuvieron interacciones significativas de posición*uso del suelo, es decir, ambos factores afectaron la respuesta. Del análisis de la interacción posición*uso de suelo en estos tamaños, el comportamiento de respuesta fue el siguiente:

Los agregados 1.00 a 2.00 mm fueron mayores en ambas posiciones del BTC conservado e inferiores en la posición baja del BTC pastoreado y en ambas posiciones del Pastizal cultivado, siendo mínimas en la posición alta del BTC pastoreado.

Los agregados >4.76 mm se encontró en mayor proporción en ambas posiciones del BTC pastoreado, mientras que la menor proporción se asoció a ambas posiciones del BTC conservado y del Pastizal cultivado.

Efecto de la Época de Muestreo. La época de muestreo afectó significativamente a los microagregados, que resultaron ser más abundantes en la época de lluvias. Por su parte los tamaños de agregados 0.25-0.50 mm, >4.76 mm y macroagregados fueron significativamente mayores en las muestras colectadas en época de secas (Figura 12). Estos tamaños de agregados tuvieron solamente efecto principal. Algunos datos estadísticos asociados a la información anterior se muestran en el Cuadro 7 del Anexo B.

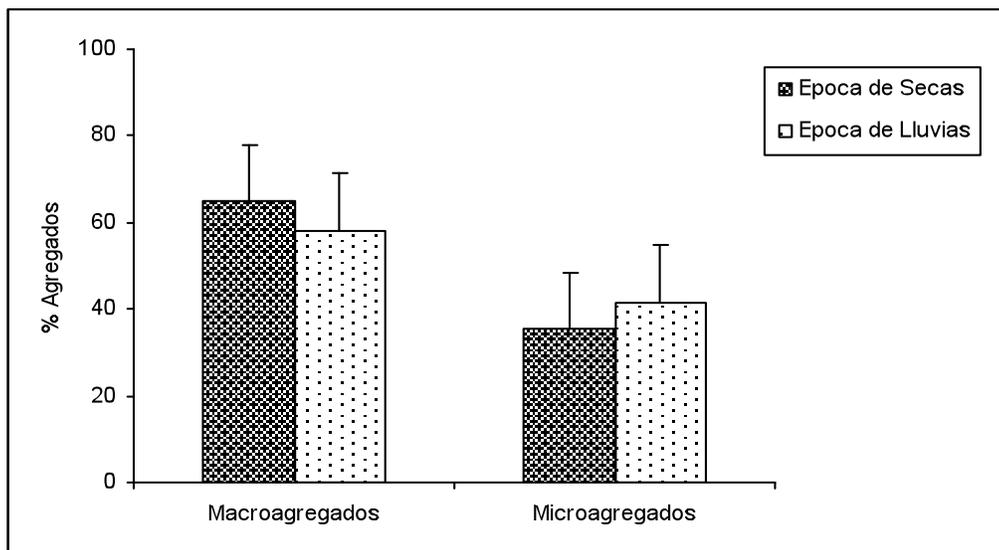


Figura 12. Medias de macro (>1mm) y micro (<1mm) agregados de la distribución de agregados, realizada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de secas y de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo.

* Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

La distribución de agregados en seco por tamaño (valores medios), determinada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de secas y de lluvias se presenta en las Figuras 13 y 14, para cada uso de suelo. Algunos datos estadísticos asociados a estos valores se muestran en el Cuadro 8 y en el Cuadro 9 del Anexo B.

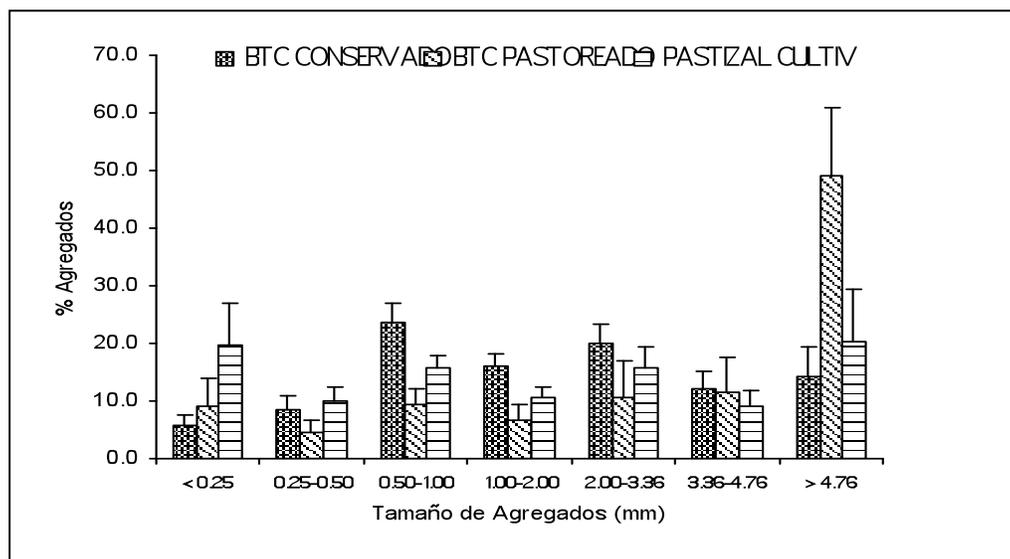


Figura 13. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de secas de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*BTC = Bosque tropical caducifolio; Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

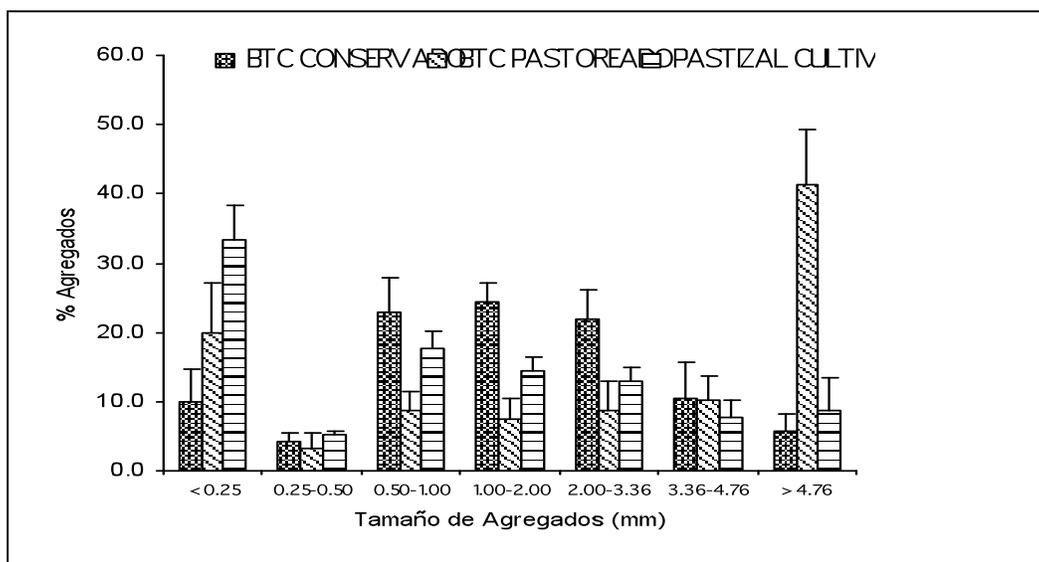


Figura 14. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizada en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de lluvias de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*BTC = Bosque tropical caducifolio; Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Los tamaños de agregados <0.25 mm y 1.00-2.00 mm resultaron ser mayores en la época de lluvias. Este efecto no puede ser considerado como independiente porque la interacción época*uso del suelo fue significativa. Del análisis de esta interacción en estos tamaños de agregados, el comportamiento de respuesta fue el siguiente:

a) En época de secas, la proporción de agregados <0.25 mm fue significativamente mayor en el Pastizal cultivado, que en el BTC conservado y el pastoreado. En época de lluvias, la proporción de agregados <0.25 mm del BTC pastoreado fue menor que en el Pastizal cultivado, pero mayor que en el del BTC conservado.

b) En ambas épocas, la proporción de agregados 1.00-2.00 mm del Pastizal cultivado fue menor que en el BTC conservado, pero mayor que en el del BTC pastoreado.

Estabilidad de Agregados en Húmedo

Análisis Factorial. En el Cuadro 21 se presenta el resultado del análisis factorial correspondiente al efecto de los sistemas de uso del suelo, la posición de obtención de la muestra (parte alta y baja de la pendiente) y la época de obtención de la misma.

Cuadro 21. Análisis factorial de la estabilidad de agregados en húmedo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Factores e interacciones	Tamaño de Agregados								
	Pr > F								Macro (>1mm)
	<0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2.00-3.36	3.36-4.76	>4.76		
Uso del Suelo (US)	<.01	0.31	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Posición	0.89	0.02	0.01	0.14	0.06	0.45	0.86	0.30	0.30
Época	0.44	<.01	<.01	<.01	0.01	0.83	0.04	0.33	0.32
US*Posición	0.28	0.02	0.03	0.11	<.01	0.18	0.02	0.13	0.13
US*Época	0.46	<.01	0.65	0.19	0.20	0.98	0.33	0.49	0.50
Posición*Época	0.73	0.11	0.99	0.02	0.06	0.09	0.17	0.89	0.89
US*Posición*Época	0.68	0.01	0.87	0.29	0.47	0.89	0.64	0.47	0.46

Macro=Macroagregados; Micro=Microagregados

El análisis de varianza factorial, arrojó solamente algunas escasas interacciones, en cambio los factores principales uso del suelo, posición y época de muestreo tuvieron efectos significativos en varios de los tamaños de estabilidad de agregados en húmedo. Por lo tanto, se puede decir que, en general, los efectos principales fueron independientes. La interacción más importante fue la de uso del suelo*posición, cuyo efecto resultó significativo en los tamaños de agregados 0.25-0.50 mm, 0.50-1.00 mm, 2.00-3.36 mm y >4.76

mm. Las interacciones uso del suelo*época y uso del suelo*posición*época fueron significativas en los tamaños de agregados 0.25-0.50 mm, es decir, afectaron su respuesta. La interacción de posición*época únicamente se presentó en los tamaños de agregados 1.00-2.00 mm. En cuanto a las excepciones de los efectos principales, hay que mencionar el caso de los tamaños de agregados 0.25-0.50 mm que no fue afectada por el uso del suelo, el de los tamaños de agregados >1.00 mm y <0.25 mm, macro y micro agregados que no fueron influenciados por la posición y el de los tamaños de agregados <0.25 mm, 3.36-4.76 mm, macro y micro agregados que no fueron afectados por la época de muestreo.

Efecto de Uso del Suelo. En la Figura 15 se presentan los valores medios de las proporciones relativas de la estabilidad de agregados en húmedo correspondientes a las tres condiciones de uso de suelo estudiadas. Algunos datos estadísticos asociados a estos valores se muestran en el Cuadro 10 del Anexo B.

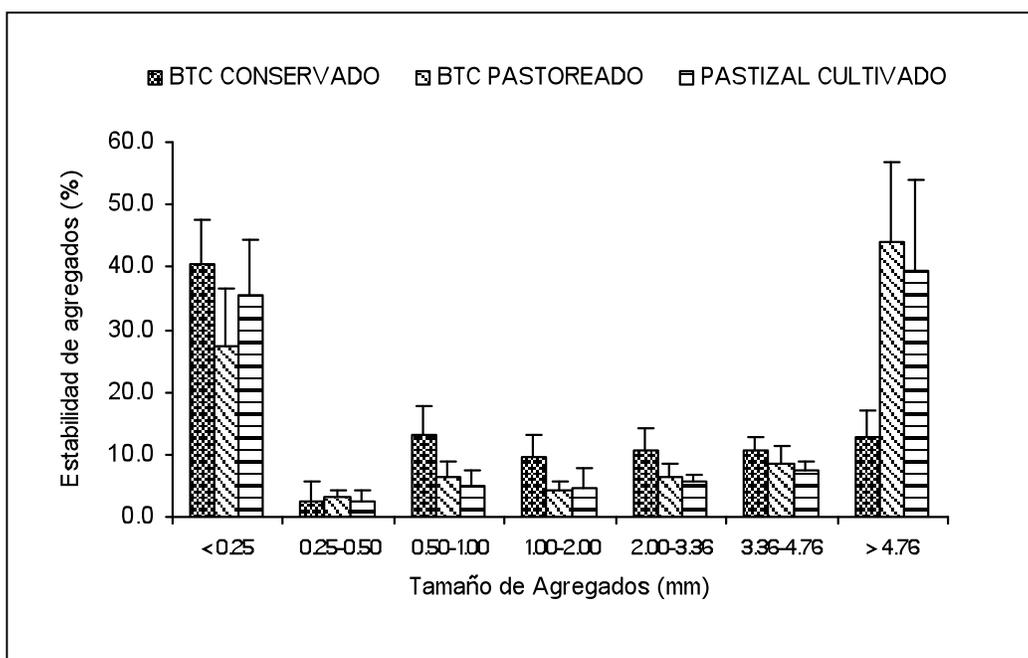


Figura 15. Medias de la estabilidad de agregados, realizada en muestras de suelo con diferente uso en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*BTC = Bosque tropical caducifolio; Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Los tamaños de agregados que presentaron respuestas al cambio de uso del suelo fueron los siguientes:

a) La mayor proporción de agregados >4.76 mm se presentó en el BTC pastoreado y en el Pastizal cultivado, que difirió significativamente de los del BTC conservado. La proporción de agregados 0.50 a 4.76 mm fueron mayores en el BTC conservado, resultando significativamente menor en el BTC pastoreado y en el Pastizal cultivado. La mayor proporción de agregados <0.25 mm correspondió al BTC conservado, siendo mínima en el BTC pastoreado, mientras que la proporción del Pastizal cultivado fue semejante a ambos usos de suelo.

b) La proporción de macroagregados fueron mayores en el BTC pastoreado y en el Pastizal cultivado, que en el BTC conservado. La mayor proporción de microagregados se determinó en el BTC conservado, resultando significativamente menor en el BTC pastoreado y en el Pastizal cultivado (Figura 16).

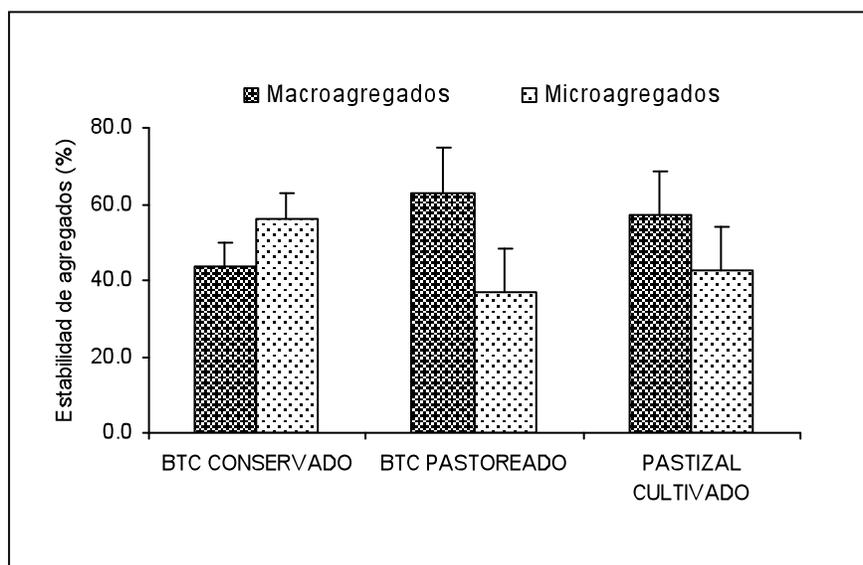


Figura 16. Medias de macro (>1 mm) y micro (<1 mm) agregados resultantes de la prueba de estabilidad de agregados practicada en muestras de suelo, colectados en sitios con diferente usos en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*BTC = Bosque tropical caducifolio; Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Efecto de la Posición. El efecto de la posición de donde se obtuvieron las muestras, fueron significativos. Los tamaños de agregados 0.25-0.50 mm y 0.50-1.00 mm presentaron la mayor proporción en la posición baja de la ladera que en la alta. Estos efectos no pueden ser considerados como independientes porque en el primer tamaño hubo interacción de posición*uso del suelo y de posición*época*uso del suelo, mientras que en el segundo se observó solamente interacción de posición*uso del suelo. Los tamaños de agregados 2.00-3.36 mm y >4.76 mm presentaron únicamente interacciones significativas de posición*uso del suelo. Algunos datos estadísticos asociados a estos valores se puede observar en el Cuadro 11 del Anexo B.

Los valores medios de la estabilidad de agregados en húmedo por tamaño de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de los usos de suelo, se muestra en la Figura 17. Algunos datos estadísticos asociados a estos valores se muestran en el Cuadro 12 del Anexo B.

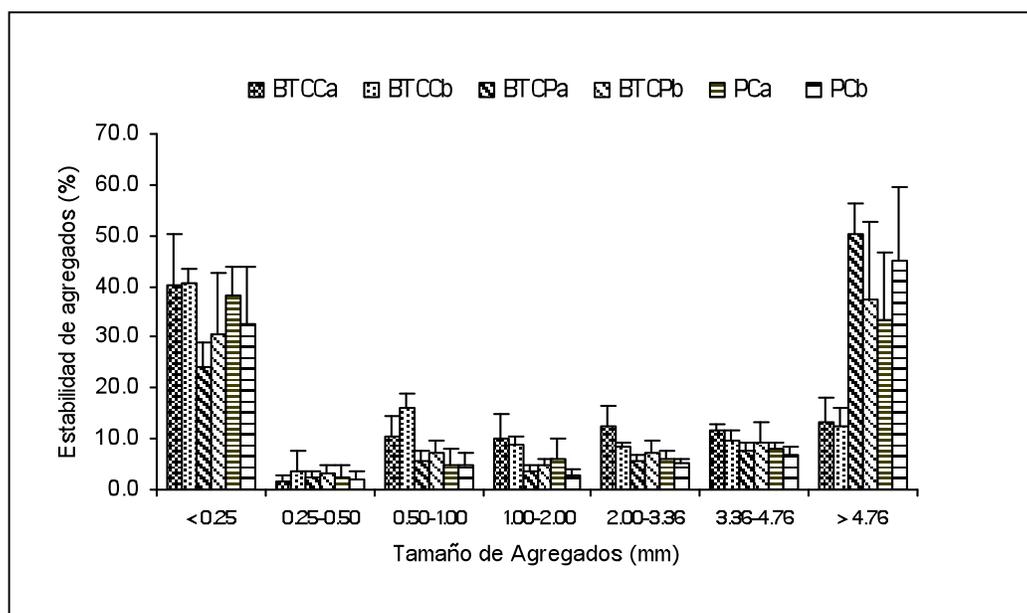


Figura 17. Medias de la estabilidad de agregados de muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en tres usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*BTC=Bosque tropical caducifolio, BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Del análisis de la interacción posición*uso de suelo en los tamaños de agregados 0.50 a 1.00 mm, 2.00-3.36 mm y >4.76 mm, el comportamiento de respuesta fue el siguiente:

La mayor proporción de agregados 0.50 a 1.00 mm correspondieron a la posición baja del BTC conservado e inferior en la posición alta del mismo, siendo mínimas en ambas posiciones del BTC pastoreado y del Pastizal cultivado.

La proporción de agregados 2.00-3.36 mm fueron mayores en la posición alta del BTC conservado, resultando menores en la posición baja del BTC conservado y en ambas posiciones del BTC pastoreado y del Pastizal cultivado.

Los agregados >4.76 mm se encontró en mayor proporción en ambas posiciones del BTC pastoreado y del Pastizal cultivado, siendo menores en ambas posiciones del BTC conservado.

El efecto de la posición en los agregados 0.25-0.50 mm no fue independiente, porque, como ya se señaló, hubo interacción de posición*uso del suelo y de posición*época*uso del suelo. En época de secas, la mayor proporción de estos agregados se obtuvo en ambas posiciones del BTC pastoreado, mientras que las menores se asociaron a ambas posiciones del BTC conservado y del Pastizal cultivado; en contraste, en época de lluvias, estos agregados fueron mayores en la posición baja del BTC pastoreado y en ambas posiciones del Pastizal cultivado, siendo menores en las posiciones altas del BTC conservado y del

BTC pastoreado, mientras que las mínimas proporciones se asociaron a la posición baja del BTC conservado.

Efecto de la Época de Muestreo. La época de muestreo afecto a los tamaños de agregados 0.50-1.00 mm y de 2.00-3.36 mm, que resultaron ser más abundantes en la época de lluvias. Por su parte los agregados >4.76 mm fueron mayores en las muestras colectadas en época de secas. Los tamaños de agregados antes mencionados, tuvieron solamente efecto principal. En el caso de los agregados 0.25-0.50 mm y de 1.00-2.00 mm fueron mayores en época de lluvias. Este efecto en estos tamaños de agregados no pueden ser considerados como independientes porque en el primer tamaño hubo interacción de época*uso del suelo, mientras que en el segundo se observó interacción de posición*época. En la Figura 18 se puede observar el efecto principal de la época de muestreo en los tamaños de agregados de la prueba de estabilidad, realizada en muestras de suelo colectadas en época de secas y de lluvias de la cuenca de Cuixmala, Jalisco. Algunos datos estadísticos asociados a la información anterior se muestran en el Cuadro 13 del Anexo B.

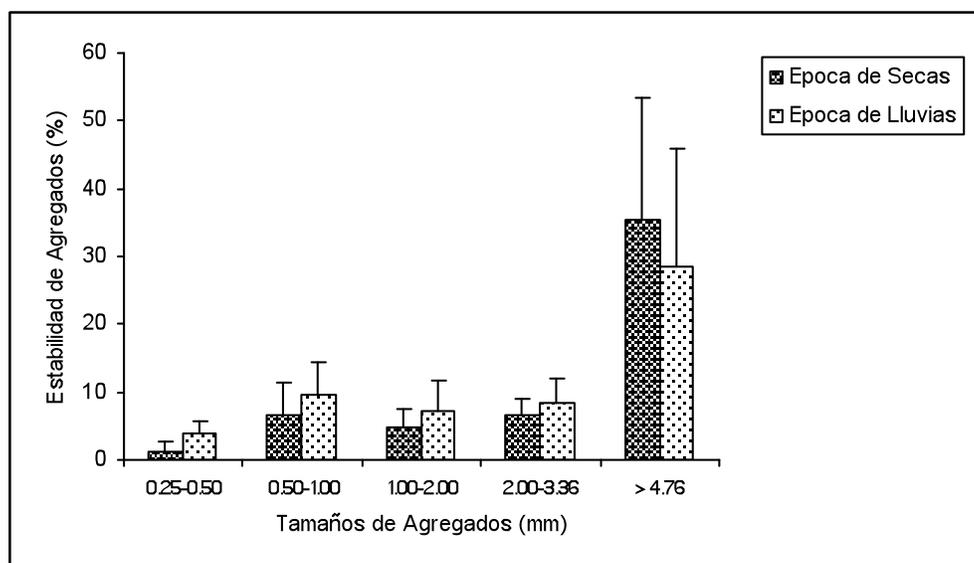


Figura 18. Medias de la estabilidad de agregados, realizada en muestras de suelo colectadas en época de secas y época de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo.

*Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Los valores medios de la estabilidad de agregados, determinada en muestras de suelo colectadas en época de secas y de lluvias se presentan en las Figuras 19 y 20, para cada uso de suelo. Algunos datos estadísticos asociados a estos valores se muestran en el Cuadro 14 y en el Cuadro 15 del Anexo B.

De la interacción época*uso del suelo en el tamaño de agregados 0.25-0.50 mm, el comportamiento de respuesta fue el siguiente:

En época de secas, este tamaño de agregados fue significativamente mayor en el BTC pastoreado, que en el BTC conservado y el Pastizal cultivado. En época de lluvias, la proporción de este tamaño de agregados fue mayor en el BTC conservado, que en el BTC pastoreado y en el Pastizal cultivado.

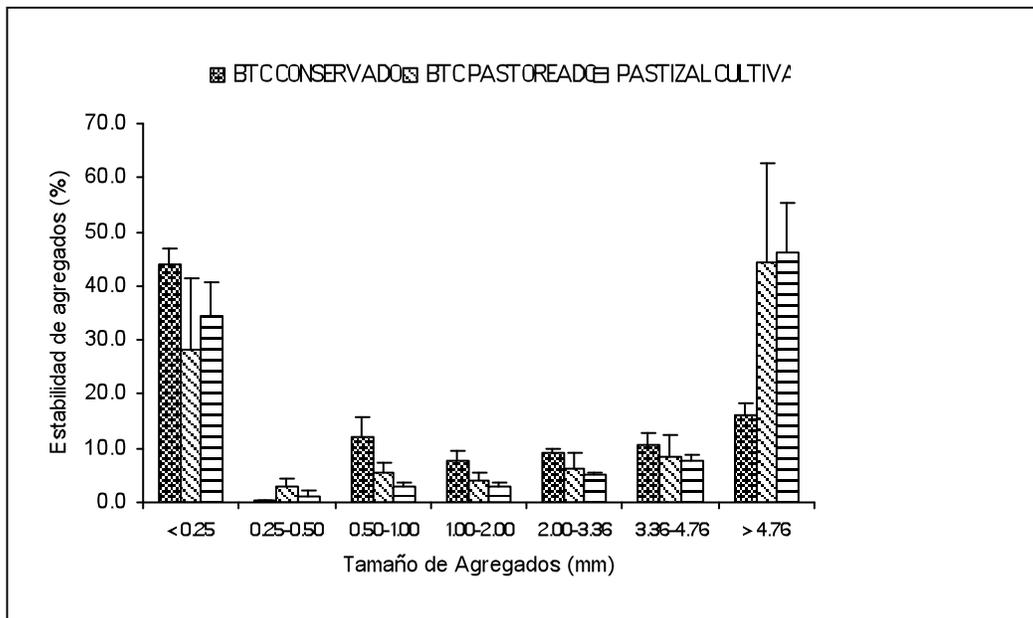


Figura 19. Medias de la estabilidad de agregados determinada en muestras de suelo colectadas en época de secas de distintos usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco.
 *BTC = Bosque tropical caducifolio; Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

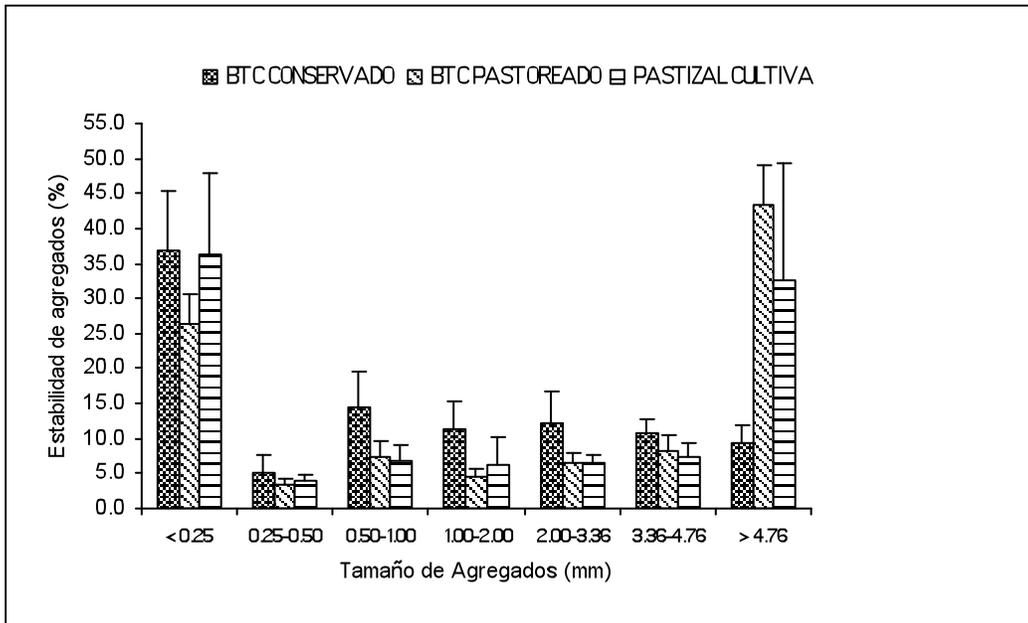


Figura 20. Medias de la estabilidad de agregados determinada en muestras de suelo colectadas en época de lluvias de distintos usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco. *BTC = Bosque tropical caducifolio; Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

La interacción época*posición en el tamaño de agregados 1.00-2.00 mm, presentó el siguiente comportamiento de respuesta: en época de secas, estos agregados fueron mayores en la posición baja de la ladera; en contraste, en época de lluvias, estos agregados resultaron ser más abundantes en la posición alta (Figura 21).

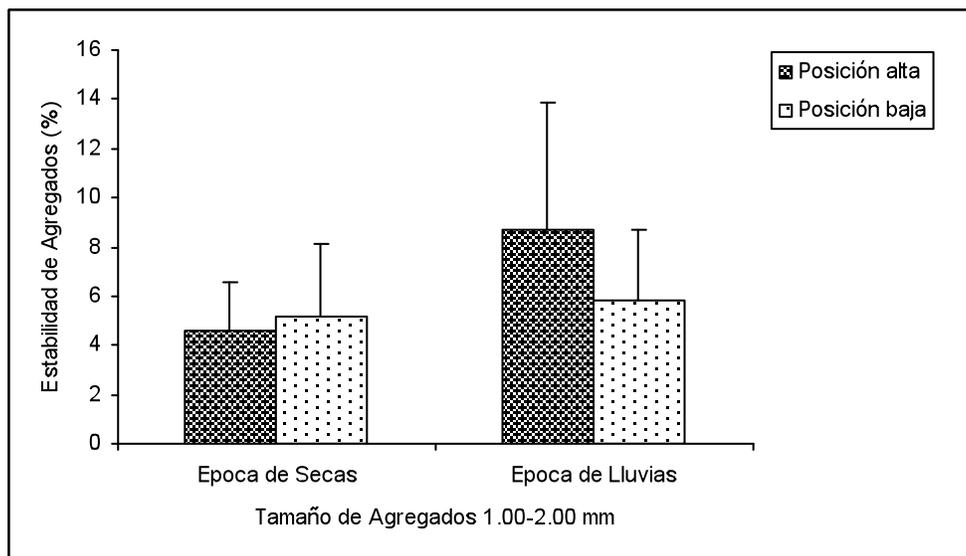


Figura 21. Medias de la estabilidad de agregados para el tamaño 1.00-2.00 mm, correspondientes a la interacción época*posición, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

*Las barras verticales corresponden al error estándar de la media (+).

Relación de las Propiedades Edáficas con la Distribución de Agregados en Seco

En el Cuadro 1 del Anexo C se presentan las correlaciones de los diferentes tamaños de agregados de la distribución de agregados en seco con las propiedades edáficas. De los resultados significativos se hizo un patrón general de las correlaciones para los tamaños de agregados >1mm (macroagregados) y los agregados <1mm (microagregados).

Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados en los Usos de Suelo

En las muestras de suelo colectadas en el BTC conservado, se determinó que los macroagregados se relacionaban positivamente con el contenido de arcilla, mientras que con el potasio fue lo contrario. Con el contenido de humedad residual, la densidad aparente, la porosidad total, el calcio, el sodio, el volumen de raíces secas y raíces húmedas no se encontró un patrón claro de correlación³. La relación de los microagregados con la densidad aparente y el volumen de raíces secas fue positiva, mientras que con el contenido de humedad residual, la porosidad total y la arcilla fue lo negativa. Con el sodio y el volumen de raíces húmedas no hubo un patrón claro de correlación.

En las muestras obtenidas del BTC pastoreado se estableció que los macroagregados se relacionaban positivamente con la densidad aparente y el pH, mientras que con el calcio y el potasio era lo contrario. Con la porosidad total no se encontró un patrón claro de correlación. Los microagregados mostraron una relación positiva con el contenido de humedad residual, mientras que con la porosidad total y el sodio fue negativa. Con la densidad aparente no hubo un patrón claro de correlación.

En el caso del Pastizal cultivado, los macroagregados tuvieron una relación positiva con la densidad aparente y la arcilla, mientras que con la porosidad total fue lo contrario. Con el sodio, el volumen de raíces secas y raíces húmedas no se encontró un patrón claro

³ Al presentarse en los tamaños de agregados que conforman a los macroagregados ó microagregados relaciones tanto positivas como negativas se le designó como patrón no claro.

de correlación. La relación de los microagregados con la porosidad total fue positiva, mientras que con la densidad aparente y la arcilla se relacionó negativamente con estos. Con el contenido de humedad residual, el sodio, el volumen de raíces secas y raíces húmedas no hubo un patrón claro de correlación.

Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados por Posición de Muestreo (Alta y Baja) para una misma Época de Muestreo

Cuando las muestras se extrajeron de la posición alta en la ladera del BTC conservado, en la época de secas, se determinó que los macroagregados se relacionaban positivamente con la porosidad total y el calcio, mientras que su relación con la arcilla, el potasio, el volumen de raíces secas y raíces húmedas fue negativa. Los microagregados presentaron una relación negativa con el calcio. En el mismo uso de suelo, pero cuando las muestras se obtuvieron de la posición baja pero durante la época de secas se estableció que los macroagregados se relacionaban positivamente con el contenido de humedad residual, mientras que su relación con el potasio fue negativa. Los microagregados tuvieron una relación positiva con la arcilla y el potasio, mientras que con el calcio fue lo contrario.

En las muestras colectadas en la posición alta del BTC pastoreado, en la época de secas, se encontró que los macroagregados presentaban una relación positiva con el calcio, mientras que para los microagregados fue negativa. Para la posición baja de éste uso de suelo, la relación de los macroagregados con el carbono orgánico fue positiva, mientras que con el pH y el calcio no se encontró un patrón claro de correlación. En el caso de los microagregados tuvieron una relación positiva con la porosidad total, mientras que con el pH, el carbono orgánico y el calcio se relacionaron negativamente con estos.

Los macroagregados de la posición alta del Pastizal cultivado, en la época de secas, mostraron relación positiva con el magnesio, mientras que con el carbono orgánico fue lo contrario. Por otro lado, los microagregados no tuvieron ningún tipo de relación significativa con las propiedades edáficas. En contraste, los macroagregados de la posición baja de éste uso de suelo, únicamente presentaron relación negativa con el potasio, pero los

microagregados mostraron una relación positiva con el potasio y el magnesio, mientras que con la arcilla, el volumen de raíces secas y raíces húmedas fue negativa.

Las muestras que se extrajeron de la posición alta en la ladera del BTC conservado, en la época de lluvias, se determinó que los macroagregados se relacionaban positivamente con la densidad aparente y el volumen de raíces húmedas, mientras que su relación con la porosidad total, el calcio y el magnesio fue negativa. Los microagregados presentaron una relación positiva con el carbono orgánico y el magnesio, mientras que su relación con la densidad aparente, la arcilla y el volumen de raíces húmedas fue lo contrario. En el mismo uso de suelo, pero cuando las muestras se obtuvieron de la posición baja se estableció que los macroagregados se relacionaban positivamente con la arcilla y el sodio, mientras que su relación con el contenido de humedad residual, el potasio y el magnesio fue negativa. Los microagregados tuvieron una relación negativa con la arcilla y el calcio, mientras que con el magnesio no hubo un patrón claro de correlación.

En las muestras obtenidas en la posición alta del BTC pastoreado en época de lluvias, se encontró que los macroagregados no presentaban ningún tipo de relación significativa con las propiedades edáficas, mientras que los microagregados se relacionaban negativamente con la porosidad total y el sodio. En el caso de los macroagregados de la posición baja de éste uso de suelo, se determinó relación positiva con el contenido de humedad residual, la porosidad total y el potasio, mientras que con el carbono orgánico se relacionaba negativamente con estos. Los microagregados mostraron una relación negativa con el contenido de humedad residual y el volumen de raíces húmedas.

En las muestras colectadas en la posición alta del Pastizal cultivado, en la época de lluvias, se estableció que los macroagregados presentaban una relación positiva con el contenido de humedad residual, mientras que con el carbono orgánico, el sodio y el volumen de raíces secas fue lo contrario. La relación de los microagregados con el sodio y el volumen de raíces secas fue positiva, pero con el contenido de humedad residual fue negativa. En la posición baja de éste uso de suelo, la relación de los macroagregados con el calcio fue negativa, mientras que los microagregados tuvieron una relación positiva con la

porosidad total, la arcilla, el calcio y el volumen de raíces secas, pero con la densidad aparente y el volumen de raíces húmedas se relacionó negativamente con estos.

Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados para una misma Época de Muestreo en los Usos de Suelo

Las muestras que se extrajeron en el BTC conservado, en época de secas, se determinó que los macroagregados se relacionaban positivamente con el contenido de humedad residual, la densidad aparente, la arcilla, el carbono orgánico, el pH y el calcio. La relación de los microagregados con el volumen de raíces secas y raíces húmedas fue positiva, mientras que con el contenido de humedad residual fue negativa.

Cuando las muestras se obtuvieron del BTC pastoreado, en época de secas, se estableció que los macroagregados se relacionaban positivamente con el contenido de humedad residual, la densidad aparente, el carbono orgánico, el calcio, el magnesio y el potasio, mientras que con la porosidad total y el pH no se encontró un patrón claro de correlación. Los microagregados tuvieron una relación negativa con el calcio y el magnesio.

Los macroagregados del Pastizal cultivado, en época de secas, mostraron una relación positiva con la arcilla y el magnesio, mientras que con el sodio fue lo contrario. En el caso de los microagregados, la relación con el sodio fue positiva, mientras que con la arcilla se relacionó negativamente con estos.

En las muestras colectadas en época de lluvias del BTC conservado, se encontró que los macroagregados presentaban relación negativa con la porosidad total y el sodio, mientras que los microagregados tuvieron una relación negativa con el contenido de humedad residual y la arcilla.

En las muestras obtenidas del BTC pastoreado, en época de lluvias, se determinó que los macroagregados se relacionaban positivamente con la densidad aparente y el potasio, mientras que con la porosidad total fue negativa. La relación de los microagregados con la densidad aparente fue positiva, mientras que con la porosidad total fue lo contrario.

Las muestras de suelo en época de lluvias del Pastizal cultivado mostraron que los macroagregados se relacionaban positivamente con el contenido de humedad residual, la densidad aparente y la arcilla, mientras que con la porosidad total y el magnesio se relacionó negativamente con estos. Los microagregados mostraron una relación positiva con la porosidad total, mientras que con la densidad aparente fue negativa.

Relación de las Propiedades Edáficas con la Estabilidad de Agregados en Húmedo

En el Cuadro 2 del Anexo C se presentan las correlaciones de las diferentes estabildades de agregados en húmedo con las propiedades edáficas. De los resultados significativos se hizo un patrón general de las correlaciones para los tamaños de agregados >1mm (macroagregados) y los agregados <1mm (microagregados).

Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados en los Usos de Suelo

En las muestras de suelo obtenidas en el BTC conservado, se determinó que los macroagregados se relacionaban negativamente con el contenido de humedad residual, la arcilla, el potasio, el calcio, el magnesio y el sodio, mientras que con la densidad aparente, la porosidad total, el volumen de raíces secas y raíces húmedas no se encontró un patrón claro de correlación. La relación de los microagregados con el contenido de humedad residual, la arcilla, el pH, el potasio, el calcio y el sodio fue positiva, mientras que con el

carbono orgánico fue negativa. Con la densidad aparente y la porosidad total no hubo un patrón claro de correlación⁴.

En las muestras de suelo colectadas del BTC pastoreado se estableció que los macroagregados se relacionaban positivamente con el carbono orgánico, el pH y el magnesio. Los microagregados mostraron una relación positiva con el sodio, mientras que con el magnesio se relacionó negativamente con estos.

En el caso del Pastizal cultivado, los macroagregados tuvieron una relación positiva con la porosidad total y el volumen de raíces húmedas, mientras que con la densidad aparente y la arcilla fue negativa. La relación de los microagregados con la porosidad total, el sodio, el volumen de raíces secas y raíces húmedas fue positiva, mientras que con la densidad aparente fue lo contrario.

Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados por Posición de Muestreo (Alta y Baja) para una misma Época de Muestreo

Los macroagregados de la posición alta del BTC conservado, en época de secas, mostraron relación positiva con el carbono orgánico, mientras que con el magnesio fue lo contrario. Por otro lado, los microagregados presentaron una relación positiva con la arcilla y el magnesio, mientras que con el carbono orgánico y el pH fue negativa. En contraste, los macroagregados de la posición baja de éste uso de suelo, tuvieron una relación negativa con el carbono orgánico, mientras que con el contenido de humedad residual no se encontró un patrón claro de correlación. La relación de los microagregados con la porosidad total fue positiva, mientras que con la densidad aparente se relacionó negativamente con estos.

En las muestras colectadas en la posición alta del BTC pastoreado, en la época de secas, se encontró que los macroagregados presentaban una relación positiva con la porosidad total y el calcio, mientras que con el pH fue lo contrario. Los microagregados no

⁴ Al presentarse en los tamaños de agregados que conforman a los macroagregados ó microagregados relaciones tanto positivas como negativas se le designó como patrón no claro.

tuvieron ninguna relación con las propiedades edáficas. Para la posición baja de éste uso de suelo, la relación de los macroagregados con el pH y el calcio fue positiva, mientras que con el volumen de raíces secas y raíces húmedas fue negativa. En el caso de los microagregados no mostraron ninguna relación con las propiedades edáficas.

Cuando las muestras se extrajeron de la posición alta en la ladera del Pastizal cultivado, en época de secas, se determinó que los macroagregados se relacionaban positivamente con el potasio, mientras que con la arcilla y el pH no se encontró un patrón claro de correlación. Los microagregados tuvieron una relación negativa con el potasio. En el mismo uso de suelo, pero cuando las muestras se obtuvieron de la posición baja se estableció que los macroagregados no presentaron patrón claro de correlación con el potasio. La relación de los microagregados con la densidad aparente, el pH, el calcio y el potasio fue positiva.

Las muestras que se extrajeron de la posición alta en la ladera del BTC conservado, en la época de lluvias, se estableció que los macroagregados se relacionaban positivamente con la porosidad total y el pH. Los microagregados presentaron una relación positiva con la porosidad total, mientras que con el pH no se encontró un patrón claro de correlación. En el mismo uso de suelo, pero cuando las muestras se obtuvieron de la posición baja se determinó que los macroagregados se relacionaban negativamente con el contenido de humedad. Por su parte, los microagregados tuvieron relaciones negativas con la porosidad total, el carbono orgánico, el pH y el calcio.

En las muestras colectadas en la posición alta del BTC pastoreado, en la época de lluvias, se estableció que los macroagregados presentaban una relación positiva con el volumen de raíces húmedas, mientras que con el potasio fue negativa. La relación de los microagregados con la densidad aparente y el volumen de raíces secas no se encontró un patrón claro de correlación. Los microagregados no tuvieron ninguna relación con las propiedades edáficas. En la posición baja de éste uso de suelo, la relación de los macroagregados con el contenido de humedad residual y el pH fue positiva, mientras que

con la densidad aparente fue lo contrario. Los microagregados tuvieron una relación negativa con el contenido de humedad residual y el pH.

En las muestras obtenidas en la posición alta del Pastizal cultivado en época de lluvias, se encontró que los macroagregados se relacionaban positivamente con el potasio, mientras que con el calcio se relacionó negativamente con éstos. Los microagregados se relacionaban positivamente con el carbono orgánico, el calcio y el volumen de raíces húmedas, mientras que con el potasio fue lo contrario. En el caso de los macroagregados de la posición baja de éste uso de suelo, se determinó relación positiva con la porosidad total, la arcilla y el carbono orgánico, mientras que con la densidad aparente, el pH y el magnesio se relacionó negativamente con estos. Los microagregados mostraron una relación negativa con el pH y el magnesio.

Relaciones de las variables Edáficas con los Macro y Micro agregados para una misma Época de Muestreo en los Usos de Suelo

En las muestras obtenidas del BTC conservado, en época de secas, se determinó que los macroagregados se relacionaban positivamente con la densidad aparente, mientras que con la arcilla, el calcio, el magnesio y el potasio fue negativa. La relación de los microagregados con el contenido de humedad residual y el calcio fue positiva.

Las muestras de suelo en época de secas del BTC pastoreado mostraron que los macroagregados se relacionaban positivamente con el carbono orgánico y el calcio. En cambio, los microagregados no presentaron ninguna relación con las propiedades edáficas.

En las muestras colectadas en época de lluvias del Pastizal cultivado, se encontró que los macroagregados presentaban relación positiva con el volumen de raíces secas y raíces húmedas. Los microagregados relaciones negativas con el contenido de humedad residual, el volumen de raíces secas y raíces húmedas.

Los macroagregados del BTC conservado, en época de lluvias, mostraron una relación positiva con el volumen de raíces secas y raíces húmedas, mientras que con el contenido de arcilla y de magnesio fue lo contrario. En el caso de los microagregados, la relación con el contenido de humedad residual, la arcilla, el pH y el potasio fue positiva, mientras que con el volumen de raíces secas y raíces húmedas se relacionó negativamente con estos.

Cuando las muestras se obtuvieron del BTC pastoreado, en época de lluvias, se estableció que los macroagregados se relacionaban positivamente con el contenido de humedad residual, mientras que con el pH fue negativa. La relación de los microagregados con el sodio fue positiva, mientras que con el contenido de humedad residual y el magnesio fue lo contrario.

Las muestras que se extrajeron en el Pastizal cultivado, en época de lluvias, se determinó que los macroagregados se relacionaban positivamente con la porosidad total, mientras que con la densidad aparente, la arcilla, el calcio y el magnesio fue negativa. Con el contenido de humedad residual y el potasio no se encontró un patrón claro de correlación. Los microagregados mostraron una relación negativa con el magnesio.

Indicadores de Agregación

En el Cuadro 16 del Anexo B se presentan los resultados de los cálculos de los indicadores de agregación en cada uso de suelo realizados en la unidad morfo-edafológica ladera sobre granito con regosol eútrico en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Análisis Factorial. En el Cuadro 22 se presenta el resultado del análisis factorial correspondiente al efecto de los sistemas de uso de suelo, la posición de obtención de la muestra (parte alta y baja de la pendiente) y la época de obtención de la misma.

Cuadro 22. Análisis de varianza factorial de los indicadores de agregación en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Factores e interacciones	Indicadores de Agregación							
	Pr > F							
	DMP _h	DMP _s	EES (%)	ASImax	ASItest	ASImin	δASI (%)	qASI (%)
Uso del Suelo (US)	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Posición	0.66	0.07	<.01	0.07	<.01	<.01	<.01	0.99
Época	0.09	<.01	0.74	<.01	<.01	<.01	0.25	0.06
US*Posición	0.04	0.02	0.02	0.19	0.21	0.07	0.13	0.07
US*Época	0.37	0.57	0.36	0.58	0.78	0.50	0.30	0.13
Posición*Época	0.35	0.68	0.79	0.92	0.74	0.49	0.43	0.74
US*Posición*Época	0.58	0.79	0.84	0.31	0.31	0.12	0.48	0.31

DMP_h=Diámetro medio ponderado en húmedo; DMP_s=Diámetro medio ponderado en seco; EES=Estado estructural del suelo; ASI=Índice de estabilidad máxima; ASItest=Índice de estabilidad; ASImin=Índice de estabilidad mínima; δASI= Índice relativo de variabilidad; qASI= Índice de calidad de cambio de la agregación.

De los resultados del análisis de varianza factorial, se observa que los indicadores de agregación fueron afectados especialmente por el factor principal de uso del suelo, mientras que la época de muestreo y la posición afectaron en menor grado. En general, los efectos principales fueron independientes, debido a que se presentaron sólo algunas interacciones de uso del suelo*posición. Estas interacciones fueron significativas en los indicadores DMP_h, DMP_s y EES. En cuanto a las excepciones de los efectos principales, hay que mencionar el caso del DMP_h, DMP_s, ASImax y qASI que no fueron influenciados por la posición de la muestra en la pendiente y el del DMP_h, DMP_s, EES y δASI que no fueron afectados por la época de muestreo. El uso del suelo afectó a todos los indicadores de agregación.

Efecto de Uso del Suelo. En el Cuadro 23 se presentan los valores medios de los indicadores de agregación y sus respectivas desviaciones estándar (Ds) y diferencias mínimas significativas estadísticas (DMS) correspondientes a las tres condiciones de uso de suelo estudiadas.

Cuadro 23. Medias de los indicadores de agregación de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Indicadores de agregación	BTC Conservado		BTC Pastoreado		Pastizal cultivado		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
DMP _h	1.8	0.2	3.4	0.7	3.1	0.8	0.6
DMP _s	2.1	0.3	3.7	0.4	1.9	0.5	0.3
EES (%)	82.1	4.5	40.3	12.1	59.4	6.1	8.3
ASI _{max}	24.3	2.3	28.4	2.6	26.1	2.2	2.4
ASI _{test}	20.8	2.2	24.4	2.8	24.3	2.1	2.4
ASI _{min}	17.3	2.6	22.1	3.2	22.1	2.0	2.7
δASI (%)	34.1	9.6	26.3	8.5	16.6	2.9	7.6
qASI (%)	50.9	6.6	36.0	6.0	56.5	5.6	6.1

BTC=Bosque tropical caducifolio; M=Media; Ds=Desv. Std; DMS=Diferencia Mínima Significativa; DMP_h=Diámetro medio ponderado en húmedo; DMP_s=Diámetro medio ponderado en seco; EES=Estado estructural del suelo; ASI=Índice de estabilidad máxima; ASI_{test}=Índice de estabilidad; ASI_{min}=Índice de estabilidad mínima; δASI=Índice relativo de variabilidad; qASI=Índice de calidad de cambio de la agregación.

Los indicadores de agregación que presentaron respuestas al cambio de uso del suelo fueron las siguientes:

Los valores más altos de DMP_h, ASI_{test} y ASI_{min} se encontraron en el BTC pastoreado y en el Pastizal cultivado, mismos que difirieron significativamente de los del BTC conservado. El valor de DMP_s más alto se obtuvo en el BTC pastoreado, siendo éste menor en el BTC conservado y el Pastizal cultivado. El valor de EES del Pastizal cultivado fue menor que en el BTC conservado, pero mayor que en el del BTC pastoreado. El valor más alto de ASI_{max} se observó en el BTC pastoreado, siendo mínimo en el BTC conservado, mientras que el Pastizal cultivado fue semejante a ambos usos de suelo. El valor de δASI del BTC pastoreado fue menor que en el BTC conservado, pero mayor que en el del Pastizal cultivado. Los valores más altos de qASI se tuvieron en el BTC conservado y en el Pastizal cultivado, resultando menor significativamente el BTC pastoreado.

Efecto de la Posición. Los valores medios de los indicadores de agregación de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de ladera, y algunos datos estadísticos asociados correspondientes al efecto principal de posición e interacciones de posición*uso del suelo se muestran en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Medias de los indicadores de agregación de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de posición e interacciones de posición*uso del suelo.

Indicadores de agregación	<u>Efectos Principales</u>						DMS
	<u>Posición alta</u>			<u>Posición baja</u>			
	M	Ds		M	Ds		
EES (%)	57.2	20.8		64.0	17.1		4.9
δASI (%)	30.7	7.2		20.7	10.8		3.7
ASIttest	24.3	2.8		22.1	2.6		1.2
ASImin	22.0	3.3		19.0	2.9		1.1

Indicadores de agregación	<u>Interacciones Posición*Uso del Suelo</u>												DMS
	<u>BTC Conservado</u>				<u>BTC Pastoreado</u>				<u>Pastizal cultivado</u>				
	BTCCa		BTCCb		BTCPa		BTCPb		PCa		PCb		
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
EES (%)	80.6	3.2	83.7	5.4	31.8	4.4	48.8	11.5	59.1	4.0	59.6	8.1	11.9
DMP _h	1.9	0.1	1.7	0.2	3.8	0.3	3.1	0.8	2.8	0.7	3.4	0.8	1.0
DMP _s	2.0	0.4	2.3	0.3	3.8	0.6	3.6	0.3	1.6	0.4	2.3	0.5	0.8

EES=Estado estructural del suelo; ASIttest=Índice de estabilidad; ASImin=Índice de estabilidad mínima; δASI=Índice relativo de variabilidad; DMP_h=Diámetro medio ponderado en húmedo; DMP_s=Diámetro medio ponderado en seco; BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); M= Media; Ds= Desv. Std; DMS= Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Los efectos de la posición de la pendiente de donde se obtuvieron las muestras, fueron significativos en las siguientes variables de respuesta: el EES fue mayor en la posición baja de la ladera. Este efecto no puede ser considerado como independiente porque la interacción posición*uso del suelo fue significativa. El valor más alto de δASI se encontró en la posición baja de la ladera, en contraste, el ASIttest y el ASImin resultaron ser mayores en la posición alta. Estos indicadores solamente tuvieron efecto principal. En el caso del DMP_h y DMP_s únicamente presentaron interacción posición*uso del suelo.

Del análisis de la interacción posición*uso del suelo se observó las variables de respuesta de los indicadores:

Los valores más altos de DMP_h se encontraron en ambas posiciones del BTC pastoreado y del Pastizal cultivado, siendo menores en ambas posiciones del BTC

conservado. El DMP_s fue mayor en ambas posiciones del BTC pastoreado e inferior en ambas posiciones del BTC conservado y del Pastizal cultivado. Los valores de EES más altos estuvieron en ambas posiciones del BTC conservado, siendo menores en la posición baja del BTC pastoreado y en ambas del Pastizal cultivado, y mínima en la posición alta del BTC pastoreado.

Efecto de la Época de Muestreo. Los valores medios de los indicadores de agregación y sus respectivas desviaciones estándar (Ds) y diferencias mínimas significativas (DMS) de las muestras colectadas en el periodo de lluvias y de secas, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo se presentan en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Medias de los indicadores de agregación de las muestras colectadas en época de secas y de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo.

Indicadores de agregación	Efecto Principal				
	Época de Secas		Época de Lluvias		DMS
	M	Ds	M	Ds	
DMPs	2.9	0.8	2.3	0.9	0.2
ASImax	25.0	2.9	27.6	2.2	1.3
ASIttest	24.4	2.8	22.0	2.5	1.2
ASImin	21.7	3.5	19.3	3.0	1.1

ASImax=Índice de estabilidad máxima; ASIttest=Índice de estabilidad media; ASImin=Índice de estabilidad mínima; DMP_s =Diámetro medio ponderado en seco; M=Media; Ds=Desviación estándar; DMS = Diferencia Mínima Significativa;

El efecto de la época de muestreo fue significativo en las siguientes variables de respuesta: el ASImax, el ASIttest y el ASImin fueron mayores en la época de lluvias, al contrario del DMP_s , que resultó ser más alto en época de secas. Los indicadores antes mencionados únicamente tuvieron efecto principal.

VII. DISCUSIÓN

La generación de unidades morfo-edafológicas permitió delimitar unidades con características geomorfológicas y edáficas relativamente homogéneas, que se relacionan con la agregación del suelo, como la textura, el pH y algunos nutrientes; el relieve por su parte determina condiciones microclimáticas que depende de la exposición e inclinación (Cammeraat y Imeson, 1998). La agregación del suelo es un parámetro sintético influenciado por variables físicas, químicas y biológicas, que dependen de las características específicas de la unidad morfo-edafológica (Cotler y Ortega-Larrocea, 2006).

La calidad de suelo en el BTC conservado fue mejor que en el Pastizal cultivado, porque presentó mayor porosidad total (característica que favorece la aireación, la retención de agua y su transporte), mayor porcentaje de carbono orgánico (el cual contribuye con sus compuestos humificados a la retención de nutrientes), mejores niveles de pH y de Σ Bases que benefician el aspecto nutrimental para el desarrollo de la vegetación del trópico seco. En cambio, el Pastizal cultivado, que está sometido a un manejo ganadero extensivo, mostró un deterioro de las propiedades edáficas antes mencionadas, además de una disminución de humedad residual al momento del muestreo y un incremento de la densidad aparente, todo lo cuál determina que la calidad del suelo en el Pastizal cultivado fuese menor que en BTC conservado. Estos resultados coinciden con los obtenidos por García-Oliva (1992) y García-Oliva y Maass (1998) quienes también encontraron una mayor densidad aparente y una disminución de materia orgánica y de nutrientes en el Pastizal cultivado. El BTC pastoreado presentó un manejo de suelo que es una transición entre el BTC conservado y el Pastizal cultivado, los valores de densidad aparente y de carbono orgánico en éste sistema resultaron intermedios. Según Roger *et al.* (2004) la porosidad interna de macroagregados (PIMa) es un indicador físico de la calidad del suelo. La PIMa fue mayor en el BTC conservado, que en BTC pastoreado y en Pastizal cultivado, debido posiblemente al pisoteo del ganado. Los macroagregados del BTC pastoreado y Pastizal cultivado no se consideraron favorables para que el suelo ejerza sus funciones en un nivel adecuado, porque tienen escasa porosidad interna.

El mayor contenido de humedad residual, el mayor porcentaje de arcilla y los mayores niveles de pH y Σ Bases en la posición baja de la ladera se debe al flujo de agua pendiente abajo que genera transporte de partículas y redistribución de estas sustancias desde las partes altas. Estos resultados coinciden con los encontrados por Shimel *et al.*, 1991 y Burke (1995). La mayor densidad aparente, la menor porosidad total y la menor porosidad interna de macroagregados en la posición baja de la ladera, puede estar influenciada por el enriquecimiento de arcilla.

La mayor Σ Bases se encontró en época de lluvias. Lodge *et al.* 1994 y Roy y Singh (1994) han reportado que el incremento en la concentración de nutrientes al final de la época de lluvias se explica por la inmovilización microbiana, la disminución en la captura de nutrientes por las plantas, así como la entrada de nutrientes al suelo por la descomposición de la materia orgánica. En época de lluvias se obtuvo mayor contenido de humedad residual, esto favoreció al crecimiento y desarrollo de las raíces. Gates (1993) menciona que en condiciones de altas temperaturas, la humedad es fundamental para el incremento de la productividad primaria (vegetal) y el desarrollo radicular, favoreciendo el crecimiento de las plantas. En época de secas, el pH es más alto debido a que ya han cesado los procesos de movimiento de nutrientes y no hay iones hidrógeno proveniente del agua de lluvia tal como lo menciona Galicia *et al.*, 1995.

En el BTC conservado se encontró la mayor proporción de macroagregados de tamaño 1.00-3.36 mm cuando se determinó la distribución de agregados en seco. La proporción de éstos presentó una relación positiva con el calcio, la arcilla y con el volumen de raíces secas y raíces húmedas. La mayor proporción de microagregados, principalmente de tamaño <0.25 mm, se obtuvo en el Pastizal cultivado. Esta variable de respuesta se relacionó positivamente con el volumen de raíces secas y raíces húmedas, pero negativamente con el porcentaje de arcilla. La mayor proporción de macroagregados, especialmente de tamaño >4.76 mm, se encontró en el BTC pastoreado, pero esta variable de respuesta no se relacionó con ninguna propiedad del suelo. De lo anterior se infirió que la participación del volumen radical o la presión que ejercen las raíces sobre la masa de suelo, es importante para la formación de agregados en general.

La distribución de agregados, determinada en suelo seco, en muestras colectadas en las posiciones alta y baja de las laderas, mostró que la mayor proporción de macroagregados principalmente de los tamaños 2.00-3.36 mm y 3.36-4.76 mm, se encontraban en las posiciones bajas, mientras que en las posiciones altas se encontraron mayor proporción de microagregados, especialmente de tamaño <0.50 mm. Los macroagregados de la posición baja del BTC conservado se relacionaron positivamente con el contenido de humedad residual y de arcilla. Cabe señalar que la humedad es un factor importante para el crecimiento radicular y para la proliferación de hongos arbusculares micorrízicos, factores que favorecen a la agregación del suelo (Miller y Jastrow, 2000). Los macroagregados de la posición baja del BTC pastoreado se relacionaron positivamente con la humedad residual, el carbono orgánico y el calcio, mientras que en la posición baja del Pastizal cultivado no se encontró una relación evidente de los macroagregados con las propiedades edáficas. Los microagregados presentes en la posición alta del BTC conservado presentaron una relación positiva con carbono orgánico, pero negativa con arcilla, calcio y volumen de raíces húmedas. La relación de la arcilla con la agregación del suelo es ambivalente tal como se ha observado en diferentes trabajos, sin que se pueda establecer una relación clara con la formación de los agregados (Pierson y Mulla, 1990; Le Bissonnais y Singer, 1993; Le Bissonnais, 1996). En el caso de los microagregados de la posición alta del BTC pastoreado se encontró que había una relación negativa con calcio, mientras que en la posición alta del Pastizal cultivado se obtuvo una relación positiva con el sodio y con el volumen de raíces secas.

El porcentaje de macroagregados determinado en el suelo seco al aire, fue mayor cuando se midió en muestras colectadas en la época de secas, mientras que el porcentaje de microagregados resultó ser mayor en época de lluvias, lo que podría sugerir que la lluvia destruiría ciertos agregados que no habían alcanzado estabilidad. En época de lluvias no se encontró una relación clara de la distribución de agregados en seco con las propiedades edáficas, en cambio, en época de secas se obtuvo las siguientes relaciones que explican el proceso de agregación en los usos de suelo: En el BTC conservado se encontró la mayor proporción de agregados 1.00-3.36 mm. La proporción de éstos presentó una relación positiva con el contenido de arcilla, el carbono orgánico y el calcio. En Pastizal cultivado

hubo mayor proporción de agregados <0.25 mm. Esta variable de respuesta se relacionó negativamente con arcilla, pero relación positiva con el contenido de sodio. De lo anterior se infirió que el sodio pudo haber influido en la dispersión del suelo provocando el aumento de los agregados <0.25 mm. En BTC pastoreado se encontró mayor proporción de agregados >4.76 mm, relacionados positivamente con carbono orgánico y calcio. En este estudio se ha observado continuamente la relación del calcio con la agregación del suelo, esta relación también ha sido reportado por Levy *et al.* (1988) y Levy y Van Der Watt (1990).

Cuando la estabilidad de agregados se determinó en húmedo, la mayor proporción de macroagregados de tamaño 1.00-4.76 mm se encontró en el BTC conservado. La proporción de éstos presentó una relación positiva con el volumen de raíces secas y raíces húmedas. De lo anterior se infirió que la participación del volumen radical es importante para la formación de macroagregados. El BTC pastoreado y el Pastizal cultivado tuvieron mayor proporción de macroagregados que el BTC conservado, principalmente de tamaño >4.76 mm. Esta variable de respuesta se relacionó positivamente con el carbono orgánico en el caso del primer sistema de manejo. La participación del carbono orgánico en la formación de los macroagregados en el suelo del ecosistema tropical seco también ha sido reportado tanto por García-Oliva *et al.*, 1999 como por Cotler y Ortega-Larrocea (2006). En el Pastizal cultivado se encontró que había una relación positiva con el volumen de raíces húmedas, esto concuerda con lo señalado por García-Oliva y Paz (2001). El BTC conservado tuvo mayor proporción de microagregados de tamaño <0.25 mm; éstos mostraron una relación positiva con arcilla y calcio, pero relación negativa con carbono orgánico. De tal manera que la arcilla y el calcio son los principales agentes de la agregación en ese nivel de organización especial. En el caso del carbono orgánico, se puede inferir que cuando disminuye éste, se incrementan los microagregados. La alta porosidad interna de macroagregados en BTC conservado, aunado a un humedecimiento rápido del suelo, puede ocasionar una fuerza suficiente que provoca la destrucción de los macroagregados repercutiendo en el aumento de microagregados, este comportamiento de ruptura de los macroagregados por rehidratación es señalado por García-Oliva *et al.* (1999).

La mayor proporción de macroagregados en el BTC conservado y en el BTC pastoreado se encontró en las posiciones altas cuando se determinó la estabilidad de agregados en húmedo. Esta variable de respuesta se relacionó positivamente con el carbono orgánico para el primer uso de suelo mencionado. En el caso del BTC pastoreado se encontró que había una relación positiva con calcio y volumen de raíces húmedas. Para el Pastizal cultivado, la mayor proporción de macroagregados se encontró en la posición baja; éstos se relacionaron de manera positiva con arcilla y carbono orgánico. La mayor proporción de microagregados en BTC conservado y en BTC pastoreado se obtuvo en las posiciones bajas. La proporción de éstos presentó una relación negativa con el carbono orgánico y calcio para el BTC conservado, mientras que para el segundo uso de suelo hubo solamente relación negativa con la humedad residual. La mayor proporción de microagregados en Pastizal cultivado se encontró en la posición alta, estos se relacionaron positivamente con el carbono orgánico, calcio y volumen de raíces húmedas.

Los macroagregados de tamaño >4.76 mm, producto de la prueba de estabilidad de agregados en húmedo fueron mayores en época de secas, mientras que en época de lluvias se incrementaron los agregados <3.36 mm. Lo anterior permite afirmar que existe destrucción de agregados por efecto de la lluvia. En BTC conservado, la relación de las estabilidades de agregados en húmedo con las propiedades edáficas fueron más claras en época de lluvias, mientras que para el BTC pastoreado y el Pastizal cultivado lo fueron en época de secas. En el BTC conservado se encontró la mayor proporción de agregados 1.00-3.36 mm. La proporción de éstos presentó una relación positiva con el volumen de raíces secas y raíces húmedas. El BTC pastoreado y el Pastizal cultivado tuvieron mayor proporción de macroagregados principalmente de tamaño >4.76 mm. Esta variable de respuesta se relacionó positivamente con el carbono orgánico y calcio en el primer uso de suelo. En el Pastizal cultivado se encontró que había una relación positiva con el volumen de raíces secas y raíces húmedas. El BTC conservado presentó la mayor proporción de microagregados, que tuvieron relación positiva con el contenido de arcilla y calcio, pero relación negativa con el volumen de raíces secas y raíces húmedas. Lo anterior podría sugerir que una menor biomasa de raíces puede ocasionar mayor facilidad de rompimiento de los agregados, lo que concuerda con el trabajo realizado por García-Oliva y Paz (2001).

Relacionando los indicadores de agregación con el proceso de erosión hídrica, se puede decir que el BTC pastoreado y el Pastizal cultivado presentaron la mayor resistencia al efecto del agua de acuerdo al Diámetro medio ponderado (DMP_h). Este comportamiento también se pudo observar mediante el indicador de estabilidad ASItest. En la modelación de la oscilación de estabilidades de agregados se observó que el BTC pastoreado obtuvo las estabilidades más altas (ASI_{max}), esto quiere decir que presentó mayor resistencia al efecto erosivo, mientras que el BTC conservado mantuvo las menores estabilidades (ASI_{min}). La mayor estabilidad del BTC pastoreado puede estar relacionada con la mineralogía arcillosa, debido a que la caolinita une a las partículas de suelo con mayor fuerza en comparación con la montmorillonita (Stern *et al.*, 1991; Levy *et al.*, 1993). La susceptibilidad del BTC conservado al proceso erosivo se debe a que presenta una mayor variación en estabilidades (δASI), ocasionada por la diversidad de los diferentes tamaños de agregados. Los valores más altos de q_{ASI} se encontraron en BTC conservado y en Pastizal cultivado, lo que significa que al existir un cambio en la agregación del suelo, las estabilidades promedio (ASItest) de estos usos de suelo tienden a estar más cercanas a las estabilidades ASI_{max}. Relacionando el indicador de agregación DMP_s con el proceso de erosión eólica, se puede decir que el BTC pastoreado obtuvo la mayor resistencia. El BTC conservado resultó con el mejor estado estructural del suelo (EES), esto favorece al transporte de líquidos, gases y calor, lo cual proporciona excelentes condiciones para el desarrollo de la vegetación del trópico seco.

El mayor EES en la posición baja de la ladera, ocasiona que exista una mayor variación en estabilidades (δASI) debido a la diversidad de agregados de diferente tamaño. Por lo tanto, al haber un menor EES y un menor δASI en la posición alta, repercute que sean mayores las estabilidades de ASItest y ASI_{min} en dicha posición. En general, en ambas posiciones del BTC conservado se presentó el mejor estado estructural del suelo (EES), esto contribuye a que se tenga una mejor calidad del suelo a lo largo de la ladera. La posición alta del BTC pastoreado presentó la mayor resistencia al efecto del agua de acuerdo al indicador DMP_h . Ambas posiciones del BTC pastoreado presentaron mayor resistencia a la erosión eólica de acuerdo al indicador de agregación DMP_s .

Es importante señalar que en época de lluvias hubo un incremento de estabilidad, esto se pudo observar con los indicadores de ASI_{max}, ASI_{test} y ASI_{min}. Este aumento de estabilidad en época de lluvias podría deberse a la mayor tasa de descomposición biológica y al incremento del volumen radical, ambos a causa del incremento de humedad. Lo anterior podría sustentarse mediante los trabajos de Sachman (2001) que encontró mayor contenido de carbono orgánico en época de lluvias, mientras que Gates (1993) cuantificó mayor biomasa radical en dicha época.

La mayoría de los estudios que emplean la agregación del suelo como indicador de la erosión del suelo corresponden a ecosistemas tropicales húmedos (de Roo, 1993; Chappell *et al.*, 1999) o bien ecosistemas mediterráneos (Boix-Fayos *et al.*, 2001; Cammeraat e Imeson, 1998). Aún es necesario profundizar más sobre las relaciones y la dinámica edáfica tanto temporal como espacialmente en los ecosistemas tropicales secos (García-Oliva y Maass, 1998; Cotler y Ortega-Larrocea, 2006). Este conocimiento es imprescindible si se busca considerar la susceptibilidad y resiliencia del suelo en decisiones sobre su uso y manejo.

VIII. CONCLUSIONES

1. Este estudio establece la generación de unidades morfo-edafológicas, como unidades espaciales base que permiten la extrapolación y comparación de la agregación del suelo al interior de unidades homogéneas.

2. El efecto de uso del suelo sobre las propiedades edáficas de un ecosistema tropical seco, ocasionó cambios en varias propiedades edáficas como: la humedad residual, la densidad aparente, la porosidad total, la porosidad interna de macroagregados, pH, carbono, la suma de bases y el volumen radical, las cuales están relacionadas con la calidad del suelo. La posición influyó en los cambios de las propiedades edáficas, con excepción del carbono y del volumen radical. La época de muestreo fue determinante para que las propiedades edáficas difirieran, pero no hubo efecto de éste en la porosidad interna de macroagregados y en el carbono.

3. El efecto de uso del suelo y la posición afectaron la proporción de macroagregados y microagregados resultantes de la prueba de distribución de agregados en seco. El uso del suelo fue el principal factor que afectó a los tamaños de agregados y la posición lo hizo en menor grado. La época de muestreo afectó a los macroagregados y los microagregados. Los agregados mostraron relaciones con las propiedades edáficas: arcilla, calcio, carbono orgánico y volumen radical.

4. En cuanto a la estabilidad de agregados, el uso del suelo fue el principal factor que afectó a los tamaños de agregados, mientras que la posición influyó menos en estos tamaños. La época de muestreo afectó a la estabilidad de los agregados. Con base en las relaciones (positivas) de los agregados con el carbono orgánico, el volumen radical, la arcilla y el calcio, se puede decir que a mayor concentración de éstos, la estabilidad de agregados es mayor.

5. Los indicadores de agregación de diámetro medio ponderado en húmedo (DMP_h), diámetro medio ponderado en seco (DMP_s), estado estructural del suelo (EES), índice de

estabilidad máxima (ASI_{max}), índice de estabilidad media (ASI_{test}), índice de estabilidad mínima (ASI_{min}), índice relativo de variabilidad (δ ASI) y el índice de calidad de cambio en la agregación (qASI) permitieron diferenciar el efecto de uso del suelo. Los indicadores EES, ASI_{test}, ASI_{min} y δ ASI mostraron efecto de la posición. Los indicadores DMP_s, ASI_{max}, ASI_{test} y ASI_{min} fueron afectados por la época de muestreo.

IX. REFERENCIAS

- Adriaanse, A. 1993. Environmental police performance indicators. A study in the development of indicators for environmental policy in the Netherlands. Sdu Uitgeverij Koninginnergrach, The Netherlands.
- Amezqueta, E. 1999. Soil aggregate stability: a review. *Journal Sustainable Agriculture* 14: 83-151.
- Armstrong, A.S.B. and T.W. Tanton. 1992. Gypsum applications to aggregated saline sodic clay topsoils. *Journal Soil Science* 43: 249-260.
- Astier C., M., M. Maass M., y J. Etchevers, B. 2002. Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia* 36: 605-620.
- Bartoli, F., R. Philippy and G. Burtin. 1988. Aggregation in soils with small amounts of swelling clays: Aggregate stability. *Journal of Soil Science* 39: 593-616.
- Bautista C., A., J. Etchevers B., R.F. del Castillo y C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision2.htm>
- Barthés B. and E. Roose. 2002. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. *Catena* 47: 133-149.
- Baver, L.D. 1980. *Física de Suelos*. Editorial UTHEA. México, D.F. 529 pp.
- Bezdicsek, F.D., R.I. Papendick and R. Lal. 1996. Introduction: Importance of soil quality to health and sustainable land management. *In: Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, Special Publication 49. Madison, Wisconsin.
- Blake G.R. and K.H. Hartge. 1986a. Bulk density. *In: Methods of soil analysis* (A. Klute ed.). Number 9 in the series Agronomy. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Blake G.R. and K.H. Hartge. 1986b. Particle density. *In: Methods of soil analysis* (A. Klute ed.). Number 9 in the series Agronomy. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Boehm, M.M. and D.W. Anderson. 1997. A landscape study of soil quality in three prairie farming systems. *Soil Science Society of America Journal* 61: 1147-1159.
- Boix-Fayos, C., A. Calvo-Cases, A.C. Imeson and M.D. Soriano-Soto. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44: 47-67.

-
-
- Bouma, J. 1989. Using soil survey data for quantitative land evaluation. *Advances in Soil Science* 9: 177-213.
- Bouma J. and P. Droogers. 1998. A procedure to derive land quality indicators for sustainable agricultural production. *Geoderma* 85: 103-110.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 1999. *The nature and properties of soils*. 12th edn. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey. 863 pp.
- Bryan, R.B., G. Govers and J. Poesen. 1989. The concept of soil erodibility and some problems of assessment and application. *Catena* 16: 393-412.
- Bronick, C.J. and R. Lal. 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3-22.
- Burke, I.C., E.T. Elliot and C.V. Cole. 1995. Influence of microclimate landscape position and management on soil organic matter in agroecosystems. *Ecological Applications* 5: 124-131.
- Cammeraat, L.H. and A.C. Imeson. 1998. Deriving indicators of soil degradation from soil aggregation studies in southeastern Spain and southern France. *Geomorphology* 23: 307-321.
- Campos C., A. 2002. Diagnóstico de la degradación de suelos de origen volcánico, región Cofre de Perote. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Castellanos, J., V.J. Jaramillo, R.L. Sanford Jr. and J.B. Kauffman. 2001. Slash-and-burn effects on fine root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in México. *Forest Ecology and Management* 148: 41-50.
- Castillo, G. y A. Gómez-Pompa. 1991. La vegetación de Cuixmala. *In*: A. Gómez-Pompa (ed.). Estudio botánico ecológico de las reservas de Cuixmala y Jabalí. Reporte a la UICN y a Botanical Gardens Conservation International. Estación de Biología Chamela, Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Chappell, N.A., J.L. Ternan and K. Bidin. 1999. Correlation of physicochemical properties and sub-erosional landforms with aggregate stability variations in a tropical Ultisol disturbed by forestry operations. *Soil & Tillage Research* 50: 55-71.
- Cody, R.O. and J.K. Smith. 1991. *Applied Statistics and the SAS Programming Language*. North-Holland, New York.
- Cortés, A.F. 2001. Estudio geohidrológico de la subcuenca del río Cuixmala, en la costa de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D.F.
-
-

-
-
- Cotler, H., E. Durán y C. Siebe. 2002. Caracterización morfo-edafológica y calidad de sitio de un bosque tropical caducifolio. pp. 17-79. *In*: F. Noguera, J.H. Vega, A.N. García, M. Quesada (eds.). Historia Natural de Chamela. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- Cotler, H. 2003. El uso de la información edáfica en los estudios ambientales. *Gaceta Ecológica* 61: 33-42.
- Cotler, H. and M.P. Ortega-Larrocea. 2006. Effects of land use on soil erosion in a Mexican tropical dry forest ecosystem. *Catena* 65: 107-117.
- Coulombe, C.E., L.P. Wilding and J.B. Dixon. 1996. Overview of Vertisols: Characteristics and impacts on society. *Advances in Agronomy* 57: 289-375.
- Czarnes, S., P.D. Hallett, A.G. Bengough and I.M. Young. 2000. Root and microbial derived mucilages affect soil structure and water transport. *European Journal Soil Science* 51: 435-443.
- Dalal, R.C. and B.J. Bridge. 1996. Aggregation and organic matter storage in sub-humid and semi-arid soils. *In*: M.R. Carter, B.A. Stewart. (eds.). *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*. CRC Press, Boca Raton, Florida. 263-307 pp.
- de Roo, A.P.J. 1993. Modelling surface runoff and soil erosion in Catchments using geographical information Systems. *Netherlands Geographical Studies No. 157*. University of Utrecht, Netherlands. 295 pp.
- Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. pp. 3-21. *In*: J.W. Doran, D.C. Coleman, D.C. Bezdicek, B.A. Stewart (eds.). *Defining and assessing soil quality for sustainable environment*. Soil Science Society of America, Special Publication 35. Madison, Wisconsin.
- Dumanski, J., S. Gameda and C. Pieri. 1998. Indicators of land quality and sustainable land management. The World Bank, Washington, DC.
- Dymoyiannis, D.G., C.D. Tsadilas and S. Valmis. 1998. Factors affecting aggregate instability of Greek agricultural soils. *Soil Sci. Plant Anal.* 29: 1239-1251.
- Etchevers B., J.D. 1988. Análisis químico de suelos y plantas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Etchevers B., J.D. 1999. Indicadores de la calidad del suelo. *In*: C. Siebe, H. Rodarte, G. Toledo, J.D. Etchevers B., K. Oleshko (eds.). *Conservación y restauración de suelos*. Programa Universitario de Medio Ambiente - Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
- FAO. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y agua. Roma, Italia. 254 pp.
-
-

-
-
- FitzPatrick, E.A. 1980. The micromorphology of soils. Dept. of Soil Science, University of Aberdeen, Scotland.
- Franzuebbers, A.J., R.L. Haney, C.W. Honeycutt, M.A. Arshad, H.H. Schomberg and F.M. Hons. 2001. Climatic influences on active fractions of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 33: 1103-1111.
- Galicia L., F. García-Oliva y J. López-Blanco. 1995. Efecto de la estructura jerárquica del relieve en la distribución de las características físicas de los suelos en una cuenca tropical estacionaria mexicana. *Boletín de Investigaciones Geográficas* 3: 53-75.
- García, E. 1998. Información climática de México, escala 1:1,000,000. CONABIO. México, D.F.
- García-Oliva, F. 1992. Erosión y pérdida de nutrientes en una cronosecuencia de uso agropecuario en un ecosistema tropical estacional mexicano. Tesis Doctoral en Ecología, UACPYP-CCH C.E., UNAM, México.
- García-Oliva, F. y J.M. Maass. 1998. Efecto de la transformación de la selva a pradera sobre la dinámica de los nutrientes en un ecosistema tropical estacionario en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62:39-48.
- García-Oliva, F., R.L. Sanford and E. Kelly. 1999. Effects of slash-and-burn management on soil aggregate organic C and N in a tropical deciduous forest. *Geoderma* 88: 1-12.
- García-Oliva, F. y M.T. Paz. 2001. Dinámica estacional de la biomasa de raíces finas asociada a agregados del suelo en un ecosistema tropical estacional. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 69:15-21.
- Gates, D.M. 1993. *Climate change and its biological consequences*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland Massachusetts, Estados Unidos. 280 pp.
- Geissert, D. y J.P. Rossignol. 1987. La morfo-edaforología en la ordenación de los paisajes rurales: conceptos y primeras aplicaciones en México. INIREB-ORSTOM, Xalapa, México. 83 pp.
- Geissert, D., D. Dubroeuq, A. Campos y E. Meza. 1994. Carta de unidades geomorfo-edaforológicas de la región natural Cofre de Perote, Veracruz, México, escala 1:75,000. Instituto de Ecología-ORSTOM-CONACyT, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, México.
- Geissert, D. 1995. Influencia de la geomorfología en la evolución de suelos de dunas costeras en Veracruz, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín especial* 3: 37-52.
-
-

-
-
- Geissert, D. 2000. La cartografía morfo-edafológica: un método integral para la evaluación del recurso suelo. pp. 1-14. *In*: J.F. López-Olguín, A. Aragón, M.A. Valera (eds.). Métodos de Investigación en las Ciencias Ambientales. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.
- Haynes, R.J. and R. Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 51: 123-137.
- Hillel, D. 1998. *Environmental soil physics*. Academic Press, San Diego Cal, E.U.A. 100-125 pp.
- Hillier, F.S. and G.J. Lieberman. 1990. *Introduction to Stochastic Models in Operations Research*. McGraw-Hill, New York.
- Houghton, R.A., D.S. Lefkowitz and D.L. Skole. 1991. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. *Progressive Loss of Forest. Forest Ecology and Management* 38: 143-172.
- Hunnmeyer, A.J., R. De Camino y S. Muller. 1997. *Análisis del desarrollo sostenible en Centroamérica. Indicadores para la agricultura y los recursos naturales*. IICA/GT, San José, Costa Rica.
- INE. 2005. *Los ecosistemas de México*. Instituto Nacional de Ecología. http://www.ine.gob.mx/dgoece/con_eco/conhc/ecomex.html
- INEGI. 1975. *Información cartográfica del estado de Jalisco, escala 1:50,000*. México, D.F.
- INEGI. 1976. *Información cartográfica de uso del suelo del estado de Jalisco, escala 1:250,000*. México, D.F.
- Izac A.M. and M.J. Swift. 1994. On agricultural sustainability and its measurement in small-scale farming in Sub-Saharan Africa. *Ecological Economist* 11: 105-125.
- Jungerius, A., P. Bullock, A. Stoops, N. Fedoroff, T. Tursina y U. Babel. 1985. *Manual para la descripción micromorfológica de suelos*. Ma. del C. Gutiérrez C., C.A. Ortiz S. (Trads.). Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris and G.E. Schuman. 1997. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61: 4-10.
- Karlen, D.L. 2004. Soil quality as an indicator of sustainable tillage practices. *Soil & Tillage Research* 78: 129-130.
-
-

-
-
- Karr, J. R. 1994. Landscapes and management for ecological integrity. pp. 229-251. *In*: K.C. Chung, R.D. Weaver (eds.). Biodiversity and Landscapes. Cambridge University Press, New York.
- Kaúrichev. 1984. Prácticas de edafología. Editorial Mir Moscú, URSS. 287 pp.
- Kay, B.D. 1998. Soil structure and organic carbon: A review, pp. 169-197. *In*: R. Lal (ed.). Soil processes and the carbon cycle. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Kemper, W.D. and Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. *In*: C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Number 9 in the series Agronomy. Madison, Wisconsin.
- Larson, W.E. and F.J. Pierce. 1991. Conservation and enhancement of soil quality. *In*: Evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol. 2 IBSRAM Proc. 12 (2). Int. Board for Soil Res. and Management. Bangkok, Thailand.
- Layton, J.B., E.L. Skidmore and C.A. Thompson. 1993. Winter associated changes in dry-soil aggregation as influenced by management. *Soil Science Society of America Journal* 57: 1568-1572.
- Lavee, H., P. Sarah and A.C. Imeson. 1996. Aggregate stability dynamics as affected by soil temperature and moisture regimes. *Geografiska Annaler* 78: 73-82.
- Le Bissonais, Y. and M.J. Singer. 1993. Seal formation, runoff and interrill erosion from 17 California soils. *Soil Science Society of America Journal* 57: 224-229.
- Le Bissonais, Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodability: theory and methodology. *European Journal of Soil Science* 47: 425-437.
- León-González, F., E. Celada-Tornel, C.I. Hidalgo-Moreno, J.D. Etchevers B., M.C. Gutiérrez-Castorena, A. Flores-Macías. 2006. Root-soil adhesion as affected by crop species in a volcanic sandy soil of Mexico. *Soil & Tillage Research* 90: 77-83.
- Levy, G., H. Van Der Watt and H.M. du Plessis. 1988. Effect of sodium-magnesium and sodium-calcium systems on soil hydraulic conductivity and infiltration. *Soil Science* 146: 303-310.
- Levy, G. and H. Van Der Watt. 1990. Effect of exchangeable potassium on the hydraulic conductivity and infiltration rate of some South African soils. *Soil Science* 149: 69-77.
- Levy, G.J., H. Eisenberg and I. Shainberg. 1993. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. *Soil Science* 155: 15-22.
-
-

-
-
- Lodge, D.J., W.H. Mc Dowell y C.P. Mc Swincy. 1994. The importance of nutrient pulse in tropical forest. *TREE* 9: 384-387.
- Lomelí G., V. 1996. Cambios antropogénicos de los Vertisoles de la cuenca del arroyo Ucum, Quintana Roo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Lott, E. J. 1987. Listados florísticos de México. Estación de Biología Chamela, Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Lynch, J.M. and E. Bragg. 1985. Microorganisms and soil aggregate stability. *Advances in Soil Science* 6: 177-199.
- Maass, J.M. 1988. Soil Erosion and Nutrient Losses in Seasonal Tropical Agro-ecosystems under various management techniques. *Journal of Applied Ecology* 25: 595-607.
- Maass, J.M., V. Jaramillo, A. Martínez-Yrizar, F. García-Oliva and J. Sarukhán. 1994. The Chamela Watershed Project: a study of the structure and functioning of a tropical deciduous forest in West Mexico. Folleto de divulgación editado por el Centro de Ecología, UNAM. México, D.F.
- Martínez-Yrizar, A., A. Búrquez and J.M. Maass. 2000. Structure and functioning of tropical deciduous forest in Western Mexico. *In*: R.H. Robichaux (eds.). The tropical deciduous forest of Alamos: biodiversity of a threatened ecosystem in Mexico. University of Arizona Press, Tucson. pp: 19-35.
- Miedema, R.A. 1997. Applications of micromorphology of relevance to agronomy. *Advances in Agronomy* 57: 119-159.
- Miller, R.M. and J.D. Jastrow. 1992. The application of VA mycorrhizae to ecosystem restoration and reclamation. *In*: M.A. Allen (ed.). Mycorrhizal Functioning. Chapman and Hall, New York. 438-467 pp.
- Miller, R.M. and J.D. Jastrow. 2000. Mycorrhizal fungi influence soil structure. pp. 4-18. *In*: Y. Kapulnik, D. Douds (eds.). Arbuscular Mycorrhizas: physiology, molecular biology and ecology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Boston, London.
- Mineral Powder Diffraction File. 1980. Data Book. International Centre for Diffraction Data. Pennsylvania, USA.
- Moran, C.J. and A.B. McBratney. 1992. Acquisition and analysis of three-component digital images of soil pore structure I. Method. *Journal Soil Science* 43: 541-550.
- Murphy, P.G. and A.E. Lugo. 1986. Structure and biomass of a subtropical dry forest in Puerto Rico. *Biotropica* 18: 89-96.
-
-

-
-
- Navarro, B.A., B. Figueroa, V.M. Ordaz y F.V. González. 2000. Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *TERRA* 18: 61-69.
- Niewczas, J. and B. Witkowska. 2003a. Index of soil aggregates stability as linear function value of transition matrix elements. *Soil & Tillage Research* 70: 121-130.
- Niewczas, J. and B. Witkowska. 2003b. Use of simples algorithm for determination of soil aggregation extreme changes. *Int. Agrophysics* 17: 169-174.
- Niewczas, J. and B. Witkowska. 2005. The soil aggregates stability index (ASI) and its extreme values. *Soil & Tillage Research* 80: 69-78.
- Noguera F.A., J.H. Vega, A.N. García-Aldrete y M. Quesada. 2002. Historia Natural de Chamela. Instituto de Biología, UNAM. México, D.F.
- Oades, J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56: 377-400.
- Oleschko, K., H.M. Arias R. and R.F. Cabrera C. 1992. Unified index of soil structure stability. *TERRA* 10: 151-165
- Oleschko, K., C. Zebrowski, P. Quantin, N. Fedoroff, and E. Osoreo. 1994. Hardened volcanic soils (tepetate) in México: Their geological, pedological or anthropological origin. 15th world congress of soil science materials, volume 6a, symposium B: "Micromorphological indicators of anthropological effects on soils. 204-319.
- Ordaz Ch., V.M. 1995. Impact de la culture intensive des agrumes sur le fonctionnement des sols dans une zone tropicale du mexique (eat de Tabasco). Intitut Nacional Agronomeque. Pans-Grion, Francia. Sols No. 20.
- Pagliai M., N. Vignozzi and S. Pellegrini. 2004. Soil structure and the effect of management practices. *Soil & Tillage Research* 79: 131-143.
- Palacio, J.L., G. Bocco, A. Velásquez, J.F. Mas, F. Takaki, A. Victoria, L. Luna, G. Gómez, J. López, M. Palma, I. Trejo, A. Peralta, J. Prado, A. Rodríguez, R. Mayorga y F. González. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario forestal nacional 2000. *Boletín del Instituto de Geografía* 43: 183-203.
- Parr, J.F., R.I. Papendick, S.B. Hornick and R.E. Meyer. 1992. Soil quality: attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture. *Journal of Alternative Agriculture* 7: 5-11.

-
-
- Pérez-Bolaún C., M.P. Ortega-Larrocea, H. Cotler y C. González. 2004. Contribución del micelio externo de micorriza arbusculares en la agregación del suelo con problemas de erosión en Chamela, Jalisco. IV Symposium Nacional y II Symposium Iberoamericano de la simbiosis micorrizica. Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrizica. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán. 9-12 Noviembre.
- Pidwirny, M.J. 2000. Fundamentals of Physical Geography. Okanagan University College. Versión-0.99. www.geog.ouc.bc.ca/physgeog/home.html
- Pieri C., J. Dumanski, A. Hamblin and A. Young. 1995. Land quality indicators. World Bank Discussion paper 315, 80p.
- Pierson, F.B. and D.J. Mulla. 1990. Aggregate stability in the Palouse region of Washington: effect of landscape position. *Soil Science Society of America Journal* 54: 1407-1412.
- Porta, C.J., R.M. López-Acevedo y L.C. Roquero. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 880 pp.
- Roger-Estrade, J., G. Richard, J. Caneill, H. Boizard, Y. Coquet, P. Defosse and H. Manichon. 2004. Morphological characterisation of soil structure in tilled fields: from a diagnosis method to the modeling of structural changes over time. *Soil & Tillage Research* 79: 33-49.
- Romig, D.E., M.J. Garlynd, R.F. Harris and K. McSweeney. 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal Soil Water Conservation* 50: 229-236.
- Roy, S. and J.S. Singh. 1994. Consequences of habitat heterogeneity for availability of nutrients in a dry tropical forest. *Journal of Ecology* 82: 503-509.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D.F.
- Rzedowski, J. 1979. Los bosques secos y semihúmedos de México con afinidades neotropicales. In: J. Rabinovich, G. Halffter (eds.). *Tópicos de Ecología Contemporánea*. Fondo de Cultura Económica, México. 37-46 pp.
- Rzedowski, J. 1990. Vegetación potencial. Atlas Nacional de México, Sección Naturaleza. Hoja IV.8.2, Vol II. Mapa escala:1:4,000,000. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F.
- Sachman R.B. 2001. Dinámica de nitrógeno y carbono en la restauración de un sitio perturbado de selva baja caducifolia en Chamela, Jalisco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D.F.
- Savinov, N.O. 1936. Soil Physics. Sielchozgiz Press, Moscow, Russian.

-
-
- Schimel, D.S., T.G.F. Kittel and W.J. Parton. 1991. Terrestrial biogeochemical cycles: global interactions with the atmosphere and hidrology. *Tellus* 43:188-203.
- Seybold, C.A., M.J. Mausbach, D.L. Karlen and H.H. Rogers. 1997. Quantification of soil quality. 387-403 pp. *In*: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follet, B.A. Stewart. (eds.). *Soil Process and the Carbon Cycle*. Press Inc. USA.
- Seybold, C.A. and J.E. Herrick. 2001. Aggregate stability kit for soil quality assessments. *Catena* 44: 37-45.
- Siebe, C., J. Reinhold y K. Stahr. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.
- Singer, M.J., R.J. Southard, D.J. Warrington and P. Janitzky. 1992. Stability of synthetic sand clay aggregates after wetting and drying cycles. *Soil Science Society of America Journal* 56: 1843-1848.
- Singer, M.J. and S. Ewing. 2000. Soil quality. *In*: M.E. Sumner (ed.) *Handbook of Soil Science*. CRC Press, Boca Raton, Florida. G271-G298 pp.
- SQI. 1996. Indicators for soil quality evaluation. USDA, Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute. Agriculture Research Service, USA.
- SSSA. 1997. Glossary of soils science terms. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Stern, R., M. Ben-Hur and I. Shainberg. 1991. Clay mineralogy effect on rain infiltration, seal formation and soil losses. *Soil Science* 152: 455-462.
- Southgate, D.D. 1998. *Tropical forest conservation: an economic assessment of the alternatives in Latin America*. Oxford University Press, New York. 175 pp.
- Sumner, M. and W. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. *In*: Spark D.L. *et al.* (eds.). *Methods of soil analysis. Chemical Methods*. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Sustaita, R.F., V. Ordaz Ch., C. Ortiz S. y F. de Leon G. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. *Agrociencia* 34: 379-386.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33: 141-163.
- Tisdall, J.M. 1991. Fungal hyphae and structural stability of soil. *Australian Journal of Soil Research* 29: 729-743.
-
-

-
-
- Tisdall, J.M. 1994. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. *Plant Soil* 159: 115-121.
- Thomsen, I.K., P. Schjonning, J.E. Olesen and B.T. Christensen. 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils: Microbial activity as influenced by soil water regimes. *Geoderma* 89: 199- 218.
- Trejo, I. and R. Dirzo. 2000. Deforestation of seasonally dry tropical forest: a national and local analysis in Mexico. *Biological Conservation* 94: 133-142.
- Topp, G.C., W.D. Reynolds, F.J. Cook, J.M. Kirby and M.R. Carter. 1996. Physical attributes of soil quality. pp. 21-58. *In*: E.G. Gregorich, M.R. Carter (eds.). *Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health*. Amsterdam, The Netherlands.
- USDA. 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de los Recursos Naturales, Instituto de Calidad de Suelos.
- Velásquez, A., J.F. Maas, J.L. Palacio y G. Bocco. 2002. Land cover mapping to obtain a current profile of deforestation in Mexico. *Unasylva* 53: 37:40.
- Vergara S., M.A. 2003. Identificación y selección de indicadores de calidad del suelo y sustentabilidad en sistemas naturales y agrícolas de laderas en Oaxaca. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Warrick, A.W. 2002. *Soil physics companion*. CRC Press. Boca Raton, Florida. 249-295 pp.

ANEXO A. DESCRIPCIÓN DE HORIZONTES SUPERFICIALES

BTC CONSERVADO – POSICIÓN ALTA DE LA LADERA	
2.5-0 cm	Oi - Una capa de hojarasca en proceso de descomposición
0-5 cm	Ah – color de 10YR4/3 a 10YR3/3, textura franco arenosa, estructura de migajosa de tamaño medio y granular de tamaño fino, consistencia moderada, densidad alta de raíces finas <2mm, poros vesiculares finos y comunes, actividad biológica de hormigas e insectos, partículas de granos finos desde un 25 a un 40%, Nula reacción al HCl, límite de abrupto e uniforme.
BTC CONSERVADO – POSICIÓN BAJA DE LA LADERA	
3.0-0 cm	Oi - Una capa de hojarasca en proceso de descomposición
0-5 cm	Ah – color de 5YR3/2 a 5YR2/2, textura franco arcillosa, estructura granular de tamaño medio, consistencia débil, densidad alta de raíces finas <2mm, poros tubulares y vesiculares finos y comunes, actividad biológica de hormigas e insectos, partículas de granos finos desde un 15 a un 25%, Nula reacción al HCl, límite de abrupto e uniforme.
BTC PASTOREADO – POSICIÓN ALTA DE LA LADERA	
0.5-0 cm	Oi - Una capa de hojarasca, y tallos en proceso de descomposición
0-6 cm	Ah – color de 10YR3/3 a 10YR2/3, textura franco arcillosa, estructura de bloques subangulares medios con rompimiento a granulares finos, consistencia de moderada a débil, densidad alta de raíces finas <2mm, poros tubulares y vesiculares muy finos y comunes, actividad biológica de lombrices, hormigas e insectos, partículas de granos finos desde un 3 a un 5%, Nula reacción al HCl, límite de abrupto e uniforme.
BTC PASTOREADO – POSICIÓN BAJA DE LA LADERA	
0.4-0 cm	Oi - Una capa de hojarasca y tallos en proceso de descomposición
0-5.5 cm	Ah – color de 10YR3/2 a 10YR2/3, textura franco arenosa, estructura de bloques subangulares medios a finos con rompimiento a granulares finos, consistencia moderada, densidad alta de raíces finas <2mm, poros vesiculares muy finos y comunes, actividad biológica de tijerillas, hormigas e insectos, partículas de granos finos desde un 3 a un 5%, Nula reacción al HCl, límite de abrupto e irregular.
PASTIZAL CULTIVADO – POSICIÓN ALTA DE LA LADERA	
0.5-0 cm	Oi - Una capa de restos de rastrojo quemados
0-8 cm	Ah – color de 10YR3/4 a 10YR3/2, textura franco arenosa, estructura de bloques subangulares grandes con rompimiento a bloques subangulares de medio a finos y granulares de medios a finos, consistencia de moderada a débil, densidad alta de raíces medias de 2-4mm, poros vesiculares finos y comunes, actividad biológica de insectos, partículas de granos finos desde un 7 a un 20%, Nula reacción al HCl, límite de claro e irregular.

PASTIZAL CULTIVADO – POSICIÓN BAJA DE LA LADERA

0.4-0 cm	Oi - Una capa de restos de rastrojo quemados
0-5 cm	Ah – color de 10YR3/4 a 5YR2/3, textura franco arenosa, estructura de bloques subangulares medios con rompimiento a bloques subangulares finos y a granulares finos, consistencia moderada, densidad alta de raíces medias de 2-4mm, poros vesiculares finos y comunes, actividad biológica de hormigas e insectos, partículas de granos finos desde un 30 a un 40%, Nula reacción al HCl, límite de abrupto e irregular.

ANEXO B. ANÁLISIS DE SUELOS

Cuadro 1. Propiedades físicas, químicas y biológicas de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de los usos de suelo en su respectiva época de muestreo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Usos de Suelo	Propiedades Físicas						Propiedades Químicas							Propiedades Biológicas	
	R	H	Da	Ar	PT	Pi	pH	C	Ca	Mg	K	Na	ΣBa	Vrh	Vrs
ÉPOCA DE SECAS															
BTCCa	1	0.2	1.0	17	54.6	24.8	6.8	3.9	11.9	3.8	0.2	0.01	0.5	0.5	0.2
BTCCa	2	0.5	1.0	16	56.8	22.4	6.7	3.8	14.2	3.8	0.1	0.03	0.2	0.2	0.5
BTCCa	3	0.3	1.1	12	54.6	24.8	7.2	4.7	14.0	3.4	0.2	0.04	0.5	0.5	0.3
BTCCb	1	0.8	0.8	26	62.1	20.4	7.4	4.7	21.1	6.0	0.4	0.02	0.3	0.3	0.8
BTCCb	2	1.2	0.9	24	60.6	17.2	7.4	4.2	25.0	5.1	0.3	0.02	0.2	0.2	1.2
BTCCb	3	0.8	1.0	25	58.2	18.8	7.4	4.6	23.3	4.3	0.3	0.00	0.3	0.3	0.8
BTCPa	1	0.03	1.2	7	50.9	16.8	5.9	1.5	3.2	1.0	0.4	0.02	0.2	0.2	0.03
BTCPa	2	0.1	1.2	3	52.4	14	5.6	1.6	3.7	1.2	0.0	0.01	0.2	0.2	0.1
BTCPa	3	0.02	1.2	3	51.5	14	5.6	1.7	3.4	1.0	0.1	0.04	0.2	0.2	0.02
BTCPb	1	0.1	1.3	9	44.8	13.6	6.5	2.7	8.2	1.6	0.5	0.00	0.1	0.1	0.1
BTCPb	2	0.3	1.3	10	46.0	13.2	5.7	2.1	3.8	1.1	0.0	0.01	0.3	0.3	0.3
BTCPb	3	0.06	1.3	9	44.2	11.6	6.4	2.4	5.8	1.2	0.3	0.02	0.1	0.1	0.06
PCa	1	0.1	1.0	20	55.8	8	5.5	2.3	3.3	2.6	0.4	0.01	0.1	0.1	0.1
PCa	2	0.2	1.0	18	59.8	8	5.4	2.4	5.2	4.7	0.4	0.03	0.2	0.2	0.2
PCa	3	0.06	0.9	16	59.5	7.2	5.6	3.2	3.9	2.7	0.3	0.04	0.3	0.3	0.06
PCb	1	0.7	1.2	19	51.3	8	6.6	3.2	7.6	4.1	0.5	0.01	0.1	0.1	0.7
PCb	2	1.0	1.1	18	53.5	9.2	6.5	1.9	6.8	3.1	0.2	0.03	0.3	0.3	1.0
PCb	3	0.8	1.2	19	48.1	14	7.0	4.0	10.6	4.5	0.6	0.01	0.3	0.3	0.8
ÉPOCA DE LLUVIAS															
BTCCa	1	6.6	0.9	17	60.9	22	6.3	2.5	16.9	5.0	0.7	0.1	4	1.5	6.6
BTCCa	2	8.7	0.8	16	64.5	21.2	6.9	6.2	15.5	5.1	0.7	0.06	3.5	1	8.7
BTCCa	3	6.0	0.8	12	66.5	26.4	6.8	6.6	19.2	5.2	0.5	0.2	3	1.5	6.0
BTCCb	1	14.0	0.8	26	64.9	20.8	7.5	7.2	35.7	4.1	1.2	0.1	1	0.5	14.0
BTCCb	2	15.5	0.9	24	62.6	22.4	7.4	6.2	26.6	6.4	1.9	0.1	1	0.5	15.5
BTCCb	3	13.3	0.8	25	65.2	18.4	7.2	3.9	29.1	5.4	1.0	0.1	1.5	1	13.3
BTCPa	1	5.1	1.0	7	58.9	14.4	5.4	1.4	3.6	0.9	0.6	0.1	4	1.5	5.1
BTCPa	2	3.6	1.1	3	56.4	15.2	5.7	2.3	4.1	1.0	0.3	0.1	7	3	3.6
BTCPa	3	5.6	1.1	3	57.9	14	5.7	1.9	3.7	1.2	0.5	0.07	5.5	1	5.6
BTCPb	1	13.0	1.3	9	47.7	10	6.1	1.9	5.0	1.5	2.0	0.1	6	2.5	13.0
BTCPb	2	8.9	1.1	10	54.3	11.2	5.4	3.5	5.2	1.2	0.6	0.05	6	2.5	8.9
BTCPb	3	9.4	1.3	9	47.1	10.8	5.6	2.0	4.5	1.3	0.9	0.06	7	2	9.4
PCa	1	15.6	0.8	20	65.0	13.6	6.1	3.9	14.7	4.9	1.2	0.1	1.5	0.5	15.6
PCa	2	18.3	0.8	18	65.9	11.2	5.4	3.1	3.8	2.3	1.1	0.2	3	1	18.3
PCa	3	19.6	1.0	16	55.8	11.6	5.1	2.8	4.4	2.7	1.2	0.1	10	3	19.6
PCb	1	10.8	1.1	19	51.6	10	6.1	3.5	9.0	3.1	1.2	0.3	5	2	10.8
PCb	2	16.1	1.1	18	56.1	10.4	5.6	3.6	6.6	2.5	1.0	0.1	8	2.5	16.1
PCb	3	18.0	1.1	19	51.1	7.6	6.3	3.0	9.1	3.5	1.7	0.1	6	2	18.0

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); R= Repetición; H=Humedad residual (%); Da=Densidad aparente (Mg/m3); Ar=Contenido de arcilla (%); PT=Porosidad total (%); Pi=Porosidad interna de macroagregados (%); C=Carbono orgánico (%); Ca=Calcio (meq/100g); Mg=Magnesio (meq/100g); K=Potasio (meq/100g); Na=Sodio (meq/100g); ΣBa=Suma de bases (meq/100g); Vrh=Volumen de raíces húmedas (cc); Vrs=Volumen de raíces secas (cc).

Cuadro 2. Distribución de agregados en seco de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de los usos de suelo en su respectiva época de muestreo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Usos de Suelo	R	Tamaño de Agregados							Macro (>1mm)	Micro (<1mm)
		<0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2.00-3.36	3.36-4.76	>4.76		
ÉPOCA DE SECAS										
BTCCa	1	8.8	13.5	28.6	14.6	16.1	8.6	9.6	49.1	51.0
BTCCa	2	5.1	7.9	22.5	16.2	17.2	11.1	20.1	64.7	35.6
BTCCa	3	5.7	7.4	25.0	20.2	19.9	8.6	13.5	62.2	38.2
BTCCb	1	6.6	8.6	24.6	15.3	22.5	13.0	9.3	60.2	39.9
BTCCb	2	4.7	6.9	19.2	13.1	19.8	15.2	21.0	69.1	30.9
BTCCb	3	3.7	5.9	21.7	16.2	25.0	15.7	12.3	69.2	31.4
BTCPa	1	22.8	10.3	15.5	10.3	17.5	10.5	13.8	52.2	48.7
BTCPa	2	20.0	10.2	16.2	10.2	15.6	8.5	20.4	54.8	46.4
BTCPa	3	31.9	14.1	18.0	8.7	10.2	4.9	14.4	38.3	64.1
BTCPb	1	15.9	9.9	17.9	13.9	21.1	11.2	10.7	57.0	43.9
BTCPb	2	11.4	6.9	13.2	10.6	16.4	11.9	30.5	69.6	31.6
BTCPb	3	16.1	9.0	14.0	8.8	13.9	7.5	31.9	62.2	39.2
PCa	1	16.7	8.1	12.1	4.8	5.9	6.0	48.0	64.8	37.0
PCa	2	6.9	2.6	5.0	3.9	7.6	11.7	65.6	88.9	14.6
PCa	3	13.2	5.2	7.5	3.7	6.5	7.5	57.0	74.8	26.0
PCb	1	6.8	3.9	10.3	8.8	14.4	12.1	44.8	80.2	20.9
PCb	2	7.3	5.1	12.3	8.7	6.3	7.6	48.9	71.7	24.8
PCb	3	3.9	2.7	8.7	10.0	21.8	23.1	30.3	85.5	15.3
ÉPOCA DE LLUVIAS										
BTCCa	1	11.5	3.0	15.7	22.8	26.9	15.0	4.8	69.6	30.3
BTCCa	2	10.0	3.5	27.0	29.2	19.8	4.0	6.4	59.4	40.5
BTCCa	3	18.3	5.7	28.7	24.2	15.9	4.2	2.8	47.2	52.7
BTCCb	1	8.3	3.2	18.3	23.0	23.2	16.2	7.5	70.0	29.8
BTCCb	2	5.1	5.8	24.8	22.1	25.8	12.4	3.7	64.1	35.8
BTCCb	3	6.3	3.6	23.1	25.6	20.3	11.5	9.2	66.7	33.1
BTCPa	1	36.0	5.2	18.5	16.7	12.8	5.3	5.1	40.0	59.8
BTCPa	2	34.7	6.1	22.1	17.3	11.9	5.7	2.0	36.9	63.0
BTCPa	3	39.0	4.8	15.3	13.0	12.2	7.9	7.5	40.7	59.1
BTCPb	1	33.0	4.9	15.7	12.8	13.2	8.4	11.8	46.3	53.6
BTCPb	2	33.2	5.2	18.2	13.4	10.4	5.7	13.6	43.2	56.6
BTCPb	3	24.2	4.6	15.6	13.9	16.9	12.3	12.3	55.5	44.4
PCa	1	28.8	2.4	6.7	5.3	6.3	9.2	41.0	61.9	38.0
PCa	2	19.1	2.0	5.0	4.3	5.5	8.7	55.1	73.7	26.2
PCa	3	24.2	7.8	10.2	5.0	5.9	7.8	38.8	57.7	42.2
PCb	1	24.0	3.6	12.3	9.7	7.2	7.7	35.1	59.8	39.9
PCb	2	14.6	2.1	8.0	9.2	9.3	11.0	45.5	75.1	24.8
PCb	3	8.6	1.9	10.6	11.5	17.4	17.1	32.7	78.8	21.1

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); R= Repetición; Los tamaños de agregados están expresados en %.

Cuadro 3. Estabilidad de agregados en húmedo de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de los usos de suelo en su respectiva época de muestreo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Usos de Suelo	R	Tamaño de Agregados							Macro (>1mm)	Micro (<1mm)
		<0.25	0.25-0.50	0.50-1.00	1.00-2.00	2.00-3.36	3.36-4.76	>4.76		
ÉPOCA DE SECAS										
BTCCa	1	47.3	0.2	10.2	6.5	9.2	11.4	15.0	42.2	57.7
BTCCa	2	46.5	0.2	11.2	7.1	10.2	9.6	14.8	41.8	58.0
BTCCa	3	41.7	0.1	6.9	8.1	10.3	11.9	20.7	51.1	48.8
BTCCb	1	41.8	0.2	13.1	7.7	8.0	13.3	15.8	44.8	55.1
BTCCb	2	40.5	0.2	18.3	10.8	8.3	7.0	14.6	40.9	59.0
BTCCb	3	46.1	0.1	12.2	6.8	8.0	11.0	15.5	41.4	58.4
BTCPa	1	33.3	0.07	3.2	2.8	4.7	6.1	49.7	63.4	36.5
BTCPa	2	39.5	0.03	2.2	3.2	5.2	7.5	42.1	58.1	41.8
BTCPa	3	34.4	2.6	3.5	3.2	5.4	8.5	42.1	59.3	40.5
BTCPb	1	41.8	0.4	3.6	3.8	5.5	9.5	35.1	53.9	46.0
BTCPb	2	23.8	0.5	1.3	1.5	3.8	6.9	61.8	74.1	25.7
BTCPb	3	33.4	2.0	3.2	2.9	4.9	7.2	46.2	61.3	38.6
PCa	1	26.4	3.0	4.1	2.8	3.9	5.6	53.5	65.9	33.5
PCa	2	16.5	1.0	3.0	3.4	6.0	9.4	60.3	79.2	20.7
PCa	3	28.1	3.4	5.7	4.4	5.6	7.0	45.5	62.7	37.2
PCb	1	15.9	1.3	4.0	3.2	5.7	7.0	62.6	78.6	21.2
PCb	2	51.9	5.1	8.3	3.5	4.7	5.8	20.5	34.5	65.3
PCb	3	31.4	3.0	6.8	6.8	11.7	16.2	23.9	58.6	41.2
ÉPOCA DE LLUVIAS										
BTCCa	1	50.2	2.0	4.9	7.1	10.5	13.2	11.9	42.7	57.2
BTCCa	2	26.3	3.0	15.6	17.7	16.2	11.0	9.9	54.9	45.0
BTCCa	3	29.5	3.6	13.6	14.7	19.0	12.9	6.4	53.1	46.8
BTCCb	1	37.1	6.6	16.2	8.8	9.0	9.2	12.9	40.0	59.9
BTCCb	2	39.3	8.6	17.3	9.3	7.7	8.9	8.7	34.7	65.2
BTCCb	3	38.6	6.3	19.5	10.0	9.9	8.9	6.5	35.4	64.5
BTCPa	1	34.6	5.3	4.0	13.0	7.1	8.4	27.3	56.0	43.9
BTCPa	2	48.7	4.3	10.1	7.5	7.0	8.5	13.6	36.7	63.2
BTCPa	3	38.3	3.3	7.2	6.3	8.0	9.9	26.6	51.0	48.9
BTCPb	1	21.3	1.9	4.6	2.6	4.7	5.0	59.6	72.0	27.9
BTCPb	2	25.9	3.5	8.2	4.7	6.1	6.1	45.1	62.2	37.6
BTCPb	3	49.6	4.5	7.1	2.6	5.6	6.7	23.7	38.7	61.2
PCa	1	29.2	1.9	5.1	2.9	6.2	9.6	44.8	63.7	36.2
PCa	2	20.9	3.6	7.6	5.7	7.2	8.5	46.1	67.7	32.2
PCa	3	24.3	2.9	8.1	3.2	4.4	5.6	51.1	64.4	35.5
PCb	1	32.1	3.7	11.4	5.2	6.2	6.1	35.0	52.7	47.2
PCb	2	28.2	4.3	6.1	3.7	6.1	7.8	43.7	61.3	38.6
PCb	3	24.1	3.4	6.4	5.7	8.8	11.5	39.7	65.9	34.0

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); R= Repetición; Los tamaños de agregados están expresados en %.

Cuadro 4. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizadas en muestras de suelo seco al aire de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Tamaño de Agregados (mm)	BTC Conservado		BTC Pastoreado		Pastizal cultivado		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
> 4.76	10.0	5.8	45.2	10.5	14.5	9.1	8.7
4.76 – 3.36	11.3	4.1	10.8	4.8	8.3	2.6	4.0
3.36 – 2.00	21.0	3.6	9.5	5.3	14.3	3.2	4.2
2.00 – 1.00	20.2	5.0	7.1	2.8	12.5	2.8	3.7
1.00 – 0.50	23.3	4.0	9.0	2.6	16.7	2.4	3.1
0.50 – 0.25	6.3	2.9	3.9	2.1	7.6	3.0	2.7
< 0.25	7.8	4.0	14.5	8.1	26.5	9.2	7.4
Macro (>1mm)	62.6	7.6	72.7	10.0	49.7	10.4	9.4
Micro (<1mm)	37.4	7.6	27.6	9.4	50.9	10.1	9.1

BTC=Bosque tropical caducifolio; M=Media; Ds=Desv. Std; DMS=Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 5. Medias de la distribución de agregados en seco por tamaño, de muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Tamaño de Agregados (mm)	Efecto Principal					
	Posición alta			Posición baja		
	M	Ds		M	Ds	DMS
4.76-3.36	8.1	2.8		12.2	4.2	2.6
3.36-2.00	13.0	6.0		16.9	6.0	2.6
0.50-0.25	6.6	3.6		5.2	2.3	1.3
<0.25	19.6	10.9		13.0	9.6	2.9
Macroagregados	57.6	14.2		65.8	11.1	5.4
Microagregados	43.0	13.8		34.3	11.1	5.3

Interacciones Posición*Uso del Suelo

Tamaño de Agregados (mm)	BTC Conservado		BTC Pastoreado				Pastizal cultivado				DMS		
	BTCCa		BTCCb		BTCPa		BTCPb		PCa			PCb	
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds		M	Ds
>4.76	9.5	6.3	10.5	5.8	50.9	10.2	39.6	7.7	10.5	6.8	18.5	9.9	14.0
2.00-1.00	21.2	5.3	19.2	5.0	4.5	0.6	9.7	1.0	12.7	3.6	12.2	2.0	6.1

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); M= Media; Ds= Desv. Std; DMS= Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 6. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizadas en muestras de suelo seco al aire en las posiciones alta y baja de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Tamaño de Agregados (mm)	BTC Conservado		BTC Pastoreado				Pastizal cultivado					
	BTCCa		BTCCb		BTCPa		BTCPb		PCa		PCb	
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds
> 4.76	9.5	6.3	10.5	5.8	50.9	10.2	39.6	7.7	10.5	6.8	18.5	9.9
4.76 – 3.36	8.6	4.1	14.0	1.9	8.5	1.9	13.1	6.0	7.1	2.1	9.5	2.6
3.36 – 2.00	19.3	4.1	22.7	2.4	6.3	0.7	12.7	6.1	13.3	2.6	15.3	3.6
2.00 – 1.00	21.2	5.3	19.2	5.0	4.5	0.6	9.7	1.0	12.7	3.6	12.2	2.0
1.00 – 0.50	24.6	4.9	21.9	2.7	7.7	2.8	10.3	1.7	17.6	2.5	15.7	2.0
0.50 – 0.25	6.8	3.8	5.7	2.0	4.7	2.7	3.2	1.2	8.4	3.6	6.8	2.2
< 0.25	9.9	4.7	5.8	1.6	18.1	7.8	10.9	7.3	30.7	7.6	22.3	9.3
Macro (>1mm)	58.7	8.8	66.5	3.8	70.3	11.3	75.2	8.8	43.8	7.6	55.6	9.8
Micro (<1mm)	41.4	8.8	33.5	3.7	30.7	10.2	24.5	8.3	56.8	7.4	44.9	9.2

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); M= Media; Ds= Desv. Std; DMS= Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 7. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizadas en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de secas y de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de la época de muestreo e interacciones época*uso del suelo.

<u>Efecto Principal</u>							
Tamaño de Agregados (mm)	<u>Época de Secas</u>		<u>Época de Lluvias</u>		DMS		
	M	Ds	M	Ds			
> 4.76	27.9	17.8	18.6	17.4	4.5		
2.00 – 1.00	11.0	4.5	15.5	7.5	1.2		
0.50 – 0.25	4.2	3.2	7.7	1.6	1.3		
< 0.25	11.5	7.7	21.0	11.2	2.9		
Macro (>1mm)	65.2	12.7	58.1	13.1	5.4		
Micro (<1mm)	35.5	12.7	41.7	13.1	5.3		

<u>Interacciones Época*Uso del Suelo</u>							
Tamaño de Agregados (mm)	<u>BTC Conservado</u>		<u>BTC Pastoreado</u>		<u>Pastizal cultivado</u>		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
<u>Época de Secas</u>							
2.00 – 1.00	15.9	2.3	6.6	2.8	10.4	1.9	3.6
< 0.25	5.8	1.7	9.1	4.8	19.7	7.1	7.6
<u>Época de Lluvias</u>							
2.00 – 1.00	24.5	2.6	7.5	3.0	14.5	1.9	3.8
< 0.25	9.9	4.7	19.9	7.3	33.3	5.0	8.7

BTC = Bosque tropical caducifolio; M = Media; Ds = Desviación estándar; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 8. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizadas en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de secas de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Tamaño de Agregados (mm)	<u>BTC Conservado</u>		<u>BTC Pastoreado</u>		<u>Pastizal cultivado</u>		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
> 4.76	14.3	5.0	49.1	11.8	20.3	9.0	13.6
4.76 – 3.36	12.0	3.1	11.3	6.2	9.1	2.6	6.4
3.36 – 2.00	20.1	3.2	10.4	6.4	15.8	3.6	7.0
2.00 – 1.00	15.9	2.3	6.6	2.8	10.4	1.9	3.6
1.00 – 0.50	23.6	3.2	9.3	2.8	15.8	1.9	4.1
0.50 – 0.25	8.4	2.6	4.6	2.0	10.1	2.3	3.5
< 0.25	5.8	1.7	9.1	4.8	19.7	7.1	7.6
Macro (>1mm)	62.4	7.4	77.6	8.9	55.7	10.5	13.6
Micro (<1mm)	37.8	7.4	23.1	8.2	45.6	10.8	13.4

BTC=Bosque tropical caducifolio; M=Media; Ds=Desv. Std; DMS=Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 9. Medias de la distribución de agregados por tamaño, realizadas en muestras de suelo seco al aire, colectadas en época de lluvias de los usos de suelo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Tamaño de Agregados (mm)	BTC Conservado		BTC Pastoreado		Pastizal cultivado		
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	DMS
> 4.76	5.7	2.4	41.4	8.0	8.7	4.6	8.3
4.76 – 3.36	10.5	5.2	10.2	3.5	7.6	2.6	5.9
3.36 – 2.00	22.0	4.1	8.6	4.4	12.9	2.1	5.6
2.00 – 1.00	24.5	2.6	7.5	3.0	14.5	1.9	3.8
1.00 – 0.50	22.9	5.0	8.8	2.7	17.5	2.6	5.4
0.50 – 0.25	4.1	1.2	3.3	2.2	5.1	0.5	2.3
< 0.25	9.9	4.7	19.9	7.3	33.3	5.0	8.7
Macro (>1mm)	62.8	8.6	67.8	9.0	43.8	6.5	12.1
Micro (<1mm)	37.0	8.6	32.0	9.0	56.1	6.5	12.1

BTC=Bosque tropical caducifolio; M=Media; Ds=Desv. Std; DMS=Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 10. Medias de la estabilidad de agregados, realizada en muestras de suelo con diferente uso en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Tamaño de Agregados (mm)	BTC Conservado		BTC Pastoreado		Pastizal cultivado		
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	DMS
> 4.76	12.7	4.2	43.9	12.8	39.4	14.6	11.5
4.76 – 3.36	10.7	1.9	8.3	3.0	7.5	1.4	2.2
3.36 – 2.00	10.5	3.5	6.4	2.1	5.7	1.1	2.4
2.00 – 1.00	9.5	3.4	4.2	1.3	4.5	3.1	2.8
1.00 – 0.50	13.2	4.4	6.4	2.3	4.8	2.6	3.2
0.50 – 0.25	2.6	3.0	3.0	1.1	2.4	1.8	2.1
< 0.25	40.4	7.0	27.4	9.3	35.4	8.9	8.5
Macro (>1mm)	43.6	6.4	62.9	11.6	57.2	11.3	10.0
Micro (<1mm)	56.3	6.4	36.9	11.6	42.7	11.3	10.0

BTC=Bosque tropical caducifolio; M=Media; Ds=Desv. Std; DMS=Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 11. Medias de la estabilidad de agregados de muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en tres usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de posición e interacciones de posición*uso del suelo.

Tamaño de Agregados (mm)	Efectos Principales					
	Posición alta			Posición baja		
	M	Ds		M	Ds	DMS
1.00-0.50	7.0	3.8		9.3	5.6	1.8
0.50-0.25	2.2	1.6		3.1	2.4	0.7

Tamaño de Agregados (mm)	Interacciones Posición*Uso del Suelo												
	BTC Conservado				BTC Pastoreado				Pastizal cultivado				
	BTCCa		BTCCb		BTCPa		BTCPb		PCa		PCb		DMS
>4.76	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	DMS
>4.76	13.1	4.9	12.3	3.8	50.2	6.0	37.5	15.1	33.5	13.3	45.2	14.4	18.8
3.36-2.00	12.6	4.0	8.5	0.8	5.6	1.2	7.2	2.5	6.2	1.3	5.1	0.8	3.74
1.00-0.50	10.4	4.03	16.1	2.9	5.6	1.9	7.2	2.4	5.0	3.0	4.7	2.5	5.09

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); M= Media; Ds= Desv. Std; DMS= Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 12. Medias de la estabilidad de agregados de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de la ladera, en tres usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Tamaño de Agregados (mm)	<u>BTC Conservado</u>				<u>BTC Pastoreado</u>				<u>Pastizal cultivado</u>			
	<u>BTCCa</u>		<u>BTCCb</u>		<u>BTCPa</u>		<u>BTCPb</u>		<u>PCa</u>		<u>PCb</u>	
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds	M	Ds
> 4.76	13.1	4.9	12.3	3.8	50.2	6.0	37.5	15.1	33.5	13.3	45.2	14.4
4.76 – 3.36	11.7	1.3	9.7	2.1	7.6	1.8	9.1	4.0	8.2	1.2	6.9	1.4
3.36 – 2.00	12.6	4.0	8.5	0.8	5.6	1.2	7.2	2.5	6.2	1.3	5.1	0.8
2.00 – 1.00	10.2	4.7	8.9	1.4	3.8	1.1	4.7	1.4	6.0	3.9	3.0	1.1
1.00 – 0.50	10.4	4.03	16.1	2.9	5.6	1.9	7.2	2.4	5.0	3.0	4.7	2.5
0.50 – 0.25	1.5	1.5	3.7	3.9	2.6	0.9	3.4	1.3	2.6	2.2	2.1	1.6
< 0.25	40.2	10.0	40.5	3.1	24.2	4.7	30.6	11.9	38.1	5.7	32.6	11.1
Macro (>1mm)	47.6	6.0	39.5	3.8	67.3	6.1	58.6	14.6	54.1	9.4	60.4	12.9
Micro (<1mm)	52.2	6.0	60.3	3.8	32.5	6.1	41.3	14.6	45.8	9.4	39.5	12.9

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); M= Media; Ds= Desv. Std; DMS= Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 13. Medias de la estabilidad de agregados, realizadas en muestras de suelo que fueron colectadas en época de secas y época de lluvias en la cuenca de Cuixmala, Jalisco, correspondientes al efecto principal de época de muestreo e interacciones época*uso del suelo.

Tamaño de Agregados (mm)	<u>Efectos Principales</u>				
	<u>Época de Secas</u>		<u>Época de Lluvias</u>		DMS
	M	Ds	M	Ds	
> 4.76	35.5	18.0	28.5	17.5	7.0
3.36-2.00	6.7	2.4	8.3	3.8	1.2
2.00 – 1.00	4.9	2.5	7.3	4.3	1.5
1.00-0.50	6.7	4.6	9.6	4.8	1.8
0.50 – 0.25	1.3	1.5	4.0	1.7	0.7

Tamaño de Agregados (mm)	<u>Interacciones Época*Uso del Suelo</u>						
	<u>BTC Conservado</u>		<u>BTC Pastoreado</u>		<u>Pastizal cultivado</u>		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
	<u>Época de Secas</u>						
0.50 – 0.25	0.2	0.04	2.8	1.5	0.9	1.1	1.6
	<u>Época de Lluvias</u>						
0.50 – 0.25	5.0	2.5	3.3	0.8	3.8	1.1	2.5

BTC = Bosque tropical caducifolio; M = Media; Ds = Desviación estándar; DMS = Diferencia Mínima Significativa.

Cuadro 14. Medias de la estabilidad de agregados determinada en muestras de suelo colectadas en época de secas de distintos usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

CLASES DE AGREGADOS (mm)	BTC CONSERVADO		BTC PASTOREADO		PASTIZAL CULTIVADO		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
> 4.76	16.0	2.3	44.4	18.2	46.1	9.0	17.7
4.76 – 3.36	10.7	2.1	8.5	4.0	7.6	1.1	4.0
3.36 – 2.00	9.0	1.0	6.3	2.7	4.9	0.6	2.6
2.00 – 1.00	7.8	1.5	4.0	1.4	2.9	0.7	1.9
1.00 – 0.50	12.0	3.7	5.3	1.9	2.8	0.9	3.7
0.50 – 0.25	0.2	0.04	2.8	1.5	0.9	1.1	1.6
< 0.25	44.0	2.9	28.3	13.1	34.4	6.2	12.8
Macro (>1mm)	43.7	3.8	63.3	16.4	61.7	6.8	15.7
Micro (<1mm)	56.2	3.8	36.5	16.4	38.2	6.8	15.7

BTC=Bosque tropical caducifolio; M=Media; Ds=Desv. Std; DMS=Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 15. Medias de la estabilidad de agregados determinada en muestras de suelo colectadas en época de lluvias de distintos usos de suelo de la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

CLASES DE AGREGADOS (mm)	BTC CONSERVADO		BTC PASTOREADO		PASTIZAL CULTIVADO		DMS
	M	Ds	M	Ds	M	Ds	
> 4.76	9.4	2.6	43.4	5.5	32.6	16.6	15.3
4.76 – 3.36	10.7	2.0	8.2	2.2	7.4	1.8	3.0
3.36 – 2.00	12.0	4.5	6.5	1.4	6.4	1.2	4.2
2.00 – 1.00	11.2	4.0	4.4	1.2	6.1	3.9	5.0
1.00 – 0.50	14.5	5.0	7.5	2.2	6.9	2.2	5.1
0.50 – 0.25	5.0	2.5	3.3	0.8	3.8	1.1	2.5
< 0.25	36.8	8.4	26.4	4.1	36.4	11.5	12.8
Macro (>1mm)	43.5	8.7	62.6	5.3	52.7	13.6	14.7
Micro (<1mm)	56.4	8.7	37.3	5.3	47.1	13.6	14.7

BTC=Bosque tropical caducifolio; M=Media; Ds=Desv. Std; DMS=Diferencia Mínima Significativa ($\alpha = 0.05$).

Cuadro 16. Indicadores de agregación de las muestras colectadas en las posiciones alta y baja de los usos de suelo en su respectiva época de muestreo en la cuenca de Cuixmala, Jalisco.

Usos de Suelo	R	DMP _h	DMP _s	Indicadores de Agregación					
				EES (%)	ASI _{max}	ASI _{test}	ASI _{min}	δASI (%)	qASI (%)
ÉPOCA DE SECAS									
BTCCa	1	1.9	1.8	81.5	22.0	19.9	16.5	27.8	61.9
BTCCa	2	1.8	2.6	75.1	22.3	18.9	14.3	42.5	57.7
BTCCa	3	2.3	2.2	80.9	22.0	19.6	16.6	27.3	55.3
BTCCb	1	2.0	2.1	84.2	23.3	20.2	16.6	32.8	53.7
BTCCb	2	1.8	2.8	74.1	25.1	19.8	14.9	51.5	47.5
BTCCb	3	1.9	2.4	84.6	22.3	18.7	14.9	39.3	51.9
BTCPa	1	3.6	2.0	63.6	24.5	23.3	21.4	13.3	61.9
BTCPa	2	3.2	2.3	60.1	23.8	22.5	20.5	14.6	60.0
BTCPa	3	3.3	1.6	55.7	27.0	25.6	23.3	14.4	60.4
BTCPb	1	2.9	2.0	74.2	22.6	20.8	18.7	18.7	53.7
BTCPb	2	4.3	3.1	58.5	24.4	23.1	20.5	17.0	65.8
BTCPb	3	3.4	2.9	53.4	25.0	23.1	21.0	17.1	52.0
PCa	1	3.8	3.5	37.1	28.5	25.6	24.2	16.7	31.3
PCa	2	4.4	4.7	31.0	31.5	27.2	25.0	23.6	33.3
PCa	3	3.5	4.2	30.1	28.7	24.7	23.2	22.4	27.4
PCb	1	4.5	3.9	48.7	29.6	25.6	22.2	28.7	46.5
PCb	2	1.8	3.8	38.3	21.2	17.7	16.1	28.9	29.9
PCb	3	2.7	3.6	66.5	26.1	20.8	16.8	45.0	42.6
ÉPOCA DE LLUVIAS									
BTCCa	1	1.7	2.1	83.6	22.7	20.2	18.3	21.5	42.8
BTCCa	2	1.9	1.7	83.6	28.9	25.0	22.3	26.2	40.7
BTCCa	3	1.8	1.4	78.7	28.1	25.7	22.8	20.4	55.9
BTCCb	1	1.7	2.2	83.9	24.6	20.9	16.7	37.5	53.8
BTCCb	2	1.4	1.9	91.0	25.1	20.4	16.7	40.9	43.6
BTCCb	3	1.4	2.1	84.2	25.5	20.8	16.8	41.9	46.0
BTCPa	1	2.5	1.3	58.7	28.0	26.5	24.4	13.4	58.7
BTCPa	2	1.6	1.1	63.2	27.0	25.4	23.5	13.9	53.1
BTCPa	3	2.5	1.5	53.4	28.7	26.7	24.3	16.4	54.7
BTCPb	1	4.2	1.8	55.1	28.9	26.5	24.4	16.9	47.1
BTCPb	2	3.4	1.7	53.0	29.0	26.8	23.3	21.4	60.7
BTCPb	3	2.1	2.1	63.4	24.4	21.9	19.5	22.2	49.6
PCa	1	3.5	3.3	30.0	30.2	27.0	25.3	17.9	33.2
PCa	2	3.6	4.1	25.7	30.1	26.5	24.5	21.2	36.2
PCa	3	3.7	3.1	36.9	30.2	26.8	25.0	19.4	35.4
PCb	1	2.8	3.0	40.6	29.1	24.6	22.2	28.0	35.8
PCb	2	3.4	3.8	39.8	27.8	23.9	21.9	24.6	33.8
PCb	3	3.4	3.5	58.6	27.7	22.9	18.7	39.5	45.9

BTC=Bosque tropical caducifolio; BTCCa (BTC Conservado posición alta), BTCCb (BTC Conservado posición baja), BTCPa (BTC pastoreado posición alta), BTCPb (BTC pastoreado posición baja), PCa (Pastizal cultivado posición alta), PCb (Pastizal cultivado posición baja); R= Repetición; DMP_h=Diámetro medio ponderado en húmedo; DMP_s=Diámetro medio ponderado en seco; EES=Estado estructural del suelo; ASI=Índice de estabilidad máxima; ASI_{test}=Índice de estabilidad; ASI_{min}=Índice de estabilidad mínima; δASI=Índice relativo de variabilidad; qASI=Índice de calidad de cambio de la agregación.

ANEXO C. CORRELACIONES

CUADRO 1. CORRELACIÓN DE LAS PROPIEDADES EDAFOLÓGICAS CON LA DISTRIBUCIÓN DE AGREGADOS EN SECO

NOMENCLATURA

BTC = Bosque Tropical Caducifolio

CA = Clases de Agregados

Macro = Macroagregados

Micro = Microagregados

H = Humedad Residual

Da = Densidad Aparente

Pt = Porosidad Total

Ar = Arcilla

CO = Carbono Orgánico

pH = pH

K = Potasio

Ca = Calcio

Mg = Magnesio

Na = Sodio

Vrh = Raíces húmedas

Vrs = Raíces secas

Nota: Las celdas marcadas en cuadro fueron significativas $\alpha < 0.05$; n = número de muestras

BTC CONSERVADO (n = 12; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.60	0.59	-0.55	0.07	-0.41	0.17	-0.59	-0.13	-0.45	-0.71	-0.66	-0.70
4.76-3.36	0.05	0.04	-0.09	0.74	-0.28	0.37	0.17	0.56	0.04	-0.12	-0.40	-0.42
3.36-2.00	0.37	-0.18	0.15	0.53	-0.05	0.22	0.53	0.43	0.37	0.20	0.12	0.01
2.00-1.00	0.72	-0.61	0.65	-0.22	0.41	-0.20	0.53	0.17	0.24	0.66	0.76	0.72
1.00-0.50	-0.14	0.08	-0.05	-0.42	0.32	-0.01	-0.13	-0.44	0.03	-0.06	-0.03	0.05
0.50-0.25	-0.66	0.65	-0.69	-0.16	-0.26	-0.01	-0.50	-0.52	-0.29	-0.57	-0.58	-0.49
<0.25	0.15	-0.48	0.47	-0.54	0.26	-0.55	0.0007	-0.19	0.10	0.58	0.74	0.82
Macro	0.23	-0.01	0.02	0.57	-0.22	0.31	0.24	0.52	0.02	-0.07	-0.15	-0.28
Micro	-0.25	0.04	-0.04	-0.57	0.21	-0.30	-0.26	-0.54	-0.03	0.05	0.14	0.27

BTC PASTOREADO (n = 12; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.34	-0.47	0.62	-0.34	-0.50	-0.55	-0.56	-0.60	-0.12	-0.23	-0.40	-0.43
4.76-3.36	-0.06	0.42	-0.52	0.24	0.46	0.63	0.17	0.45	0.52	-0.26	-0.07	-0.06
3.36-2.00	-0.13	0.58	-0.69	0.29	0.42	0.73	0.14	0.42	0.44	-0.30	-0.08	-0.07
2.00-1.00	0.10	0.78	-0.79	0.35	0.27	0.73	0.33	0.48	0.12	0.05	0.23	0.28
1.00-0.50	-0.16	0.66	-0.71	0.20	-0.31	0.34	-0.03	0.01	-0.26	-0.03	0.12	0.17
0.50-0.25	-0.26	0.05	-0.12	-0.28	-0.53	-0.35	-0.37	-0.52	-0.41	-0.21	0.02	-0.01
<0.25	0.61	-0.56	0.53	0.01	0.26	-0.49	0.49	0.15	-0.24	0.65	0.43	0.43
Macro	-0.44	0.24	-0.20	0.01	0.00	0.34	-0.34	-0.05	0.40	-0.52	-0.43	-0.43
Micro	0.42	-0.29	0.23	0.00	0.01	-0.41	0.33	0.01	-0.37	0.50	0.41	0.41

PASTIZAL CULTIVADO (n = 12; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.42	0.65	-0.67	0.39	0.09	0.30	-0.33	0.08	0.06	-0.62	-0.63	-0.58
4.76-3.36	-0.07	0.63	-0.65	0.46	-0.05	0.36	0.08	0.25	0.48	-0.42	-0.20	-0.31
3.36-2.00	-0.33	0.60	-0.60	0.37	-0.07	0.54	-0.06	0.46	0.48	-0.51	-0.43	-0.46
2.00-1.00	0.47	-0.55	0.50	-0.01	0.15	-0.25	0.31	0.12	-0.01	0.62	0.71	0.72
1.00-0.50	0.08	-0.54	0.55	-0.42	0.18	-0.26	-0.04	0.05	-0.22	0.45	0.38	0.52
0.50-0.25	-0.77	0.38	-0.28	-0.32	-0.21	0.26	-0.53	0.01	-0.13	-0.58	-0.82	-0.73
<0.25	0.57	-0.80	0.81	-0.45	-0.09	-0.50	0.36	-0.36	-0.28	0.74	0.70	0.64
Macro	-0.36	0.77	-0.80	0.58	0.09	0.45	-0.20	0.31	0.33	-0.64	-0.54	-0.54
Micro	0.30	-0.74	0.78	-0.61	-0.10	-0.44	0.16	-0.32	-0.34	0.60	0.48	0.48

BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 6; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.46	0.04	0.11	-0.11	-0.42	-0.14	-0.42	0.21	-0.12	0.36	-0.67	-0.67
4.76-3.36	0.94	-0.68	0.78	0.87	0.29	0.68	0.60	0.96	0.63	-0.53	-0.75	-0.75
3.36-2.00	0.51	-0.49	0.54	0.66	0.83	0.84	0.72	0.74	0.47	-0.39	-0.23	-0.23
2.00-1.00	-0.61	0.57	-0.55	-0.65	0.45	-0.06	-0.33	-0.46	-0.57	0.57	0.51	0.51
1.00-0.50	-0.87	0.41	-0.56	-0.46	-0.13	-0.48	-0.19	-0.78	-0.32	0.02	0.83	0.83
0.50-0.25	-0.60	0.26	-0.40	-0.29	-0.53	-0.60	-0.21	-0.65	-0.17	-0.14	0.56	0.56
<0.25	-0.61	0.15	-0.32	-0.29	-0.35	-0.47	-0.08	-0.63	-0.05	0.02	0.62	0.62
Macro	0.73	-0.30	0.46	0.37	0.34	0.54	0.17	0.72	0.20	0.03	-0.71	-0.71
Micro	-0.75	0.31	-0.47	-0.38	-0.33	-0.54	-0.18	-0.73	-0.21	-0.03	0.72	0.72

BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 6; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.60	-0.77	0.94	-0.51	-0.59	-0.84	-0.59	-0.75	-0.12	0.71	-0.10	-0.10
4.76-3.36	0.42	0.59	-0.68	0.22	0.78	0.67	0.80	0.88	0.75	-0.44	0.29	0.29
3.36-2.00	0.50	0.72	-0.82	0.32	0.84	0.79	0.86	0.90	0.64	-0.60	0.12	0.12
2.00-1.00	0.94	0.99	-0.95	0.39	0.35	0.98	0.38	0.89	0.35	-0.54	0.17	0.17
1.00-0.50	0.44	0.41	-0.46	0.50	-0.32	0.34	-0.23	0.02	-0.57	-0.43	-0.23	-0.23
0.50-0.25	-0.37	-0.39	0.23	0.22	-0.45	-0.41	-0.42	-0.67	-0.90	-0.09	-0.35	-0.35
<0.25	-0.73	-0.72	0.55	-0.02	-0.36	-0.71	-0.39	-0.87	-0.84	0.13	-0.35	-0.35
Macro	0.16	0.22	-0.11	-0.16	0.47	0.23	0.52	0.55	0.94	0.04	0.21	0.21
Micro	-0.36	-0.37	0.22	0.22	-0.43	-0.40	-0.41	-0.67	-0.90	-0.09	-0.37	-0.37

PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 6; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.43	0.32	-0.43	0.41	0.18	-0.01	-0.47	-0.14	-0.24	-0.05	0.24	0.24
4.76-3.36	0.68	0.35	-0.40	0.69	0.32	0.25	0.26	0.27	0.38	-0.82	0.23	0.23
3.36-2.00	0.39	0.37	-0.40	0.56	0.46	0.53	0.57	0.59	0.70	-0.90	-0.21	-0.21
2.00-1.00	0.40	0.43	-0.37	0.41	0.56	0.48	0.51	0.70	0.83	-0.81	-0.23	-0.23
1.00-0.50	-0.48	-0.22	0.37	-0.56	-0.04	0.03	0.30	0.26	0.33	0.18	-0.40	-0.40
0.50-0.25	-0.75	-0.48	0.60	-0.77	-0.39	-0.26	0.04	-0.19	-0.22	0.71	-0.22	-0.22
<0.25	-0.75	-0.63	0.72	-0.80	-0.60	-0.43	-0.06	-0.44	-0.47	0.82	-0.03	-0.03
Macro	0.75	0.57	-0.68	0.79	0.49	0.32	-0.05	0.27	0.28	-0.70	0.15	0.15
Micro	-0.74	-0.56	0.67	-0.80	-0.49	-0.33	0.02	-0.28	-0.30	0.72	-0.14	-0.14

BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 6; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.44	-0.18	0.19	0.63	-0.18	0.36	0.01	0.51	-0.40	-0.60	-0.33	-0.33
4.76-3.36	0.51	0.33	-0.54	0.72	-0.31	0.22	0.49	0.62	-0.21	0.19	-0.43	-0.40
3.36-2.00	0.37	0.78	-0.91	0.48	-0.40	-0.02	0.57	0.17	0.14	0.01	-0.14	-0.33
2.00-1.00	-0.27	-0.17	0.38	-0.32	0.06	-0.12	-0.49	-0.43	-0.12	-0.82	0.39	0.16
1.00-0.50	-0.12	-0.42	0.62	-0.42	0.51	0.17	-0.09	-0.30	0.45	0.04	0.00	0.06
0.50-0.25	0.08	-0.17	0.24	-0.22	0.43	0.22	0.34	-0.07	0.70	0.68	-0.25	-0.05
<0.25	-0.87	-0.36	0.36	-0.87	0.09	-0.60	-0.78	-0.54	-0.29	0.31	0.63	0.78
Macro	0.53	0.48	-0.60	0.75	-0.41	0.19	0.43	0.48	-0.21	-0.30	-0.31	-0.45
Micro	-0.53	-0.47	0.59	-0.75	0.41	-0.19	-0.43	-0.48	0.21	0.29	0.31	0.45

BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 6; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.31	-0.63	0.78	-0.19	0.10	-0.57	-0.67	-0.45	-0.43	0.13	-0.28	-0.36
4.76-3.36	0.27	0.30	-0.41	0.29	-0.14	0.54	0.79	0.17	0.15	-0.47	0.07	0.07
3.36-2.00	0.12	0.50	-0.60	0.27	-0.19	0.59	0.83	0.16	0.12	-0.36	0.16	0.20
2.00-1.00	-0.41	0.80	-0.83	0.33	0.05	0.66	0.55	0.20	0.01	-0.11	0.23	0.35
1.00-0.50	-0.41	0.87	-0.93	-0.10	-0.28	0.31	0.44	0.06	-0.01	0.20	0.51	0.64
0.50-0.25	0.26	0.19	-0.21	-0.76	-0.56	-0.61	-0.13	-0.36	-0.20	0.13	0.64	0.61
<0.25	-0.30	-0.47	0.46	0.04	0.33	-0.19	-0.51	0.32	0.39	0.23	-0.31	-0.32
Macro	0.31	0.07	-0.04	0.18	-0.05	0.22	0.31	-0.19	-0.26	-0.29	-0.06	-0.08
Micro	-0.30	-0.08	0.04	-0.19	0.05	-0.22	-0.31	0.19	0.26	0.28	0.06	0.08

PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 6; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.85	0.66	-0.69	0.83	0.45	0.08	0.54	0.78	0.76	-0.42	0.18	0.02
4.76-3.36	0.51	0.79	-0.78	0.28	-0.22	0.32	0.39	0.18	0.63	-0.22	0.49	-0.16
3.36-2.00	0.30	0.62	-0.64	0.23	-0.51	0.17	0.29	-0.08	0.30	-0.08	0.28	-0.18
2.00-1.00	-0.74	-0.57	0.51	-0.42	-0.26	-0.38	-0.54	-0.54	-0.85	0.30	-0.13	0.24
1.00-0.50	-0.64	-0.53	0.49	-0.37	0.22	-0.30	-0.55	-0.16	-0.70	0.31	0.12	0.59
0.50-0.25	-0.60	-0.49	0.47	-0.45	0.23	-0.13	-0.47	-0.13	-0.60	0.42	0.18	0.62
<0.25	-0.49	-0.73	0.81	-0.61	-0.12	0.01	-0.27	-0.47	-0.39	0.22	-0.57	-0.32
Macro	0.68	0.82	-0.86	0.65	-0.02	0.13	0.47	0.43	0.63	-0.32	0.38	-0.04
Micro	-0.68	-0.82	0.85	-0.65	0.02	-0.13	-0.47	-0.43	-0.63	0.32	-0.38	0.04

POSICIÓN ALTA DEL BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.96	-0.63	0.92	-0.04	-0.20	-0.34	-0.93	0.83	0.15	0.53	-0.93	-0.93
4.76-3.36	1.00	-0.87	1.00	0.33	-0.55	-0.66	-1.00	0.56	0.51	0.18	-1.00	-1.00
3.36-2.00	-0.15	0.69	-0.26	-1.00	0.94	0.89	0.24	0.66	-0.96	0.91	0.24	0.24
2.00-1.00	-0.15	0.69	-0.26	-1.00	0.94	0.89	0.24	0.67	-0.96	0.91	0.24	0.24
1.00-0.50	-0.86	0.41	-0.80	0.28	-0.04	0.09	0.81	-0.94	0.10	-0.73	0.81	0.81
0.50-0.25	-0.51	-0.08	-0.41	0.71	-0.52	-0.40	0.43	-0.99	0.57	-0.97	0.43	0.43
<0.25	-0.68	0.14	-0.60	0.54	-0.32	-0.19	0.62	-1.00	0.37	-0.89	0.62	0.62
Macro	0.69	-0.15	0.60	-0.54	0.32	0.18	-0.62	1.00	-0.37	0.89	-0.62	-0.62
Micro	-0.70	0.16	-0.61	0.53	-0.31	-0.18	0.63	-1.00	0.36	-0.88	0.63	0.63

POSICIÓN BAJA DEL BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	1.00	0.20	-0.11	-0.96	-0.99	.	-0.70	0.94	-0.28	0.27	-0.97	-0.97
4.76-3.36	0.51	0.93	-0.88	-0.76	-0.46	.	-0.98	0.81	-0.95	-0.65	-0.34	-0.34
3.36-2.00	-0.77	0.52	-0.60	0.52	0.80	.	0.02	-0.45	-0.45	-0.85	0.88	0.88
2.00-1.00	-0.89	0.33	-0.42	0.69	0.91	.	0.23	-0.63	-0.25	-0.73	0.96	0.96
1.00-0.50	-0.93	-0.50	0.41	1.00	0.91	.	0.89	-1.00	0.56	0.04	0.84	0.84
0.50-0.25	-0.35	-0.98	0.95	0.64	0.30	.	0.94	-0.69	0.99	0.77	0.17	0.17
<0.25	-0.34	-0.98	0.96	0.63	0.28	.	0.93	-0.68	0.99	0.78	0.15	0.15
Macro	0.65	0.85	-0.79	-0.86	-0.61	.	-1.00	0.90	-0.88	-0.50	-0.50	-0.50
Micro	-0.69	-0.82	0.76	0.89	0.65	.	1.00	-0.92	0.86	0.46	0.54	0.54

POSICIÓN ALTA DEL BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.61	-0.20	0.90	-0.51	0.08	-0.49	-0.01	0.97	0.88	0.67	0.51	0.51
4.76-3.36	0.81	0.08	0.75	-0.25	-0.20	-0.71	0.27	1.00	0.98	0.43	0.25	0.25
3.36-2.00	0.75	-0.01	0.80	-0.34	-0.11	-0.65	0.18	1.00	0.95	0.51	0.34	0.34
2.00-1.00	0.02	0.77	-0.97	0.93	-0.68	-0.16	0.63	-0.63	-0.39	-0.99	-0.93	-0.93
1.00-0.50	-0.47	0.36	-0.96	0.65	-0.24	0.34	0.18	-0.93	-0.79	-0.78	-0.65	-0.65
0.50-0.25	-0.60	0.21	-0.91	0.52	-0.09	0.48	0.03	-0.97	-0.87	-0.67	-0.52	-0.52
<0.25	-0.74	0.03	-0.81	0.36	0.10	0.63	-0.16	-1.00	-0.95	-0.53	-0.36	-0.36
Macro	0.69	-0.09	0.85	-0.42	-0.03	-0.58	0.10	0.99	0.93	0.58	0.42	0.42
Micro	-0.62	0.18	-0.89	0.49	-0.06	0.51	-0.01	-0.98	-0.89	-0.65	-0.49	-0.49

POSICIÓN BAJA DEL BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.58	-0.83	0.98	-0.67	-0.90	-1.00	-0.83	-1.00	-0.85	0.67	-0.31	-0.31
4.76-3.36	-0.64	0.87	-0.99	0.72	0.93	1.00	0.87	1.00	0.89	-0.72	0.24	0.24
3.36-2.00	-0.82	0.97	-0.99	0.88	0.99	0.94	0.97	0.94	0.98	-0.88	-0.02	-0.02
2.00-1.00	-0.42	0.71	-0.92	0.52	0.80	0.99	0.71	0.98	0.73	-0.52	0.48	0.48
1.00-0.50	0.85	-0.98	0.98	-0.90	-1.00	-0.92	-0.98	-0.92	-0.99	0.90	0.08	0.08
0.50-0.25	0.82	-0.97	0.99	-0.88	-0.99	-0.94	-0.97	-0.94	-0.98	0.88	0.02	0.02
<0.25	0.54	-0.79	0.96	-0.63	-0.88	-1.00	-0.79	-1.00	-0.82	0.63	-0.36	-0.36
Macro	-0.88	0.99	-0.97	0.93	1.00	0.89	0.99	0.90	0.99	-0.93	-0.13	-0.13
Micro	0.74	-0.93	1.00	-0.81	-0.97	-0.97	-0.93	-0.98	-0.94	0.81	-0.10	-0.10

POSICIÓN ALTA DEL PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.99	-0.88	0.95	-0.57	-0.05	-0.57	-0.75	0.95	1.00	-0.70	.	.
4.76-3.36	0.24	-0.55	-0.24	0.77	-1.00	0.77	0.59	-0.24	0.17	-0.77	.	.
3.36-2.00	0.34	-0.64	-0.14	0.69	-0.99	0.69	0.50	-0.13	0.28	-0.84	.	.
2.00-1.00	0.51	-0.77	0.05	0.55	-0.95	0.55	0.33	0.06	0.45	-0.93	.	.
1.00-0.50	-0.33	0.63	0.14	-0.70	0.99	-0.70	-0.51	0.14	-0.27	0.83	.	.
0.50-0.25	-0.58	0.82	-0.13	-0.48	0.92	-0.48	-0.25	-0.14	-0.52	0.95	.	.
<0.25	-0.73	0.92	-0.33	-0.29	0.82	-0.29	-0.05	-0.34	-0.68	0.99	.	.
Macro	0.68	-0.88	0.26	0.36	-0.86	0.36	0.13	0.26	0.62	-0.98	.	.
Micro	-0.65	0.87	-0.22	-0.39	0.87	-0.39	-0.16	-0.23	-0.60	0.98	.	.

POSICIÓN BAJA DEL PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.11	-0.84	0.16	0.45	-0.89	-0.55	-0.77	-0.86	-0.97	0.89	0.45	0.45
4.76-3.36	0.86	-0.15	0.83	0.62	-0.04	-0.53	-0.26	-0.10	0.18	-0.78	0.62	0.62
3.36-2.00	0.18	0.64	0.14	-0.17	0.72	0.29	0.55	0.68	0.86	-0.98	-0.17	-0.17
2.00-1.00	0.19	0.64	0.15	-0.16	0.72	0.28	0.54	0.67	0.85	-0.99	-0.16	-0.16
1.00-0.50	-0.33	0.94	-0.37	-0.64	0.97	0.72	0.89	0.95	1.00	-0.77	-0.64	-0.64
0.50-0.25	-0.79	0.98	-0.81	-0.95	0.95	0.98	0.99	0.96	0.85	-0.30	-0.95	-0.95
<0.25	-0.95	0.85	-0.96	-1.00	0.78	0.99	0.90	0.82	0.62	0.04	-1.00	-1.00
Macro	0.71	-0.99	0.74	0.91	-0.98	-0.95	-1.00	-0.99	-0.91	0.41	0.91	0.91
Micro	-0.74	0.99	-0.77	-0.93	0.97	0.96	1.00	0.98	0.89	-0.38	-0.93	-0.93

POSICIÓN ALTA DEL BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.94	0.55	-0.42	0.79	-0.15	0.09	0.90	-1.00	-0.55	-0.99	0.55	-0.83
4.76-3.36	-0.30	0.86	-0.93	0.65	-0.99	-0.99	0.49	-0.13	-0.86	0.09	0.86	0.51
3.36-2.00	0.06	0.99	-1.00	0.88	-0.97	-0.87	0.77	-0.47	-0.99	-0.27	0.99	0.17
2.00-1.00	0.91	-0.20	0.35	0.13	0.59	0.77	0.31	-0.65	0.20	-0.80	-0.20	-0.98
1.00-0.50	0.17	-0.92	0.97	-0.74	1.00	0.96	-0.60	0.26	0.92	0.04	-0.92	-0.39
0.50-0.25	-0.55	-0.94	0.87	-1.00	0.70	0.51	-0.99	0.85	0.94	0.72	-0.94	0.35
<0.25	-0.80	-0.77	0.66	-0.93	0.43	0.19	-0.98	0.98	0.77	0.91	-0.77	0.64
Macro	0.28	1.00	-0.98	0.96	-0.88	-0.74	0.89	-0.66	-1.00	-0.48	1.00	-0.05
Micro	-0.28	-1.00	0.98	-0.96	0.89	0.75	-0.89	0.65	1.00	0.47	-1.00	0.05

POSICIÓN BAJA DEL BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-1.00	-0.77	0.97	0.68	-0.52	-0.48	-1.00	0.47	-0.62	-0.98	0.74	0.74
4.76-3.36	0.01	-0.66	0.26	0.76	0.83	0.86	-0.13	0.90	-0.81	0.18	-0.65	-0.65
3.36-2.00	0.98	0.60	-0.89	-0.48	0.71	0.67	0.95	-0.25	0.41	1.00	-0.88	-0.88
2.00-1.00	-0.91	-0.39	0.76	0.26	-0.86	-0.83	-0.84	0.01	-0.19	-0.97	0.97	0.97
1.00-0.50	0.42	0.92	-0.64	-0.96	-0.52	-0.57	0.54	-1.00	0.98	0.25	0.27	0.27
0.50-0.25	0.87	0.98	-0.97	-0.94	0.07	0.02	0.93	-0.82	0.91	0.77	-0.35	-0.35
<0.25	-0.53	-0.96	0.74	0.99	0.41	0.46	-0.64	0.99	-1.00	-0.37	-0.14	-0.14
Macro	-0.60	-0.98	0.79	1.00	0.33	0.38	-0.70	0.98	-1.00	-0.45	-0.06	-0.06
Micro	0.60	0.98	-0.79	-1.00	-0.34	-0.38	0.70	-0.98	1.00	0.45	0.06	0.06

POSICIÓN ALTA DEL BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.09	-0.44	0.67	0.12	-0.07	-0.10	-0.99	-0.43	-0.52	0.85	-0.46	-0.44
4.76-3.36	-0.93	-0.98	0.90	0.99	0.94	0.93	-0.15	0.75	0.68	-0.27	-0.98	-0.98
3.36-2.00	-0.67	-0.18	-0.09	0.49	0.65	0.68	0.87	0.89	0.93	-1.00	-0.16	-0.18
2.00-1.00	-0.45	0.09	-0.35	0.25	0.43	0.46	0.97	0.73	0.79	-0.98	0.11	0.09
1.00-0.50	0.49	0.87	-0.97	-0.67	-0.51	-0.48	0.75	-0.16	-0.06	-0.41	0.89	0.87
0.50-0.25	0.70	0.97	-1.00	-0.83	-0.71	-0.69	0.55	-0.40	-0.32	-0.16	0.97	0.97
<0.25	-0.66	-0.17	-0.11	0.48	0.64	0.66	0.88	0.88	0.92	-1.00	-0.14	-0.17
Macro	-0.04	-0.56	0.76	0.26	0.06	0.03	-0.97	-0.31	-0.40	0.78	-0.58	-0.56
Micro	0.04	0.56	-0.76	-0.26	-0.06	-0.03	0.97	0.31	0.40	-0.78	0.58	0.56

POSICIÓN BAJA DEL BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.09	-0.67	1.00	-0.99	0.83	-0.99	-0.83	-0.99	-0.97	-0.53	0.87	0.99
4.76-3.36	0.91	-0.48	-0.25	0.16	-0.79	0.43	0.80	0.20	0.54	-0.63	0.17	-0.16
3.36-2.00	0.83	-0.33	-0.41	0.32	-0.88	0.57	0.89	0.35	0.67	-0.49	0.01	-0.32
2.00-1.00	0.52	0.09	-0.75	0.69	-1.00	0.86	1.00	0.71	0.92	-0.08	-0.41	-0.69
1.00-0.50	-0.62	0.97	-0.88	0.92	-0.40	0.78	0.39	0.91	0.69	0.91	-1.00	-0.92
0.50-0.25	-0.99	0.87	-0.29	0.38	0.36	0.11	-0.37	0.35	-0.02	0.94	-0.66	-0.38
<0.25	-0.99	0.71	-0.03	0.13	0.59	-0.15	-0.60	0.09	-0.28	0.82	-0.44	-0.13
Macro	1.00	-0.85	0.24	-0.33	-0.40	-0.06	0.41	-0.30	0.07	-0.92	0.62	0.33
Micro	-1.00	0.84	-0.24	0.33	0.41	0.06	-0.42	0.30	-0.07	0.92	-0.62	-0.33

POSICIÓN ALTA DEL PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.98	-0.20	0.65	0.07	-0.51	-0.07	0.71	-0.80	0.60	-1.00	-0.56	-0.98
4.76-3.36	0.59	0.50	-0.03	-0.61	0.19	0.61	0.05	-0.20	0.98	-0.74	0.13	-0.59
3.36-2.00	0.60	-0.97	0.97	0.93	-1.00	-0.93	0.94	-0.89	-0.47	-0.44	-0.99	-0.61
2.00-1.00	-0.78	-0.27	-0.23	0.39	0.06	-0.39	-0.30	0.44	-0.90	0.88	0.12	0.77
1.00-0.50	-0.97	0.16	-0.62	-0.03	0.48	0.03	-0.68	0.78	-0.63	1.00	0.53	0.97
0.50-0.25	-1.00	0.34	-0.75	-0.22	0.63	0.22	-0.80	0.88	-0.48	0.99	0.68	1.00
<0.25	0.88	0.09	0.40	-0.22	-0.24	0.22	0.47	-0.59	0.80	-0.95	-0.30	-0.88
Macro	1.00	-0.46	0.83	0.34	-0.73	-0.34	0.87	-0.93	0.36	-0.96	-0.77	-1.00
Micro	-1.00	0.47	-0.84	-0.35	0.74	0.35	-0.88	0.94	-0.34	0.96	0.77	1.00

POSICIÓN BAJA DEL PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.77	-0.98	0.95	0.97	0.99	-0.86	-0.82	0.54	-0.89	-0.75	-0.28	0.28
4.76-3.36	0.02	0.78	-0.86	-0.81	-0.77	0.18	0.11	-0.99	0.23	-0.02	0.91	-0.91
3.36-2.00	0.04	0.79	-0.86	-0.82	-0.78	0.20	0.12	-0.99	0.25	0.00	0.90	-0.90
2.00-1.00	-0.81	-0.08	-0.05	0.03	0.09	-0.71	-0.76	-0.68	-0.67	-0.84	0.85	-0.85
1.00-0.50	-0.57	-1.00	1.00	1.00	1.00	-0.70	-0.64	0.74	-0.73	-0.54	-0.53	0.53
0.50-0.25	-0.20	-0.88	0.93	0.90	0.87	-0.35	-0.28	0.95	-0.40	-0.16	-0.83	0.83
<0.25	0.38	-0.47	0.58	0.51	0.46	0.23	0.30	0.96	0.17	0.41	-1.00	1.00
Macro	-0.16	0.66	-0.75	-0.69	-0.65	0.00	-0.07	-1.00	0.05	-0.20	0.97	-0.97
Micro	0.16	-0.65	0.74	0.69	0.64	0.01	0.08	1.00	-0.05	0.20	-0.97	0.97

CUADRO 2. CORRELACIÓN DE LAS PROPIEDADES EDAFOLÓGICAS CON LA ESTABILIDAD DE AGREGADOS EN HÚMEDO

NOMENCLATURA

BTC = Bosque Tropical Caducifolio

CA = Clases de Agregados

Macro = Macroagregados

Micro = Microagregados

H = Humedad Residual

Da = Densidad Aparente

Pt = Porosidad Total

Ar = Arcilla

CO = Carbono Orgánico

pH = pH

K = Potasio

Ca = Calcio

Mg = Magnesio

Na = Sodio

Bases = \sum Bases Intercambiables

Vrh = Raíces húmedas

Vrs = Raíces secas

Nota: Las celdas marcadas en cuadro fueron significativas $\alpha < 0.05$; n = número de muestras

BTC CONSERVADO (n = 12; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.72	0.77	-0.81	-0.08	-0.31	0.17	-0.59	-0.35	-0.61	-0.74	-0.59	-0.64
4.76-3.36	-0.33	0.04	-0.08	-0.47	-0.12	-0.48	-0.32	-0.54	-0.05	0.03	0.42	0.47
3.36-2.00	0.08	-0.38	0.43	-0.68	0.36	-0.48	-0.12	-0.33	0.02	0.39	0.70	0.71
2.00-1.00	0.32	-0.57	0.64	-0.28	0.55	-0.05	0.17	0.00	0.33	0.33	0.57	0.46
1.00-0.50	0.54	-0.58	0.62	0.59	0.48	0.61	0.48	0.68	0.51	0.20	-0.18	-0.19
0.50-0.25	0.98	-0.68	0.68	0.32	0.55	0.25	0.95	0.67	0.49	0.81	0.28	0.31
<0.25	-0.43	0.66	-0.70	0.14	-0.77	-0.20	-0.29	-0.20	-0.32	-0.40	-0.40	-0.34
Macro	-0.36	0.01	0.02	-0.72	0.25	-0.32	-0.47	-0.57	-0.23	-0.09	0.43	0.35
Micro	0.36	-0.01	-0.02	0.72	-0.25	0.32	0.47	0.57	0.23	0.09	-0.43	-0.35

BTC PASTOREADO (n = 12; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.00	-0.35	0.36	-0.06	-0.12	-0.55	-0.03	-0.36	0.05	-0.10	0.01	-0.06
4.76-3.36	-0.01	0.11	-0.22	0.29	0.54	0.53	0.19	0.52	0.58	-0.18	-0.17	-0.17
3.36-2.00	0.06	0.24	-0.33	0.23	0.60	0.58	0.29	0.48	0.40	0.02	-0.07	-0.04
2.00-1.00	0.13	0.25	-0.30	0.02	0.43	0.40	0.31	0.17	-0.01	0.34	0.04	0.10
1.00-0.50	0.40	0.29	-0.24	-0.20	0.12	0.10	0.39	0.09	-0.41	0.73	0.47	0.55
0.50-0.25	0.22	0.22	-0.16	-0.22	-0.15	0.04	0.08	-0.18	-0.69	0.27	0.31	0.35
<0.25	-0.15	0.25	-0.23	0.00	-0.22	0.37	-0.23	0.20	-0.16	-0.07	-0.09	-0.04
Macro	0.02	-0.28	0.25	0.05	0.17	-0.32	0.10	-0.15	0.28	-0.11	-0.05	-0.10
Micro	0.36	-0.01	-0.02	0.72	-0.25	0.32	0.47	0.57	0.23	0.09	-0.43	-0.35

PASTIZAL CULTIVADO (n = 12; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.08	0.54	-0.53	0.48	0.03	0.25	0.15	0.02	0.20	-0.29	-0.49	-0.36
4.76-3.36	-0.43	-0.28	0.36	-0.56	-0.09	0.03	-0.49	0.11	-0.11	-0.16	-0.12	-0.28
3.36-2.00	0.25	-0.80	0.80	-0.50	0.02	-0.36	-0.01	-0.12	-0.23	0.41	0.56	0.40
2.00-1.00	0.14	-0.81	0.78	-0.29	-0.18	-0.40	-0.01	-0.19	-0.46	0.45	0.36	0.35
1.00-0.50	0.56	-0.53	0.49	-0.19	0.42	-0.30	0.25	0.02	-0.02	0.58	0.86	0.81
0.50-0.25	0.54	-0.62	0.56	-0.11	0.07	-0.51	0.23	-0.18	-0.32	0.61	0.76	0.68
<0.25	-0.17	-0.16	0.16	-0.45	-0.12	-0.03	-0.27	0.07	-0.04	-0.02	0.20	0.08
Macro	-0.09	0.36	-0.34	0.42	-0.02	0.17	0.12	-0.03	0.09	-0.23	-0.49	-0.37
Micro	0.09	-0.36	0.34	-0.42	0.02	-0.17	-0.12	0.03	-0.09	0.23	0.49	0.37

BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 6; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.50	0.41	-0.44	-0.58	0.58	0.17	-0.10	-0.33	-0.41	0.63	0.62	0.62
4.76-3.36	-0.58	0.02	-0.13	-0.08	0.49	0.03	0.26	-0.35	0.05	-0.01	0.58	0.58
3.36-2.00	-0.71	0.80	-0.78	-0.97	-0.38	-0.72	-0.89	-0.82	-0.81	0.73	0.35	0.35
2.00-1.00	0.68	-0.43	0.48	0.24	0.10	0.50	0.29	0.57	0.38	0.29	-0.42	-0.42
1.00-0.50	0.92	-0.74	0.78	0.76	-0.12	0.43	0.48	0.79	0.69	-0.36	-0.75	-0.75
0.50-0.25	0.04	-0.27	0.23	0.24	-0.71	-0.50	-0.07	-0.15	0.31	-0.31	-0.30	-0.30
<0.25	-0.46	0.54	-0.53	-0.22	-0.55	-0.70	-0.54	-0.50	-0.51	-0.45	0.15	0.15
Macro	-0.54	0.31	-0.36	-0.57	0.55	0.12	-0.05	-0.39	-0.28	0.69	0.62	0.62
Micro	0.54	-0.31	0.36	0.57	-0.55	-0.12	0.05	0.39	0.29	-0.70	-0.62	-0.62

BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 6; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.59	-0.45	0.47	0.11	-0.08	-0.58	0.18	-0.50	0.12	-0.10	-0.79	-0.79
4.76-3.36	0.25	0.40	-0.52	0.12	0.75	0.51	0.74	0.76	0.69	-0.31	0.40	0.40
3.36-2.00	0.33	0.48	-0.61	0.07	0.82	0.62	0.72	0.82	0.62	-0.31	0.45	0.45
2.00-1.00	0.27	0.37	-0.52	-0.12	0.79	0.58	0.53	0.72	0.39	-0.12	0.65	0.65
1.00-0.50	0.62	0.45	-0.43	-0.24	0.02	0.59	-0.34	0.42	-0.27	0.20	0.76	0.76
0.50-0.25	0.32	0.12	-0.14	-0.20	-0.29	0.23	-0.60	-0.01	-0.64	0.28	0.60	0.60
<0.25	0.51	0.28	-0.23	-0.14	-0.34	0.35	-0.57	0.16	-0.43	0.26	0.63	0.63
Macro	-0.51	-0.29	0.25	0.15	0.30	-0.37	0.55	-0.17	0.44	-0.25	-0.64	-0.64
Micro	0.30	0.58	0.64	0.77	0.56	0.48	0.25	0.74	0.39	0.63	0.17	0.17

PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 6; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.56	0.03	-0.10	0.40	-0.21	-0.40	-0.47	-0.55	-0.58	0.04	0.78	0.78
4.76-3.36	-0.01	0.36	-0.21	-0.13	0.55	0.33	0.22	0.67	0.70	-0.14	-0.47	-0.47
3.36-2.00	-0.65	-0.12	0.20	-0.52	0.10	0.29	0.39	0.42	0.43	0.16	-0.73	-0.73
2.00-1.00	-0.64	-0.09	0.15	-0.43	0.14	0.39	0.50	0.49	0.52	0.01	-0.79	-0.79
1.00-0.50	-0.81	0.08	-0.01	-0.18	0.17	0.52	0.74	0.44	0.28	0.30	-0.79	-0.79
0.50-0.25	-0.41	0.20	-0.12	-0.18	0.13	0.04	-0.11	-0.01	-0.26	0.76	-0.23	-0.23
<0.25	-0.47	-0.14	0.17	-0.40	0.12	0.36	0.45	0.51	0.61	-0.22	-0.72	-0.72
Macro	0.60	0.08	-0.14	0.42	-0.15	-0.40	-0.49	-0.51	-0.55	0.04	0.80	0.80
Micro	-0.60	-0.08	0.14	-0.42	0.15	0.40	0.49	0.52	0.55	-0.04	-0.80	-0.80

BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 6; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.08	0.30	-0.51	0.24	0.00	-0.04	0.10	0.16	-0.58	-0.23	0.07	-0.28
4.76-3.36	-0.97	0.15	-0.14	-0.90	-0.32	-0.91	-0.77	-0.79	-0.20	0.11	0.90	0.90
3.36-2.00	-0.78	-0.43	0.55	-0.88	0.24	-0.45	-0.78	-0.65	-0.15	-0.07	0.62	0.64
2.00-1.00	-0.39	-0.39	0.57	-0.59	0.45	-0.07	-0.45	-0.51	0.03	-0.39	0.36	0.20
1.00-0.50	0.70	-0.53	0.62	0.53	0.55	0.86	0.45	0.57	0.23	-0.09	-0.75	-0.66
0.50-0.25	0.94	-0.16	0.11	0.80	0.40	0.90	0.90	0.79	0.39	0.34	-0.97	-0.84
<0.25	0.11	0.65	-0.78	0.33	-0.72	-0.29	0.24	0.14	0.05	0.23	0.00	0.09
Macro	-0.79	-0.27	0.36	-0.87	0.26	-0.49	-0.76	-0.70	-0.29	-0.26	0.72	0.54
Micro	0.79	0.27	-0.36	0.87	-0.26	0.49	0.76	0.70	0.29	0.26	-0.72	-0.54

BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 6; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.81	-0.52	0.52	-0.65	-0.34	-0.80	-0.32	-0.38	-0.16	-0.34	0.29	0.12
4.76-3.36	0.23	-0.25	0.13	0.62	0.18	0.63	0.64	0.45	0.47	-0.43	-0.48	-0.51
3.36-2.00	0.01	0.05	-0.11	0.57	0.00	0.66	0.67	0.19	0.13	0.00	-0.43	-0.38
2.00-1.00	-0.11	0.27	-0.23	0.17	-0.35	0.29	0.42	-0.31	-0.38	0.61	-0.22	-0.12
1.00-0.50	-0.54	0.54	-0.46	-0.21	-0.30	-0.06	-0.09	-0.33	-0.41	0.86	0.18	0.33
0.50-0.25	-0.12	0.61	-0.43	-0.28	-0.21	-0.16	-0.16	-0.64	-0.82	0.24	0.42	0.49
<0.25	-0.88	0.33	-0.33	0.46	0.68	0.49	-0.20	0.61	0.42	-0.01	-0.10	0.01
Macro	0.92	-0.57	0.51	-0.22	-0.36	-0.32	0.22	-0.24	-0.03	-0.39	-0.07	-0.22
Micro	-0.92	0.57	-0.51	0.22	0.36	0.32	-0.22	0.24	0.03	0.39	0.07	0.22

PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 6; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.85	0.48	-0.47	0.67	0.24	0.44	0.81	0.71	0.71	0.21	-0.15	0.15
4.76-3.36	-0.88	-0.75	0.79	-0.86	-0.36	-0.33	-0.75	-0.90	-0.67	-0.20	-0.29	-0.57
3.36-2.00	-0.88	-0.86	0.89	-0.79	-0.17	-0.47	-0.82	-0.81	-0.72	-0.30	-0.37	-0.55
2.00-1.00	-0.74	-0.87	0.84	-0.40	-0.39	-0.54	-0.54	-0.74	-0.90	0.06	-0.73	-0.33
1.00-0.50	-0.41	-0.13	0.14	-0.41	0.60	-0.15	-0.59	0.11	-0.18	-0.18	0.72	0.46
0.50-0.25	-0.70	-0.55	0.46	-0.19	-0.21	-0.79	-0.72	-0.59	-0.84	-0.35	-0.23	-0.19
<0.25	-0.59	-0.11	0.10	-0.51	-0.23	-0.24	-0.59	-0.51	-0.41	-0.18	0.44	-0.04
Macro	0.63	0.16	-0.14	0.52	0.12	0.30	0.66	0.47	0.45	0.21	-0.47	-0.03
Micro	-0.63	-0.16	0.14	-0.52	-0.12	-0.30	-0.66	-0.47	-0.45	-0.21	0.47	0.03

POSICIÓN ALTA DEL BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.45	0.88	-0.55	-0.98	1.00	0.99	0.53	0.40	-1.00	0.74	0.53	0.53
4.76-3.36	-0.96	0.95	-0.99	-0.50	0.70	0.79	0.98	-0.40	-0.66	0.01	0.98	0.98
3.36-2.00	0.50	0.09	0.40	-0.72	0.53	0.41	-0.42	0.99	-0.58	0.97	-0.42	-0.42
2.00-1.00	-0.02	0.59	-0.13	-0.97	0.89	0.82	0.10	0.76	-0.91	0.96	0.10	0.10
1.00-0.50	0.62	-0.96	0.70	0.91	-0.98	-1.00	-0.69	-0.21	0.97	-0.58	-0.69	-0.69
0.50-0.25	0.35	-0.82	0.45	0.99	-0.99	-0.96	-0.43	-0.50	1.00	-0.81	-0.43	-0.43
<0.25	0.31	-0.80	0.41	1.00	-0.98	-0.95	-0.39	-0.54	0.99	-0.83	-0.39	-0.39
Macro	-0.45	0.88	-0.55	-0.97	1.00	0.99	0.53	0.40	-1.00	0.73	0.53	0.53
Micro	0.45	-0.88	0.54	0.98	-1.00	-0.99	-0.52	-0.41	1.00	-0.74	-0.52	-0.52

POSICIÓN BAJA DEL BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-1.00	-0.22	0.13	0.97	0.99	.	0.71	-0.95	0.30	-0.25	0.96	0.96
4.76-3.36	-0.98	-0.32	0.22	0.99	0.97	.	0.78	-0.97	0.39	-0.16	0.93	0.93
3.36-2.00	1.00	0.17	-0.07	-0.95	-1.00	.	-0.67	0.93	-0.24	0.31	-0.98	-0.98
2.00-1.00	0.92	-0.25	0.34	-0.75	-0.94	.	-0.31	0.69	0.17	0.67	-0.98	-0.98
1.00-0.50	0.95	-0.18	0.28	-0.79	-0.96	.	-0.38	0.74	0.10	0.61	-0.99	-0.99
0.50-0.25	-0.08	-1.00	1.00	0.40	0.02	.	0.80	-0.46	0.99	0.92	-0.11	-0.11
<0.25	-0.53	0.76	-0.82	0.22	0.57	.	-0.30	-0.15	-0.71	-0.98	0.68	0.68
Macro	-0.75	-0.77	0.70	0.92	0.71	.	0.99	-0.95	0.81	0.38	0.61	0.61
Micro	0.75	0.77	-0.70	-0.92	-0.71	.	-0.99	0.95	-0.81	-0.38	-0.61	-0.61

POSICIÓN ALTA DEL BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.98	0.78	0.02	0.54	-0.85	-1.00	0.89	0.64	0.82	-0.37	-0.54	-0.54
4.76-3.36	0.73	-0.04	0.82	-0.37	-0.08	-0.62	0.15	1.00	0.94	0.54	0.37	0.37
3.36-2.00	0.29	-0.53	1.00	-0.78	0.42	-0.15	-0.36	0.84	0.66	0.88	0.78	0.78
2.00-1.00	-0.47	-0.97	0.77	-0.99	0.94	0.59	-0.92	0.20	-0.07	0.96	0.99	0.99
1.00-0.50	-0.96	-0.84	0.08	-0.62	0.90	0.99	-0.93	-0.56	-0.76	0.46	0.62	0.62
0.50-0.25	-0.97	-0.46	-0.43	-0.15	0.57	0.93	-0.62	-0.90	-0.98	-0.04	0.15	0.15
<0.25	-0.97	-0.45	-0.44	-0.14	0.56	0.93	-0.61	-0.90	-0.98	-0.05	0.14	0.14
Macro	0.98	0.50	0.39	0.18	-0.60	-0.94	0.65	0.88	0.97	0.01	-0.18	-0.18
Micro	-0.99	-0.52	-0.36	-0.22	0.63	0.95	-0.67	-0.86	-0.97	0.03	0.22	0.22

POSICIÓN BAJA DEL BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.65	0.35	0.03	0.56	0.20	-0.26	0.35	-0.25	0.31	-0.56	-1.00	-1.00
4.76-3.36	-0.50	0.77	-0.95	0.59	0.85	1.00	0.77	1.00	0.79	-0.59	0.40	0.40
3.36-2.00	-0.52	0.78	-0.96	0.61	0.87	1.00	0.78	1.00	0.81	-0.61	0.38	0.38
2.00-1.00	-0.33	0.64	-0.88	0.44	0.75	0.97	0.64	0.96	0.67	-0.44	0.56	0.56
1.00-0.50	0.83	-0.59	0.25	-0.77	-0.47	-0.02	-0.59	-0.03	-0.56	0.77	0.94	0.94
0.50-0.25	0.94	-0.76	0.47	-0.90	-0.66	-0.25	-0.76	-0.26	-0.74	0.90	0.83	0.83
<0.25	0.95	-0.77	0.48	-0.90	-0.67	-0.27	-0.77	-0.28	-0.75	0.90	0.82	0.82
Macro	-0.94	0.76	-0.46	0.89	0.65	0.24	0.76	0.25	0.73	-0.89	-0.84	-0.84
Micro	0.94	-0.76	0.46	-0.89	-0.65	-0.24	-0.76	-0.25	-0.73	0.89	0.84	0.84

POSICIÓN ALTA DEL PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	-0.44	0.11	-0.81	1.00	-0.79	1.00	0.97	-0.80	-0.50	-0.19	.	.
4.76-3.36	0.04	0.30	0.50	-0.91	0.97	-0.91	-0.79	0.49	0.11	0.57	.	.
3.36-2.00	0.09	0.25	0.54	-0.93	0.96	-0.93	-0.82	0.54	0.16	0.53	.	.
2.00-1.00	0.39	-0.06	0.77	-1.00	0.82	-1.00	-0.96	0.77	0.45	0.24	.	.
1.00-0.50	-0.98	0.99	-0.79	0.27	0.37	0.27	0.50	-0.79	-0.97	0.89	.	.
0.50-0.25	-0.57	0.81	-0.12	-0.49	0.92	-0.49	-0.26	-0.13	-0.51	0.95	.	.
<0.25	0.97	-0.84	0.97	-0.64	0.03	-0.64	-0.80	0.97	0.99	-0.64	.	.
Macro	-0.63	0.33	-0.92	0.97	-0.63	0.97	1.00	-0.92	-0.68	0.04	.	.
Micro	0.63	-0.34	0.92	-0.97	0.63	-0.97	-1.00	0.92	0.69	-0.04	.	.

POSICIÓN BAJA DEL PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE SECAS (n = 3; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.71	-1.00	0.74	0.91	-0.98	-0.95	-1.00	-0.99	-0.91	0.41	0.91	0.91
4.76-3.36	-0.25	0.91	-0.30	-0.58	0.95	0.67	0.85	0.93	0.99	-0.82	-0.58	-0.58
3.36-2.00	-0.76	0.99	-0.79	-0.94	0.96	0.97	1.00	0.98	0.88	-0.35	-0.94	-0.94
2.00-1.00	-0.74	0.99	-0.77	-0.93	0.97	0.97	1.00	0.98	0.89	-0.37	-0.93	-0.93
1.00-0.50	-0.85	0.95	-0.88	-0.98	0.90	1.00	0.98	0.93	0.79	-0.19	-0.98	-0.98
0.50-0.25	-0.73	-0.06	-0.70	-0.45	-0.17	0.34	0.06	-0.11	-0.38	0.89	-0.45	-0.45
<0.25	-0.67	1.00	-0.70	-0.88	0.99	0.93	1.00	1.00	0.93	-0.47	-0.88	-0.88
Macro	0.75	-0.99	0.78	0.93	-0.96	-0.97	-1.00	-0.98	-0.88	0.36	0.93	0.93
Micro	-0.75	0.99	-0.78	-0.93	0.96	0.97	1.00	0.98	0.88	-0.36	-0.93	-0.93

POSICIÓN ALTA DEL BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.38	0.99	-0.95	0.98	-0.83	-0.67	0.93	-0.73	-0.99	-0.56	0.99	-0.15
4.76-3.36	-0.94	0.11	-0.26	-0.22	-0.52	-0.71	-0.40	0.71	-0.11	0.85	0.11	0.99
3.36-2.00	-0.04	-0.98	1.00	-0.86	0.97	0.88	-0.75	0.45	0.98	0.25	-0.98	-0.19
2.00-1.00	0.54	-0.69	0.80	-0.42	0.93	0.99	-0.24	-0.14	0.69	-0.36	-0.69	-0.72
1.00-0.50	0.45	-0.77	0.86	-0.51	0.96	1.00	-0.34	-0.03	0.77	-0.25	-0.77	-0.64
0.50-0.25	-0.10	-0.99	1.00	-0.90	0.95	0.85	-0.80	0.51	0.99	0.31	-0.99	-0.13
<0.25	-0.40	0.80	-0.88	0.56	-0.98	-1.00	0.39	-0.02	-0.80	0.20	0.80	0.60
Macro	0.42	-0.79	0.87	-0.54	0.97	1.00	-0.38	0.00	0.79	-0.22	-0.79	-0.61
Micro	-0.42	0.79	-0.87	0.54	-0.97	-1.00	0.38	0.00	-0.79	0.22	0.79	0.61

POSICIÓN BAJA DEL BTC CONSERVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.17	-0.53	0.10	0.65	0.91	0.93	0.03	0.82	-0.70	0.34	-0.76	-0.76
4.76-3.36	-0.30	-0.86	0.55	0.93	0.62	0.66	-0.43	0.99	-0.95	-0.14	-0.38	-0.38
3.36-2.00	-1.00	-0.70	0.94	0.59	-0.61	-0.57	-0.98	0.37	-0.53	-0.99	0.81	0.81
2.00-1.00	-0.36	0.35	0.10	-0.48	-0.98	-0.99	-0.23	-0.69	0.55	-0.52	0.88	0.88
1.00-0.50	-0.52	0.18	0.27	-0.32	-1.00	-1.00	-0.40	-0.55	0.39	-0.66	0.95	0.95
0.50-0.25	0.97	0.89	-1.00	-0.81	0.33	0.28	0.99	-0.64	0.77	0.91	-0.58	-0.58
<0.25	0.46	0.93	-0.68	-0.98	-0.48	-0.53	0.57	-1.00	0.99	0.30	0.22	0.22
Macro	-0.30	-0.86	0.54	0.92	0.63	0.67	-0.42	0.99	-0.95	-0.13	-0.39	-0.39
Micro	0.30	0.86	-0.54	-0.92	-0.63	-0.67	0.42	-0.99	0.95	0.13	0.39	0.39

POSICIÓN ALTA DEL BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.86	1.00	-0.96	-0.95	-0.87	-0.85	0.32	-0.62	-0.55	0.10	1.00	1.00
4.76-3.36	-0.89	-1.00	0.94	0.97	0.90	0.89	-0.25	0.68	0.61	-0.17	-0.99	-1.00
3.36-2.00	-0.45	-0.85	0.96	0.63	0.47	0.44	-0.78	0.11	0.02	0.45	-0.86	-0.85
2.00-1.00	0.31	-0.24	0.49	-0.09	-0.29	-0.32	-1.00	-0.62	-0.69	0.95	-0.26	-0.24
1.00-0.50	0.99	0.77	-0.56	-0.93	-0.99	-0.99	-0.36	-0.98	-0.95	0.71	0.75	0.77
0.50-0.25	0.74	0.29	-0.02	-0.58	-0.73	-0.75	-0.81	-0.93	-0.96	0.98	0.26	0.29
<0.25	-0.74	-0.28	0.01	0.58	0.73	0.75	0.81	0.93	0.96	-0.98	-0.26	-0.28
Macro	0.38	-0.16	0.42	-0.17	-0.36	-0.39	-0.98	-0.68	-0.75	0.97	-0.18	-0.16
Micro	-0.38	0.16	-0.42	0.18	0.37	0.39	0.98	0.68	0.75	-0.97	0.18	0.16

POSICIÓN BAJA DEL BTC PASTOREADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$; BTC=Bosque tropical caducifolio)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.75	-1.00	0.78	-0.84	0.24	-0.65	-0.23	-0.82	-0.55	-0.97	0.97	0.84
4.76-3.36	0.88	-0.43	-0.32	0.23	-0.83	0.49	0.84	0.26	0.59	-0.57	0.11	-0.23
3.36-2.00	0.66	-0.09	-0.62	0.55	-0.97	0.76	0.97	0.58	0.83	-0.26	-0.24	-0.55
2.00-1.00	-0.04	0.63	-0.99	0.97	-0.86	1.00	0.86	0.98	0.98	0.49	-0.85	-0.97
1.00-0.50	-0.95	0.95	-0.47	0.55	0.17	0.30	-0.18	0.52	0.17	0.99	-0.79	-0.55
0.50-0.25	0.00	-0.60	0.99	-0.97	0.88	-1.00	-0.88	-0.97	-0.99	-0.45	0.83	0.97
<0.25	-0.96	0.61	0.11	-0.01	0.70	-0.29	-0.70	-0.05	-0.41	0.73	-0.31	0.01
Macro	1.00	-0.74	0.08	-0.17	-0.55	0.11	0.56	-0.14	0.23	-0.85	0.48	0.17
Micro	-1.00	0.74	-0.08	0.17	0.55	-0.11	-0.56	0.14	-0.23	0.85	-0.48	-0.17

POSICIÓN ALTA DEL PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.96	-0.64	0.93	0.54	-0.86	-0.54	0.96	-0.99	0.15	-0.88	-0.89	-0.96
4.76-3.36	0.67	0.41	0.07	-0.53	0.09	0.53	0.15	-0.29	0.96	-0.80	0.04	-0.67
3.36-2.00	0.78	0.26	0.24	-0.38	-0.07	0.38	0.31	-0.45	0.89	-0.89	-0.13	-0.78
2.00-1.00	0.10	-0.95	0.69	0.99	-0.80	-0.99	0.63	-0.51	-0.86	0.09	-0.77	-0.11
1.00-0.50	-0.69	0.94	-0.99	-0.88	1.00	0.88	-0.97	0.93	0.36	0.54	1.00	0.69
0.50-0.25	-0.26	-0.78	0.39	0.86	-0.54	-0.86	0.31	-0.17	-0.98	0.44	-0.49	0.25
<0.25	-0.87	0.79	-0.99	-0.71	0.95	0.71	-1.00	1.00	0.07	0.76	0.97	0.88
Macro	0.88	-0.79	0.99	0.70	-0.95	-0.70	1.00	-1.00	-0.06	-0.77	-0.96	-0.88
Micro	-0.88	0.79	-0.99	-0.70	0.95	0.70	-1.00	1.00	0.06	0.77	0.96	0.88

POSICIÓN BAJA DEL PASTIZAL CULTIVADO EN ÉPOCA DE LLUVIAS (n = 3; $\alpha < 0.05$)

CA	H	Da	Pt	Ar	CO	pH	K	Ca	Mg	Na	Vrh	Vrs
> 4.76	0.73	-0.06	0.19	0.11	0.05	0.61	0.67	0.77	0.57	0.75	-0.92	0.92
4.76-3.36	-0.89	-0.22	0.09	0.17	0.23	-0.80	-0.85	-0.56	-0.77	-0.91	0.77	-0.77
3.36-2.00	-0.97	-0.81	0.72	0.78	0.82	-1.00	-0.99	0.12	-1.00	-0.96	0.16	-0.16
2.00-1.00	-0.61	-1.00	1.00	1.00	1.00	-0.73	-0.67	0.71	-0.76	-0.58	-0.49	0.49
1.00-0.50	-0.98	-0.77	0.68	0.73	0.78	-1.00	-1.00	0.06	-1.00	-0.98	0.22	-0.22
0.50-0.25	-0.88	-0.20	0.07	0.15	0.21	-0.79	-0.84	-0.58	-0.76	-0.90	0.78	-0.78
<0.25	-0.52	0.32	-0.44	-0.37	-0.30	-0.38	-0.45	-0.91	-0.33	-0.56	0.99	-0.99
Macro	0.64	-0.18	0.31	0.23	0.17	0.51	0.57	0.84	0.46	0.67	-0.96	0.96
Micro	-0.64	0.18	-0.31	-0.23	-0.17	-0.51	-0.57	-0.84	-0.46	-0.67	0.96	-0.96