



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO**  
**FACULTAD DE BIOLOGIA**  
**Coordinación de Estudios de Postgrado**  
**Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas**

---

Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas

**“RELACION ENTRE EL TIEMPO DE CAMBIO DE USO DEL SUELO Y EL  
NIVEL DE DEGRADACION DE LOS SUELOS EN LA CUENCA DE  
COINTZIO MICHOACÁN”**

que presenta

**ADRIANA GABRIELA RAMOS RAMÍREZ**

Como requisito para obtener el grado de  
Maestra en Ciencias

Director de tesis:

Dr. Alberto Francisco Gómez Tagle Rojas

Marzo, 2012



*Esta tesis la dedico a quienes me hacen sentir amada: mis padres, hermanos, sobrinos y especialmente a mi esposo Gregorio.*

*A todas las personas que con gran dedicación me enseñaron a pensar y a hacer textos como este*

*Mi pensamiento sigue vigente.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco el apoyo otorgado por el Doctor Christian Prat y la Dra. María Alcalá De Jesús por incorporarme al proyecto Desertification Mitigation and Remediation of Land: a global approach for local solutions (DESIRE), subproyecto “Patrones de degradación física y química en suelos de la Cuenca de Cointzio, Michoacán”. Así mismo, a la Comisión Europea (UE FPG-2005-Global-4 OJ 2005 C 177/15) por el financiamiento del proyecto de investigación. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada durante los estudios de Maestría en el programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

De manera especial agradezco al Dr. Alberto Francisco Gómez Tagle Rojas por la Dirección del presente trabajo, a los miembros del jurado, M.C Arcelia Cabrera González, Drs. Christian Prat, Phillippe Lobit, Alberto Hernández Jiménez y al M.C. Lenin Ejecatl Medina Orozco, por las valiosas contribuciones que hicieron al trabajo final y por el tiempo que dedicaron para revisarlo, aun a pesar de tantas actividades que los ocupan.

A los ejidatarios de Atécuaro, Umécuaro, Potrerillos, La Maiza y Cuanajillo del Toro por permitirme el muestreo de los suelos. Especialmente a Sr. Rogelio Rangel por su gran apoyo en las salidas a campo.

A mis compañeros de la generación Yocupitzia, Ale, Susana, Benja, Alex y Rubén de los que cada día aprendí algo nuevo.

A mis compañeros del Laboratorio de Edafología, Martha, Ana Elvira, Elsi, Rosa, Mariela y Álvaro, que hicieron amenos mis días de trabajo.

A mis amigos de siempre Nancy Alanís, Lenin, Cutzi, Ana, Violeta, They, Laura, Vero, Mayor, Rosmery, Noé, Manuel y Alma; por estar al pie del cañón siempre que los necesite.

Agradezco a Goyo, a madre y hermanos quienes me han permitido ver mis logros y tropiezos de una forma amena.

## INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS.	i
INDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN	iii
SUMMARY	v
I. INTRODUCCION	1
II. MARCO CONCEPTUAL	3
2.1. Cuenca	3
2.2. Suelo	3
2.3. Degradación del suelo	3
III. ANTECEDENTES	6
3.1. Algunos trabajos a nivel Nacional	7
3.2. Algunos trabajos a nivel Local	9
IV. HIPÓTESIS	12
V. OBJETIVO GENERAL	13
5.1. Objetivos particulares	13
VI. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	14
6.1. Localización geográfica	14
6.2. Clima	15
6.3. Geología	17
6.4. Hidrología superficial	19
6.5. Geoformas	19
6.6. Pendientes	21
6.7. Rangos altitudinales	22
6.8. Suelos	23
6.9. Vegetación y uso del suelo	24
VII. METODOLOGIA	26
7.1. Caracterización física de la cuenca de Cointzio	26
7.2. Historial del cambio de uso y manejo del suelo	26
7.3. Selección de parámetros indicadores de degradación de suelos	26
7.4. Análisis de las propiedades indicadoras de la degradación de los suelos	27
7.4.1. Selección de los sitios de muestreo	27
7.4.2. Muestreo de suelos	27
7.4.3. Análisis físico de indicadores de degradación del suelo	28
7.4.4. Análisis químico de indicadores de degradación del suelo	29
7.4.5. Análisis de Indicadores biológicos de degradación	29
7.5. Evaluación de la degradación del suelo.	30
VIII. RESULTADOS Y DISCUSION	31
8.1. Historial del cambio de uso y manejo de los suelos	31

8.2. Parámetros indicadores de degradación del suelo _____	35
8.2.1. Indicadores físicos _____	35
8.2.2. Indicadores Químicos _____	37
8.2.3. Indicadores biológicos _____	38
8.3. Análisis de las propiedades indicadoras de degradación de los suelos _____	40
8.3.1. Localización de los sitios de muestreo y caracterización ambiental ____	40
8.3.2. Descripción de campo y laboratorio de Andosoles _____	43
8.3.2.1. Andosoles Forestales _____	43
8.3.2.2. Andosoles agropecuarios _____	50
8.3.2.3. Caracterización morfológica, física y química de Andosoles _____	60
8.3.2.4. Dinámica de la degradación en Andosoles _____	64
8.3.3. Descripción de campo y laboratorio en Acrisoles _____	71
8.3.3.1. Acrisoles forestales _____	71
8.3.3.2. Acrisoles agropecuarios _____	76
8.3.3.3. Caracterización morfológica, física y química de los Acrisoles _____	81
8.3.3.4. Dinámica de la degradación de los Acrisoles _____	83
8.4. Degradación de los suelos en la cuenca de Coitzio _____	87
IX. CONCLUSIONES _____	90
X. RECOMENDACIONES _____	91
XI. REFERENCIAS _____	92
XII. ANEXO _____	98

## INDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Unidades geológicas presentes en la cuenca de Coitzio.....	17
Cuadro 2. Unidades geomorfológicas presentes en la Cuenca de Coitzio.....	19
Cuadro 3. Rangos altitudinales para la cuenca de Coitzio.....	22
Cuadro 4. Unidades de suelo presentes en la cuenca de Coitzio.....	23
Cuadro 5. Cobertura vegetal y uso del suelo para tres periodos de tiempo (1975, 1986, 2003) en Andosoles y Acrisoles.....	32
Cuadro 6. Clases de resistencia a la penetración.....	37
Cuadro 7. Indicadores de degradación para Andosoles.....	39
Cuadro 8. Indicadores de degradación para Acrisoles.....	39
Cuadro 9. Características ambientales de los sitios de muestreo.....	42
Cuadro 10. Características físicas y químicas de Andosoles forestales.....	49
Cuadro 11. Características físicas y químicas de Andosoles agropecuarios.....	58
Cuadro 12. Resultados promedio de la resistencia a la penetración.....	67
Cuadro 13. Cambios en las propiedades indicadoras de degradación en Andosoles.....	70
Cuadro 14. Características físicas y químicas de Acrisoles forestales.....	75
Cuadro 15. Características físicas y químicas de Acrisoles agropecuarios.....	80
Cuadro 16. Cambios en las propiedades indicadoras de degradación en Acrisoles.....	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la cuenca de Cointzio.....	14
Figura 2. Zonas representativas de la cuenca de Cointzio .....	15
Figura 3. Climograma para la cuenca de Cointzio .....	16
Figura 4. Balance hídrico de la cuenca de Cointzio.....	16
Figura 5. Mapa geológico de la cuenca de Cointzio, Michoacán .....	18
Figura 6. Mapa de geofomas de la cuenca de Cointzio (Tomado de Mendoza, 2006) .....	20
Figura 7. Mapa de pendientes de la Cuenca de Cointzio.....	21
Figura 8. Mapa hipsométrico de la Cuenca de Cointzio.....	22
Figura 9. Mapa edafológico de la cuenca de Cointzio, Michoacán .....	23
Figura 10. Cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca de Cointzio Michoacán.....	25
Figura 11. Cambio de cobertura forestal a cultivos de temporal .....	33
Figura 12. Mapa de unidades homogéneas .....	40
Figura 13. Ubicación espacial de los sitios de muestreo.....	41
Figura 14. Distribución altitudinal y uso de los Andosoles en la cuenca de Cointzio.....	60
Figura 15. Distribución del contenido de materia orgánica en el horizonte .....	65
Figura 16. Densidad aparente en Andosoles .....	66
Figura 17. Distribución de la porosidad total del suelo en Andosoles. ....	66
Figura 18. Introducción de ganado en zonas forestales perturbadas.....	67
Figura 19. Distribución de la resistencia a la penetración en Andosoles.....	69
Figura 20. Distribución altitudinal y uso de los Acrisoles en la cuenca de Cointzio. ....	81
Figura 21. Análisis de regresión y coeficiente de correlación entre el porcentaje de .....	85
Figura 22. Distribución altitudinal de los suelos en la cuenca de Cointzio.....	87
Figura 23. Formación de estructura gruesa (a) y (b) pisos de arado en Acrisoles .....	89

## RESUMEN

El suelo en su condición de uso primario es susceptible de recibir algún tipo de impacto que puede expresarse en diferentes formas de degradación e inclusive en pérdida irreversible del mismo. Dicho impacto en términos generales, puede ser producido por tres causas fundamentales: la ocupación, la contaminación y la sobreexplotación.

Con la finalidad de reconocer el nivel de degradación a consecuencia de las prácticas de manejo, los efectos de tales cambios en el suelo deben evaluarse en forma integral, en término de su funcionamiento, aptitud y vulnerabilidad. Para ello se requiere contar con indicadores edáficos que muestren los cambios tempranos que experimenta el recurso suelo. El objetivo principal de este trabajo es evaluar los cambios ocurridos en algunas propiedades físicas y químicas de dos unidades de suelos de la cuenca de Coatzacoahuila, como resultado de las actividades agropecuarias tradicionales.

El trabajo se realizó a partir de la caracterización de la cuenca y sobre la base de estudio de 21 perfiles de suelo con diferentes formas de uso; bosque y agropecuario. Para los Andosoles se encontraron cuatro formas de manejo: forestales conservados, forestales perturbados, agropecuarios sobre laderas medias y agropecuarios sobre laderas bajas. Los resultados sugieren que el cambio de uso forestal para fines agropecuarios con el sistema de “año y vez” ha favorecido la degradación de los suelos, que se refleja en la pérdida de los horizontes superficiales O y A, cambios en las coloraciones a tonalidades más claras como resultado de la pérdida del material orgánico (más del 60%), cambios de estructura granular a bloques, aumento de la densidad aparente y disminución de la porosidad del suelo. Estos cambios se traducen en la formación de capas compactas en los primeros 10 cm de espesor para los Andosoles forestales perturbados. En el caso de los suelos agropecuarios es evidente la formación de pisos de arado después de los 30 cm de espesor, con valores que pueden ser limitativos para el crecimiento radicular ( $>2\text{Mpa}$ ). En el caso de los Acrisoles el cambio de uso del suelo para fines agropecuarios, repercutió en la pérdida de horizontes superficiales O y A, y afloramiento de horizontes B con altos contenidos de arcilla, estos suelos presentaron bajos contenidos de materia orgánica, humedad y porosidad del suelo, mientras que los valores de densidad aparente aumentaron hasta  $1.43\text{ g cm}^{-3}$ , lo cual se acerca a los valores máximos de impedimento radicular  $1.6\text{ g cm}^{-3}$ . Estos resultados muestran que hay una compactación de los suelos que se atribuye al pisoteo del ganado en todos los casos, la introducción de maquinaria agrícola y posiblemente su uso en temporada inadecuada (suelo demasiado húmedo).

Se concluye que los suelos de la cuenca de Cointzio son susceptibles a la degradación del suelo por las actividades agropecuarias, con la consecuente pérdida de los horizontes superficiales, del material orgánico, modificando su patrón de coloración, reducción de la porosidad del suelo y formación de capas compactas que limitan el crecimiento radicular e incrementan el potencial de la pérdida de suelo por escurrimiento.

## SUMMARY

The soil in his capacity as primary use is likely to receive some kind of impact that can be expressed in different forms of degradation and even in irreversible loss of it. This impact in general terms, can be produced by three fundamental causes: the occupation, pollution and overexploitation.

In order to recognize the level of degradation as a result of management practices, the effects of such changes on the ground should be evaluated holistically, in terms of their performance, ability and vulnerability. This requires having soil indicators that show early changes experienced by the soil resource. The main objective of this study was to evaluate the changes in some physical and chemical properties of two soil units Cointzio basin as a result of traditional agricultural activities.

The work I realize from the characterization of the basin and on the base of study of 21 profiles of soil with different forms of use; forest and agricultural. For Andosols were four forms of management: forest preserved, disturbed forest, agricultural and farming on middle slopes on lower slopes. The results suggest that the change in forest use for agricultural purposes with the system of "año y vez" has led to the degradation, which is reflected in the loss of surface O and A horizons, changing the colors to shades more clear as a result of loss of organic matter (over 60%), changes to blocks granular structure, increased bulk density and decrease the porosity of the soil. These changes result in the formation of compacted layers within 10 cm thick for disturbed forest Andosols. For agricultural soils is evident the formation of plow pans after 30 cm thick, with values that can be limiting for root growth ( $> 2\text{MPa}$ ). In the case of Acrisols changing land use for agricultural purposes, affected the loss of surface horizons O and A and B horizons outcrop high in clay, these soils had low organic matter content, moisture and porosity soil, while the bulk density values increased to  $1.43\text{ g cm}^{-3}$ , which is close to the maximum values of  $1.6\text{ g root impediment cm}^{-3}$ . These results show that there is a compaction of soils is attributed to trampling by livestock in all cases, the introduction of agricultural machinery and possibly inappropriate use season (soil too wet).

It is concluded that the soils of the basin Cointzio are susceptible to soil degradation by agricultural activities, with consequent loss of the surface layers of organic material, changing its color pattern, reduced soil porosity and formation of compacted layers that limit root growth and increase the potential for soil loss through runoff.

## I. INTRODUCCION

La degradación del suelo causada por las actividades humanas es una de los principales problemas ambientales de los siglos XX y XXI. La importancia de este tema resulta de sus consecuencias directas sobre la seguridad alimentaria, la migración y la calidad del ambiente (SEMARNAT- SINADES 2010).

La degradación es un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir cuantitativamente y cualitativamente, alimentos y servicios. Actualmente la degradación de suelos se ha visto acrecentada por la demanda cada vez mayor de alimentos para la población, lo cual ha conducido a la transformación del suelo de vocación forestal al uso agropecuario, con el consiguiente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la disminución de los rendimientos agrícolas y, más importante aún, el deterioro del medio ambiente (FAO 1994, SEMARNAT 2002).

Abarca componentes físicos, químicos y biológicos, mismos que experimentan cambios en el tiempo, como producto del uso del suelo, lo cual causa un efecto de disminución sobre los agroecosistemas y su productividad, dependiendo de las condiciones climáticas y las características propias del suelo y del cultivo de que se trate. Existen dos formas básicas para evaluar los cambios en las propiedades del suelo: a) a partir de mediciones periódicas, a lo largo del tiempo y b) comparando valores medidos con los de una condición del suelo estándar o de referencia (USDA, 1998).

México es uno de los países de América Latina con serios problemas de degradación de tierras, de las cuales, más del 50 % de las tierras arables se localizan sobre los 1,000 msnm (Lal, 2000; Norton *et al.*, 2003). La degradación del suelo por erosión acelerada, es un serio problema en países en desarrollo del trópico y subtropical como México, que concentra la mayor población en el mundo, y donde el manejo del suelo por la agricultura de subsistencia se asocia con la degradación del suelo.

En Michoacán el principal cultivo es el maíz con una superficie sembrada de 525,000 ha, de las cuales el 69 % son de temporal, con rendimientos que varían de 0.99 a 2.47 t ha<sup>-1</sup> (Romero *et al.*, 2001). El cultivo en laderas en la cuenca de Cointzio se maneja bajo el sistema tradicional de agricultura denominada de “año y vez”, que consiste en sembrar un año y dejar descansar de uno a tres años para ser usadas como tierras de pastoreo

extensivo. Para Michoacán se ha documentado tanto el efecto negativo que causa la agricultura tradicional de “año y vez” y de los beneficios de la adopción de la labranza de conservación con uso de residuos, para disminuir la pérdida de suelo, nutrientes y del escurrimiento (Medina *et al*, 2008; Bravo-Espinosa *et al*, 2009).

La información generada sobre la degradación de los suelos en la Subcuenca de Cointzio, es el resultado de investigaciones realizadas en el marco del proyecto DESIRE (Desertificación, Mitigación y Remediación de Tierras: una aproximación global para soluciones locales, 2009-2011), y anteriormente del proyecto Revolso (Rehabilitación de suelos volcánicos en México y Chile).

El objetivo del presente estudio es determinar los cambios ocurridos en algunas propiedades de los principales suelos, en las partes altas de la cuenca de Cointzio, Michoacán México, que son causadas por las actividades agropecuarias tradicionales.

## **II. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.1. Cuenca**

Una cuenca hidrográfica es una porción de la superficie terrestre drenada por una corriente de agua y sus tributarios que forman una unidad hidrológica funcional. Una cuenca puede ser parte de un paisaje o varios paisajes según la superficie y ubicación, de manera que el límite de la cuenca puede o no coincidir con el límite de una unidad de paisaje.

Para comprender los procesos que ocurren en una cuenca se requiere del estudio de las interrelaciones que se dan en todos los elementos de un paisaje, así la cuenca se vuelve un sistema que está formada por un conjunto de elementos que se interrelacionan. Los más importantes son: el agua, el clima, la vegetación, la topografía, el suelo, los estratos geológicos y los usos del suelo. Por esta razón, la cuenca como sistema natural reúne todas las condiciones para utilizarla como unidad planificadora en el establecimiento de programas integrados que permitan la solución de problemas de mucha complejidad.

### **2.2. Suelo**

El suelo es la porción superficial de la corteza terrestre en donde se llevan a cabo servicios ambientales importantes, tales como los ciclos biogeoquímicos, la infiltración y purificación del agua que llega a los acuíferos, así como el sostenimiento de las plantas. El uso inadecuado del suelo y su cubierta vegetal altera sus características físicas, químicas y biológicas, lo que promueve su degradación, es decir, la reducción de su productividad, así como de su capacidad actual y futura para producir servicios ambientales tanto en ecosistemas naturales como manejados (Boul et al., 1991; Porta *et al.*, 2003).

### **2.3. Degradación del suelo**

La degradación del suelo es definida como el proceso que reduce la capacidad actual o futura del suelo para producir bienes o servicios. Implica disminución a largo plazo en la productividad del suelo y su capacidad de moderar el medio ambiente (Blum., 1998; Lal., 2001). De acuerdo con Stremme (1930) el concepto de degradación del suelo fue utilizado por primera vez por Kostychiev y Korchinski en 1888 para describir un cambio natural del suelo. Ya que la degradación natural es lenta, el concepto actual de la degradación del suelo de acuerdo con la Evaluación Mundial de la Degradación del Suelo (GLASOD) se centra en

un proceso inducido por el hombre (PNUMA., 1992). Cuando esto sucede, la capacidad del suelo para funcionar como medio para el crecimiento de las plantas, hábitat de organismos y fauna ha disminuye considerablemente.

La degradación del suelo puede ser física, química y biológica. La degradación física se puede definir como la pérdida de la calidad de la estructura del suelo. La química está relacionada con la pérdida de nutrientes a través de la pérdida de materia orgánica, lixiviación y la erosión. Lo que se define como empobrecimiento del suelo y, la degradación biológica se relaciona con la pérdida de la vida y la biodiversidad en el suelo. La primera señal es la desaparición de organismos en el suelo.

Los procesos de degradación se dividen en dos grandes categorías: La primera implica aquellos proceso de desplazamiento del material del suelo, por la erosión hídrica o eólica; En la segunda categoría lo que se conoce como degradación *insitu*, debido a pérdida de la estructura y compactación, pérdida de nutrientes y materia orgánica, salinización, acidificación y la contaminación y, a procesos físicos como compactación, anegación y encostramiento.

Según Kettler *et al* (2000), las prácticas de uso y manejo tienen influencia en la degradación del suelo y, cinco años son suficientes para generar cambios significativos en las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Existen propiedades del suelo que cambian en respuesta a las diferentes prácticas de manejo y uso de la tierra, según Targulían y Solokolov (1976) y Targulían (1990) (tomado de Hernández *et al*, 2006), las características bióticas, gaseosas y líquidas del suelo reflejan los cambios del medio mucho más rápido que las características de la fase sólida.

Los trabajos encaminados a conocer el deterioro del suelo, a causa de las actividades antropogénicas se realizan mediante la observación de la evolución de propiedades indicadoras del suelo en el tiempo, teniendo como referencia el ecosistema original. (Gandoy y Campos 1992; Molina y Cáceres 1992; Wilding y Oleschko 1994; Nava y Sinnot 2000; Rivera *et al* 2000; Hernández *et al* 2006; Medina *et al* 2006). Dicha evolución se puede hacer tomando parcelas con diferentes edades o diferentes años de cultivos, el concepto de la investigación se llama “Falsa línea del tiempo” (Markussen 2003).

Las propiedades indicadoras del suelo dependen del ecosistema considerado, por lo tanto, es de suma importancia determinar las principales características de los suelos que sirvan como indicadores para lograr la sustentabilidad de los ecosistemas (Doran 1996; Pajares *et al* 2003; Morales *et al* 2008, Astier *et al* 2002; Bautista, 2004). Se consideran indicadores debido a que representan una condición y conllevan información acerca de los cambios o tendencias de esa condición (Dumanski *et al.*, 1998). Para que una propiedad sea considerada como indicador de degradación del suelo debe de cumplir con condiciones de simplicidad, flexibilidad y susceptibilidad para mantener su factibilidad e implementación. (Etchevers, 2006; Cotler, 2011).

Bautista *et al* (2004) establece que las propiedades edáficas físicas, químicas y biológicas seleccionadas como indicadores, deben ser sensibles al cambio en un periodo de tiempo relativamente corto. Los indicadores disponibles para evaluar la degradación del suelo pueden variar de localidad a localidad dependiendo del tipo y uso, función y factores de formación del suelo (Arshad y Coen, 1992). La identificación efectiva de indicadores apropiados para evaluar la calidad del suelo depende del objetivo, que debe considerar los múltiples componentes de la función del suelo, en particular, el productivo y el ambiental.

Una vez establecidos estos indicadores se deben de identificar los niveles críticos, con la finalidad de tener una referencia y poder monitorear el estado del suelo, determinar el impacto generado con cambios en el manejo del uso de la tierra o prácticas de conservación; para determinar los mejores sistemas productivos que aseguren la sostenibilidad de la producción agrícola y la calidad del ecosistema en el tiempo (Andrews *et al.*, 2004; Ditzer y Tugel, 2002; Sánchez-Marañón *et al.*, 2002; Bredja *et al.*, 2000).

### III. ANTECEDENTES

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable, debido a que resulta difícil y costoso recuperarlo; más aún, mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado por las fuerzas abrasivas del agua o del viento o deteriorado física o químicamente. El reconocimiento de estos problemas, en el ámbito mundial, creó la necesidad de obtener una visión de la distribución geográfica de la degradación del suelo causada por el hombre. Para ello, el Programa de Naciones Unidas del Medio Ambiente (PNUMA), encomendó al Centro Internacional de Información y Referencia de Suelos (ISRIC) de Holanda, coordinar un programa mundial con el fin de producir una evaluación global, científicamente creíble de la degradación del suelo provocada por el hombre en el menor tiempo posible, consiente de la falta de datos y de la existencia de un conocimiento incompleto (ISSS, 1987).

En 1975, el PNUMA (Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente), la FAO y la UNESCO iniciaron un proyecto encaminado a crear una metodología para evaluar la degradación de los suelos y así poder evaluar la degradación a escala mundial. Tres años más tarde, se publicó dicha metodología en 1978 la cual consideraba el estado actual de degradación, la velocidad y el riesgo de ocurrencia de este proceso. Partieron de indicadores físicos, químicos y biológicos de los suelos. Para posteriormente publicar el Mapa sobre el estado actual de la degradación del suelo inducida por el hombre en África, en el cercano y medio Oriente a escala 1: 5 000 000 (FAO, 1980).

Posteriormente en 1990 se publicó el Mapa Mundial sobre la Degradación del Suelo Inducida por el Hombre, que por sus siglas en inglés fue conocido como GLASOD. Este trabajo, se complementó con estadísticas por continentes sobre las extensiones de los diferentes tipos de degradación de suelos, así como su grado y factores causativos, las cuales fueron publicadas en 1991. GLASOD despertó un gran interés mundial y sus resultados han sido mencionados en varios documentos de política internacional y referenciados en artículos de algunas revistas científicas.

A partir de la publicación de GLASOD, se han solicitado evaluaciones de la degradación de suelos a escalas y niveles más detallados, particularmente, en un ámbito regional y nacional, comúnmente bajo la dirección del ISRIC. Por ejemplo, en 1997, el ISRIC en colaboración con la FAO, publicó los resultados del estudio regional sobre la Evaluación de la Degradación del Suelo Inducida por el Hombre en el Sur y Sureste de Asia. Esta evaluación se conoce como ASSOD y contó con la participación de 17 países; sus mapas se

publicaron a una escala de 1:5'000,000, y se basó en la metodología de GLASOD con algunas modificaciones, como la eliminación del proceso de degradación biológica por su difícil documentación y empleó como referencia geográfica a un mapa fisiográfico.

### **3.1. Algunos trabajos a nivel Nacional**

En el caso de México, se ha tratado de conocer la problemática de sus suelos al realizar una evaluación a escala 1:1 000,000 bajo la responsabilidad de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Esta información, por la escala del trabajo (1:1'000,000) es muy general y para la toma de decisiones, en cuanto a la planeación de medidas dentro de la Cruzada Nacional por el Agua y el Bosque, es necesario contar con información más detallada a nivel regional, por lo que se dispuso realizar una nueva evaluación a escala 1:250,000, de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana.

La SEMARNAT y el Colegio de Postgraduados en el año 2002 elaboraron el "Mapa de evaluación de la degradación de suelos causada por el hombre en México, escala 1:250 000. En su metodología utilizaron dos grandes categorías de procesos de degradación del suelo: la degradación por desplazamiento del material del suelo, que tiene como agente causativo la erosión hídrica o eólica y la degradación resultante de su deterioro interno, que considera en la actualidad a los procesos de degradación física y química únicamente. De acuerdo con este estudio, México presenta algún tipo de degradación en el 45.1% de sus suelos.

SEMARNAT (2002) como parte del inventario forestal y de suelos concluye que los procesos de degradación que afectan los suelos de la república mexicana según su impacto en la superficie nacional son 4: erosión hídrica, eólica, degradación física y química. Así mismo La CONAFOR (2007) a través del Programa Nacional de Acción Contra la Degradación de las Tierras y Mitigación de los Efectos de la Sequía (2007-2030) detecta estos mismos procesos sin embargo, reporta una superficie mayor de afectación por erosión hídrica (de 18 a 21 %). Respecto a la degradación física en la cual se incluye compactación y encostramiento, el 30% de los suelos del país presentan problemas de este tipo debido al uso excesivo de maquinaria agrícola y al pisoteo del ganado.

Ortiz *et al* (1994), realizaron una revisión sobre las metodologías para la evaluación y cartografía de la degradación de las tierras inducida por el hombre, con el objeto de dar

herramientas para entender los procesos, su evaluación y cartografía, y definir los principios para establecer planes de acción, para prevenir y combatir esta amenaza.

Bravo *et al* (2006), mencionan que los procesos de degradación física en el estado de Michoacán son: erosión hídrica, pérdida de capas superficiales y la formación de cárcavas. Entre los procesos de degradación química destaca la pérdida de fertilidad y salinización. Dichos procesos afectan el 55% de los suelos. La causante inicial corresponde a las actividades humanas como deforestación, remoción de la cubierta vegetal, y el manejo inapropiado de los terrenos agrícolas.

Algunos de los trabajos encaminados a conocer el cambio en las propiedades de los suelos a causa de las actividades antropogénicas, se reportan a continuación:

Priego *et al* (2004), Evaluaron la degradación de los suelos en la cuenca Lerma-Chapala, mediante la metodología propuesta por el GLASOD. Como resultado del cambio del uso del suelo encontraron que más del 72% de la cuenca presenta algún tipo de degradación, entre los que destacan disminución de la fertilidad (56%) y erosión hídrica (32.7%), los cuales en conjunto abarcan el 90% de la superficie.

Medina *et al* (2005), evaluaron los cambios ocurridos a lo largo de un período de 30 años, en algunas propiedades físicas y la materia orgánica del suelo, en los Luvisoles del estado de Campeche, en los sistemas de maíz bajo temporal (SMT) y mango bajo riego (SMR). También consideraron como referencia al sistema de vegetación natural (SVN). Para el SMT disminuyó la materia orgánica, incrementaron los agregados <1.0 -11.5>, disminuyó la velocidad de infiltración; caso contrario al SMR en el que hubo variación en la humedad. La estabilidad fue buena en ambos sistemas, al igual que en el SVN. Las propiedades de densidad real y porosidad manifestaron escasa variación con el tiempo. Por lo que se concluye que dichos sistemas si originan cambios en las propiedades de los Luvisoles pero para el SMT se presentan signos de deterioro.

Echavarría *et al* (2007), evaluaron los cambios en un suelo del Altiplano de Zacatecas por efecto de los sistemas de pastoreo rotacional y continuo con pequeños rumiantes, sobre indicadores de degradación física y biológica. Los resultados indican que los sistemas continuos de pastoreo incrementan la densidad aparente (1.43 a 1.58 g cm<sup>-3</sup>) y la resistencia a la penetración; caso contrario a los sistemas de rotación, en donde las condiciones originales se modificaron de manera poco significativa. Concluyen que el incremento de los

valores de densidad aparente, compactación y radio de poro y la disminución de porosidad, son indicadores del proceso de degradación física. Por otro lado la rotación del pastoreo favorece la captación hídrica, mayor producción de material vegetal que contribuye a la conservación de suelos.

Contreras *et al* (2005), realizaron estudios en suelos de tipo Phaeozem en la Mixteca oaxaqueña durante ocho años de manejo con labranza tradicional y observaron las ventajas de este sistema principalmente porque reduce la compactación del suelo y la densidad aparente ( $1.7 \text{ g cm}^{-3}$ ) a pesar de que los valores umbrales están entre  $1.3\text{--}1.5 \text{ g cm}^{-3}$ , la resistencia a la penetración entre  $1.5\text{--}2.3 \text{ Mpa}$  (óptimo  $2 \text{ Mpa}$ ).

Fuentes *et al* (2005), caracterizaron propiedades físicas y químicas de un suelo de tipo Cumulic Phaeozem arcilloso en el Valle de México sometido a diferentes tratamientos durante 14 años. Los resultados demuestran que con labranza cero las propiedades físicas del suelo favorecen una mejor macro y micro estructura, en labranza de conservación el suelo se acidificó pH (5.3) debido a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, presentó una compactación y una disminución de la densidad aparente ( $1.53\text{--}1.85 \text{ g cm}^{-3}$ ).

### **3.2. Algunos trabajos a nivel Local**

Domínguez, (2006), evaluó los grados de erosión presentes en diferentes usos de suelo de la Cuenca de Cointzio. Partiendo de la interpretación de ortofotografías y el uso de SIG, con validación en campo, generó un modelo cartográfico basado en la fórmula de Wischmeier con 8 grados de erosión. Posteriormente aplicó el modelo FAO (1984) y estimó la erosión. El 40.2% del uso en la cuenca es Agrícola, seguido de los agostaderos y uso forestal. En general la erosión en la cuenca es elevada, con una pérdida estimada de  $434,000 \text{ t año}^{-1}$  lo que se traduce en disminución de la infiltración y pérdida de la fertilidad, con su consecuente azolve a los cuerpos de agua.

Sin embargo Duvert *et al* (2011) en base a mediciones continuas de los sedimentos en suspensión a la entrada de la presa de Cointzio, calcularon que la cantidad de sedimentos transportados era del orden de  $30,000 \text{ t año}^{-1}$ , es decir 10 veces menos que el valor estimado a través de la fórmula "universal" de pérdida de suelos. Este valor representaría una pérdida de suelo del orden de  $40 \text{ t Km}^{-2}$ .

Bedolla (2007), estudió la dinámica de la erosión en cárcavas en la microcuenca de Atécuaro en un suelo de tipo Acrisol. Evaluó el tamaño y estabilidad de agregados, los cambios en la superficie del suelo y la tasa de erosión en muestreo de sedimento. De los resultados obtenidos se asume que la cárcava está en proceso de equilibrio lo que se ve reflejado los porcentajes de zonas estables (46.50 %) y no estables (53.5 %) existe una pérdida de suelo de 7.0 mm año<sup>-1</sup>, por lo que posiblemente la abundancia de estas en el paisaje no es producto de una erosión activa.

Bravo (2007), documenta los principales resultados obtenidos en dos proyectos de investigación 1) REVOLSO y 2) Degradación y rehabilitación de suelos con Enfoques participativos enfocados al estudio del recurso suelo en la Cuenca de Cointzio Michoacán: 1) La degradación de la cubierta vegetal y del suelo por erosión hídrica durante las actividades agropecuarias y forestales han favorecido el deterioro de los procesos regulatorios del ciclo del agua principalmente en suelos de tipo Acrisol. 2) La erosión en cárcavas es la mayor fuente puntual de sedimento y por lo tanto el mayor proceso de degradación del suelo en la Cuenca de Cointzio. El 18% del área de la cuenca es susceptible de formar cárcavas. La rehabilitación de los suelos fue posible mediante la implementación de prácticas sostenibles que incluyeron labranza mínima observándose una mejora en las propiedades de los suelos. La estabilidad de las cárcavas se mejoró con el uso de pastos y barreras biofísicas.

Medina (2008), reporta que el sistema de año y vez practicado en la Cuenca de Cointzio Michoacán tiene efectos en la degradación por compactación y pérdida de nutrientes; esta problemática se debe a la quema de residuos de cosecha, exceso de labranza y la falta de prácticas de manejo de conservación del suelo.

Prat *et al* (2007) evaluó el impacto de la lluvia sobre suelos de tipo Andosol de la Cuenca de Cointzio, cultivados bajo cuatro tratamientos: Sistema tradicional año y vez, maíz con fertilización orgánica (pollinaza), avena y sistema mejorado (labranza mínima). Los resultados muestran 20 eventos de lluvia potencialmente erosivos, sin embargo las tasas de arrastre de sedimentos fueron muy bajas y poco significativas entre tratamientos. Por su parte las tasas de escurrimiento fueron muy altas a pesar de que este tipo de suelos posee una capacidad de almacenamiento muy alta, esto se debió al sistema de manejo que deja desprovisto de vegetación al suelo el cual se seca en la superficie y en época de lluvias forma una capa de encostramiento que sella la superficie.

Ramos (2008) clasificó suelos reportados por INEGI como Andosoles y Acrisoles con las dos versiones original y revisada de la Leyenda del Mapa Mundial de Suelos (FAO-UNESCO, 1970; FAO-UNESCO–ISRIC, 1988), respectivamente y con la WRB (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo FAO- ISRIC-SICS ,1998). Concluyendo que el cambio significativo en la clasificación de suelos se dio en los suelos de tipo Cambisol y Andosol; debido a las modificaciones en el cambio de las propiedades del suelo y pérdida de horizontes superficiales.

Pajares et al (2004). Evaluaron la calidad edáfica de dos toposecuencias del altiplano mexicano, una en el volcán *Tláloc* (Estado de México) y la segunda en Atécuaro (Cointzio, Michoacán) mediante indicadores edáficos, concluyendo que los cultivos de Atécuaro y el tepetate de *Tláloc*, presentaron la menor calidad edáfica, mientras que en las partes más altas de la Toposecuencia donde predominan las zonas forestales la calidad de los suelos es mayor.

## **IV. HIPÓTESIS**

Las actividades de manejo tradicional agropecuario en Andosoles y Acrisoles realizadas en la cuenca de Cointzio, causan cambios en las propiedades del suelo, que se traducen en degradación.

El cambio de uso del suelo modifica sus propiedades físicas y químicas, lo cual se traduce en degradación que puede medirse y observarse en los suelos con tiempo de uso diferentes.

## **V. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo principal de este trabajo es evaluar los cambios ocurridos en algunas propiedades físicas y químicas de dos unidades de suelos de la cuenca de Cointzio, como resultado de las actividades agropecuarias tradicionales.

### **5.1. Objetivos particulares**

- a) Caracterizar físicamente la cuenca de Cointzio mediante análisis cartográfico
- b) Conocer el historial del cambio de uso del uso y manejo de los suelos en la cuenca de Cointzio.
- c) Seleccionar los parámetros físicos y químicos indicadores de la degradación del suelo.
- d) Analizar las propiedades físicas y químicas indicadoras de degradación de suelos con uso forestal y agropecuario.
- e) Evaluar mediante los indicadores el nivel de degradación de los suelos de la cuenca de Cointzio.

## VI. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 6.1. Localización geográfica

La cuenca de Cointzio se ubica en la porción sur de la cuenca del lago de Cuitzeo al sur de la capital del estado de Michoacán (Figuras 1 y 2), entre los paralelos  $19^{\circ} 24'30''$  /  $19^{\circ} 38'30''$  de latitud norte y los meridianos  $101^{\circ} 08'30''$  /  $101^{\circ} 33'00''$  de longitud oeste, con altitudes que oscilan entre los 3 250 y 2 000 msnm y una extensión territorial de 668 Km<sup>2</sup>. Comprende una porción de los municipios de Lagunillas, Huiramba, Acuitzio del Canje, Villa Madero y Morelia.

Las principales elevaciones las constituyen los cerros: Sanambo (2740 msnm) y El águila (3600 msnm) al noroeste de la cuenca; al noreste se encuentran los cerros El venado y las animas ( 2500 msnm ); al sur La Pitahaya (2360 msnm) y la trampa (2520 msnm ); y al suroeste los cerros La Peñita ( 3000 msnm ), La Nieve ( 3400 msnm), La Taza (3200), Burro ( 3200 msnm) y El Frijol ( 3000 msnm ).

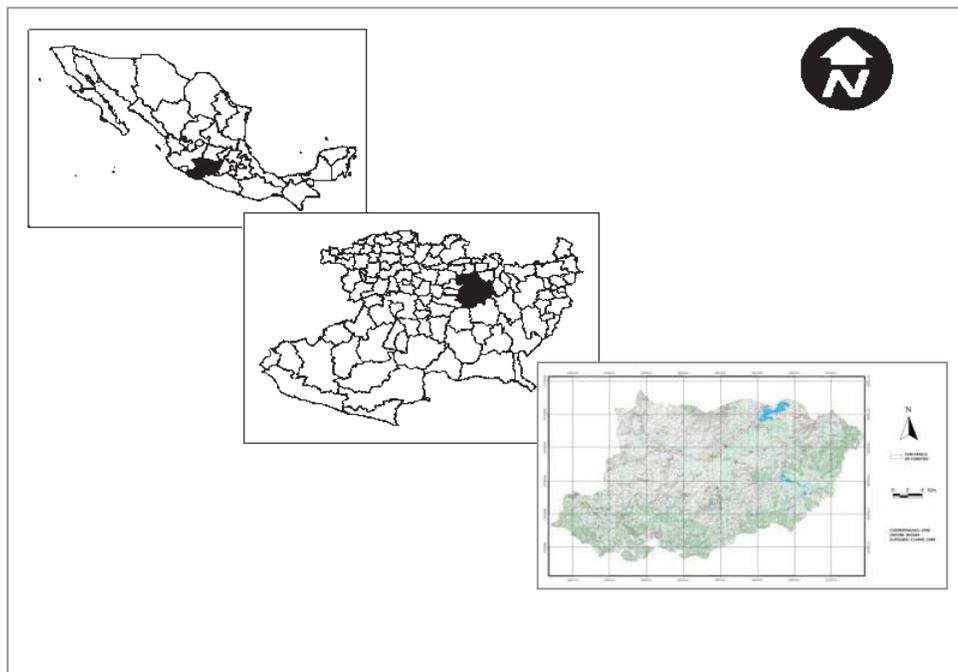


Figura 1. Localización de la cuenca de Cointzio.



Figura 2. Zonas representativas de la cuenca de Cointzio

## 6.2. Clima

El clima regional es  $C(w_1)(w)(i')g$ , siendo de tipo templado sub húmedo, con régimen de lluvias en verano que sobrepasan los 540 mm y baja precipitación invernal (11.1 mm) (Fig. 3), la precipitación media anual es entre 800 - 1000 mm. Se presenta poca oscilación térmica (15-22 °C) (Figura 4) y marcha tipo Ganges (García 1987). La evapotranspiración media anual es de 774 mm. Creando un balance hídrico negativo, cual se ve afectado por la deforestación y el cambio de uso del suelo (Gómez-Tagle, 2009) (Fig. 4).

La estación climatológica para definir el clima de la zona de estudio se localiza en la estación Cointzio con coordenadas 19°36' de latitud norte y 102°15' de longitud oeste, a una altitud de 1 950 metros. Con 40 años de registro.

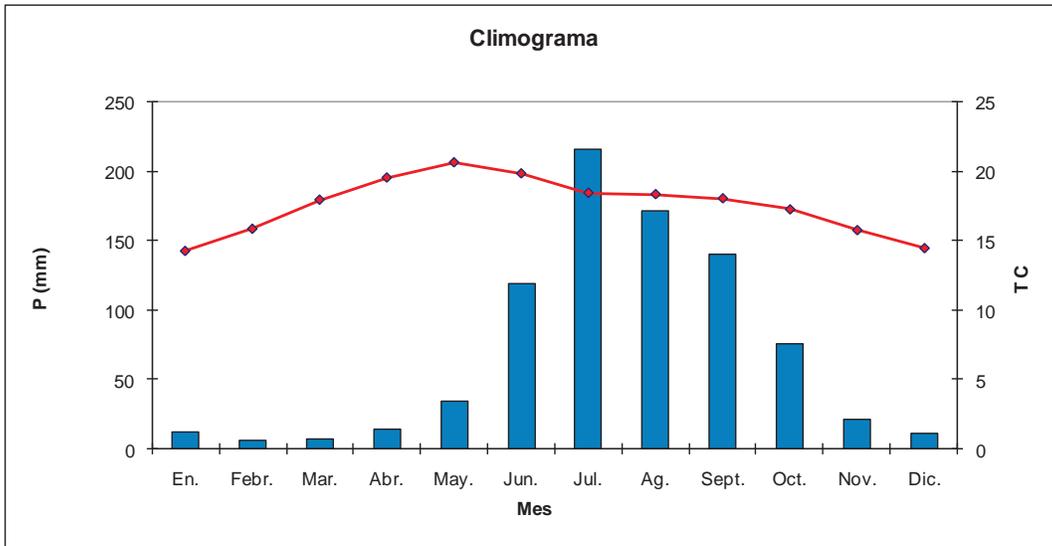


Figura 3. Climograma para la cuenca de Cointzio

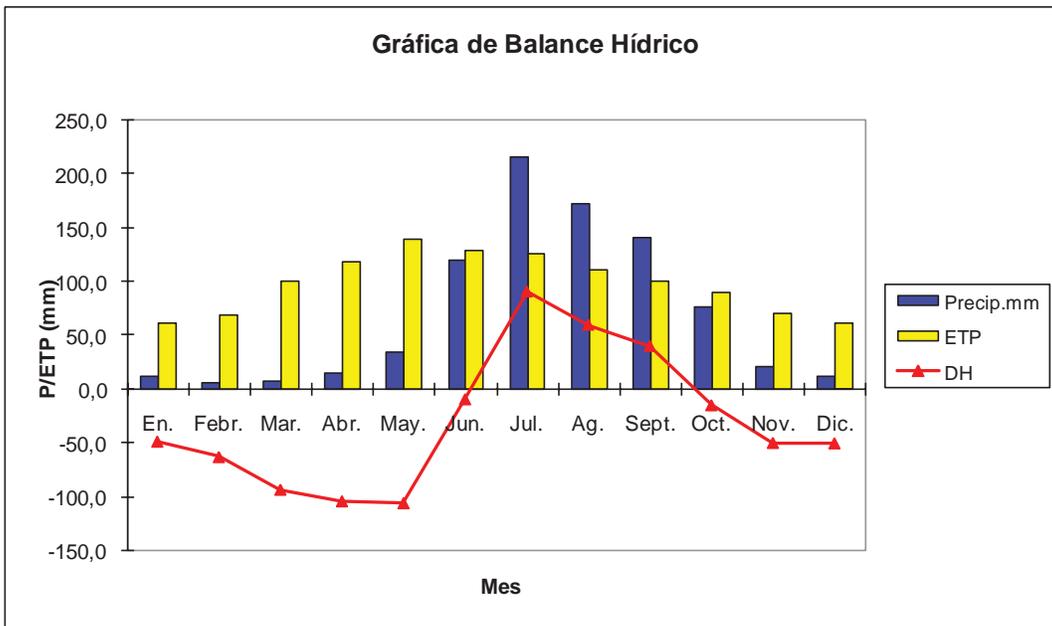


Figura 4. Balance hídrico de la cuenca de Cointzio.

### 6.3. Geología

El origen geológico de la cuenca es volcánico, correspondiente al cenozoico superior y medio, formada por rocas emitidas a través de un gran número de aparatos volcánicos algunos de los cuales constituyen alturas notables como el águila, la trampa y la Nieve, entre otros. Sobresaliente de la zona es la presencia de la Caldera de Atécuaro al noroeste la cual es resultado de la destrucción de un edificio andesítico, en el cual se observan rocas de tipo Ignimbrita en los bordes de la misma, mientras que en el núcleo y los bordes internos de esta andesita con mayor grado de intemperismo (Ostroumov *et al*, 2003).

El 92% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre tobas, ignimbritas, depósitos lacustres arcillo-limosos y derrames de basalto y andesita (Cuadro 1, Fig.5).

**Basaltos (Qb)** ocupan el 40% de la superficie de la zona, se encuentra al suroeste entre los cerros, la Peñita, la Nieve, la Taza, Burro y el Frijol, éstas son rocas de composición basáltica y andesítica de coloraciones grisáceas oscuras (SARH 1988). Estas rocas constan de bloques angulosos compactados y cementados de color negro y rojizo, con fragmentos más o menos homogéneos del tamaño de la grava y la arena, se les asigna una edad del cuaternario. Son fáciles de intemperizar y por su escasa dureza y la velocidad de las corrientes provenientes de las partes altas, favorecen la pérdida de material y formación de cárcavas.

Cuadro 1. Unidades geológicas presentes en la cuenca de Cointzio.

Unidades	Clave	Superficie	
		Km <sup>2</sup>	%
Basalto	Qb	254,5	39,4
Ignimbrita	Tign	162,2	25,1
Depósitos lacustres arcillo-limosos	Qal	92,5	14,3
Tobas basálticas y andesíticas	Pqb	85,0	13,2
Tobas pumíticas	Ttr	35,0	5,4
Derrames de lava y de vidrio, brechas, conglomerados	Mpca	9,7	1,5
Tobas pumíticas e ignimbritas	Ttr +Tign	4,5	0,7
Derrames fracturados, brechas y tobas	Tpb	1,4	0,2
Depósitos lacustres arenas y gravas residuales	Qre	0,8	0,1
Superficie total		645,6	100

**Ignimbrita (Tign)** ocupan el segundo lugar de importancia en la cuenca, con el 24.3% de la superficie; se encuentra al noreste en el cerro las animas, al sureste en el cerro la trampa así como en los lomeríos de Atécuaro y Umecuaró, éstas son rocas de color gris claro, rosáceo. La permeabilidad varía de baja a alta, está última causada por frácturamiento (SARH 1988). Se les asigna una edad correspondiente al terciario superior.

**Depósitos lacustres (Qal)** ocupan el 14.5%, se localizan en las partes bajas de la cuenca, entre las localidades de Santiago Undameo, Acuitzio del Canje y Tiripetío, así como también en las planicies cercanas a la localidad de Huiramba. En general presentan nula o baja consolidación y alta permeabilidad (SARH 1988). Se les asigna una edad correspondiente del cuaternario.

**Tobas (Pqb)** ocupan el 13.1% de la superficie de la cuenca y se encuentra al norte de la cuenca en los cerros la Nieve y la Taza, éstas son rocas alteradas que dan como resultado una arcilla rojiza de espesor variable (SARH 1988). Por su grado de alteración tienen baja permeabilidad, la morfología se presenta en forma de derrames. Su grado de alteración ha permitido la formación de arcillas ocasionado una baja permeabilidad del material, lo cual explica los elevados escurrimientos superficiales.

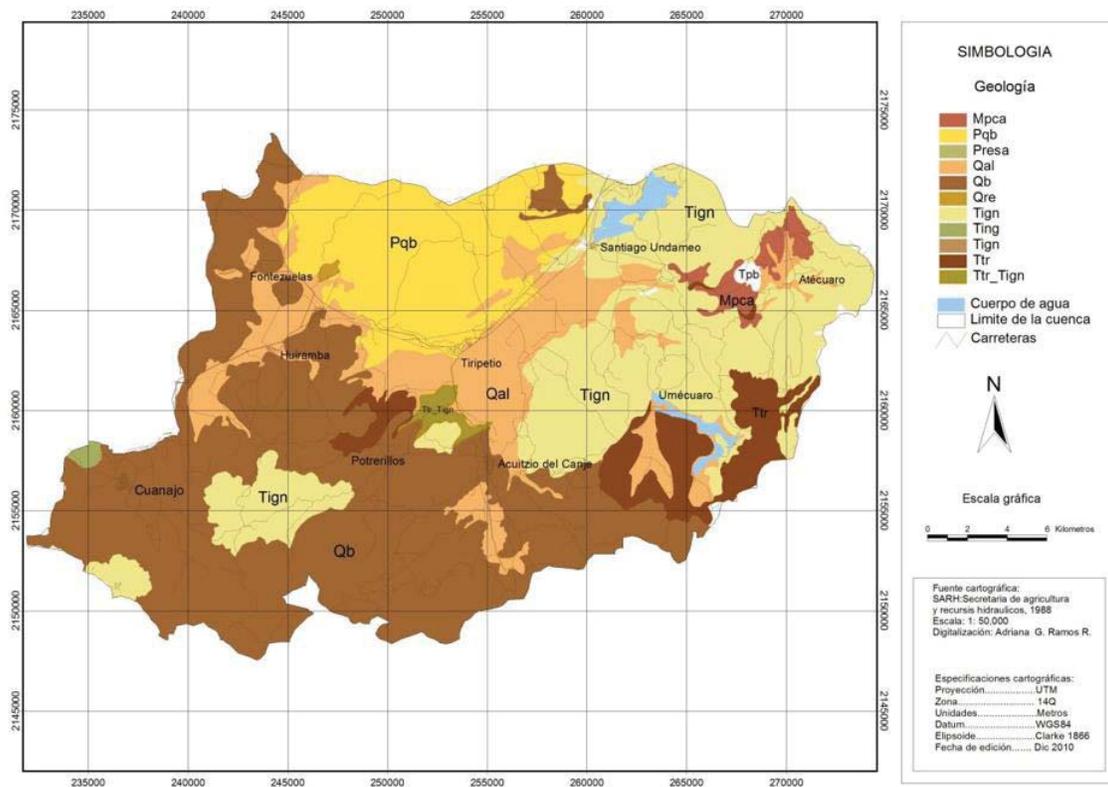


Figura 5. Mapa geológico de la cuenca de Cointzio, Michoacán

#### 6.4. Hidrología superficial

La zona de estudio corresponde a la Región Hidrológica RH 12 (Lerma-Chapala-Santiago) subdivisión cuenca Cuitzeo, Subcuenca Cointzio. La red hidrográfica está conformada por el río Tupataro al oeste, el cual reúne los aportes de diversas corrientes provenientes del parteaguas sur de la cuenca y el río Grande de Morelia al sureste cuyos aportes desembocan en la presa de Umecuaró y de loma caliente, que finalmente desembocarán en la presa de Cointzio.

Los tipos de drenaje observados en la cuenca corresponden a paralelo, asimétrico dendrítico y radial. El drenaje paralelo se encuentra al norte en los cerros el águila y Sanambo, al suroeste en la Nieve, la Taza, cerro Burro, el Frijol y la Peñita. Al oriente la velocidad de los escurrimientos y la poca dureza del material favorecen la formación de un drenaje dendrítico característico en la zona de Atécuaro, el cual cambia a tipo asimétrico al contacto con tobas andesíticas al sur de dicha zona. Finalmente en el cerro la trampa se observa un drenaje de tipo radial.

#### 6.5. Geoformas

El paisaje de Cointzio está conformado por cinco unidades geomorfológicas, de estas el 91% esta ocupada por lomeríos, cerros y laderas de cerro y el 9% restante por valles y barrancas (Cuadro 2, Fig. 6)

Cuadro 2. Unidades geomorfológicas presentes en la Cuenca de Cointzio.

Geoforma	Superficie	
	Km <sup>2</sup>	%
Lomeríos	222,5	34,5
Cerros	219,5	34,0
Laderas de cerro	155,6	24,1
Planicies	48	7,4
Superficie total	645,6	100

En general se puede apreciar que la Cuenca de Cointzio está conformada en su mayoría (91%) de geoformas que favorecen los escurrimientos superficiales y por lo tanto muestra una zona geomorfológicamente inestable favoreciendo los procesos destructivos como la erosión geológica.

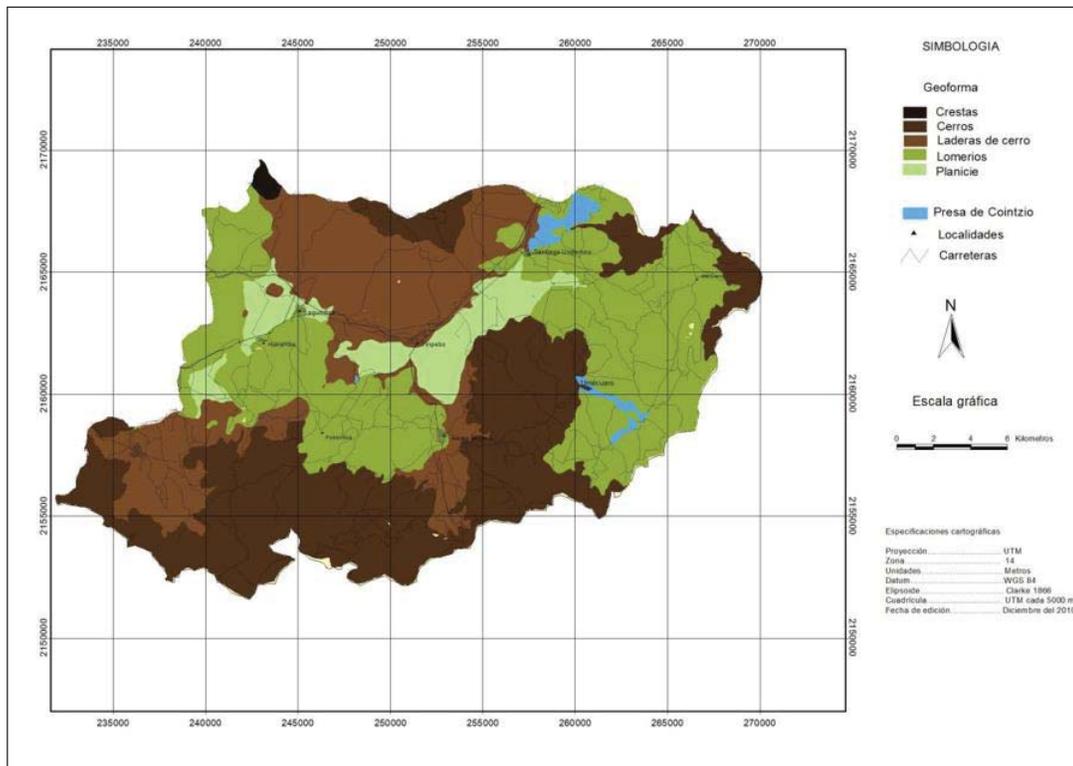


Figura 6. Mapa de geformas de la cuenca de Cointzio (Tomado de Mendoza, 2006)

Los valles con una superficie de 7.1% son depresiones entre dos vertientes de forma alargada e inclinada por donde habitualmente discurren las aguas de un río, generalmente se forman por la erosión fluvial y la meteorización mecánica. Se ubican en la parte centro-noreste de la Cuenca entre los poblados de Tiripetio, Santiago Undameo y Acuitzio del Canje, por debajo de los 2 100 metros. Las laderas ocupan el 23% de la cuenca, son las partes laterales de los cerros, presentan una inclinación variable de la base a la cumbre, se distribuyen al norte y sur de la Cuenca en suelos de tipo Acrisol y Luvisol entre 2 100 y 2 400 metros. Los lomeríos son geformas angostas, alargadas y de poca altura constituidas por ignimbritas y brechas recientes. Se encuentran en la parte sureste de la Cuenca en zonas de Andosol con uso agrícola de temporal, entre los 2 200 y 2 300 metros.

Los cerros se encuentran distribuidos al sureste y norte de la Cuenca estas elevaciones están conformadas por tobas (cerros la taza, la yerbabuena, y la nieve), mientras que el cerro del águila está formado por derrames de basalto de reciente formación. Al centro y noroeste, el material es Ignimbrita cerros La trampa, el venado y las animas. Esta unidad

geomorfológica se encuentra entre los 2 800 hasta los 3 300 metros de altitud. Hacia el suroeste de la cuenca de Cointzio encontramos una zona muy marcada de barrancas las cuales se definen como depresiones accidentadas del terreno, de pendiente pronunciada, por cuyo fondo generalmente pasan corrientes de agua; han sido creadas por la erosión hídrica durante su escorrentía superficial concentrada. En la zona están formadas sobre tobas basálticas y andesíticas, en suelos de tipo Acrisol; Al suroeste se ubican las barrancas de las lajitas, agua bendita, el calabozo, la pitahaya, la mula y el cajón. Su altitud está entre 2 300 y 2 600 metros.

## 6.6. Pendientes

En la cuenca de Cointzio las pendientes de 0 a 5% ocupan el 34.5%, las zonas con dicha pendiente se consideran aptas para el uso agropecuario; las pendientes de 5 a 10% ocupan el 35.8% de la cuenca y son zonas en las que la agricultura y la ganadería se pueden desarrollar, siempre y cuando existan medidas de manejo contra la erosión del suelo, mientras que las zonas con pendientes mayores al 10% ocupan el resto de la superficie y se consideran zonas para uso forestal. (Cuadro 3, Figura 7).

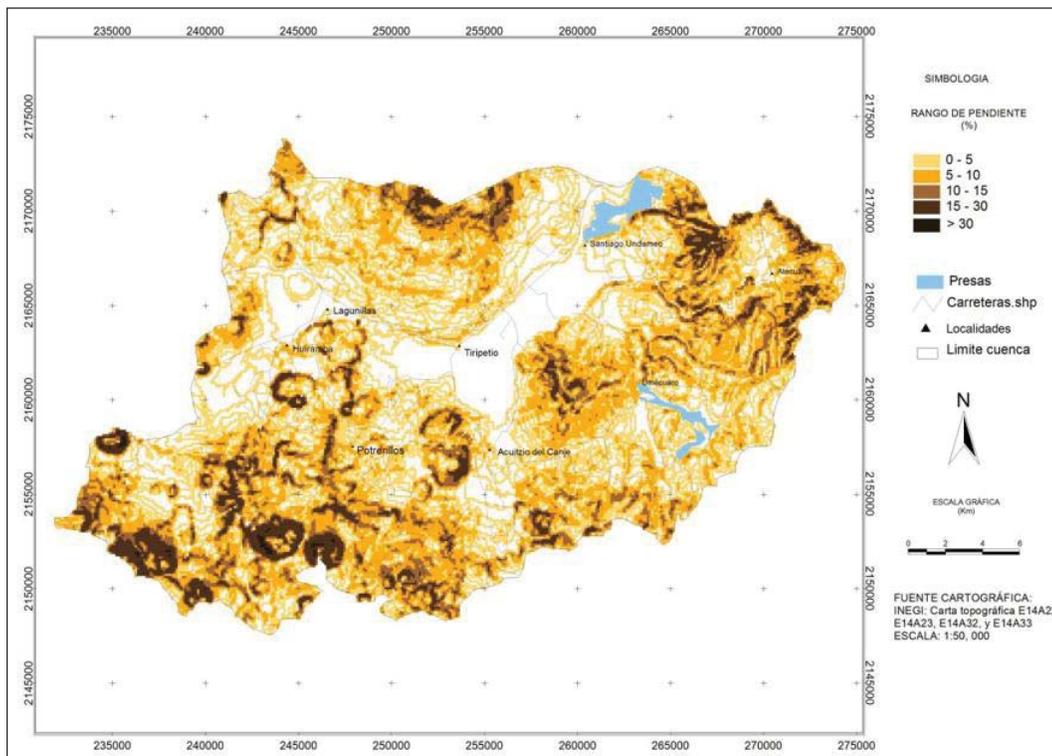


Figura 7. Mapa de pendientes de la Cuenca de Cointzio.

## 6.7. Rangos altitudinales

La Cuenca presenta un rango altitudinal que va de 1900 a 3 400 metros sobre el nivel del mar. No obstante, un alto porcentaje de su superficie (76.6%) está comprendido entre las cotas de 1 900 a 2 440 metros, en donde se presentan valles, lomeríos y una parte de laderas de cerro; en el 23.4% restante se encuentran altitudes entre 2500 y 3 400 metros que corresponden a zonas de barrancas y cerros (Cuadro 3, Fig 8).

Cuadro 3. Rangos altitudinales para la cuenca de Cointzio.

Curvas de nivel	Superficie		Curvas de nivel	Superficie	
(m)	km <sup>2</sup>	%	(m)	km <sup>2</sup>	%
1900 - 2060	65,7	10,2	2500 - 2600	24,9	3,9
2060 - 2100	106,5	16,5	2600 - 2700	18,5	2,9
2100 - 2200	127,5	19,8	2700 - 2800	17	2,6
2200 - 2320	125,5	19,4	2800 - 2840	16,2	2,5
2320 -2440	71,5	11,1	2840 -3000	16,2	2,5
2440 -2500	39	6,0	>3000	16,9	2,6

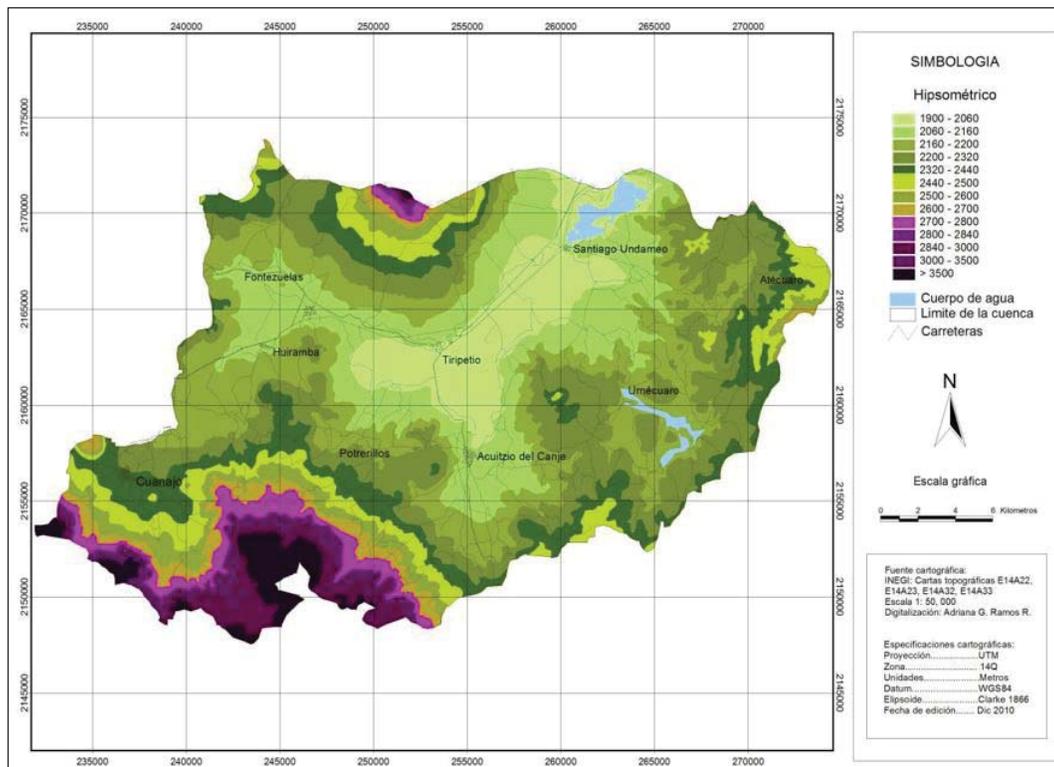


Figura 8. Mapa hipsométrico de la Cuenca de Cointzio.

## 6.8. Suelos

Como resultado de la interacción del material parental, la topografía accidentada, el clima y la red de drenaje compleja, dan como resultado nueve unidades de suelo (INEGI, 1982), (Cuadro 4, Fig. 9). Tres de estas cubren el 90.5% de la zona y son de vocación forestal: Andosoles suelos jóvenes, Acrisoles y Luvisoles suelos viejos.

Cuadro 4. Unidades de suelo presentes en la cuenca de Cointzio.

Unidades de suelo	Superficie	
	km <sup>2</sup>	%
Andosol	232,7	36,04
Acrisol	219,4	33,98
Luvisol	139,5	21,61
Litosol	22,3	3,454
Vertisol	12,5	1,936
Feozem	11,2	1,735
Ranker	4,1	0,635
Cambisol	2,5	0,387
Planosol	1,4	0,217
<b>Total</b>	<b>645,6</b>	<b>100</b>

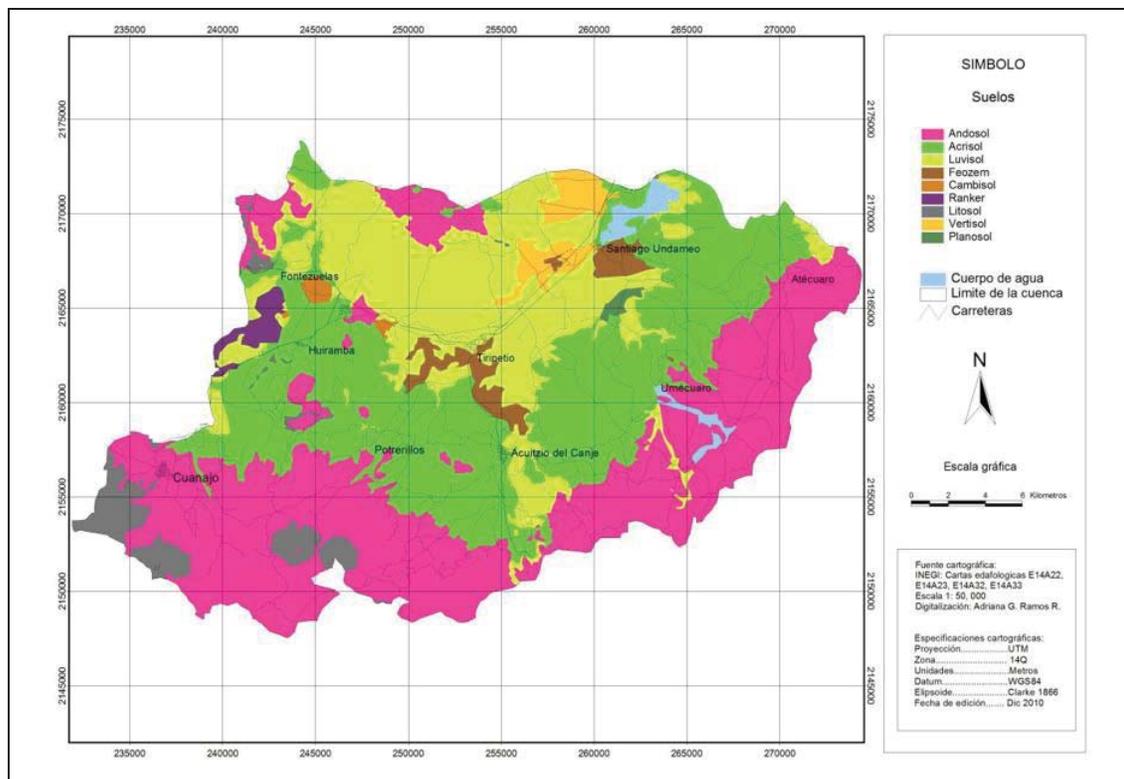


Figura 9. Mapa edafológico de la cuenca de Cointzio, Michoacán

## 6.9. Vegetación y uso del suelo

Como resultado de las características de la región, la cuenca está integrada por vegetación de Bosque mixto de pino, encino, aile, madroño; bosque de coníferas con pino y oyamel, Bosque tropical con Ceiba, parota, tepeguaje (32.3%) en las laderas altas y medias de los cerros de los cerros Sanambo, el Águila, el Venado, las Ánimas, la Pitahaya, la trampa, la Peñita, la Nieve, la Taza, Burro y el Frijol. La zona de laderas medias y piedemonte está integrada principalmente por matorral y pastizal (22.6%). El 40.6% de la superficie del municipio esta ocupada por zonas agrícolas de temporal y riego en zonas de laderas, piedemonte y planicies. Las plantaciones de árboles al igual que las zonas urbanas ocupan cerca del 1% de la superficie (Figura 10).

La vegetación dominante de la cuenca de Cointzio es de bosque de pino-encino y bosque de encino, con las siguientes especies: *Pinus leiophylla*, *P. pseudostrobus*, y *P. michoacana* y en menor grado *P. lawsonii* y *P. teocote*. *P. leiophylla* y *P. lawsonii* (Medina, 1992). *Quercus castanea* y *Q. obtusata*, *Q. crassifolia*, *Q. gentryi* y *Q. rugosa* (Ceja, 1998; y García, 1999). En zonas dedicadas a la agricultura y áreas de pastoreo con vegetación arbustiva, dominando los géneros: *Acacia*, *Baccharis*, *Brickellia*, *Calliandra*, *Castilleja*, *Condalia*, *Desmodium*, *Eupatorium*, *Opuntia*, *Salvia*, *Stevia*, *Valeriana*, *Lupinus*, *Festuca*, *Eupatorium*, *Senecio*, entre otras.

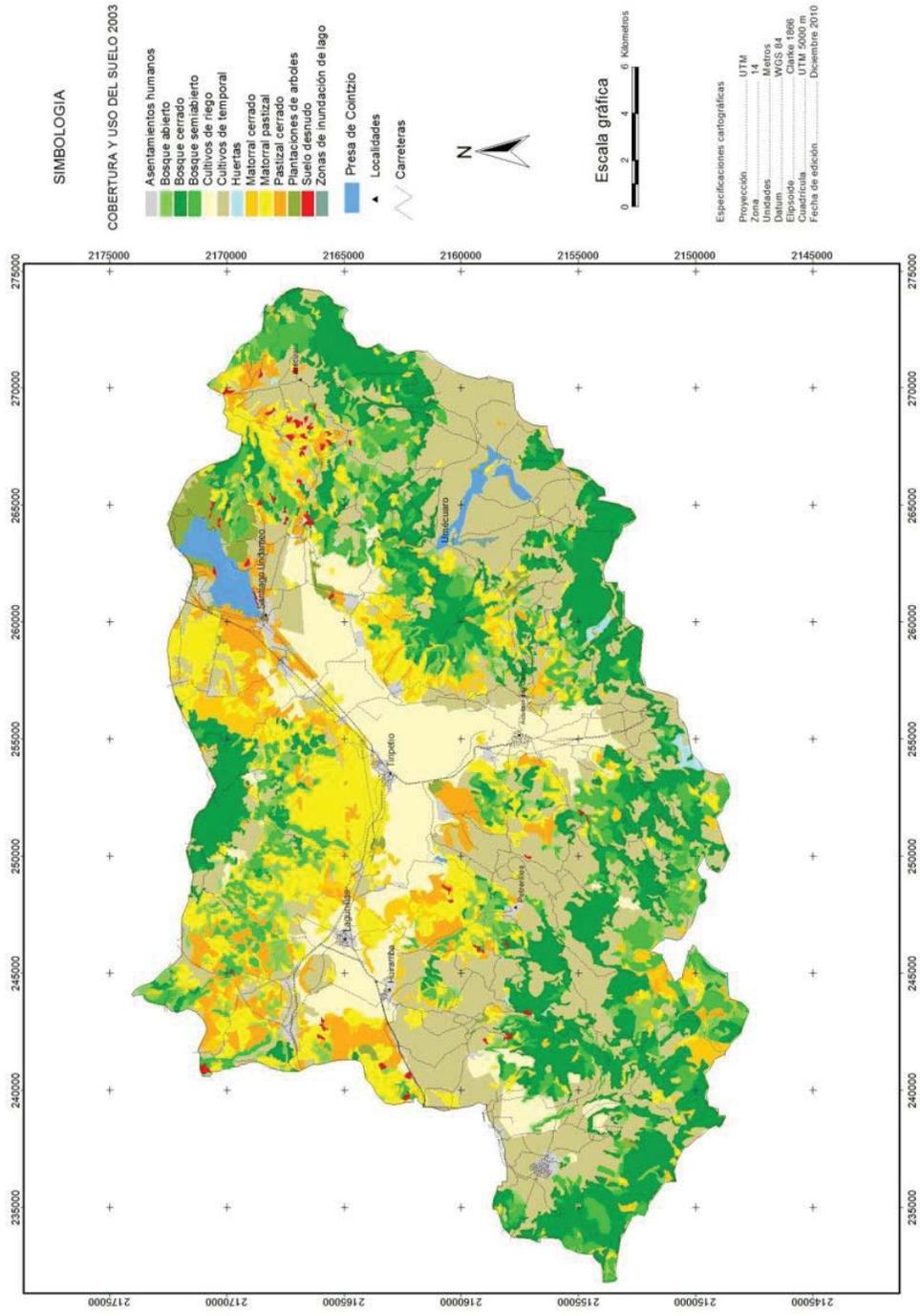


Figura 10. Cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca de Cointzio Michoacán (Mendoza et al, 2006)

## **VII. METODOLOGIA**

### **7.1. Caracterización física de la cuenca de Cointzio**

Se utilizaron las cartas topográficas y temáticas edafológicas (CETENAL, 1987 y DETENAL, 1979) con clave E14A23 (Morelia) y E14A33 (Villa Madero), E14A22 (Pátzcuaro) y E14A32 (Acuitzio) escala 1:50 000.), a partir de la carta topográfica se delimitó la cuenca de Cointzio y se generaron los mapas temáticos: hipsométrico, pendientes e hidrológico. Se digitalizó la carta Geológica (SARH, 1988) utilizando el SIG *Carta linux* para la digitalización de los polígonos a partir de una imagen en formato JPG. La caracterización del uso del suelo se realizó en base al mapa de cobertura vegetal del suelo de la cuenca de Cointzio (año 2003) proporcionado por el Centro de investigaciones en Geografía ambiental (Mendoza *et al*, 2006). La cartografía existente y generada sirvió de base para la descripción de la zona de estudio, zonificación y base para seleccionar las toposecuencias.

### **7.2. Historial del cambio de uso y manejo del suelo**

De acuerdo con la FAO (1980), para conocer el estado actual del deterioro de la cobertura vegetal y el suelo, se tiene que conocer el cambio que ha ocurrido en una región en un periodo dado, por que este periodo tiene como valor final el tiempo presente, para ello se partió del análisis de los mapas de cobertura vegetal del suelo de la cuenca de Cointzio de años 1975, 1986 y 2003, con estos se generó un mapa del historial de cambio de cobertura vegetal de forestal a agropecuarias para Andosoles y Acrisoles.

En campo se aplicaron encuestas (Anexo 2) a los productores con la finalidad de determinar la historia de manejo de los sitios de muestreo y poder relacionarlos con el nivel de degradación de los suelos, para ello se elaboró un Cuadro, para distinguir los indicadores a evaluar y las preguntas claves que se relacionan con dichos indicadores.

### **7.3. Selección de parámetros indicadores de degradación de suelos**

Se realizó una investigación documental respecto a las propiedades físicas y químicas del suelo y los valores que se consideran indicadores de degradación.

La selección de los parámetros se hizo en base a experiencias preliminares reportadas por estudios de indicadores de calidad y degradación de suelos, que mas se adecuan para el análisis de los cambios en los suelos de uso agropecuario en la cuenca de Cointzio

## **7.4. Análisis de las propiedades físicas y químicas indicadoras de la degradación de los suelos**

### **7.4.1. Selección de los sitios de muestreo**

Para la selección de las toposecuencias y los sitios de muestreo, se realizó un análisis cartográfico a partir de la elaboración del mapa de unidades homogéneas el cual consiste en el empalme cartográfico de las cartas temáticas geología, suelos, pendientes, altitud y cobertura vegetal y uso del suelo. A partir de las unidades homogéneas representativas se realizaron recorridos de campo para reconocimiento y selección de los sitios de muestreo; con la finalidad de conocer el efecto del cambio de uso del suelo. Debido a que en la cuenca de Cointzio se ha reportado que el sistema tradicional de “año y vez” se desarrolla en Andosoles y Acrisoles preferentemente sobre laderas (Medina *et al*, 2008; Bravo-Espinoza *et al*, 2009), se localizaron estas condiciones para seleccionar las toposecuencias y sitios de muestreo.

### **7.4.2. Muestreo de suelos**

Una vez seleccionadas las parcelas de muestreo y las propiedades indicadoras de degradación de los suelos, se describieron los atributos del terreno: altitud, posición fisiográfica, exposición, micro relieve, pendiente, drenaje superficial, vegetación y uso del suelo. Se abrieron perfiles a una profundidad de 60 cm. Se separaron los horizontes genéticos y se realizó su descripción morfológica de acuerdo con el manual de descripción de campo (FAO, 2005), Se colectaron muestras de suelo de cada horizonte para analizar en el laboratorio de acuerdo con las técnicas estándar en la Norma Oficial Mexicana (NOM- 2000). Adicionalmente se determinó la compactación del suelo, usando tres profundidades 0-10, 10-20 y 20-30 cm, y se tomaron muestras de densidad aparente y humedad del suelo para cada profundidad.

### 7.4.3. Análisis físico de indicadores de degradación del suelo

Como resultado de la selección de los parámetros indicadores de degradación, se realizaron las siguientes determinaciones.

**Humedad de campo (%),** se determinó por el *método gravimétrico* (AS-05. NOM-2000). El método se basa en la determinación de la cantidad de agua contenida en el suelo, expresada en gramos, por diferencia de peso del suelo húmedo y seco. Se considera que suelo seco, aquel secado en la estufa a 105°C hasta obtener peso constante.

**Textura (%),** la determinación de la textura se realizó por el método de Bouyoucos (AS-09 NOM-2002). El cual es un método de sedimentación basado en la Ley de Stoke, que relaciona tamaños de partículas y velocidad de sedimentación en un medio viscoso.

**Color:** La determinación del color de los suelos se realizó por comparación con las tablas Munsell (AS-22, NOM-2000). Se basa en el igualamiento del color observado con el suelo tanto seco como húmedo respecto al color registrado en las tarjetas de color, ubicadas en cada una de las páginas de las Cuadros Munsell donde se manejan los parámetros de matiz (hue), brillo (value) e intensidad (Chroma).

**Densidad aparente:** Este indicador se midió a través de dos métodos: 1) Método del cilindro de volumen conocido (Carter, 1993) para Andosoles. Este método consiste esencialmente en tomar una muestra en un cilindro de volumen conocido. Se pesa el suelo húmedo y el seco, por diferencia se saca la masa del suelo y se divide entre el volumen del cilindro. 2) Método de la parafina (AS-03, NOM-2000) para Acrisoles, la densidad aparente de una muestra de suelos es calculada a partir del conocimiento de dos parámetros: La masa del suelo y el volumen total (sólidos y espacio poroso). En el caso de la masa, esta se conoce pesando la muestra (agregado) y en el caso del volumen, éste es determinado de manera indirecta recubriendo el agregado con una capa de parafina y pesándolo sumergido en agua.

**Tamaño de agregados:** Se determinó por el método de tamizado en seco (Savinov, 1936, Tomado de Martínez et al 2008)). Las muestras de aproximadamente 1.5 kg previamente secados al aire, se colocaron en un juego de tamices en orden descendente con una abertura de malla de 2.00, 1.00, 0.50, 0.250, 0.105 y 0.053 mm de diámetro; posteriormente se agitaron manualmente durante 5 minutos. El contenido del suelo

retenido en cada tamiz se peso para calcular las proporciones correspondientes a cada tamaño de agregados.

**Compactación del suelo:** Se midió mediante la medida de resistencia a la penetración, para lo cual se utilizó un penetrómetro manual (*Soil compactation Tester*). El principio consiste en medir la resistencia que opone el suelo a la penetración de un cono. Para ello se coloca la punta del medidor sobre el suelo en el área que quiera medir, se aplica presión uniforme hacia abajo sobre las dos manijas del medidor y se procura el penetrado a un paso lento y uniforme. El asta está marcada a intervalos de 10 cm para una medición fácil de la profundidad. A medida que la punta penetra en el suelo, se deben registrar las lecturas a las profundidades de 10, 20 y 30 cm, las cuales están en libras por pulgada cuadrada (PSI).

#### **7.4.4. Análisis químico de indicadores de degradación del suelo**

**Reacción del suelo pH relación 1:2.5 y 2.5 en agua:** Se realizó a partir del método (AS-02, NOM-2000). Se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es permeable al H<sup>+</sup>. En este caso se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla suelo-agua.

**Materia orgánica:** Se determinó través del método de Walkley y Black (AS-07, NOM-2000). Se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción en ácido sulfúrico concentrado. Después de cierto tiempo se diluye en agua destilada. Se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencia del Fe<sup>++</sup> y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato Ferroso.

**Capacidad de intercambio catiónico:** Se midió por el método AS-12, NOM-2000), el cual consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice. (Datos tomados de Ramos, 2008).

#### **7.4.5. Análisis de Indicadores biológicos de degradación**

El análisis de indicadores biológicos de degradación se basó en la observación directa en campo del crecimiento radicular y la exposición de raíces en la superficie del suelo.

## **7.5. Evaluación de la degradación del suelo.**

Para verificar el cambio en las propiedades de los suelos producto de las actividades antrópicas, se procedió a comparar los valores obtenidos de cada indicador bajo cobertura natural de bosque y en zonas de uso agropecuario; así mismo se compararan con los reportados por la literatura, para comprobar si existe o no degradación de las propiedades edáficas.

## **7.6. Análisis estadístico**

Con el Software *JMP-SAS 1999* se realizó un análisis estadístico a los resultados obtenidos en Andosoles y Acrisoles, para conocer la significancia del cambio en las propiedades de los suelos agropecuarios respecto a un suelo forestal inalterado; el análisis consistió básicamente en análisis de varianza (ANOVA). Se realizaron pruebas de T (Tukey) para muestras pareadas cuando la hipótesis nula fue rechazada con la prueba de F.

## VIII. RESULTADOS Y DISCUSION

### 8.1. Historial del cambio de uso y manejo de los suelos

En el cuadro 5 se muestran los cambios ocurridos en tres periodos de tiempo en Andosoles y Acrisoles. Se puede apreciar que el mayor cambio de uso se dio antes de 1975, y las parcelas con más de 50 años de uso son las de mayor superficie ocupada en la cuenca. Para los Andosoles la agricultura de temporal durante los tres periodos de tiempo (1975-1986-2000) abarca la mayor superficie 113.3, 113.4 y 98.2 km<sup>2</sup> respectivamente, con una tendencia a la disminución de superficie durante 36 años. En segundo lugar tenemos el bosque cerrado con 67.5, 69.2 y 83.6 km<sup>2</sup> con una tendencia hacia el aumento en su superficie. Se presenta una disminución del 8% en las zonas con agricultura de temporal en Andosoles para el periodo 1986-2000 y un aumento del 7.1 % de bosques cerrados y 1% en bosques semiabierto. Es evidente para este periodo el surgimiento de huertas de aguacate en el 1% de la zona.

Los Andosoles ocupan una superficie de gran importancia económica en la cuenca, ya que sobre ellos se localizan extensas plantaciones de bosque de pino y cultivos de temporal.

En el caso de los Acrisoles se aprecia que la mayor superficie está ocupada por zonas de temporal 59.4, 59.1 y 66.2 km<sup>2</sup>, en segundo lugar se presentan los cultivos de riego con una superficie total para los tres periodos de tiempo de 19.6, 22.8 y 25.8 km<sup>2</sup> respectivamente. Se observa una tendencia general en la agricultura a aumentar. En cuanto al bosque cerrado se observa en general un incremento de 17.5 % para el periodo 1986-2000. En cuanto al bosque semiabierto y abierto también se da un incremento de 5.2 y 6 % respectivamente para este mismo periodo. Se observa en general una disminución en las zonas de Matorral, matorral pastizal y pastizal cerrado durante los tres periodos de tiempo. Por lo tanto se evidencia una tendencia al abandono de zonas agropecuarias y su posterior conversión a matorral, pastizal, renuevos y finalmente a bosques secundarios en la zona (Fig 11).

El hecho de que no exista un cambio significativo en las superficies abiertas a la agricultura desde los años 70`s se debe principalmente a la dinámica del abandono de tierras en los años 90`s por la migración hacia Estados Unidos (Rangel *in pers*; Mendoza *et al*, 2006 y López, 2004), lo cual es evidente en el aumento de zonas de agricultura y disminución de matorrales y viceversa, a este proceso López *et al* (2004) lo definieron como "Proceso de

Matorralización”, en el cual las tierras agrícolas son abandonadas y posteriormente reabiertas al uso agropecuario. En tanto que aquellas que ya no vuelven a utilizarse para la agricultura se deja que se vuelvan a regenerar hacia su cobertura natural de bosque.

Cuadro 5. Cobertura vegetal y uso del suelo para tres periodos de tiempo (1975, 1986, 2003) en Andosoles y Acrisoles (Tomado de Mendoza *et al*, 2006)

Cobertura vegetal y uso del suelo	Superficie		Superficie		Superficie	
	Andosoles		(1986)		(2003)	
	km2	%	km2	%	km2	%
Cultivos de temporal	111,3	51.6	113.4	52.6	98.2	44.6
Bosque cerrado	65,7	30.5	69.2	32.1	86.3	39.2
Bosque semiabierto	17,8	8.3	15.9	7.4	18.2	8.3
Matorral pastizal	6,9	3.2	6.2	2.9	1.0	0.5
Bosque abierto	6,8	3.2	5.3	2.5	8.1	3.7
Pastizal cerrado	3,7	1.7	2.7	1.2	0.2	0.1
Cultivos de riego	1,3	0.6	1.3	0.6	5.3	2.4
Matorral cerrado	1.0	0.5	0.7	0.3	0.4	0.2
Asentamientos humanos	0,8	0.4	0.7	0.3	1.1	0.5
Huertas	0,1	0.0	0.1	0.0	1.3	0.6

Cobertura vegetal y uso del suelo	Superficie		Superficie		Superficie	
	Acrisoles		(1986)		(2003)	
	km2	%	km2	%	km2	%
Cultivos de temporal	59,4	38.2	59.1	38.0	66.2	42.1
Matorral pastizal	24,8	15.9	24.6	15.8	2.9	1.8
Cultivos de riego	19,6	12.6	22.8	14.7	25.8	16.4
Pastizal cerrado	14.0	9.0	13.0	8.4	0.7	0.4
Bosque cerrado	11,5	7.4	12.2	7.8	27.9	17.7
Bosque semiabierto	11,5	7.4	11.0	7.1	16.2	10.3
Bosque abierto	6,4	4.1	5.8	3.8	11.8	7.5
Matorral cerrado	4,3	2.8	4.4	2.8	0.8	0.5
Asentamientos humanos	3,5	2.2	2.5	1.6	4.4	2.8

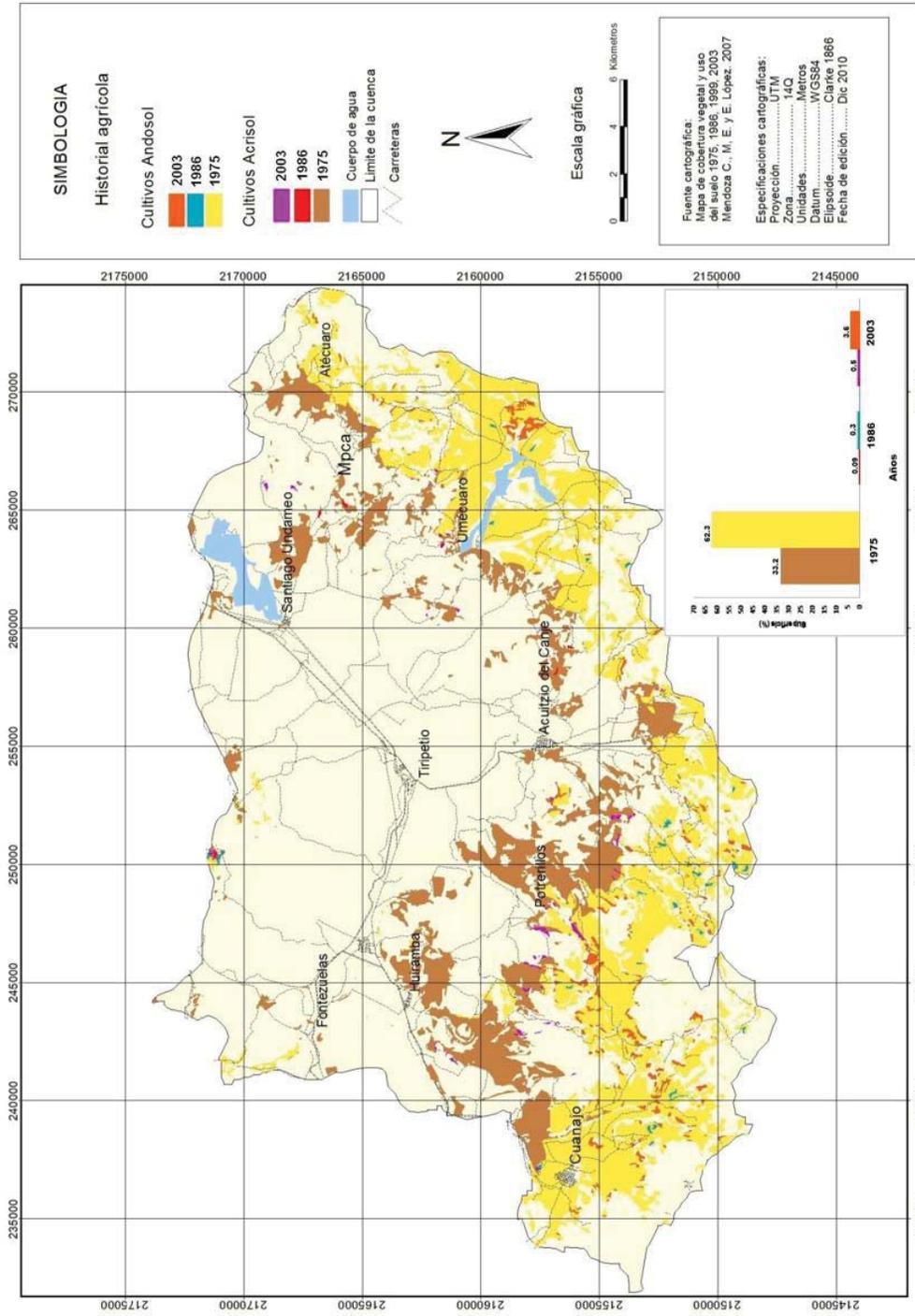


Figura 11. Cambio de cobertura Forestal a cultivos de temporal para tres periodos de tiempo en Andosoles y Acrisoles (Fuente: Mendoza et al, 2006)

Por observaciones directas y la información recabada en las encuestas a algunos productores de la cuenca de Cointzio, se tomaran los principales antecedentes de manejo y uso de los suelos de Ando y Acrisoles.

De acuerdo con las encuestas realizadas a los productores de las comunidades de Atécuaro, Umecuaró, Potrerillos, la Maiza y Cuanajillo del toro, el manejo que se ha dado a los recursos naturales coincide en las cuatro zonas, así en los sitios forestales mas conservados se extraen usualmente productos maderables para construcción, cercos, combustible, herramientas de trabajo (arado, mangos de herramientas) y productos no maderables como la extracción de resina, hongos comestibles, frutas silvestres y tierra para macetas. Los principales eventos climáticos que se dan en esta zona son Incendio en los meses cálidos (mayo y junio) y heladas y granizadas a partir del mes de octubre. De acuerdo con los Ejidatarios es importante la conservación de estas zonas debido a que constituyen un elemento básico en la conservación de la flora y fauna. Así como en la recarga de los mantos acuíferos y la recreación familiar. Las zonas forestales cercanas a las zonas agropecuarias, han estado sujetas a mayor presión, lo cual es evidente por el tránsito humano, la introducción de ganado y la presencia de hornos para elaboración de carbón. En esta zona se han contabilizado mayor cantidad de incendios forestales debido a que la corteza de los árboles es mas seca (Rangel, com. pers).

En las zonas con mas de 50 años de manejo con el sistema de "Año y vez" es decir un año se siembra y el siguiente se descansa y se utiliza como área de pastoreo. En los años 50's y 70's se cultivaba con maíz asociado con frijol y trigo con lenteja; en los cuales y se pastoreaba ganado vacuno y ovino. A partir de los años 90's Se introduce la siembra de avena y maíz forrajero, así como la asociación de maíz-calabaza y se deja de sembrar el frijol, y solo se introduce ganado vacuno en menor proporción. Las herramientas de trabajo antes de los años 80's eran siembra rústica con tracción animal, palo, azadón y el pie, a partir de 1980 se comienzan a introducir los primeros tractores los cuales de acuerdo con los agricultores facilitaron las labores en el campo.

## 8.2. Parámetros indicadores de degradación del suelo

Resultado de la revisión bibliográfica, en el presente apartado se enlistan algunos de los posibles indicadores de la degradación del suelo, los cuales fueron seleccionados por la facilidad y rapidez de su determinación requisitos que debe de cumplir un indicador para poder ser utilizado.

### 8.2.1. Indicadores físicos

Son una parte necesaria en la evaluación de la degradación del suelo ya que estas no se pueden mejorar fácilmente (Singer y Ewing, 2000).

**a) Espesor del horizonte superficial:** La pérdida total o parcial de los horizontes superficiales.

**b) Estructura:** La estructura del suelo hace referencia al tamaño, forma y arreglo de los sólidos y vacíos, regula la continuidad de los poros y huecos, la capacidad de retener y transmitir fluidos y sustancias orgánicas e inorgánicas y la habilidad para soportar el crecimiento y desarrollo. La estructura del suelo se describe en términos de grado, tamaño y tipo de agregados de acuerdo al tipo de clasificación del suelo de referencia, los límites entre clases puede variar (FAO, 2009; AFES, 2008; Soil Survey Staff, 2010).

**c) Color:** Entre los factores primarios que definen el color del suelo está su composición mineralógica, la morfología superficial y el contenido de humedad (Bedidi et al., 1992), que puede ser modificado por la textura y el contenido de materia orgánica (Franzmeier et al., 1983; Fernández y Schulze, 1987; Post et al., 1993, 2000; Soares et al., 1997; Matthias et al., 2000). Estas relaciones entre el color y las propiedades básicas del suelo justifican los numerosos intentos de utilizar el color como un indicador de su funcionamiento en un sistema (Harden, 1982).

**d) Densidad aparente:** La densidad aparente del suelo se define como la masa de una unidad de volumen de suelo seco (desechamiento a 105°C durante 24h). Este volumen incluye tanto sólidos como vacíos, por lo que la densidad aparente refleja la porosidad y arreglo del suelo. La densidad aparente es un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo. Los valores de densidad aparente altos indican un suelo poco poroso lo que tendrá como consecuencia serial limitaciones para el crecimiento de raíces, una

aireación reducida, y una condición hidrológica donde prevalece la reducción a causa del ahogamiento del suelo (FAO, 2009) y procesos de anoxia del suelo. La densidad aparente óptima para el desarrollo de raíces en suelos de texturas finas oscila en el orden de 0.8 a 1.2 g cm<sup>-3</sup>. Las raíces pueden detener completamente su crecimiento en suelos con densidades aparentes superiores a 1.5 g cm<sup>-3</sup> (Drury et al, 2003). En el caso de los suelos derivados de cenizas volcánicas el valor fluctúa entre 0.70 y 0.98 g cm<sup>-3</sup> (Nuñez, 2000).

**e) Porosidad:** Incluyen todos los espacios vacíos en el suelo. Están relacionados con el arreglo de los constituyentes primarios del suelo, patrones de enraizamiento, cámaras (madrigueras) de animales o cualquier otro proceso formador del suelo, como agrietamiento, desplazamiento y percolación. El término espacio vacío es casi equivalente al término poro, pero este último es más usado de forma restrictiva y no incluye por ejemplo: fisuras o planos.

Un indicador de la calidad y degradación del suelo es el espacio poroso y la distribución de los poros por tamaño. En el espacio poroso se acumulan las reservas de agua y en él se produce el intercambio metabólico de las plantas. En la porosidad gruesa penetran las raíces donde explorarán por agua, nutrientes y aire. Interesa que el suelo tenga un alto volumen de poros gruesos o secundarios. Este tipo de porosidad en los suelos de textura fina depende parcialmente de la estructura y puede no presentarse en suelos con horizontes argílicos. Sin embargo la porosidad total es un mal indicador del estado de degradación y compactación del suelo, ya que la infiltración, la penetración de las raíces y la aireación dependen de la distribución del tamaño de poros, su continuidad y tortuosidad más que del volumen total (Harte, 1993).

**f) Resistencia a la penetración:** La compactación del suelo se da cuando el suelo se encuentra sometido a presión mecánica, esta puede ser por el uso de maquinaria pesada o por el pastoreo (intensivo), la cual se acelera bajo condiciones de humedad inadecuada (Almorox *et al*, 2010). Se determina rutinariamente por medición de resistencia a la penetración. Según el Soil Survey Division Staff, 1990, suelos con valores superiores a 2 Mpa son considerados con alta resistencia a la penetración (suelos compactados) y suelos con valores superiores a 4 MPa con muy alta resistencia a la penetración (Lal y Shukla, 2004) (Cuadro 6).

La alta variabilidad que se encuentra al medir resistencia a la penetración se debe a la alta sensibilidad del penetrómetro de cono, a cambios en la densidad aparente, contenido de agua, textura, materia orgánica y estructura (Drury et al, 2003).

Cuadro 6. Clases de resistencia a la penetración del suelo según el Soil Survey Division Staff. (Fuente Lal y Sunkla, 2004)

CLASE	RESISTENCIA A LA PENETRACION (Mpa)
Poca	< 0.1
Extremadamente baja	< 0.01
Muy baja	0.01 – 0.1
Intermedia	0.1 – 2
Baja	0.1 – 1
Moderada	1 - 2
Fuerte	>2
Alta	2 – 4
Muy alta	4 – 8
Extremadamente alta	≥ 8

### 8.2.2. Indicadores Químicos

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. Algunos indicadores son contenido de materia orgánica, carbono orgánico total, pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio de cationes.

**a) Materia orgánica:** Según la Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo la materia orgánica se define como: "la fracción orgánica del suelo que incluye residuo vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes de suelo" (Fasbender et al, 1987).

Las funciones del suelo se ven directamente afectadas por la cantidad y la calidad de la materia orgánica que contiene, Por ello, la M.O. es un constituyente y un indicador de la degradación del suelo (Porta, 2006)

La materia orgánica tiene como principales funciones ayudar a unir las partículas finas para formar unidades estructurales (agregados del suelo), y por lo tanto mejorar la aireación del suelo y la percolación y el movimiento descendente del agua. Los ácido orgánicos, que son

productos de la descomposición de la materia orgánica del suelo, solubilizan el fósforo y otros nutrientes del suelo, y los hacen asimilables para los cultivos (FAO, 1986).

Los procesos de degradación del suelo generalmente se inician con el descenso en los niveles de materia orgánica, con efectos desfavorables en la estructura del suelo, especialmente sobre los atributos funcionales de los poros para conducir y retener agua y para facilitar el desarrollo de raíces. El deterioro se manifiesta a través de problemas relacionados con el sellado superficial, la compactación del suelo, el escaso desarrollo radicular, el pobre drenaje, el estrés hídrico por sequía, la excesiva escorrentía y la erosión acelerada. La materia orgánica y sus diferentes formas son entonces, elementos fundamentales para el buen funcionamiento de un suelo y por lo tanto, tiene que ser una de nuestras referencias como indicador de degradación de los suelos estudiados.

**b) pH:** El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad, por lo general se considera como una propiedad muy importante ya que tiende a estar correlacionado con otras propiedades, tales como el textura, grado de saturación de base y el contenido de materia orgánica en el suelo. Esta variable del suelo afecta la disponibilidad de nutrientes, actividad de microorganismos, solubilidad de minerales del suelo entre otros procesos (USDA 1999). Tiene la ventaja de ser sumamente fácil y rápido de medir.

### **8.2.3. Indicadores biológicos**

**a) Raíces expuestas en superficie:** Describe una situación donde la base del tronco del árbol o las raíces laterales están parcialmente expuestas por encima de la superficie del suelo. La exposición puede ocurrir donde las partículas del suelo son extraídas por agua o viento, bajando el nivel general del suelo. Las raíces expuestas aparecen donde los cultivos o árboles están creciendo en áreas sujetas a erosión.

**b) Profundidad radicular restringida:** La profundidad del suelo se refiere al espesor del material edáfico favorable para la penetración de las raíces de las plantas (Ortiz et al, 1990) mientras que para Rodríguez (2001), la profundidad efectiva se refiere al espesor del suelo de la superficie hasta donde se desarrolla el sistema radicular de los cultivos (Cuadro 8). Las profundidades de las raíces pueden estar limitadas por barreras físicas y químicas así como por niveles freáticos elevados. La profundidad del suelo puede medirse directamente en el perfil o a través de barrenaciones (Ortiz et al, 1990).

### 8.2.4. Rangos óptimos de los indicadores de degradación del suelo

Algunos autores reportan los rangos óptimos en los que se encuentran las variables utilizadas como indicadores de degradación de los suelos, mismas que se resumen en los cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. Indicadores de degradación para Andosoles

Indicador	Rangos óptimos	Autor (es)	Métodos
Estructura horizonte A	Granular moderadamente desarrollada	Shoji <i>et al.</i> , 1993, Cabrera <i>et al.</i> , 2006	Visual en campo
Textura	Media	INEGI, 1980; Cabrera <i>et al.</i> , 2006	Bouyucos
Densidad aparente	< 0.9 g/cm <sup>3</sup>	WRB, 2006 Ramos, 2008 Alcalá, 2001	Cilindro de volumen conocido
Resistencia a la penetración	< 3 Mpa < 2 Mpa	De león <i>et al.</i> , 1998 Rangeon <i>et al.</i> , 2008 Porta <i>et al.</i> , 2006 Cazorla y Juárez, 2005	Penetrómetro de impacto
pH	4.7 - 6	Cabrera <i>et al.</i> , 2006 Ramos, 2008 Alcalá, 2001 Buol <i>et al.</i> , 2003	Relación suelo/agua
Materia Orgánica	1.0 – 9.5 (%)	Cabrera <i>et al.</i> , 2006 Pajares <i>et al.</i> , 2005	Walkey y Black

Cuadro 8. Indicadores de degradación para Acrisoles.

Indicador	Rangos	Autor (es)	Métodos
Estructura Horizonte A	Granular Fuertemente desarrollada	Cabrera <i>et al.</i> , 2006	Visual en campo
Textura	Fina	Cabrera <i>et al.</i> , 2006	Bouyucos
Densidad aparente	1.10 -1.39 1.0 – 1.2	USDA, 1998 Pritchett., 1990	Terrón parafinado
pH	5.4 – 7.0	Cabrera <i>et al.</i> , 2006	Relación suelo/agua
Materia orgánica	0.4 – 5.5 (%)	Cabrera <i>et al.</i> , 2006	Walkey y Black
Capacidad de Intercambio catiónico	< 24 cmol/kg arcilla	WRB, 2006	Acetato de amonio

### 8.3. Análisis de las propiedades indicadoras de degradación de los suelos

#### 8.3.1. Localización de los sitios de muestreo y caracterización ambiental

Con base en el mapa de unidades homogéneas se seleccionaron 12 sitios de muestreo para Andosoles distribuidos en laderas altas, medias y bajas con uso forestal y agropecuario. En el caso de los Acrisoles se obtuvieron 9 sitios de muestreo, distribuidos en laderas medias y bajas, también con uso forestal y agropecuario. (Figuras 12 y 13),

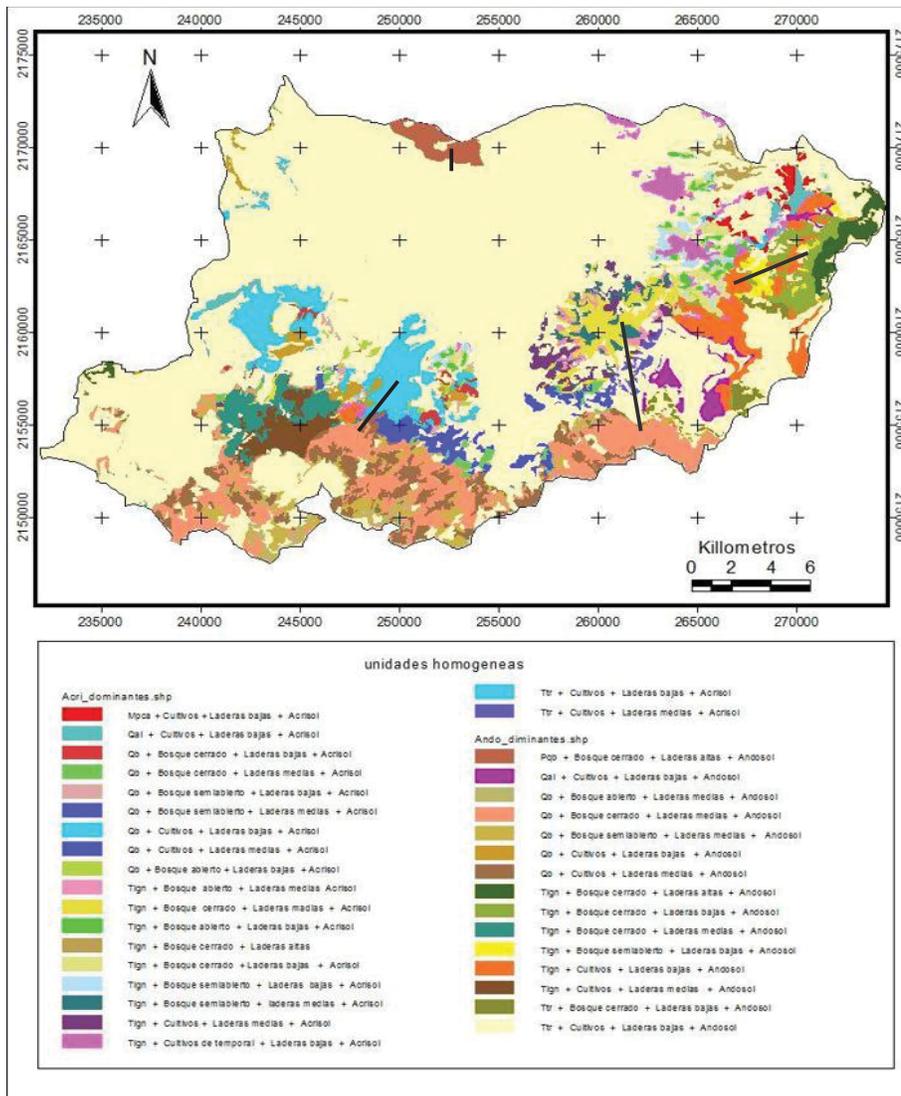


Figura 12. Mapa de unidades homogéneas predominantes en Andosoles y Acrisoles (Las líneas negras ubican las zonas de muestreo)

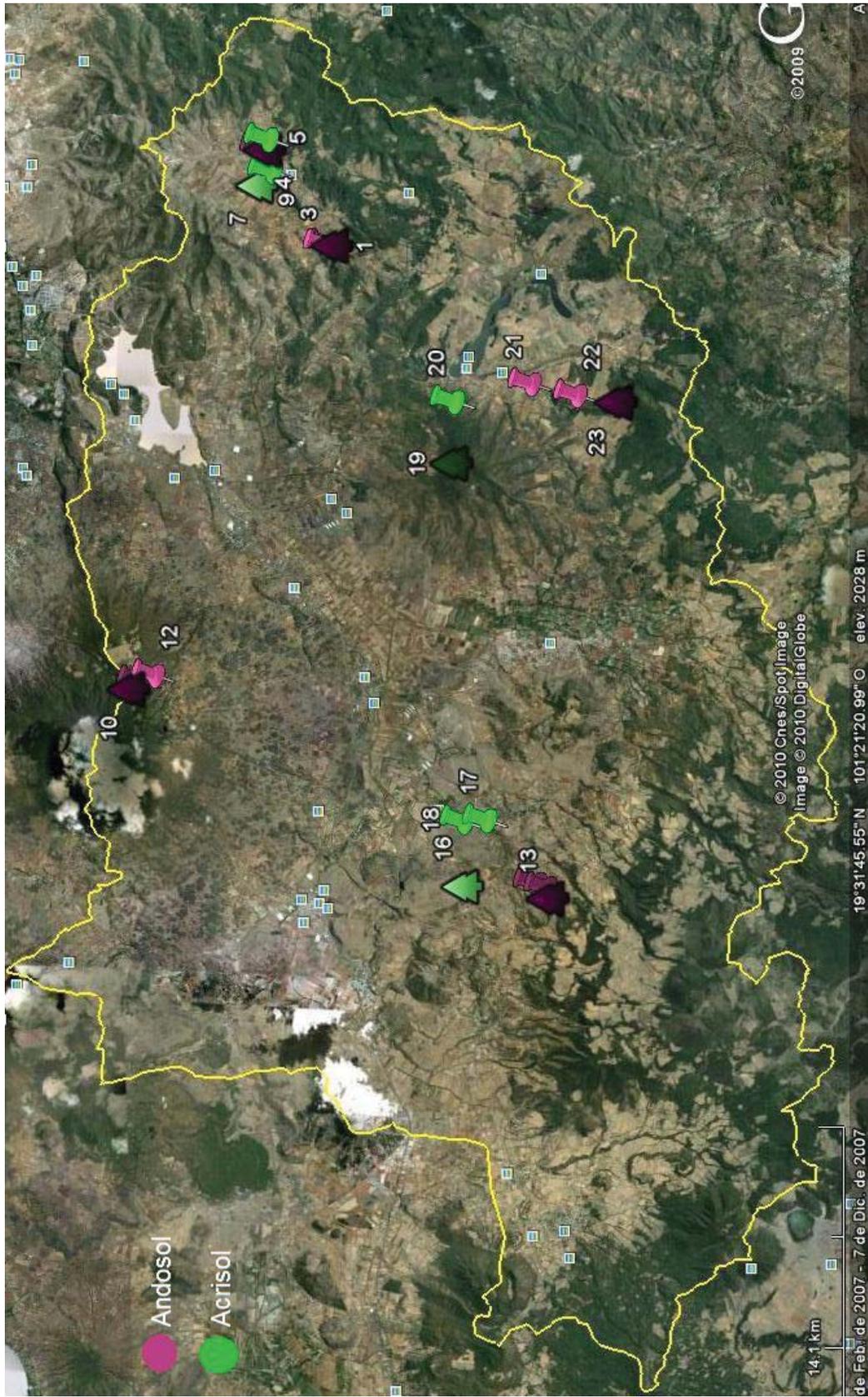


Figura 13. Ubicación espacial de los sitios de muestreo (Imagen base: Google Earth, 2009).

El cuadro 9 muestra las características ambientales de 4 toposecuencias de suelos.

Cuadro 9. Características ambientales de los sitios de muestreo.

<b>Sitio</b>	<b>Suelo INEGI</b>	<b>Altitud msnm</b>	<b>Uso actual</b>	<b>Pendiente %</b>	<b>Geología</b>	<b>Geoforma</b>
<b>Toposecuencia 1: Atécuaro</b>						
6	Andosol	2390	Forestal	25	Ignimbrita	Ladera alta
1	Andosol	2330	Forestal	15	Ignimbrita	Ladera alta
4	Andosol	2298	Forestal	25	Qal	Ladera media
7	Acrisol	2290	Forestal	25	Qal	Ladera media
8	Andosol	2283	Agropecuario	8	Qal	Ladera baja
9	Acrisol	2274	Agropecuario	10	Qal	Ladera de cerro
2	Andosol	2272	Agropecuario	25	Ignimbrita	Ladera media
5	Acrisol	2272	Agropecuario	25	Qal	Ladera media
3	Andosol	2256	Agropecuario	10	Ignimbrita	Ladera baja
<b>Toposecuencia 2: Cerro del Águila</b>						
10	Andosol	2565	Forestal	25	Basalto	Ladera alta
11	Andosol	2545	Agropecuario	8	Basalto	Ladera media
12	Andosol	2519	Agropecuario	8	Basalto	Ladera baja
<b>Toposecuencia 3: Potrerillos - La Maiza</b>						
13	Andosol	2420	Forestal	30	Toba basáltica	Ladera alta
14	Andosol	2351	Agropecuario	10	Toba basáltica	Ladera baja
15	Andosol	2315	Agropecuario	10	Toba basáltica	Ladera baja
16	Acrisol	2198	Forestal	30	Toba basáltica	Ladera alta
17	Acrisol	2145	Agropecuario	5	Toba basáltica	Planicie
<b>Toposecuencia 4: Umécuaro</b>						
18	Acrisol	2420	Forestal	25	Toba basáltica	Ladera alta
20	Acrisol	2240	Agropecuario	15	Toba basáltica	Ladera media
21	Acrisol	2222	Agropecuario	5	Toba basáltica	Ladera media
19	Acrisol	2188	Forestal	15	Toba basáltica	Ladera alta

## 8.3.2. Descripción de campo y laboratorio de Andosoles Forestales y agropecuarios.

### 8.3.2.1. Andosoles Forestales

#### Sitio 1

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha: Junio 2010  
 Localidad: El Aguaje de la Cofradía  
 Coordenadas: 19°33'28.2" N / 101°13'01.3"W      Altitud: 2330 m  
 Material originario: Ignimbritas (Tign)  
 Posición fisiográfica: Tierra Alta      Geoforma: Ladera alta  
 Microrrelieve: Ondulado      Pendiente: Moderada (15%)  
 Drenaje: Superficial (donador)  
 Uso: Forestal  
 Vegetación: Bosque de pino, madroño, capulín, jara, zarza  
 Influencia humana: Alta  
 Factores nocivos: Deforestación y resinación



#### Descripción del Perfil 1



O <sub>1</sub>	<b>0-6 cm.</b> Capa de hojarasca
O <sub>2</sub>	<b>6-8.</b> Capa de materia orgánica descompuesta con presencia de escarabajos y pequeñas arañas.
A	<b>8-23 cm.</b> Color en seco pardo amarillento obscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limo arenosa, estructura bloques subangulares gruesos, fuertemente desarrollada; consistencia en seco blanda; ligeramente adherente y ligeramente plástico; permeabilidad rápida; poros finos (1-3 mm), pocos; raíces medias ( 2-5 mm), frecuentes; horizonte compacto reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y ondulada, marcada por dureza.
2A	<b>23-43 cm.</b> Color en seco pardo amarillento obscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limo arenosa, estructura bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollada; consistencia en seco blanda; ligeramente adherente y ligeramente plástico; permeabilidad moderada; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces medias ( 2-5 mm), frecuentes; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; carbón en las caras de los agregados; transición al siguiente horizonte clara y ondulada, marcada por dureza.
B	<b>43-60 cm.</b> Color en seco pardo amarillento obscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limo arenosa, estructura bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollada; consistencia en seco blanda; muy adherente y muy plástico; permeabilidad muy rápida; poros muy finos (< 1 mm), moderados; raíces finas (2 mm), escasas; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y ondulada, marcada por dureza

## Sitio 4

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.

Fecha: Junio 2010

Localidad: Atécuaro

Coordenadas: 19°34'40.7" N / 101°11'22.6" W Altitud: 2298 m

Material originario: Qal

Posición fisiográfica: Tierra alta Geoforma y exposición: Ladera alta Nte

Drenaje: Superficial (Donador)

Uso: Forestal Vegetación: Pino

Influencia humana: Escasa

Factores nocivos: Caminos humanos



## Descripción del perfil 4



<b>O</b>	<b>6-2</b> Capa de Hojarasca
<b>1</b>	<b>2-0 cm.</b> Capa de materia orgánica en proceso de descomposición, muy húmeda. Presencia de escarabajos y ciempiés.
<b>O</b>	<b>0- 3cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limosa, estructura granular migajosa finos, moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo firme; no plástico y no adherente; permeabilidad moderada; poros muy finos (<1mm), abundantes; raíces finas (< 2mm), frecuentes; reacción nula al HCL y fuerte al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y ondulada, marcada por dureza.
<b>A</b>	<b>3 (12-20) cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limosa, estructura granular media, moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo friable; ligeramente adherente y ligeramente plástico; permeabilidad moderada; poros finos (1-3mm), moderados; raíces finas (< 2mm) escasas, medias (2-5 mm) frecuentes y gruesas (> 5mm) escasas; reacción nula al HCL y fuerte al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y ondulada, marcada por dureza.
<b>A</b> <b>1</b>	<b>16 (20-38) cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limosa, estructura granular media, moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo muy friable; ligeramente plástico y ligeramente adherente; permeabilidad moderada; poros finos (1-3mm), escasos; raíces gruesas (> 5mm), frecuentes; reacción nula al HCL y fuerte al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y plana, marcada por color.
<b>A</b> <b>2</b>	<b>18 (38-80) cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (7.5 YR 4/6), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/3), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo muy friable; ligeramente plástico y ligeramente adherente; permeabilidad moderada; poros cavernosos (5-10 mm), escasos; raíces gruesas (>5mm), escasas; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y plana, marcada por color.
<b>A</b> <b>3</b>	

## Sitio 6

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha: Junio 2010  
 Localidad: Cerro las vigas Población más próxima: La cofradía  
 Coordenadas: 19°33'15.6" N / 101°12'49"W Altitud: 2390 m  
 Material originario: Ignimbrita (Tign)  
 Posición fisiográfica: Tierra alta Geoforma: Ladera alta  
 Microrrelieve: Escarpado Pendiente: Fuerte (40 %)  
 Drenaje: Superficial (Donador)  
 Pedregosidad: Elevada  
 Uso actual: Forestal  
 Vegetación: Bosque de Pino-Encino  
 Influencia humana: Alta  
 Factores nocivos: Deforestación



### Descripción del Perfil 6



O <sub>1</sub>	4-10 cm. Capa de Hojarasca.
O <sub>2</sub>	4-0. Capa de materia orgánica en descomposición.
A	0-9 cm. Color en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limosa, estructura granular fina, fuertemente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo firme; ligeramente plástico y pegajoso; permeabilidad lenta; poros muy finos (< 1mm), moderados; raíces finas (< 2mm), abundantes; reacción nula al HCL y fuerte al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y plana, marcada por color.
A	9-20 cm. Color en seco café rojizo oscuro (5YR 3/3), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/4), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares finos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo friable; ligeramente plástico y pegajoso; permeabilidad lenta; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces medias (2-5 mm), comunes; reacción nula al HCL y fuerte al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y plana, marcada por dureza.
A	20-40 cm. Color en seco café rojizo oscuro (5YR 3/3), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/4), textura al tacto limo arenosa, estructura bloques subangulares finos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia friable; ligeramente plástico y pegajoso; permeabilidad lenta; poros finos (1-3 mm), moderados, y macroporos > 5 mm por insectos; raíces medias (2-5 mm), comunes; piedras grandes (15 cm); reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y plana, marcada por dureza
B	40-67 cm. Color en seco rojo amarillento (5YR 4/6), y en húmedo café muy fuerte (7.5 YR 4/6), textura al tacto arcillosa, estructura bloques subangulares finos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo muy firme; muy plástico y pegajoso; permeabilidad lenta; poros esponjosos (3-5 mm), escasos; raíces medias (2-5 mm), comunes; piedras grandes (10 cm); reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ;

## Sitio 10

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha: Octubre 2010  
 Localidad: El madroño  
 Población más próxima: Cuanajillo del Toro  
 Coordenadas: 19°36'30.97"N / 101°21'12.04"W  
 Altitud: 2565 m  
 Material originario: Derrames de basalto y andesita (Pqb)  
 Posición fisiográfica: Tierra alta Geofoma: Ladera alta  
 Exposición: Oriente Microrrelieve: Accidentado  
 Pendiente: Fuerte (25%)  
 Grado de desarrollo: Moderadamente desarrollado  
 Pedregosidad superficial  
 Cantidad: 10% Tamaño: Grandes Forma: Subangulares  
 Drenaje superficial: Donador  
 Uso actual: Forestal  
 Vegetación: Bosque de encino, madroño, roble.  
 Influencia humana: Moderada  
 Factores nocivos: Caminos y cuevas de tuzas



## Descripción del Perfil 10



<b>OA</b>	<p><b>0-10 cm.</b> Color en seco café (10 YR 4/3), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 3/1), textura al tacto limosa, estructura granular media, moderadamente desarrollada, ligeramente húmedo; consistencia suelta y friable; ligeramente plástico y ligeramente pegajoso; permeabilidad rápida; poros imperceptibles; raíces medias (3-10 mm), comunes; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color y dureza.</p>
<b>A</b>	<p><b>10-40 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares, débilmente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo muy friable; ligeramente plástico y ligeramente pegajoso; permeabilidad rápida; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces gruesas (10-30 mm), comunes; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color y dureza.</p>
<b>B</b>	<p><b>40 – 60 cm.</b> Color en seco café (7.5YR 2.5/2), y en húmedo café rojizo oscuro (5YR 3/4), textura al tacto limo arcillosa, estructura bloques subangulares medios, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia muy friable; muy plástico y pegajoso; permeabilidad rápida; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces finas (1-2 mm) pocas; reacción nula al HCL y al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</p>

### Sitio 13

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.

Fecha: Octubre 2010

Localidad: Conembaro Población más próxima: Potrerillos

Coordenadas: 19°29'16.5"N / 101°24'35.1"W Altitud: 2420 m

Material originario: Tobas basálticas y andesíticas (Qb)

Posición fisiográfica: Tierra alta Geoforma: Ladera alta

Exposición: Sur Microrrelieve: Accidentado Pendiente: Fuerte (30%)

Grado de desarrollo: Bien desarrollado

Pedregosidad superficial: Imperceptible Drenaje superficial: Donador

Uso actual: Forestal Vegetación: Bosque pino-encino

Influencia humana: Moderada

Factores nocivos: Caminos y un potrero cercano



### Descripción del Perfil 13



<b>O<sub>1</sub></b>	<b>10 -0 cm.</b> Hojarasca
<b>A</b>	<b>0-20 cm.</b> Color en seco pardo amarillento (10YR 5/4) y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/3), textura al tacto limosa, estructura granular, débilmente desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo muy friable; permeabilidad rápida; poros finos y medios (1-3 mm) abundantes; raíces delgadas y medias, abundantes; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por dureza. Presencia de escarabajos y lombrices.
<b>A</b>	<b>20-40 cm.</b> Color en seco pardo amarillento (10YR 5/4) y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/3) textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares medios, débilmente desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia muy friable; permeabilidad rápida; poros finos (1-3 mm), abundantes; raíces delgadas y medias, abundantes; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por dureza. Presencia de escarabajos y lombrices.
<b>A</b>	<b>40-60 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) y en húmedo café (7.5YR 4/4), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares medios, débilmente desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia muy friable; ligeramente plástico y pegajoso; permeabilidad rápida; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces delgadas y medias, abundantes.

## Sitio 22

Descrito por: Christian Prat y Arcelia Cabrera González.  
 Fecha: Mayo del 2005  
 Localidad: Puerto el madroño Población más próxima: Atécuaro  
 Municipio: Morelia, Michoacán  
 Coordenadas: 19°32'9.5" N / 101°15'7.2" W Altitud: 2297 m  
 Material originario: Andesita  
 Posición fisiográfica: Terraza alta Geoforma y exposición: Ladera de cerro W-E  
 Microrrelieve: ligeramente ondulado Pendiente: Moderada (8%)  
 Pedregosidad superficial: Pocas rocas grandes  
 Erosión: Tipo cárcavas Grado: leve  
 Drenaje: Superficial (Donador)  
 Vegetación: Pino-encino



### Descripción del Perfil 22



<b>A</b>	<p><b>0-2 cm.</b> Color en seco café oscuro (5YR 3/3), y en húmedo café rojizo oscuro (5YR 2.5/2), textura migajón arenoso, subestructura granular débilmente desarrollados; presencia de agregados subangulares finos, débilmente desarrollados; consistencia blanda; permeabilidad moderada; Raíces finas y abundantes 50% de poros finos; reacción nula al HCL y nula al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte lítica abrupto regular.</p>
<b>A2</b>	<p><b>2-30 cm.</b> Color en seco café (7.5YR 2.4/3), y en húmedo café muy oscuro (.5YR 3/3), textura migajón limoso, estructura bloques poliédricos medios, débilmente desarrollados; consistencia blanda; permeabilidad moderada; 30% de poros finos; abundantes raíces finas; reacción nula al HCL y nula al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; con presencia de carbono entre los agregados; transición al siguiente horizonte abrupto, ondulado por color.</p>
<b>2B</b>	<p><b>30-70 cm.</b> Color en seco rojo amarillento (5YR 5/6) y en húmedo rojo amarillento (5YR 4/6), textura migajón arcilloso, estructura bloques poliédricos subangulares muy gruesos, fuertemente desarrollados; subestructura angular, permeabilidad moderada; 10% de poros finos; raíces finas, comunes; reacción nula al HCL y nula al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; presencia de puntos de arena (blanca) en el suelo; transición al siguiente horizonte es muy progresiva y difícil de determinar (10-20cm).</p>
<b>3B</b>	<p><b>&gt;70 cm.</b> Color en seco rojo amarillento (5YR 5/6) con manchas amarillas, y en húmedo rojo amarillento (5YR 4/6), textura migajón arcilloso, estructura bloques subangulares medios, fuertemente desarrollados; permeabilidad moderada; 5% de poros finos; reacción al HCL nula y leve al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; Pedazo de andesita de 5cm.</p>

Cuadro 10. Características físicas y químicas de Andosoles forestales de la Cuenca de Coitzio Michoacán.

No. Sitio	Horiz	Espesor	H	Color			Estructura			Textura		Dap	Dreal	Porosidad	MO	C.O	pH		
				Seco		Húmedo		F	T	D	Arena							Limo	Arcilla
											%							%	%
1	A	8-23	43.6	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	g	M	FD	64.8	26.0	9.2	0.8	2.5	67.4	7.0	4.0	5.7
	A	23-43	41.6	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	g	M	MD	58.2	30.0	11.8	0.9	2.6	65.1	5.0	2.9	5.9
	B	43-60	35.3	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	g	G	FD	22.8	20.0	57.2	0.9	2.6	66.9	1.4	0.8	6.0
4	A	0-20	33.7	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	g	F	MD	64.8	20.0	15.2	0.7	2.5	72.7	8.7	5.0	5.9
	A	20-38	35.8	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	g	M	MD	62.8	20.0	17.2	0.8	2.6	68.0	6.1	3.6	5.6
	A	38-80	37.0	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	bs	F y M	MD	60.8	26.0	13.2	0.8	2.6	70.9	4.8	2.8	5.8
6	A	0-20	31.8	10 YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	g	F	FD	52.2	28.0	19.8	1.2	2.6	51.4	6.7	3.9	5.3
	A	20-40	31.7	5YR 3/3	PAO	7.5YR 3/4	CO	bs	M	MD	54.2	20.0	25.8	1.0	2.6	59.7	4.8	2.8	5.4
	A	40-67	31.0	5YR 3/3	CRO	7.5YR 3/4	CO	bs	M	MD	46.2	26.0	27.8	1.0	2.6	59.8	4.6	2.6	5.6
10	A	0-20	26.8	10YR 4/3	C	7.5YR 3/1	CMO	s			89.4	3.4	7.2	0.8	2.5	67.5	13.2	7.6	6.3
	A	20-40	15.8	10YR 4/4	PAO	7.5 YR 2.5/3	CMO	g	M	DD	61.4	26.0	12.6	0.8	2.6	68.2	4.7	2.7	5.6
	A	40-60	17.1	7.5YR 5/6	C	5YR 3/4	CRO	bs	M	MD	55.4	22.0	22.6	0.6	2.6	75.7	1.3	0.8	5.5
13	A	0-20	12.2	10YR 5/4	PA	7.5YR 3/3	CO	bs	M Y G	MD	53.8	35.4	10.8	0.9	2.5	63.5	10.9	6.3	6.1
	A	20-40	17.6	10YR 5/4	PAO	7.5YR 3/3	CO	bs	M	MD	53.8	33.4	12.8	0.9	2.6	66.2	3.0	1.7	6.5
	A	40-60	13.8	10YR 4/4	PAO	7.5YR 4/4	CO	bs	M	MD	43.8	27.4	28.8	0.9	2.6	64.3	1.0	0.6	6.2
22	A	0-30	45.3	5YR 3/3	CO	5YR 2.5/2	CRO	g	M	DD	14.5	45.4	40.1	0.9	2.5	65.5	8.9	5.2	4.7
	A	30-70	41.3	7.5YR 2.5/4	C	5YR 3/3	CMO	bs	M	DD	7.9	33.6	58.6	0.9	2.5	62.9	8.1	4.7	4.4
	B	>70	38.4	5YR 5/6	RA	5YR 4/6	RA	bs	MG	FD	4.7	34.2	61.1	1.5	2.6	43.0	6.0	3.5	5.7

PAO: Pardo amarillento oscuro; PA: Pardo amarillento; C: Café; CMO: Café muy oscuro; co: Café oscuro; CRO: Café rojizo Oscuro  
Estructura: F- Forma (g: granular, bs: Bloques subangulares); T- Tamaño (F: Finos, M: Medios; Mi: Moderados) y D- Desarrollo (DD: DEBIL; MD: Moderado; F: Fuerte).

### 8.3.2.2. Andosoles agropecuarios

#### Sitio 2

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha: Junio 2010  
 Localidad: El Aguaje de la Cofradía  
 Coordenadas: 19°33'33.9" N / 101°13'07.7"W Altitud: 2272m  
 Material originario: Ignimbrita (Tign)  
 Posición fisiográfica: Tierra media Geoforma: ladera media  
 Microrrelieve: Ondulado Pendiente: Fuerte (12%)  
 Erosión: Tipo laminar, ligera (5%)  
 Drenaje: Superficial (donador)  
 Uso: Agrícola en descanso (5 años) utilizado como potrero  
 Riego: Sitios de humedad residual  
 Vegetación: Chias, conguira, salvia, grama  
 Influencia humana: Alta  
 Factores nocivos: Deforestación, pastoreo y daños al suelo por la presencia de cuevas de tuzas



#### Descripción del Perfil 2



<b>Ap</b>	<p><b>0-18 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto migajón limoso, estructura granular fina y media, moderadamente desarrollada; consistencia en seco suelta y en húmedo friable; ligeramente adherente y ligeramente plástico; permeabilidad rápida; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces medias (2-5 mm), frecuentes; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte abrupta y ondulada, marcada por dureza.</p>
<b>A</b>	<p><b>18-40 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limo arenosa, estructura bloques subangulares medios, moderadamente desarrollada; consistencia en seco suelta y en húmedo friable; ligeramente adherente y plástico; permeabilidad moderada; poros muy finos (&lt; 1mm), escasos; raíces finas (&lt; 2mm), escasas; horizonte compacto reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte clara y ondulada, marcada por color y dureza.</p>
<b>B</b>	<p><b>40-60 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 3/4), textura al tacto arcillosa, estructura bloques subangulares gruesos, fuertemente desarrollada; consistencia en húmedo extremadamente firme; muy adherente y muy plástico; permeabilidad lenta; poros muy finos (&lt;1mm), pocos; raíces nulas; concreciones de manganeso; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</p>

### Descripción del Sitio 3

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
Fecha: Junio 2010  
Localidad: El Aguaje de la Cofradía  
Coordenadas: 19°33'37.3" N / 101°13'10.5"W Altitud: 2256 m  
Material originario: Ignimbrita (Tign)  
Posición fisiográfica: Tierra baja Geoforma: ladera baja  
Microrrelieve: Ligeramente inclinado Pendiente: Moderada (6 %)  
Drenaje: Superficial (receptor)  
Uso: Sitio preparado para la siembra, en descanso el año pasado  
Cultivo: Maíz  
Tiempo de uso: > 35 años  
Vegetación: Pastos  
Riego: Sitios de humedad residual  
Influencia humana: muy alta  
Factores nocivos: Sequedad, pastoreo, uso de maquinaria para labores agrícolas, caminos humanos y presencia de cuevas de tuzas



### Descripción del Perfil 3



Ap	<b>0-22 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/2), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollada; consistencia en seco suelta; no adhesivo y no plástico; permeabilidad rápida; poros esponjosos (3-5 mm) abundantes; raíces finas (< 2mm) y gruesas (> 5 mm), abundantes; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte clara y ondulada, marcada por dureza.
A	<b>22-65 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 3/3), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares gruesos, débilmente desarrollada; consistencia en húmedo suelta; no adhesivo y no plástico; permeabilidad moderada; poros esponjosos (3-5 mm), escasos; raíces finas, abundantes; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .

## Sitio 8

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.

Fecha: Octubre 2010

Localidad: Atécuaro Población más próxima: Atécuaro

Coordenadas: 19°34'46.84"N / 101° 11'26.55"W Altitud: 2283 m

Material originario: Qal

Posición fisiográfica: Tierra baja Geoforma: Ladera baja

Exposición: Poniente Microrrelieve: Plano

Pendiente: Moderada (6 %)

Grado de desarrollo: Bien desarrollado

Drenaje: Superficial (Receptor)

Uso actual: Agrícola en uso

Herramientas de Manejo: Tractor

Tiempo de manejo: >35 años

Cultivo: Maíz con calabaza

Maquinaria agrícola utilizada: Tractor

Uso pasado: Cultivo de maíz, frijol, calabaza y chilacayote, preparado de la tierra con yunta

Influencia humana: Alta

Factores nocivos: Sequedad, presencia de cuevas de tuzas en los primeros 10 cm.



## Descripción del Perfil 8



<b>Ap</b>	<p><b>0-7 cm.</b> Color en seco pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/2), textura al tacto limo arenosa, estructura de bloques subangulares finos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo firme; ligeramente plástico y ligeramente pegajoso; permeabilidad rápida; poros finos (1-2 mm), comunes; raíces finas (&lt; 2mm), abundantes; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por dureza.</p>
<b>A</b>	<p><b>7-16 cm.</b> Color en seco pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/2), textura al tacto limo arenosa, estructura bloques subangulares finos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo firme; ligeramente plástico y ligeramente pegajoso; permeabilidad moderada; poros finos (1-3 mm), comunes; raíces delgadas (1-3 mm), comunes; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por dureza.</p>
<b>A</b>	<p><b>16-60cm.</b> Color en seco pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/2), textura al tacto arcillo arenosa, estructura bloques subangulares finos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia firme; ligeramente plástico y ligeramente pegajoso; permeabilidad moderada; poros finos tubulares (1-3 mm), pocos; raíces delgadas (1-3 mm), moderadas; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.</p>

## Sitio 11

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.

Fecha: Octubre 2010

Localidad: El madroño

Población más próxima: Cuanajillo del Toro

Coordenadas: 19°36'23.4"N / 101°21'12.04"W

Altitud: 2519 m

Material originario: Derrames de basalto y andesita (Pqb)

Posición fisiográfica: Tierra alta Geoforma: Ladera media

Exposición: Oriente Microrrelieve: ondulado

Pendiente: Moderada (11%)

Grado de desarrollo: Moderadamente desarrollado

Drenaje superficial: Donador

Uso actual: Agrícola en descanso

Herramientas usadas: Yunta

Tiempo de uso: > 35 años

Influencia humana: Moderada

Factores nocivos: Pastoreo, caminos y cuevas de tuzas

Observaciones: Por la dificultad del acceso, aun se utiliza la yunta para el preparado de la tierra.



## Descripción del Perfil 11



Ap	<b>0-10 cm.</b> Color en seco pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/2), textura al tacto limosa, estructura de bloques, grandes (por arado); consistencia en seco dura; ligeramente plástico y pegajoso; permeabilidad rápida; poros imperceptibles; raíces finas y medias (1-10 mm), abundantes; reacción nula al HCL y ligera al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color.
A	<b>10-30 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/2), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia friable; ligeramente plástico y pegajoso; permeabilidad rápida; poros finos (1-3 mm), raros; raíces finas (1-2 mm), abundantes; reacción nula al HCL y ligera al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color.
A <sub>1</sub>	<b>30 – 60 cm.</b> Color en seco café (7.5YR 4/4), y en húmedo café rojizo oscuro (5YR 3/4), textura al tacto limo arcillosa, estructura bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollada; consistencia en húmedo muy friable; plástico y pegajoso; permeabilidad rápida; poros finos (1-3 mm), raros; raíces finas (1-2 mm) escasas; reacción nula al HCL y ligera al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .

## Sitio 12

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.

Fecha: Octubre 2010

Localidad: El madroño

Población más próxima: Cuanajillo del Toro

Coordenadas: 19°36'23.4"N / 101°21'12.04"W

Altitud: 2519 m

Material originario: Derrames de basalto y andesita (Pqb)

Posición fisiográfica: Tierra alta Geoforma: Ladera baja

Exposición: Oriente Microrrelieve: ondulado

Pendiente: Moderada (6%)

Grado de desarrollo: Moderadamente desarrollado

Drenaje superficial: Donador

Uso actual: Agrícola en descanso

Herramientas de Manejo: Yunta

Tiempo de uso: > 35 años

Influencia humana: Moderada

Factores nocivos: Pastoreo, caminos y cuevas de tuzas

Observaciones: Por la dificultad del acceso, aun se utiliza la yunta para el preparado de la tierra.



## Descripción del Perfil 12



Ap

**0-20 cm.** Color en seco pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/2), textura al tacto limosa, estructura de bloques subangulares, grandes; consistencia en seco dura; ligeramente plástico y pegajoso; permeabilidad moderada; poros medianos (3-5 mm), moderados; raíces delgadas (1-2 mm), pocas; reacción nula al HCL y ligera al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte horizontal, marcada por dureza.

A

**20-60 cm.** Color en seco pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia friable; ligeramente plástico y pegajoso; permeabilidad moderada; poros medianos (3-5 mm), moderados; raíces finas (1-2 mm), pocas; reacción nula al HCL y ligera al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

## Sitio 14

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.

Fecha: Octubre 2010

Localidad: Conembaro

Población más próxima: Potrerillos

Coordenadas: 19°29'21.4"N / 101°24'31"W

Altitud: 2351 m

Material originario: Tobas basálticas y andesíticas (Qb)

Posición fisiográfica: Tierra media Geoforma: Ladera media

Exposición: Norte Microrrelieve: ondulado

Pendiente: moderada (10%)

Grado de desarrollo: Bien desarrollado

Drenaje superficial: Donador

Uso actual: Agropecuario (este año en descanso), el año pasado de cultivo maíz y frijol

Tiempo de manejo: > 50 años

Vegetación: Herbáceas (Mirasol)

Influencia humana: Alta

Factores nocivos: Sequedad, pastoreo, uso de maquinaria para labores agrícolas y caminos



## Descripción del Perfil 14



<b>Ap</b>	<b>0-25 cm.</b> Color en pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/3); textura al tacto limosa, estructura de bloques subangulares, medianos, ligeramente desarrollados; consistencia en seco dura; permeabilidad moderada; poros imperceptibles; raíces medias (3-10 mm), comunes; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color y dureza; presencia de grillos y escarabajos.
<b>A</b>	<b>25-45 cm.</b> Color en pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/3); textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares, débilmente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia moderadamente friable; permeabilidad moderada; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces finas, pocas; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color y dureza; presencia de hormigas.
<b>B</b>	<b>45-60 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café (7.5YR 4/4), textura al tacto arcillosa, estructura bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia muy friable; plástico y pegajoso; permeabilidad lenta; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces finas (1-2 mm) pocas.

## Sitio 15

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.

Fecha: Octubre 2010

Localidad: Potrerillos

Población más próxima: Potrerillos

Coordenadas: 19°29'32.4"N / 101°24'26.8"W

Altitud: 2315 m

Material originario: Tobas basálticas y andesíticas (Qb)

Posición fisiográfica: Tierra baja Geoforma: ladera media

Exposición: Norte Microrrelieve: Ondulado

Pendiente: Moderada (6%)

Grado de desarrollo: Bien desarrollado

Drenaje superficial: Donador

Uso actual: Agropecuario, con cultivo de avena de 85 cm de altura

Tiempo de manejo: > 50 años

Influencia humana: Alta

Factores nocivos: Pastoreo, uso de maquinaria para labores agrícolas y caminos



## Descripción del Perfil 15



0-	<b>Ap</b>	<b>20 cm.</b> Color en pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/3); textura al tacto limosa, estructura de bloques subangulares, muy gruesos, fuertemente desarrollados; consistencia en seco dura; permeabilidad moderada; pocos poros, finos de forma tubular; raíces finas, pocas; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por dureza; presencia de grillos y escarabajos.
20-	<b>A</b>	<b>40 cm.</b> Color en pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/3); textura al tacto limosa, estructura de bloques subangulares, muy gruesos, fuertemente desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia moderadamente friable; permeabilidad moderada; pocos poros, finos de forma tubular; raíces finas, raras; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por dureza; presencia de hormigas, incrustaciones de manganeso y pocas piedras pequeñas redondeadas.
40-	<b>B</b>	<b>60 cm.</b> Color en seco pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café (7.5YR 4/4), textura al tacto limo arcillosa, estructura bloques subangulares medios, moderadamente desarrollados; consistencia en húmedo friable; plástico y pegajoso; permeabilidad lenta; muchos poros, finos de forma tubular.

## Sitio 21

Descrito por: Adriana Ramos, Eneida Caro, Iván Rainiero.  
 Fecha: Septiembre de 2010.

Localidad: Paraje Umecuario Población más próxima:  
 Umecuario

Municipio: Morelia Estado: Michoacán

Coordenadas: 19° 31'40.43" N / 101° 14'40.09" W

Altitud: 2225 msnm

Posición fisiográfica: Tierra Alta.

Geoforma y exposición: Ladera media

Exposición Oriente

Microrrelieve: Ligeramente ondulado Pendiente 10%

Forma: Cóncava

Material parental: Basalto

Pedregosidad superficial: SI cantidad: pocas Tamaño: grande

Uso de suelo: Agrícola en descanso y pastoreo.

Profundidad del suelo (cm); 124cm Grado de desarrollo del perfil: Desarrollado

Drenaje superficial: Bueno

Observaciones: Se encontraron lombrices y grillos



## Descripción del perfil 21



<b>Ap</b>	O – 23 cm. Color en seco 5YR 5/5 y en húmedo 5YR 3/2; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares gruesos; textura arenosa-limosa; consistencia suelta en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico; Pocos poros de forma vesicular y tamaño pequeño; pocas raíces finas; suelo bien drenado; transición al siguiente horizonte marcada por dureza; límite horizontal. Lombrices y gusanos de tamaño fino.
<b>A</b>	23 – 48 cm. Color en seco 5YR 5/4 y en húmedo 2.5YR 2.5/4; estructura moderadamente desarrollada en bloques muy gruesos; textura limosa; consistencia suelta en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico; Pocos poros de forma vesicular y tamaño pequeño; pocas raíces finas; suelo bien drenado; transición al siguiente horizonte marcada por dureza y por color; límite horizontal. Lombrices de tamaño fino.
<b>B</b>	48 – 76 cm. Color en seco 5YR 5/4 y en húmedo 2.5YR 2.5/4; estructura moderadamente desarrollada en bloques gruesos; textura limosa; consistencia suelta en húmedo; ligeramente adherente y ligeramente plástico; pocos poros de forma vesicular y tamaño pequeño; pocas raíces finas; suelo bien drenado.

Cuadro 11. Características físicas y químicas de Andosoles agropecuarios de la Cuenca de Coitizio Michoacán.

No. Sitio	Horiz	Espesor	Humedad		Color		Húmedo		Seco		Estructura		Textura		Dap	Dreal	Porosidad	MO	C.O	pH				
			%	%	F	T	D	F	T	D	A	L	%	%							%	%	%	%
2	Ap	0-18	46.1	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	g	F	MD	58.8	28.0	13.2	0.8	2.6	67.2	6.0	3.5	5.7					
	A	18-40	43.2	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/3	CMO	bs	M	MD	54.8	32.0	13.2	0.8	2.6	67.3	5.9	3.4	5.5					
	B	40-60	38.8	10YR 4/4	PAO	5YR 3/4	CMO	bs	G	FD	24.8	10.0	65.2	0.7	2.6	73.5	0.8	0.5	6.2					
3	Ap	0-22	35.4	10YR 4/4	PAO	7.5YR 2.5/2	CMO	g	G	MD	54.2	24.0	21.8	0.9	2.6	64.4	4.6	2.7	5.7					
	A	22-65	31.8	10YR 4/4	PAO	7.5YR 3/3	CO	bs	G	DD	58.2	24.0	17.8	0.9	2.6	64.7	3.0	1.7	5.8					
8	Ap	0-7	20.2	10YR 5/4	PA	7.5YR 3/2	CO	g	F	MD	44.0	38.6	17.4	1.4	2.6	47.1	6.7	3.9	6.4					
	A	jul-16	22.5	10YR 5/4	PA	7.5YR 3/2	CO	g	F	MD	38.0	38.6	23.4	1.4	2.6	48.1	3.4	2.0	6.1					
	A	16-60	21.4	10YR 5/4	PA	7.5YR 3/2	CO	bs	F	MD	37.4	39.2	23.4	1.4	2.6	46.6	3.4	2.0	6.2					
11	Ap	0-10	25.7	10YR 5/4	PA	7.5YR 2.5/2	CMO	bs	G	MD	53.4	25.4	21.2	0.9	2.6	64.4	4.5	2.7	5.8					
	A	oct-30	32.0	10YR 4/4	PAO	7.5 YR 2.5/3	CMO	bs	G	MD	51.4	25.4	23.2	1.1	2.6	58.1	3.6	2.1	6.4					
	A	30-60	24.1	7.5YR 4/4	C	5YR 3/4	CRO	bs	G	MD	45.4	37.4	17.2	1.1	2.6	59.7	1.6	0.9	6.7					
12	Ap	0-20	8.2	10YR 5/4	PA	7.5YR 2.5/2	CMO	bs	G	MD	51.4	25.4	23.2	1.1	2.6	57.6	4.0	2.4	5.7					
	A	20-60	16.6	10YR 4/4	PAO	7.5 YR 2.5/3	CMO	bs	G	MD	49.4	23.4	27.2	1.2	2.6	55.9	2.8	1.6	6.1					
14	Ap	0-25	14.4	10YR 5/4	PA	7.5YR 3/3	CO	bs	M	DD	47.8	27.4	24.8	1.0	2.6	62.5	2.5	1.4	5.8					
	A	25-45	10.3	10YR 5/4	PA	7.5YR 3/3	CO	bs	M	MD	33.8	25.4	40.8	1.1	2.6	58.8	0.4	0.2	6.2					
	B	45-60	9.5	10YR 4/4	PAO	7.5YR 4/4	café	bs	MF	MD	27.8	21.4	50.8	1.1	2.6	58.1	0.1	0.1	6.1					

PAO: Pardo amarillento oscuro; PA: Pardo amarillento; C: Café; CMO: Café muy oscuro; co: Café obscuro; CRO: Café rojizo Oscuro Estructura: F: Forma (g: granular, bs: Bloques subangulares); T: Tamaño (F: Finos, M: Medios; M: Moderados) y D- Desarrollo (DD: DEBIL; MD: Moderado; F: Fuerte);

Continuación...  
Cuadro 11. Características físicas y químicas de Andosoles agropecuarios de la Cuenca de Coitzio Michoacán.

No. Sitio	Horiz	Espesor	H	Color		Estructura		Textura		Dap	Dreal	Porosidad	MO	C.O	pH				
				Seco	Húmedo	F	T	D	Arena							Limo	Arcilla		
15	Ap	0-20	8.6	10YR 5/4	PA	7.5YR 3/3	CO	bs	MG	FD	35.8	27.4	36.8	1.1	2.6	59.0	1.1	0.6	6.2
	A	20-40	9.4	10YR 5/4	PA	7.5YR 3/3	CO	bs	MG	FD	33.8	33.4	32.8	1.1	2.6	58.4	0.3	0.2	6.5
	B	40-60	10.4	10YR 4/4	PAO	7.5YR 4/4	C	bs	M	MD	21.8	23.4	54.8	1.1	2.6	60.2	0.7	0.4	6.3
21	Ap	0-23	21.4	5YR 5/5	RA	5YR 5/3	RA	bs	G	MD	72.7	26.0	1.3	0.8	2.6	69.3	4.5	3.5	5.7
	A	23-48	35.2	5YR 5/4	RA	2.5YR 2.5/4	RA	bs	MG	MD	76.7	20.0	3.3	0.8	2.6	68.4	4.4	3.3	6.3
	B	48-76	30.8	5YR 5/4	RA	5YR 2.5/4	RA	bs	G	MD	78.7	18.0	3.3	0.9	2.6	65.3	3.1	2.4	6.2

PAO: Pardo amarillento oscuro; PA: Pardo amarillento; C: Café; CMO: Café muy oscuro; co: Café oscuro; CRO: Café rojizo Oscuro; RA: rojo amarillento  
Estructura: F- Forma (g: granular, bs: Bloques subangulares); T- Tamaño (F: Finos, M: Medios; M: Moderados) y D- Desarrollo (DD: DEBIL; MD: Moderado; F: Fuerte).

### 8.3.2.3. Caracterización morfológica, física y química de Andosoles

Los Andosoles (INEGI, Ramos, 2008) ocupan el 36% del área de la cuenca (236.8 km<sup>2</sup>) abundan en la parte sur, suroeste, noreste y sureste, y solo una pequeña porción de ellos se distribuye en el cerro del Águila al norte de la cuenca. De acuerdo con las características ambientales y de manejo en los sitios muestreados se tienen 4 grupos: forestales conservados (FC), forestales perturbados (FP), agropecuarios sobre laderas medias (ALM) y sobre laderas bajas (ALB) (Figura 14, Cuadro 10 y 11).

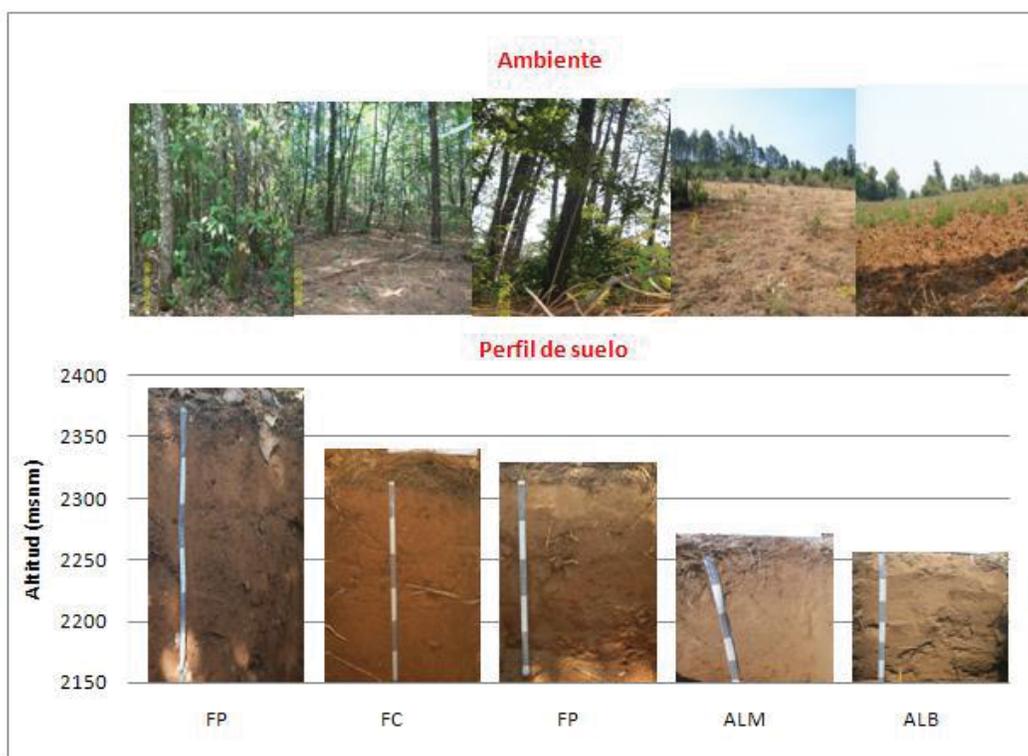


Figura 14. Distribución altitudinal y uso de los Andosoles en la cuenca de Coitzio.

#### Andosoles forestales conservados

En este grupo encontramos a los suelos de referencia (sitios 4, 10 y 13). Ubicados en altitudes mayores de 2350 m en cerros y ladera de cerro sobre basaltos y tobas basálticas, con pendientes mayores del 25%.; soportando una vegetación de *Pinus pseudostrobus*, *michoacana* y *teocote*; por arriba de los 3000 msnm se pueden observar algunos *Abies religiosa* y, por debajo de los 2300 metros se asocian con *Quercus* Sp.

Los suelos presentan epipedones de los tipos O<sub>1</sub>-O<sub>2</sub>-A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub>-A<sub>3</sub>-B. Se encuentran debajo de una superficie de material orgánico no alterado (10 cm espesor), el cual descansa sobre un horizonte A mayor de 100 cm de espesor con coloración pardo amarillento oscuro (valores de Munsell 10YR 3/4 y 4/4) en seco y café muy oscuro en húmedo (valores Munsell 7.5YR 2.5/3, 3/1 y 4/4); de estructura granular moderadamente desarrollada y textura franca en todo el perfil. El crecimiento radicular es evidente a lo largo de todo el perfil (100 cm), con una distribución de raíces abundante de tamaños pequeñas, medianas y gruesas con forme incrementa la profundidad.

Sus texturas son francas a franco limosas en los horizontes superficiales y franco arcillo limosas a franco arcilloso en los horizontes más profundos. El contenido de humedad en el momento de muestreo oscilo entre 43 y 65 %. La densidad aparente de estos suelos se encuentra entre 0.60 a 0.90 gcm<sup>-3</sup> característica de las propiedades andicas de estos suelo, y el volumen total de poros es muy alto (62-75 %). El contenido de Materia orgánica es alto (6.7 a 10.4 %) en los primeros 40 cm de espesor y disminuye con la profundidad (4% o menos). Los valores de pH en estos suelos se encuentran en intervalos considerados como moderadamente ácidos en todos los horizontes (5.1-5.8) y sólo el sitio 22 se presenta un pH fuertemente ácido de 4.4 a 4.7.

### **Andosoles forestales perturbados**

Estos suelos corresponden a los perfiles 1 y 6, ubicados en altitudes entre 2330 y 3900 m en ladera de cerro sobre basaltos y tobas basálticas, con pendientes que oscilan entre 15 y 25 %, soportando una vegetación de bosque de pino y pino-encino.

En general presentan una diferenciación bien marcada de sus horizontes genéticos O<sub>1</sub>-A-B, sin embargo sus horizontes orgánicos son poco diferenciados y el horizonte A tiene un promedio de 80 cm de espesor. Su estructura es granular en el horizonte superficial con coloraciones pardo amarillento oscuro (valores de Munsell 10YR 3/4 y 4/4) en seco y café muy oscuro en húmedo (valores Munsell 7.5YR 2.5/3, 3/1 y 4/4) y de textura franca, en el horizonte subsuperficial con bloques subangulares medios con coloraciones pardo rojizo (5YR 4/6) y textura franco arcillosa. El contenido de humedad en el momento de muestreo oscilo entre 31 y 43 %. La densidad aparente de estos suelos se encuentra entre 0.8 a 1.2 gcm<sup>-3</sup> y el volumen total de poros es alto (51 -67 %). El contenido de Materia orgánica oscila entre 4 y 7 %, el cual disminuye con la profundidad. Los valores de pH en estos suelos se

encuentran en intervalos considerados como moderadamente ácidos en todos los horizontes (5.3 a 5.9).

Estos suelos a pesar de poseer una cobertura forestal, presentan un nivel de degradación de las propiedades del suelo lo cual se evidencia por la reducción del espesor del horizonte O, la pérdida de materia orgánica y estructura del suelo y, principalmente por la compactación de los horizontes superficiales resultado del libre pastoreo y tránsito humano. El crecimiento radicular de raíces es limitado a una profundidad de 50 cm de las raíces..

### **Andosoles agropecuarios sobre laderas medias (ALM)**

Estos suelos se localizan sobre basaltos, ignimbritas y tobas basálticas, en altitudes entre los 2222 y 2345 msnm, con pendientes entre 10% y 25% en laderas de loma con vocación forestal de pino y encino, deforestadas y actualmente son cultivadas con maíz.

En general estos suelos no presentan la capa de material orgánico conservado (Horizonte O) con disminución del espesor del horizonte A.

El primer horizonte es de 40 cm de espesor presenta coloraciones pardo oscuros (valores de Munsell 7.5YR 3/4) de estructura bloques subangulares moderadamente desarrollados y de textura franco limosa, con moderado contenido de Pedregosidad (15%). La consistencia es blanda a ligeramente dura, en húmedo es untuosa y no se adhiere a los dedos; su densidad aparente oscila entre 0.8 y 0.9 g cm<sup>-3</sup>. Su porosidad total es alta (59 a 64%). El contenido de arcilla es menor de 25% en los primeros 40 cm y aumenta a más de 50% en el horizonte B rico en arcilla. El pH en este horizonte es ligeramente ácido (5.7 a 6.3). El contenido de materia orgánica por lo general es mayor de 4 % en los primeros 30 cm. Se puede observar un decrecimiento de raíces en abundancia y tamaño a la profundidad de 40 cm, en presencia del horizonte subsuperficial B, rico en arcilla.

Por debajo de los 40 cm de espesor se encuentra un horizonte B rico en arcilla (50 a 65%), el cual se caracteriza por coloraciones pardo rojizo oscuro (valores Munsell 5YR 3/3) en la mayor parte de su espesor, posiblemente por contenido de M.O bajo (0.8 a 3.1 %) con respecto a los Andosoles conservados. Su estructura es de bloques subangulares gruesos fuertemente desarrollados, son de consistencia ligeramente dura o muy dura; la presencia de raíces casi nula, dominado las de mayor tamaño. El pH en este horizonte aumenta a muy ligeramente ácido (6.7).

## **Andosoles agropecuarios sobre laderas bajas (ALB)**

Estos suelos se localizan sobre basaltos, ignimbritas y tobas basálticas, en altitudes entre los 2222 y 2345 msnm, con pendientes entre 5% y 10% en laderas de loma con vocación forestal de pino y encino, deforestadas y actualmente son cultivadas con maíz.

Los sitios 3, 8 y 12 son del tipo Ap-A con el horizonte A muy profundo (> 70 cm), con evidencia de acumulación de material erosionado proveniente de las partes altas. Estos suelos se caracterizan por presentar una coloración pardo amarillenta oscura (10 YR 4/4 y 5/4) y en húmedo café a café oscuro (7.5YR 2.5/2 y 7.5YR 3/3). Su estructura es de bloques subangulares medios. La consistencia es suelta en todo el espesor. La presencia de raíces y porosidad es visible hasta una profundidad de 30 cm aproximadamente. Se observan capas compactas conocidas como pisos de arado después de los 20 cm de profundidad, las cuales han limitado el crecimiento radicular.

El contenido de humedad en el momento de muestreo varía entre 8 y 35%. La densidad aparente es de 0.8 a 1.4 gcm<sup>-3</sup> y el volumen total de poros es alto (46 a 69%) en todo el espesor del perfil. En cuanto al contenido de materia orgánica, esta oscila entre 1.1 y 6.7 % disminuyendo con la profundidad. Los valores de pH en estos suelos se encuentran en intervalos considerados como moderadamente ácidos en todos los horizontes (5.3-5.9).

En estos suelos es evidente la formación de una estructura de bloques gruesos quizá por el laboreo del suelo, disminución del contenido de materia orgánica que da como resultado coloraciones mas claras a lo largo de todo el espesor con respecto del suelo conservado. También se aprecia una ganancia de espesor de los horizontes superficiales Ap por la acumulación de material de las partes altas en estos sitios, lo cual se corrobora por las acumulaciones en los pies de árbol cercanos a la zona. También es evidente el rompimiento de los agregados superficiales por el golpeteo del agua de lluvia, lo que forma un encostramiento y sellado de la superficie del suelo, que favorece el escurrimiento superficial.

#### 8.3.2.4. Dinámica de la degradación en Andosoles

El cambio de uso de suelo para fines agropecuarios en la cuenca de Cointzio ha favorecido cambios en las propiedades físicas, químicas y morfológicas de los suelos (Cuadro17).

Es evidente principalmente la pérdida de horizontes superficiales (O y A) y afloramiento de horizontes subsuperficiales y en algunos caso de suelos enterrados ricos en arcilla en zonas donde la pendiente es mayor del 10%. La pérdida de los horizontes superficiales favorece la disminución de los contenidos de materia orgánica, esto se observa por los contenidos tan altos (9.4%) y coloraciones mas oscuras en zonas conservadas que aun mantienen sus horizontes orgánicos, seguido de las zonas perturbadas (6.7%) y en el caso de los suelos de uso agropecuario disminuyen dichos valores en las laderas bajas (5.1 %) y laderas medias (3.7 %) en donde es más evidente la pérdida de horizontes superficiales y muy a menudo aflora el horizonte B ricos en arcilla y muy bajos contenidos de materia orgánica (0.5%) y con las coloraciones mas claras. De acuerdo con Russell (1989) los horizontes superficiales de suelos sometidos al laboreo, suelen contener entre 1 y 3% de Materia orgánica, con contenidos significativamente menores que aquellos que conservan su vegetación original.

Consecuencia de lo anterior se presenta pérdida de la estructura granular característica de los sitios forestales conservados, este tipo de estructura granular regula la cantidad y el tiempo de infiltración de agua en el suelo, al mismo tiempo que provee al suelo de espacios porosos adecuados para el intercambio de gases (Parra *et al*, 2002); caso contrario, las zonas agropecuarias con una estructura de bloques subangulares medianos y gruesos en las laderas medias y finos y medios en las laderas bajas, este tipo de estructura de acuerdo con Hernández *et al* (2006) es evidencia de un proceso de degradación de la estructura en los horizontes superficiales, la cual es causada por el arado continuo en el suelo que rompe los agregados y dispersa mecánicamente los agentes cementantes del suelo, por lo que se desagregan los gránulos en el suelo, se compactan y forman pseudoagregados de mayor tamaño.

Se observan diferencias estadísticamente significativas (0.05) entre el contenido de materia orgánica de los suelos forestales y los agropecuarios (Figura 15). De manera general los suelos de uso agrícola presentan valores bajos de materia orgánica, resultado del arado y puesta en cultivo que tienden a disminuir de forma paulatina dicho contenido, al acelerarse el proceso de mineralización, de forma tal que la materia orgánica preexistente disminuye en forma exponencial en el tiempo (Porta, et al 2006 y Fernández y Leiva, 2002).

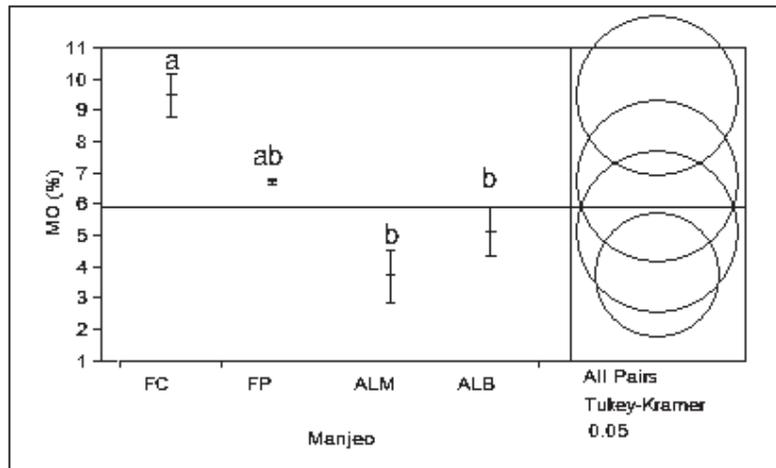


Figura 15. Distribución del contenido de materia orgánica en el horizonte A de suelos con diferente manejo. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha=0.05$ )

Resultado de lo anterior se observó un incremento en la densidad aparente de los suelos a medida que el ecosistema es más perturbado por manejo y uso del suelo. Las zonas conservadas presentaron un valor promedio de  $0.77 \text{ gcm}^{-3}$ , seguido de las perturbadas  $0.86 \text{ gcm}^{-3}$  y agropecuarias sobre laderas medias  $1.0 \text{ gcm}^{-3}$  para finalizar con las zonas agropecuarias sobre laderas bajas que presentan los valores más altos ( $1.12 \text{ gcm}^{-3}$ ) los cuales se deben a la compactación causada por el tráfico de maquinaria agrícola y sobrepastoreo (Fig 16). Estos valores altos indican un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, aireación reducida, y cambios indeseables en la función hidrológica como la reducción de la infiltración del agua. (FAO, 2009).

En relación con la porosidad del suelo, se observan valores entre 56.24 y 70.3 %, valores que Kaurichev (1984. En: Jaramillo, 2004) clasifica como valores adecuados (55 a 70%).

Al interpretar la porosidad del suelo, debe tenerse en cuenta que si predominan los macroporos, se va a presentar un drenaje y una aireación excesivos y una baja capacidad de almacenamiento de agua, en tanto que, si predomina la microporosidad, se presentarán problemas de drenaje y aireación, y aumentará la posibilidad de compactación del suelo y de producción de compuestos tóxicos para la planta por efecto de las condiciones reductoras que pueden generarse (Figura 17).

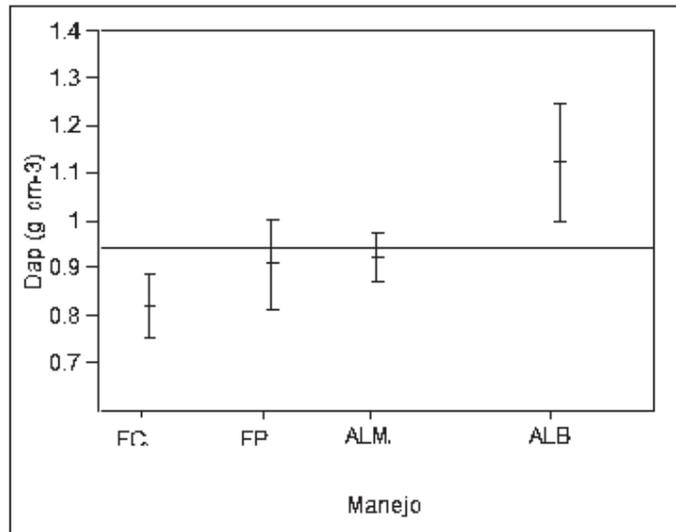


Figura 16. Densidad aparente del horizonte superficial A en Andosoles con diferente manejo (ALBA1: Agropecuario sobre ladera baja; ALMA1: Agropecuario sobre ladera media; FCA1: Forestal conservado y FPA: Forestal perturbado) de la Cuenca de Coitizio.

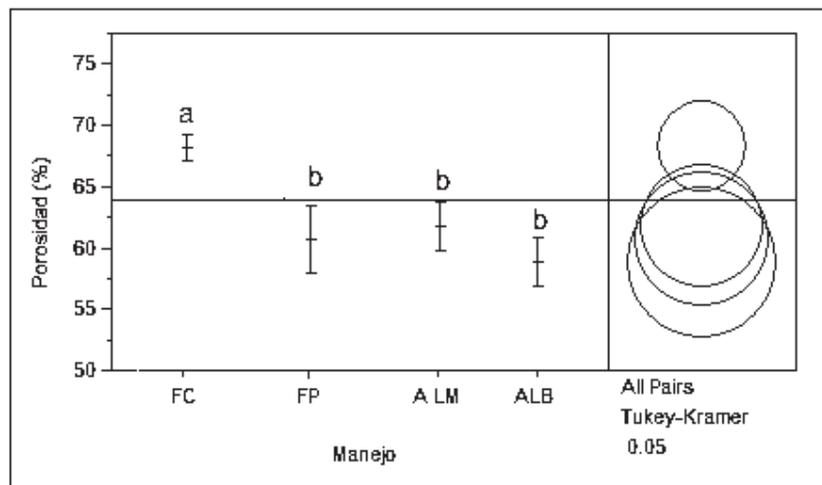


Figura 17. Distribución de la porosidad total del suelo en el horizonte superficial de suelos con diferente manejo. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha=0.05$ ).

Los resultados sobre la compactación del suelo son el promedio de la resistencia obtenida a través de las distintas profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm) (Cuadro 12).

Cuadro 12. Resultados promedio de la resistencia a la penetración en zonas forestales y agrícolas

Perfil	Profundidad	Humedad	RP	Interpretación (SSDS, 2004)
		%	Mpa	
Forestal	0-10	57.83	0,44	Baja
	10-20	56.14	0,56	Baja
	20-30	64.76	0,53	Baja
Forestal perturbado	0-10	43,85	1,11	Moderada
	10-20	43,75	1,04	Moderada
	20-30	40,57	0,86	Baja
Agropecuario LM	0-10	42.5	1,38	Moderada
	10-20	33.84	1,59	Moderada
	20-30	43.59	1,51	Moderada
Agropecuario LB	0-10	43.85	1,52	Moderada
	10-20	43.75	1,79	Moderada
	20-30	40.57	1,96	Fuerte

En general se observa que los suelos forestales conservados no presentan problemas de compactación ya que sus valores son bajos (0.5 a 0.67) de acuerdo con los valores reportados por la Soil Survey Division Staff. (2004), sin embargo en los forestales perturbados se pueden observar capas compactas en los primeros 10 cm, lo cual es el resultado de la introducción del ganado en estas zonas (Cuadro 18, Fig 18).



Figura 18. Introducción de ganado en zonas forestales perturbadas.

Los Andosoles con uso agropecuario muestran una tendencia a compactarse en los primeros 20 cm, comparado con los suelos forestales, y tienen valores que pueden ser limitativos para el crecimiento radicular ( $>2\text{Mpa}$  Porta et al, 2006 y Cazorla y Juárez, 2005), lo cual se evidencia por el patrón de distribución de las raíces de manera horizontal. Lo anterior favorece significativamente el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo y nutrientes (Medina *et al.*, 2008). La formación de pisos de arado o capas compactas en los suelos agrícolas se debe al uso de maquinaria agrícola y pisoteo del ganado (De león et al, 1998 Rangeon et al, 2008, Porta et al, 2006, Cazorla y Juárez, 2005). En las zonas de laderas medias el pisoteo del ganado en condiciones de elevada humedad favorece la formación de capas compactas superficiales, no teniendo problemas con la maquinaria ya que en estas áreas es nula o casi nula su introducción y de acuerdo con los dueños de las parcelas aun utilizan la yunta para la preparación, siembra y cosecha del maíz. Por otro lado los sitios de laderas bajas presentan los valores mas altos de compactación del suelo (1.52 a 1.96 Mpa) conforme incrementa la profundidad en estos casos el resultado de la compactación de los suelos es la suma de la ganadería y el uso de maquinaria. Porta (2006) reporta que el laboreo a una misma profundidad año tras año provoca la compactación de la base, dando lugar a la formación de una suela de labor o piso de arado. Las diferencias dadas entre manejos y profundidades son estadísticamente significativas ( $\alpha= 0.05$ , anexo 1) al compararlas con los suelos forestales conservados (Fig. 19).

En cuanto al pH del suelo se puede apreciar que los valores son en los suelos moderadamente ácidos con excepción de los suelos de uso agropecuario (LM), en donde los valores del pH, aumentan (6.17 – 6.21), especialmente en los suelos sobre laderas medias donde existe un horizonte con alto contenido de arcillas, las cuales favorecen el incremento del pH en el suelo, debido al intercambio catiónico que se da en estas partículas. De acuerdo con la SSDS (1993) los suelos se encuentran dentro del grupo de los suelos ácidos con pH menores de 6.5. (Cuadro 13). Trabajos realizados en Andosoles en la cuenca de Cointzio mostraron pH semejantes a los encontrados en este trabajo (Ramos, 2008; Cortés 2010; Alanís 2011).

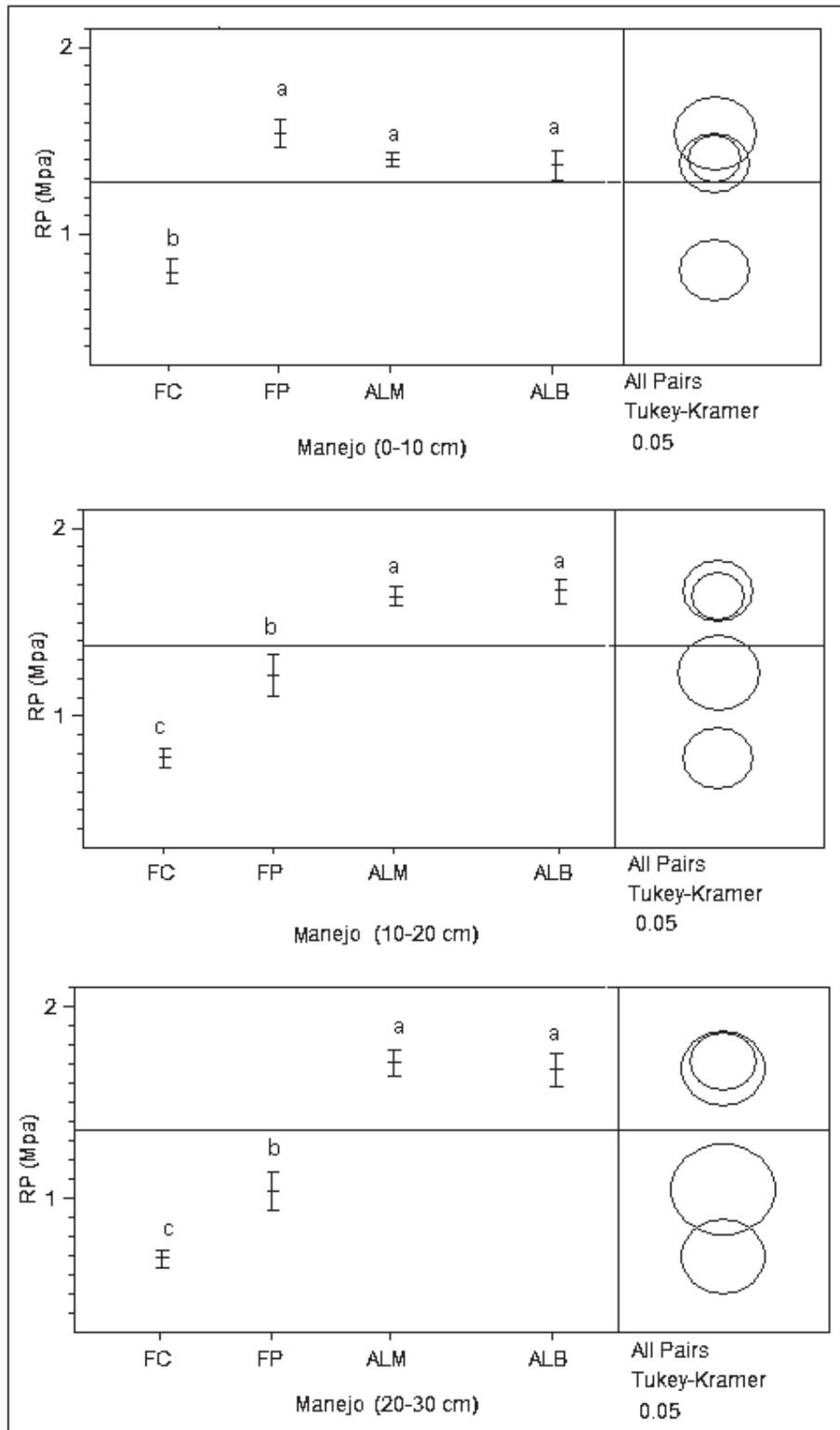


Figura 19. Distribución de la resistencia a la penetración en tres profundidades para Andosoles con diferentes sistemas de manejo (ALB: agropecuario sobre ladera media; ALM: Agropecuario sobre ladera baja; FC: Forestal conservado; FP: Forestal perturbado; Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ( $\alpha=0.05$ ).

Cuadro 13. Cambios en las propiedades indicadoras de degradación en Andosoles.

Horizontes	Profundidad	Color	Estructura		Textura	D. ap	D. real	Porosidad	M.O	pH
			Forma	Tamaño						
		cm			%	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%
<b>Forestal conservado</b>										
O	0-10	Capa de material orgánico								
A	10-30	PAO Granular	Finos	M.D	Franco	0,8	2,5	67,2	9,4	5,73
A1	30-60	PAO Granular	Medios	M.D	Franco	0,8	2,6	65,7	5,7	5,5
A2	60-80	PAO BS	Medios	M.D	Franco	0,8	2,6	64,2	2,5	5,5
<b>Forestal perturbado</b>										
O	0-3	Capa de material orgánico								
A	3-20	PAO Granular	Finos	M.D	Franco	1	2,5	62,1	6,7	5,5
A1	20-38	PAO Granular	Medios	M.D	Franco	0,9	2,6	64,3	4,8	5,6
A2	38-80	PAO BS	Medios	M.D	Franco	0,9	2,6	66,5	2,9	5,6
<b>Agropecuario sobre ladera media</b>										
Ap	0-20	PA	BS	F.D	Franco	0,9	2,6	64,5	3,7	5,85
A	20-40	PA	BS	F.D	Franco arcillo arenoso	0,9	2,6	62,2	2,9	6,17
B	40-60	PAO	BS	M.D	Franco arcilloso	1,1	2,6	64,8	1,2	6,21
<b>Agropecuario sobre ladera baja</b>										
Ap	0-20	PA	BS	F.D	Franco	1,1	2,6	56,4	5,1	5,9
A	20-40	PAO	BS	F.D	Franco arcillo arenoso	1,1	2,6	56,2	3,1	6
A	40-60	PAO	BS	M.D	Franco arcillo arenoso	1,1	2,6	56,8	1,1	6,1

PAO: Pardo amarillento oscuro; PA: Pardo amarillento; Estructura: F- Forma (g: granular, bs: Bloques subangulares); T- Tamaño (F: Finos, M: Medios; M: Moderados) y Desarrollo (DD: DEBIL; MD: Moderado; F: Fuerte). D.ap: Densidad aparente; D. real: Densidad real; M.O: Materia orgánica.

### 8.3.3. Descripción de campo y laboratorio en Acrisoles forestales y agropecuarios

#### 8.3.3.1. Acrisoles forestales

#### Descripción del Sitio 7

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha: Octubre 2010  
 Localidad: El Cerrito Población más próxima: Atécuaro  
 Coordenadas: 19°34'47.46" N / 101° 12'0.26"W Altitud: 2283 m  
 Material originario: Qal  
 Posición fisiográfica: Tierra alta Geoforma: Ladera alta  
 Exposición: Sur  
 Microrrelieve: Accidentado Pendiente: Fuerte (25 %)  
 Grado de desarrollo: Bien desarrollado  
 Drenaje: Superficial (Donador)  
 Pedregosidad: Nula  
 Erosión: Tipo: Cárcavas Grado: Fuerte  
 Profundidad del suelo: > de 2 m  
 Uso actual: Forestal  
 Vegetación: Bosque de Encino  
 Factores nocivos: Deforestación



#### Descripción del Perfil 7



<b>O<sub>1</sub></b>	<b>3-7 cm.</b> Capa de hojarasca
<b>O<sub>2</sub></b>	<b>3-0 cm.</b> Capa de materia orgánica en proceso de descomposición.
<b>A</b>	<b>0-18 cm.</b> Color en pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/2), textura al tacto arcillo limosa, estructura bloques grandes, moderadamente desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo firme; no plástico y pegajoso; permeabilidad moderada; poros grandes (< 5mm), abundantes; raíces delgadas (1-3 mm), comunes; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color.
<b>AB</b>	<b>18-35 cm.</b> Color en seco café (10YR 4/3), y en húmedo gris muy oscuro (7.5YR 3/1), textura al tacto limo arenosa, estructura bloques subangulares medianos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo firme; ligeramente plástico y ligeramente pegajoso; permeabilidad moderada; poros finos (1-3 mm), pocos; raíces medias (2-5 mm), abundantes; reacción nula al HCL y fuerte al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color y dureza
<b>B</b>	<b>35-60cm.</b> Color en seco café muy fuerte (7.5YR 5/6), y en húmedo café rojizo oscuro (5YR 3/4), textura al tacto arcillosa, estructura bloques subangulares medianos, moderadamente desarrollada; muy húmedo; consistencia muy friable; ligeramente plástico y ligeramente pegajoso; permeabilidad moderada; macroporos (> 5 mm), abundantes o bien túneles de escarabajos; raíces gruesas (10-30 mm), pocas; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> .

## Descripción del Sitio 16

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha: Octubre 2010  
 Localidad: Potrerillos Población más próxima: Potrerillos  
 Coordenadas: 19°30'43.3"N / 101°24'27.2"W  
 Altitud: 2198 msnm  
 Material originario: Tobas basálticas y andesíticas (Qb)  
 Posición fisiográfica: Tierra alta Geoforma: Ladera alta  
 Exposición: Norte Microrrelieve: Accidentado  
 Pendiente: Fuerte (30%)  
 Grado de desarrollo: Bien desarrollado  
 Pedregosidad: Pocas piedras amorfas de tamaño mediano  
 Erosión tipo: Cárcavas y torrenteras Grado: severa  
 Superficie: 40%  
 Drenaje superficial: Donador  
 Vegetación: Encinares  
 Uso actual: Forestal y pastoreo  
 Factores nocivos: Pastoreo  
 Observaciones: Madrigueras de tlacuache



## Descripción del Perfil 16



<b>O<sub>1</sub></b>	<b>0-5 cm.</b> Hojarasca en proceso de descomposición
<b>O<sub>2</sub></b>	<b>5-7 cm.</b> Capa de materia orgánica descompuesta mezclada con material mineral
<b>A</b>	<b>7-25 cm.</b> Color en café (10 YR 4/3), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/3); textura al tacto limosa, estructura de bloques subangulares, gruesos, bien desarrollados; consistencia en seco dura; permeabilidad moderada; poros comunes, medianos; raíces delgadas y medias, abundantes; transición al siguiente horizonte ondulada, marcada por color; presencia de gallinas ciegas.
<b>AB</b>	<b>25-45 cm.</b> Color en pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/4); textura al tacto arcillosa, estructura de bloques subangulares, gruesos, bien desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia muy firme; permeabilidad moderada; poros comunes, medianos y gruesos; raíces medias, pocas; transición al siguiente horizonte irregular, marcada por dureza. Presencia de manganeso entre los agregados y cutanes de arcilla entre los poros
<b>Bt<sub>1</sub></b>	<b>45-60 cm.</b> Color en pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café rojizo oscuro (7.5YR 3/4); textura al tacto arcillosa, estructura de bloques subangulares, gruesos, bien desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia friable; permeabilidad moderada; pocos poros, gruesos; raíces medias, pocas. Cutanes de arcilla en los poros.

## Descripción del Sitio 18

Descrito por: Christian Prat y Arcelia Cabrera González.  
 Fecha: Mayo del 2005  
 Localidad: Umécuaro, Municipio de Morelia Michoacán  
 Coordenadas: 19°31'16.1" N / 101° 16'50.6 "W  
 Altitud: 2420 m  
 Posición fisiográfica: Terraza alta      Geoforma: Ladera alta  
 Microrrelieve: Ondulado      Pendiente: Fuerte (25%)  
 Drenaje: Superficial (donador)      Vegetación: Encinar



## Descripción del Perfil 18



<b>O<sub>1</sub></b>	<b>0-4 cm.</b> Capa de materia orgánica sin descomponer
<b>O<sub>2</sub></b>	<b>4-7 cm.</b> Capa de materia orgánica descompuesta, mezclada con material mineral.
<b>AO</b>	<b>7-15 cm.</b> Color en seco café (7.5YR 4/2), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/2), textura migajón limo arcilloso, estructura granular fina, débilmente desarrollada; permeabilidad muy rápida; muy numerosos poros; raíces abundantes, finas; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte marcada por color.
<b>2A</b>	<b>15-35 cm.</b> Color en seco café (7.5YR 4/4), y en húmedo café muy oscuro (5YR 3/3), textura migajón limo arcilloso, estructura granular fina, débilmente desarrollada; permeabilidad muy rápida; numerosos poros; raíces muy finas, comunes, reacción nula al HCL y leve al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; transición al siguiente horizonte marcada por color y dureza.
<b>2Bw</b>	<b>(15-35) (40-50) cm.</b> Color en seco café fuerte (7.5YR 4/6), y en húmedo café oscuro (7.5YR 3/4); textura migajón limo arcilloso, estructura bloques poliédricos medios, débilmente desarrollada; permeabilidad moderada; numerosos poros finos; raíces finas, abundantes; horizontal y verticalmente, reacción nula al HCL y leve al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; revestimientos muy finos de materia Orgánica; transición al siguiente horizonte ondulado irregular y difuso, marcado por color y dureza.
<b>2Btw</b>	<b>40-50 (110-115) cm.</b> Color en seco café fuerte (5YR 4/6), y en húmedo café rojizo oscuro (2.5YR3/4), textura migajón limo arcilloso, estructura bloques poliédricos, débilmente desarrollada; permeabilidad moderada; pocos poros muy finos; raíces finas, comunes entre las grietas; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; presencia de manchas de Mn y Fe en un 10%; con revestimientos de cutanes y materia orgánica; transición al siguiente horizonte muy marcado, por color

## Descripción del sitio 19

Descrito por: Ernesto Raya García, Eric Sánchez Vázquez y José Urincho

Fecha: Septiembre del 2010 Localidad: Paraje Umécuaro

Población más próxima: Umécuaro

Municipio: Morelia Estado: Michoacán

Coordenadas: 19° 31'58.70" N / 101° 14'55.66" W

Altitud: 2188 m

Posición fisiográfica: terraza baja Geoforma: Ladera alta

Microrrelieve: ligeramente ondulado

Pendiente: 15%

Material parental: basalto Vegetación nativa: pino-encino

Grado de desarrollo del perfil: Fuertemente desarrollado

Drenaje superficial: sitio donador

Observaciones: En el último horizonte se encontró tepetate.



## Descripción del perfil 19



O <sub>1</sub>
AO
A
B

**0-5 cm.** Capa de materia orgánica sin descomponer.

**5-30 cm.** Color en húmedo café rojizo oscuro 2.5 YR 2.5/4; textura limo arcillosa; estructura de bloques gruesos moderadamente desarrollados; consistencia suelta; pocos poros; raíces finas y comunes, drenaje moderado; transición al siguiente horizonte marcada por color. Presencia de lombrices, orugas, arañas y ciempiés.

**30- 46 cm.** Color en húmedo café rojizo oscuro 2.5 YR 3/4; textura limo arcillosa; estructura bloques medianos moderadamente desarrollados; consistencia friable; piedras medias de 5 a 10 cm, forma angular; pocos poros; raíces pocas y delgadas; drenaje moderado; transición ondulada marcada por dureza.

**46-70cm.** Color en húmedo café rojizo oscuro 2.5 YR 2.5/4; textura limo arcillosa, estructura de bloques medianos moderadamente desarrollados; consistencia muy friable; pocos poros; raíces medias, raras; drenaje lento.

Cuadro 14. Características físicas y químicas de Acrisoles forestales de la Cuenca de Cointzio Michoacán.

No. Sitio	Horiz	Espesor	H	Color		Estructura			Textura			Dap	Dreal	Porosidad	MO	C.O	pH	CIC		
				Seco	Húmedo	F	T	D	Arena	Limo	Arcilla								%	g/cm <sup>3</sup>
7	A	0-18	31.6	10YR 5/4	PA	7.5YR 2.5/2	CMO	bs	G	MD	38.0	36.6	25.4	1.4	2.6	45.3	6.3	3.7	5.2	31.2
7	AB	18-35	38.1	10YR 4/3	C	7.5YR 3/1	GMO	bs	M	MD	37.4	39.2	23.4	1.2	2.6	54.4	6.0	3.5	5.6	27.5
7	B	35-60	39.5	7.5YR 5/6	MMF	5YR 3/4	CRO	bs	M	MD	28.0	30.6	41.4	1.3	2.6	51.5	0.8	0.4	6.2	25.7
16	A	jul-25	39.5	10YR 4/3	C	7.5YR 2.5/3	CMO	bs	G	FD	29.8	35.4	34.8	1.5	2.5	39.5	10.5	6.2	5.9	33.7
16	AB	25-45	31.6	10YR 4/4	PAO	7.5YR 3/4	CO	bs	G	FD	27.8	27.4	44.8	1.6	2.6	38.4	1.3	0.8	6.4	24.0
16	Bt	45-60	32.5	10YR 5/4	PAO	5YR 3/4	CRO	bs	G	FD	27.8	23.4	48.8	1.4	2.6	46.9	0.8	0.5	5.4	17.2
18	A	jul-15	37.5	7.5YR 4/2	C	7.5YR 2.5/2	C	g	F	DD	4.5	75.7	19.8	1.1	2.5	56.6	7.8	4.5	5.8	33.3
18	A	15-35	38.9	7.5YR 4/4	C	5YR 3/3	CMO	g	F	DD	15.4	53.6	31.0	1.1	2.6	57.4	4.6	2.6	5.5	27.3
18	B	35-50	41.2	7.5YR 4/6	C	7.5YR 3/4	C	bs	M	MD	8.0	19.3	72.7	1.2	2.6	55.4	3.2	1.8	6.2	26.0
18	B	50-115	44.2	7.5YR 4/6	C	7.5YR 3/4	C	bs	M	MD	2.8	29.6	67.6	1.6	2.6	40.5	0.9	0.6	6.7	21.1
19	A	may-30	57.6	2.5YR 2.5/4	CRO	5YR 3/3	CMO	bs	G	MD	2.2	69.8	28.0	0.8	2.6	68.6	3.1	1.7	5.5	31.2
19	A	30-46	38.7	2.5YR 3/4	CRO	5YR 3/3	CMO	bs	G	MD	2.2	28.0	69.8	1.0	2.6	61.1	3.8	2.0	6.0	27.5
19	B	46-70	38.1	2.5YR 2.5/4	CRO	7.5YR 3/4	C	bs	M	MD	10.2	24.0	65.8	1.0	2.6	62.7	4.1	2.2	5.8	25.7

PAO: Pardo amarillento oscuro; PA: Pardo amarillento; C: Café; CMO: Café muy obscuro; co: Café obscuro; CRO: Café rojizo Oscuro

Estructura: F- Forma (g: granular, bs: Bloques subangulares); T- Tamaño (F: Finos, M: Medios; M: Moderados) y D- Desarrollo (DD: DEBIL; MD: Moderado; F: Fuerte).

### 8.3.3.2. Acrisoles agropecuarios

#### Descripción del Sitio 5

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha: Junio 2010  
 Localidad: Atécuaro  
 Coordenadas: 19°34'44.0" N / 101°11'19.4"W Altitud: 2272 m  
 Material originario: Qal  
 Posición fisiográfica: Tierra alta Geoforma: Ladera alta  
 Microrrelieve: Inclinado Pendiente: Fuerte (35 %)  
 Drenaje: Superficial (Donador)  
 Uso actual: Huerto de traspatio (11 años)  
 Cultivo: Arboles de durazno  
 Riego: Sitios de temporal  
 Uso pasado: Cultivo de maíz, frijol, calabaza y chilacayote, preparado de la tierra con yunta  
 Influencia humana: Alta  
 Factores nocivos: Deforestación, sequedad, presencia de cuevas de tuzas en los primeros 10 cm.  
 Observaciones: Grietas de 37 cm de largo por 8 cm de ancho



#### Descripción del Perfil 5



<b>B</b>	<p><b>0-14 cm.</b> Color en seco rojo amarillento (5 YR 4/6), y en húmedo café rojizo oscuro (2.5YR 2.5/4), textura al tacto arcillosa, estructura bloques subangulares muy gruesos, fuertemente desarrollada; consistencia en seco muy dura; muy plástico y muy adherente; permeabilidad moderada; poros finos (3-5 mm) abundantes; raíces finas (&lt; 2mm), abundantes; reacción nula al HCL y ligera al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; revestimientos de arcilla en los poros; transición al siguiente horizonte abrupta y plana, marcada por dureza.</p>
<b>B<sub>1</sub></b>	<p><b>14-30 cm.</b> Color en seco rojo (2.5YR 4/6), y en húmedo café rojizo oscuro (2.5YR 2.5/4), textura al tacto arcillosa, estructura bloques subangulares muy gruesos, fuertemente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo muy firme; muy plástico y muy adherente; permeabilidad lenta; poros esponjosos (3-5 mm) por larvas de insectos, escasos; raíces finas (&lt; 2mm), frecuentes; reacción nula al HCL y ligera al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; revestimientos de arcilla en los poros; transición al siguiente horizonte abrupta y plana, marcada por dureza.</p>
<b>B<sub>2</sub></b>	<p><b>30-60 cm.</b> Color en seco café oscuro (2.5YR 3/6), y en húmedo café rojizo oscuro (2.5YR 2.5/4), textura al tacto arcillosa, estructura bloques subangulares gruesos, fuertemente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia en húmedo muy firme; muy plástico y muy adherente; permeabilidad lenta; poros esponjosos (3-5 mm), escasos; raíces muy finas, escasas; revestimientos de arcilla en los poros; reacción nula al HCL y al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; revestimientos de arcilla en los poros.</p>

## Descripción del Sitio 9

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha: Octubre 2010  
 Localidad: Cerrito Población más próxima: Atécuaro  
 Coordenadas: 19°34'37.33"N / 101° 11'51.42"W  
 Altitud: 2283 m  
 Material originario: Qal  
 Posición fisiográfica: Tierra baja Geoforma: Ladera media  
 Exposición: Norte Microrrelieve: Ondulado  
 Pendiente: Fuerte (10 %)  
 Grado de desarrollo: Bien desarrollado  
 Drenaje: Superficial (Donador)  
 Uso actual: Agrícola en uso  
 Tiempo de manejo: >35 años  
 Cultivo: Maíz con calabaza  
 Maquinaria agrícola utilizada: Tractor  
 Uso pasado: Cultivo de maíz, frijol, calabaza y chilacayote, preparado de la tierra con yunta  
 Influencia humana: Alta  
 Factores nocivos: Presencia de cuevas de tuzas en los primeros 10 cm.



## Descripción del Perfil 9



<b>B</b>	<p><b>0-12 cm.</b> Color en seco pardo amarillento (10 YR 5/4), y en húmedo café muy oscuro (7.5YR 2.5/2), textura al tacto limo arcillosa, estructura de bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia firme; plástico y pegajoso; permeabilidad moderada; poros finos (1-3mm), moderados; raíces muy finas (&lt; 1mm), abundantes; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte clara y plana, marcada por dureza. Lombrices abundantes.</p>
<b>B<sub>1</sub></b>	<p><b>12-30 cm.</b> Color en seco café muy fuerte (7.5YR 5/6), y en húmedo café muy fuerte (7.5YR 4/6), textura al tacto limosa, estructura bloques subangulares muy gruesos, fuertemente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia firme; plástico y pegajoso; permeabilidad moderada; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces finas (1-2 mm), escasas; reacción nula al HCL y moderada al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; transición al siguiente horizonte clara y plana, marcada por dureza. Lombrices moderadas</p>
<b>B<sub>2</sub></b>	<p><b>30-60cm.</b> Color en seco café muy fuerte (7.5YR 5/6), y en húmedo café muy fuerte (7.5YR 4/6), textura al tacto arcillosa, estructura bloques subangulares muy gruesos, fuertemente desarrollada; ligeramente húmedo; consistencia extremadamente firme; plástico y pegajoso; permeabilidad lenta; poros finos (1-3 mm), moderados; raíces muy finas (&lt; 1mm), escasas; reacción nula al HCL y al H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Cutanes de arcilla entre los poros.</p>

## Descripción del Sitio 17

Descrito por: Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
Fecha: Octubre 2010  
Localidad: La Maiza  
Población más próxima: La Maiza  
Coordenadas: 19°30'26.4"N / 101°23'21.3"W  
Altitud: 2145 msnm  
Material originario: Tobas basálticas y andesíticas (Qb)  
Posición fisiográfica: Tierra baja Geofoma: planicie  
Exposición: Noroeste Microrrelieve: Ligeramente ondulado  
Pendiente: Ligera (5%)  
Drenaje superficial: Sitio receptor  
Uso actual: Agropecuario de temporal  
Herramientas de manejo: Tractor  
Cultivos. Maíz y calabaza recientemente cosechados  
Factores nocivos: Perfil hecho sobre un suelo recién cosechado, el suelo presenta una sequedad extrema y sobrepastoreo



## Descripción del Perfil 17



**Bt**

**0-30 cm.** Color en café muy fuerte (7.5 YR 4/6), y en húmedo café rojizo oscuro (5YR 3/4); textura al tacto arcillosa, estructura de bloques subangulares, gruesos, bien desarrollados; consistencia en seco dura; permeabilidad lenta; pocos poros finos; raíces finas, comunes; transición al siguiente horizonte horizontal, marcada por dureza. Cutanes de arcilla en los poros.

**Bt<sub>1</sub>**

**30-60 cm.** Color en café muy fuerte (7.5 YR 4/6), y en húmedo café rojizo oscuro (5YR 3/4); textura al tacto arcillosa, estructura de bloques subangulares, gruesos, bien desarrollados; ligeramente húmedo; consistencia muy firme; permeabilidad lenta; pocos poros gruesos ; raíces finas, raras; cutanes de arcilla en los poros.

## Descripción del Sitio 20

Descrito por: Arcelia Cabrera González, Christian Prat y Adriana Gabriela Ramos Ramírez.  
 Fecha Mayo del 2005  
 Localización: Poblado de Umécuaro Mpio de Morelia Michoacán.  
 Coordenadas: 19°31'20.6"N / 101°15'50" W Altitud: 2240 m  
 Posición fisiográfica: Terraza alta Geoforma: Ladera baja O-E  
 Microrrelieve: ligeramente ondulado Pendiente Moderada (15%)  
 Erosión: Tipo cárcavas Grado: leve  
 Drenaje: Superficial (Donador)  
 Vegetación: Matorral



Uso del suelo: Agrícola en descanso y pastoreo  
 Observaciones: Perfil hecho sobre una tierra en descanso, el suelo presenta una sequedad extrema, sobrepastoreo, y un alto grado de deforestación en los alrededores.

## Descripción del Perfil 20



<b>Ap</b>	<b>0-11 cm.</b> Color en seco café oscuro (7.5YR 3/4) y en húmedo rojo amarillento (5YR 3/3), textura franco arcilloso; estructura bloques subangulares grandes, fuertemente desarrollados; consistencia dura, permeabilidad moderada, 10% de poros finos; raíces comunes, finas y delgadas; reacción nula al HCL y al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; presencia de óxidos de hierro entre los agregados; transición al siguiente horizonte abrupta y ondulada por color, y dureza.
<b>B</b>	<b>11-30 cm.</b> Color en seco rojo amarillento (5YR 4/6), y en húmedo café rojizo oscuro (5YR 3/4), textura migajón arcilloso; estructura bloques subangulares grandes; fuertemente desarrollados; consistencia dura, permeabilidad moderada; 10% de poros finos; finamente fisurado con raíces comunes, finas; reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; con presencia de óxido de Fe y carbono entre los agregados; películas de arcilla; límite abrupto, ondulado por dureza.
<b>Bt</b>	<b>30-45 cm.</b> Color en seco rojo amarillento (5YR4/6), en húmedo café rojizo oscuro (5YR3/4), textura migajón arcilloso, estructura bloques subangulares muy grandes, fuertemente desarrollados; consistencia dura; permeabilidad moderada; 10% de poros finos; con pocas raíces finas, reacción nula al HCL y moderada al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; con presencia de manchas manganeso, óxidos de Fe y cutanes de arcilla entre los agregados del suelo; transición al siguiente horizonte abrupto y ondulado por dureza.
<b>Bt2</b>	<b>45-70 cm.</b> Color en seco rojo amarillento (5YR 4/6), y en húmedo café rojizo oscuro (5YR 3/4); textura migajón limoso; estructura bloques subangulares gruesos, moderadamente desarrollados; consistencia dura; permeabilidad moderada; 10% de poros finos; con raíces comunes, finas y delgadas; reacción nula al HCL y leve al H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ; con presencia de manchas de manganeso, óxidos de Fe y cutanes de arcilla; transición al siguiente horizonte muy marcado por tamaño de la estructura.

Cuadro 15. Características físicas y químicas de Acrisoles agropecuarios de la Cuenca de Coitzio Michoacán.

No. Sitio	Horiz	Espesor	H	Color		Estructura			Textura		Dap	Dreal	Porosidad	MO	C.O	pH	CIC		
				Seco	Húmedo	F	T	D	Arena	Limo								Arcilla	
			%						%	%	g/cm <sup>3</sup>	g/cm <sup>3</sup>	%	%	%	1	2.5	%	
5	B	0-14	29.0	5 YR 4/6	RA 2.5YR 2.5/4	CRO	bs	MG	FD	14.8	16.0	69.2	1.3	2.6	52.4	1.5	0.9	4.8	23.5
5	B	14-30	32.2	2.5 YR 4/6	R 2.5YR 2.5/4	CRO	bs	MG	FD	18.8	16.0	65.2	1.5	2.6	42.8	0.7	0.4	5.1	22.1
5	B	30-60	28.1	2.5YR 3/6	RO 2.5YR 2.5/4	CRO	bs	G	FD	24.8	8.0	67.2	1.4	2.6	46.2	0.7	0.4	5.0	20.4
9	B	0-12	22.1	10YR 5/4	PA 7.5YR 2.5/2	CMO	bs	G	MD	56.0	30.6	13.4	1.3	2.6	48.5	5.9	3.5	6.4	22.1
9	B	dic-30	21.0	7.5YR 5/6	CO 7.5YR 4/6	CMO	bs	G	MD	32.0	28.6	39.4	1.3	2.6	52.0	1.6	0.9	6.5	19.8
9	B	30-60	20.6	7.5YR 5/6	CO 7.5YR 4/6	CMO	bs	MG	FD	38.0	18.6	43.4	1.2	2.6	56.5	0.5	0.3	6.4	16.5
17	Bt	0-30	12.2	7.5YR 4/6	CO 5YR 3/4	CRO	bs	MG	FD	19.8	11.4	68.8	1.6	2.6	39.4	0.7	0.4	5.6	20.3
17	Bt	30-60	16.2	7.5YR 4/6	CO 5YR 3/4	CRO	bs	M	MD	19.8	11.4	68.8	1.7	2.6	36.5	0.4	0.2	6.0	16.5
20	Ap	0-11	25.1	7.5YR 3/4	CO 5YR 3/3	RA	bs	G	FD	5.2	55.7	39.1	1.5	2.6	42.4	5.6	3.2	5.8	26.3
20	B	nov-30	28.1	5 YR 4/6	RA 5YR 3/4	CRO	bs	G	FD	2.8	21.7	75.5	1.5	2.6	41.3	1.8	1.0	5.7	20.7
20	Bt	30-45	16.5	5 YR 4/6	RA 5YR 3/4	CRO	bs	MG	FD	2.8	23.0	74.3	1.4	2.6	48.0	1.0	0.6	5.5	18.3
20	Bt	45-70	12.3	5 YR 4/6	RA 5YR 3/4	CRO	bs	MG	FD	2.6	19.1	78.3	1.5	2.6	42.4	0.8	0.5	5.4	17.7

PAO: Pardo amarillento oscuro; PA: Pardo amarillento; C: Café; CMO: Café muy oscuro; co: Café oscuro; CRO: Café rojizo Oscuro  
 Estructura: F- Forma (g: granular, bs: Bloques subangulares); T- Tamaño (F: Finos, M: Medios; M: Moderados) y D- Desarrollo (DD: DEBIL; MD: Moderado; F: Fuerte).

### 8.3.3.3. Caracterización morfológica, física y química de los Acrisoles

En general los Acrisoles se localizan en la parte centro de la cuenca, entre los 2000 y 2900 msnm, en zonas de laderas medias y bajas con pendientes entre 5 y 10%, el material predominante es la toba basáltica, ignimbritas y depósitos lacustres (Fig. 20). En su mayoría soportan cultivos de temporal (59.4%) y bosques mixtos de pino-encino (37%). Presentan la mayor cantidad de cárcavas presentes en la cuenca (Medina, 2008). En estos suelos es característica la presencia de un horizonte B argílico, como resultado de la movilización de coloides minerales que permiten el desarrollo de un horizonte de acumulación de arcillas migradas de los horizontes superiores. Esta depositación de arcillas acompañadas de sesquióxidos y materia orgánica tiene como resultado el impedimento de la percolación del agua, el taponamiento de los poros finos y la floculación por acción del hierro de las arcillas negativamente cargadas. Su porcentaje de saturación de bases es menor de 50%.

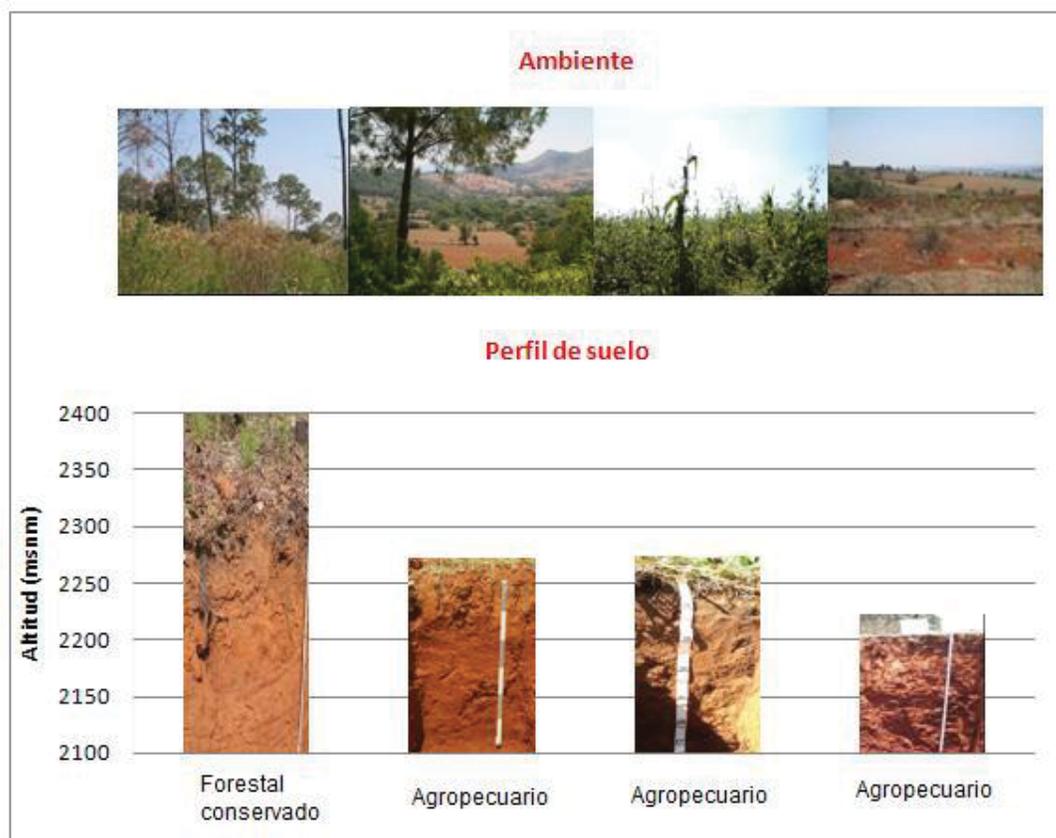


Figura 20. Distribución altitudinal y uso de los Acrisoles en la cuenca de Cointzio.

### **Acrisoles forestales**

Estos suelos corresponden a los sitios 7, 16, 18 y 19 (Cuadro 14) son del tipo O<sub>1</sub>-O<sub>2</sub>-A-Bt ó O-A-Bt. Se encuentran cubiertos por una capa de hojarasca de 5 cm de espesor aproximadamente. El color de los horizontes A es variante desde los pardos amarillento (valores Munsell 10YR 5/4) a los cafés (10YR 4/3) en seco. Su estructura es granular y de bloques subangulares finos, son de consistencia ligeramente dura; la presencia de porosidad y de raíces es visible hasta una profundidad de 60 cm. Su drenaje va de rápido a moderado por la presencia de la capa de materia orgánica y el contenido de arcilla. Su densidad aparente oscila entre 0.8 a 1.5 g cm<sup>-3</sup>, con una porosidad total que varía entre 38 y 68 %, con valores de materia orgánica altos (6.3 a 10.5%) con excepción del perfil 19 en el que los valores de materia orgánica son bajos (3.1%). Sus pH son moderadamente ácidos (5.5) y dominan los contenidos de limo (35 y 75%).

El color de los horizontes subsuperficial B está entre los pardos rojizos oscuros (valores Munsell 5YR 3/2.5) y cafés (10YR 4/3) en seco. Su estructura es de bloques subangulares medios moderada y fuertemente desarrollados, son de consistencia ligeramente dura; la presencia de porosidad y de raíces es visible hasta una profundidad de 60 cm. Su drenaje interno se ve limitado por los altos contenidos de arcilla. Su densidad aparente oscila entre 1.0 y 1.6 g cm<sup>-3</sup>, con una porosidad total que varía entre 40 y 68%, con valores de materia orgánica bajos (0.9 a 3.8%). Sus pH varían moderadamente ácidos (5.4) a ligeramente ácidos (6.7). En este horizonte dominan los contenidos de arcilla oscilando entre 41 y 72%.

### **Acrisoles agropecuarios**

Los sitios 5, 9, 17 y 20 (Cuadro 15), no tienen el horizonte orgánico (O), por lo tanto son del tipo Ap-B-Bt ó B-Bt. El color de los suelos es rojizo claro (valores Munsell 2.5YR 4/2) y rojo amarillento (valores Munsell 5YR 4/6) en la mayor parte de su espesor. Su estructura es de bloques subangulares gruesos fuertemente desarrollados, son de consistencia muy dura; la presencia de porosidad y de raíces es visible hasta una profundidad de 15 cm. Los altos contenidos de arcilla a lo largo del perfil, limitan el movimiento del agua y la distribución radicular. Al igual que en los suelos forestales encontramos revestimientos de arcilla entre los poros de los agregados, lo cual indica la formación in situ de los suelos (Hernández., 2006). La densidad aparente de estos suelos es elevada (1.2 a 1.7 g cm<sup>-3</sup>), con una porosidad total que varía entre 36 y 52%. Los horizontes superficiales presentan valores de materia orgánica muy bajos (< 1.8%) en los perfiles 5 y 7 y alto (5.9 en los sitios 9 y 20). Sus

pH en general son moderadamente ácidos (5 y 6.5). En estos suelos dominan los contenidos de arcilla altos (39 y 78%). En los horizontes subsuperficiales es evidente el incremento de Arcilla (+30%) lo cual es característico de estos suelos (WRB, 2006)

#### **8.3.3.4. Dinámica de la degradación de los Acrisoles**

El cambio de uso del suelo y la pérdida de vegetación natural ha provocado la decapitación de los horizontes orgánicos (O) y la pérdida total o parcial de los horizontes superficiales (A) con el siguiente afloramiento de los horizontes ricos en Arcilla. A pesar de que la presencia de mayores porcentajes de arcillas favorece la retención de agua y nutrientes en el suelo, su aireación suele ser deficiente, por lo que resulta una desventaja para el cultivo (Thompson y Troeh, 2002). Estos suelos requieren la presencia de materia orgánica que ayude a agregar las partículas finas y formen agregados que favorezcan la circulación del agua y aireación del suelo (Cuadro 16)

Se observa una pérdida de la estructura granular del suelo presente en los suelos forestales y la formación de una estructura de bloques subangulares, los cuales aumentan de tamaño con forme la profundidad y el uso. Hernández et al (2006) mencionan que con el cultivo intensivo se degrada la estructura del suelo, se rompen los microagregados y aumenta el factor de dispersión. La arcilla dispersa rellena los poros del suelo y poco a poco se van formando bloques más gruesos. Lo cual se evidencia por la dominancia de bloques mayores de 2 mm en los suelos agropecuarios (Cuadro 16). Por lo general estos bloques de gran tamaño son extremadamente duros, lo cual dificulta las labores de labranza.

En los suelos forestales la densidad es baja ( $1.1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) lo que concuerda con De la Rosa (2008) quien menciona que los horizontes superficiales de estructura granular en suelos arcillosos presentan valores entre  $1.1$  a  $1.3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ . En el caso del horizonte superficial B presenta valores entre  $1.22$  y  $1.30 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ , este valor esta relacionado con el incremento del contenido de arcilla y la disminución del contenido de Materia orgánica, conforme incrementa la profundidad, lo cual se da de manera natural y favorece la disminución del espacio poroso (53.5 a 51.5 %).

En el caso de los suelos agropecuarios la densidad aparente es elevada desde la superficie ( $1.37 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), la cual aumenta con la profundidad, presentando sus valores máximos ( $1.68 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) a los 30 cm (Horizonte B2), lo cual siguiere que algunos de estos suelos están formando pisos de arado, los cuales se forman en valores de  $1.6 \text{ gcm}^{-3}$  (Thompson y Troeh

2002). Por lo tanto se ve restringido el crecimiento radicular y resulta en niveles muy bajos de movimiento del agua.

La porosidad total en las zonas forestales presenta valores entre 44 y 57 % en el horizonte superficial y entre 49 y 56% en el subsuperficial, no presenta variación importante, en el horizonte superficial se ve favorecida por una estructura granular; en el horizonte B se forman bloques subangulares finos y medios, de acuerdo con Parra (*et al*, 2002) estas características pueden favorecer la formación de macro y microporos aun con altos contenidos de arcilla.

Para los suelos agropecuarios disminuye la porosidad total del suelo en un rango de 36 a 56 % lo cual se debe a que se forman capas mas densas de material mineral, en estos suelos aumentan los microporos y no existen macroporos suficientes para permitir una velocidad aceptable del paso de agua a través del suelo, en consecuencia, en periodos más lluviosos, el agua de percolación que llegue hasta el se verá frenada en su movimiento y descenso, aumentaran los escurrimientos superficiales (Parra *et al*, 2002).

Una buena cobertura del suelo favorece la porosidad del suelo, sin embargo se ha demostrado que el pastoreo sobre los suelos forestales y agropecuarios tiene una influencia marcada sobre la infiltración del agua de lluvia, ya que la degradación por pisoteo da lugar a la compactación y muy baja porosidad en el suelo.

El contenido de materia orgánica promedio en los suelos forestales es alto en el horizonte subsuperficial (6.39 por ciento) y bajo en el horizonte B (1.76 por ciento), observando una tendencia a disminuir conforme incrementa la profundidad; En el caso de los sitios agropecuarios donde de se han perdido los horizontes superficiales el contenido de materia orgánica es moderado (2.12 por ciento) en el horizonte B; de acuerdo con Lavelle *et al* (1993) los contenidos de materia orgánica en los horizontes B cultivados se ven favorecidos por el contenido de arcilla, debido al recubrimiento de los compuestos carbonados y la formación de complejos organominerales que dificultan su descomposición por los microorganismos.

El pH promedio en estos suelos es moderadamente ácido en el Horizonte A y B de los suelos forestales, sin embargo se muestra un aumento con la profundidad ( 5.5 a 6.3), en el caso de los suelos agropecuarios se observa que el pH es ligeramente ácido, este

incremento en el pH se puede deber a la incorporación de estiércol de cerdo y aplicación de fertilizantes químicos.

La CIC media fue de 30.6 meq\*100g para el horizonte superficial llegando a 20.7 meq\*100g el en Horizonte B, el cual presentó un valor menor con respecto al horizonte B de los suelos cultivados (25.08 meq\*100g ), la disminución de la CIC se debe a la mayor actividad deforestadora que ah provocado la pérdida de los horizontes superficiales en los suelos agropecuarios y con ello la pérdida del contenido de materia orgánica, como consecuencia la disminución de la capacidad de intercambio catiónico y la disminución en la disponibilidad de nutrientes para los cultivos.

La capacidad de intercambio catiónico depende de la cantidad y tipo de arcillas y de la materia orgánica del suelo, de acuerdo con López (2009) la CIC del suelo disminuye con la profundidad y con el contenido de materia orgánica, en la figura 21 se observa que existe una correlación positiva entre la CIC y la materia orgánica ( $R^2= 0.69$ ), esto se puede explicar debido a que la materia orgánica especialmente el humus es eficaz en el intercambio de cationes al igual que los minerales arcillosos los cuales tienen una CIC entre 30 y 100 meq/100g dependiendo del tipo de arcilla, mientras que el humus puede llegar al 300 meq/100g, a pesar de que este constituya solo el 5% del peso del suelo, hace una contribución significativa en la CIC (Lommis y Connor, 2002).

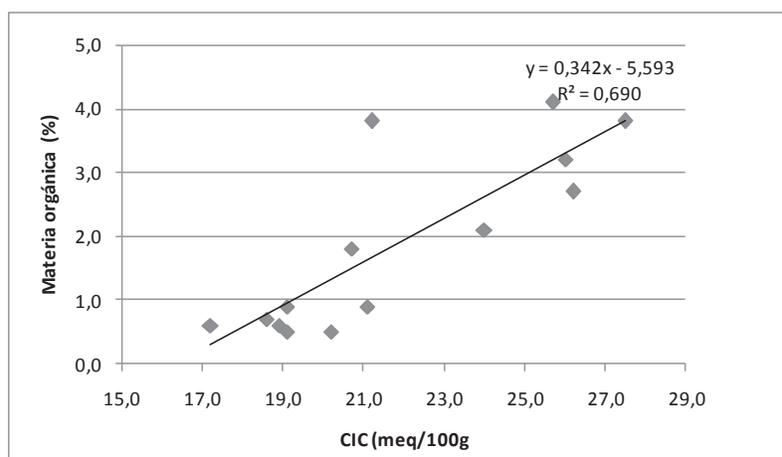


Figura 21. Análisis de regresión y coeficiente de correlación entre el porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g).

Cuadro 16. Cambios en las propiedades indicadoras de degradación en Acrisoles

Horizontes	Profundidad cm	Color	Estructura		Textura	D. ap g/cm <sup>3</sup>	D. real g/cm <sup>3</sup>	Porosidad %	M.O %	pH	CIC
			Forma	Tamaño							
O	5-0	Capa de material orgánico									
A	0-28	PA	Granular	Finos	M	1.15	2.56	54.8	6.06	5.55	30,7
AB	28-46	CF	Granular	Finos	M	1.39	2.59	46.39	3.65	5.99	25,7
B	46-71	CF	BS	Medios	M	1.41	2.62	46.37	1.49	6.23	24,6
Bt	71-86	PAO	BS	Gruesos	F	1.40	2.63	46.93	0.82	5.42	17,2
<b>Forestal conservado</b>											
<b>Agropecuario</b>											
Ap	0-11	CO	BS	Medios	F	1.35	2.63	48.54	1.12	5.58	26,3
B	11-41	RO	BS	Gruesos	F	1.54	2.63	41.57	0.71	5.63	20,72
Bt	41-70	RA	BS	Muy gruesos	F	1.35	2.63	48.54	1.12	5.58	18,2

PAO: Pardo amarillento oscuro; PA: Pardo amarillento; CF: Café fuerte; CO: Café oscuro; RO: Rojo oscuro; RA: Rojo amarillento  
 Estructura: F- Forma (BS: Bloques subangulares); Desarrollo (M: Moderado; F: Fuerte). D.Ap: Densidad aparente; D. real: Densidad real; M.O: Materia orgánica

## 8.4. Degradación de los suelos en la cuenca de Cointzio

A partir del análisis de las propiedades indicadoras de degradación se presenta el análisis del efecto del cambio del uso del suelo sobre las características de los suelos, en la figura 22 se observa la distribución topográfica de los suelos.

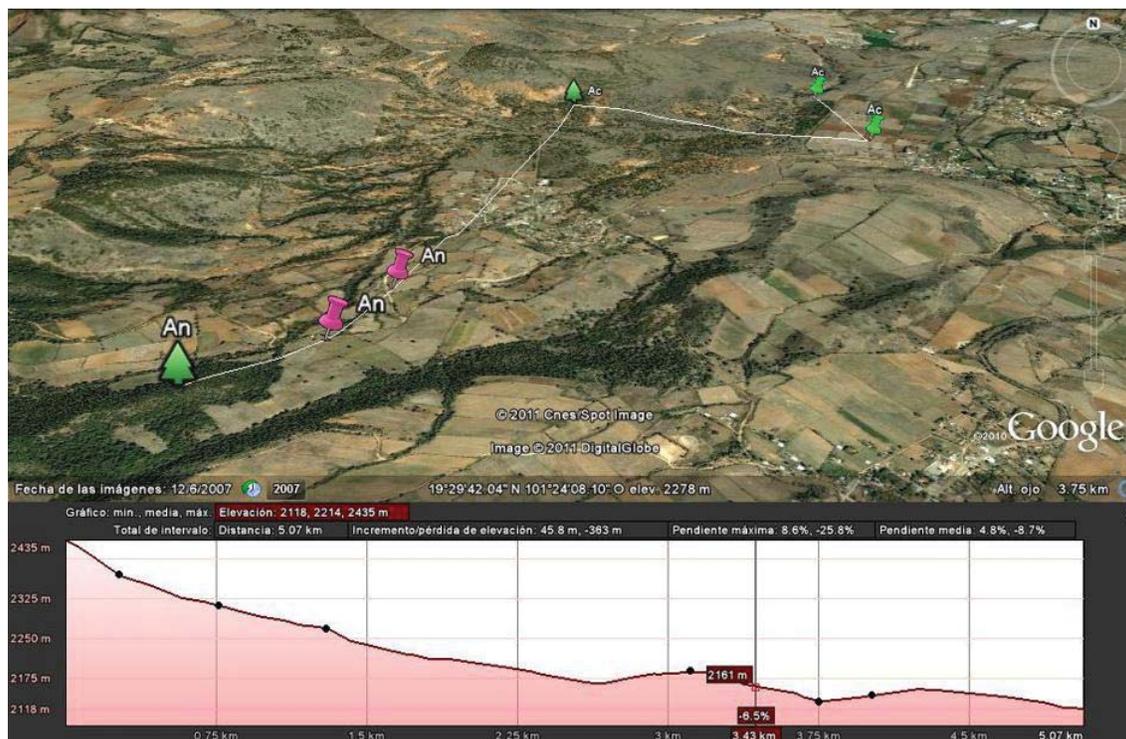


Figura 22. Distribución altitudinal de los suelos en la cuenca de Cointzio.

Los Andosoles forestales conservados se encuentran en las partes más altas de la cuenca de Cointzio ( $> 2350$ msnm). Estos suelos presentan las características más favorables debido a los importantes contenidos de materia orgánica. El humus que resulta de su descomposición contribuye a fortalecer la estabilidad de la estructura, aumentar la porosidad, facilitar los intercambios de gases, agua y nutrientes, y prevenir posibles procesos de degradación del suelo. Los altos contenidos de materia orgánica, pH ligeramente ácidos, CIC alta sumado a buenas condiciones físicas del suelo, alta porosidad, la baja densidad aparente, la textura franca, la profundidad, son características muy favorables a la germinación de las semillas y al buen enraizamiento de las plantas. Dichas características están estrechamente relacionadas con una estructura que permite trabajar fácilmente el suelo y lo hace resistente a la erosión, por su contenido de materia orgánica. La calidad del suelo resultante es alta en los suelos forestales conservados,

por lo que se considera que el suelo ofrece un servicio ambiental como sustrato para el buen crecimiento y desarrollo de las plantas.

A medida que disminuye la elevación encontramos los suelos forestales perturbados, los cuales a pesar de presentar su cobertura vegetal original, se puede apreciar que el hecho de estar más cercanos a las zonas agropecuarias, permite que los animales crucen los límites y se metan en estas zonas, lo cual ha contribuido a la compactación de los suelos en la superficie, lo cual causa una disminución de los espacios porosos con la consecuente pérdida de infiltración y aumento de los escurrimientos superficiales que derivan en erosión hídrica del suelo.

Las zonas agropecuarias con más de 50 años de manejo por lo general se encuentran en zonas de menor altitud en donde se suaviza la pendiente; en estas zonas se observa que los suelos sufren degradación física, química y erosión hídrica con pérdida de horizontes. El proceso de degradación se inicia con la pérdida de cobertura vegetal y pérdida paulatina de los horizontes superficiales, reflejada por la disminución espesor y/o pérdida de horizontes superficiales que dejan al descubierto horizontes subsuperficiales ricos en arcilla (B) sobretodo cuando la pendiente es mayor del 8%; estos horizontes argílicos crean una barrera para la circulación de agua, oxígeno y nutrientes en el suelo. Por otro lado la disminución en el contenido de materia orgánica induce a la degradación de la estructura del suelo la cual queda expuesta a agentes externos como impacto de las gotas de lluvia, el pisoteo animal y el uso de maquinaria agrícola, dicho cambio se da de estructura granular que al igual que los suelos forestales brinda condiciones favorables para las plantas hacia bloques subangulares de diferentes tamaños producto del rompimiento de los agregados y reacomodo de las partículas del suelo, esto provoca un aumento de la densidad aparente, disminución de los espacios porosos en el suelo, y finalmente se forman capas compacta después de los 30 cm de profundidad lo cual implica una limitante para el crecimiento radicular y la distribución del agua y nutrientes en el suelo. La formación de capas compactas se ve mas afectada durante el año de descanso de las tierras, debido a que en esta temporada se introduce al ganado, sobre todo en épocas de mayor humedad, cuando hay mayor disponibilidad de pastos, condiciones en las cuales las propiedades del suelo son más susceptibles a la degradación por compactación. A la par de la formación de capas compactas subsuperficiales se le suma la formación de costras superficiales por el rompimiento de los agregados del suelo con lo cual aumentan los escurrimientos superficiales y con ello las pérdidas de humus y arcilla y por consiguiente la disminución de nutrientes en el suelo, evidente por la disminución de la capacidad de intercambio catiónico.

Es evidente en zonas agropecuarias sobre laderas bajas en donde la pendiente es menor del 6%, un enriquecimiento de material mineral y orgánico proveniente de las zonas pendiente arriba, las cuales como ya se mencionó han perdido sus horizontes superficiales, lo que crea un efecto de pérdida y ganancias, sin embargo en estas zonas por la facilidad de introducción de la maquinaria agrícola, también se dan procesos de compactación del suelo. Los Andosoles forestales conservados cambian paulatinamente conforme disminuye la altitud a Acrisoles, estos últimos se pueden presentar como a) afloramientos por la pérdida de el suelo superficial (Andosol) a causa del cambio de uso con fines agropecuarios o b) por la distribución natural de estos en zonas bajas de lomeríos.

La degradación de los Acrisoles se da al igual que en los Andosoles por el cambio de uso del suelo y pérdida de los horizontes superficiales O y A. La pérdida de los horizontes superficiales y el laboreo degradan la estructura del suelo, proceso que Hernández *et al* (2006) describe de la siguiente manera: con el cultivo intensivo se rompen los microagregados y aumenta el contenido de arcilla dispersa la cual rellena los poros del suelo y poco a poco se van formando bloques más gruesos y se forman capas compactas por debajo de la capa arable, evidente por el aumento de la densidad aparente del suelo (1.37 a 1.45 g/cm<sup>-3</sup>) (Fig. 24); los altos contenidos de arcilla (> 68%) y la formación de capas compactas favorecen los escurrimientos superficiales y la pérdida de material orgánico y nutrientes en el suelo, lo que se evidencia por la disminución de la materia orgánica y la capacidad de intercambio de los suelos agropecuarios con respecto a los de uso forestal, lo cual se manifiesta finalmente con la reducida fertilidad de estos suelos.



Figura 23. Formación de estructura gruesa (a) y (b) pisos de arado por debajo de la capa arable (Perfil 17, Porterillos, Michoacán)

## IX. CONCLUSIONES

1. En la cuenca de Cointzio la mayoría de las parcelas tienen más de 50 años de cambio de uso del suelo, por lo que no fue posible evaluar la dinámica de la degradación a través de diferentes periodos de tiempo.
2. Con más de 50 años de manejo agropecuario el sistema de año y vez ha provocado erosión y procesos de degradación física y química en el suelo.
3. En esta zona los suelos con mayor representatividad son los Andosoles y Acrisoles, ocupando el 35.5 y 33.5 % respectivamente, de la superficie total de la cuenca.
4. Los parámetros indicadores que más se adecuaron para medir la degradación del suelo fueron presencia o ausencia de horizontes superficiales, estructura, densidad aparente, resistencia a la penetración, costras superficiales, exposición de raíces de los árboles, contenido de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico.
5. Se establecieron 4 grupos de niveles de degradación en Andosoles: forestal conservado, forestal perturbado, agropecuarios sobre laderas medias y agropecuarios sobre laderas bajas.
6. Se evidencia una compactación de los suelos que se atribuye al pisoteo del ganado en todos los casos, la introducción de maquinaria agrícola y posiblemente su uso en temporada inadecuada (suelo demasiado húmedo).
7. La pérdida de horizontes superficiales por erosión hídrica en los Andosoles agropecuarios, deja al descubierto horizontes ricos en arcilla pertenecientes a suelos enterrados denominados Acrisoles.
8. Los Acrisoles forestales presentan problemas de compactación superficial por el pastoreo de los animales, por su parte los sitios agropecuarios presentan problemas de degradación química y erosión, evidenciando pérdida de horizontes orgánicos y minerales, compactación subsuperficial y encostramiento por el golpeteo de las gotas de lluvia, lo que aumenta los escurrimientos superficiales que provocan la pérdida de nutrientes del suelo y formación de cárcavas.

## **X. RECOMENDACIONES**

Para reducir los efectos de la degradación en suelos de uso agropecuario es importante reducir el índice de agostadero, lo cual se considera la causa principal de la compactación y erosión en esta área. Esto es posible mediante la asignación de usos compatibles de los suelos, dentro de los cuales en la zona el agave se postula como una buena alternativa rentable. También es conveniente el uso de labranza de conservación con adición de enmiendas con residuos orgánicos y rotación de cultivos.

## XI. REFERENCIAS

- AFES, 2008. Référentiel pédologique. Quae, Paris, France, 406 pp.
- Arriola M. I.A.J. 2007. Evaluación de calidad de suelo en la cuenca de libres-oriental. Tesis Doctoral. Colegio de Ingeniería Ambiental. FIQ. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Asio B. V., j. Reinhold., F. Perez., I. A. Navarrete., y S. M. Abit Jr. 2009. A review of soil degradation in the Philippines. *Annals of Tropical Research*. 31(2): 69-94.
- Astier C., M. Mass., J. B. Etchevers. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, septiembre-octubre, 605-620.
- Bautista. C. A., J. B. Etchevers., R.F. del Castillo., C. Gutiérrez. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2): 90-97.
- Barber, R.G. y Thomas, D.B. 1981. Infiltration, surface runoff and soil loss from high intensity simulated rainfall in Kenya. FAO Research Contract No. RP/HQ 1977-3/ AGL. Faculty of Agriculture, University of Nairobi, Kenya.
- Bravo. E. M; 2007. Degradación y Rehabilitación de suelos en la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán; Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Michoacán. pp. 14.
- Bedolla. O. C., A. Cabrera. G., C. Prat. Y L. Medina. O. 2007. Dinámica de Erosión de una cárcava en la Cuenca de Cuitzeo Michoacán, México. En Simposio: Acciones y resultados para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. p 88
- Bocco. G., Mendoza y O. Maser. 2001. La dinámica del cambio de uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*. 44:18-38
- Boul S.W., Hole F.D., y McCracken R.J. 1991. Génesis y Clasificación se Suelos. Editorial Trillas S.A. de C.V, México, D.F. 527p.
- Blum, W.E.H. 1998. basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. In: Lal R, Blum WEH (eds) *Methods for Assessment of Soil Degradation, Advances in Soil Science*. crc Press, boca raton. Pp. 1-16.
- Ceja. M. M. C., 2008. Degradación de los suelos y pobreza en México. *Economía Informa*. Número 350. Pesquisias Variopinto. Facultad de Economía. UNAM
- Contreras H. J. R., J. C. Jiménez., V. L. Osorio A. y E. Cruz C. 2005. Fertilización nitrogenada, propiedades físicas del suelo y análisis energético de maíz bajo

- labranza de conservación y tradicional en la Mixteca Oaxaqueña. P. 109-142. In Sánchez-Brito, C. et al. (Ed). Avances de investigación en agricultura sostenible III Bases técnicas para la construcción de indicadores biofísicos de sostenibilidad. INIFAP-CENAPROS, Morelia, Michoacán, México.
- Cotler H. (Compiladora.). 2004. Manejo integral de cuencas hídricas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental. *Instituto Nacional de Ecología*, México.
- Cuanalo C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo. 3ª. ed. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Domínguez. M. y Gómez-Tagle R. A. 2007. Evaluación de los grados de Erosión presentes en los diferentes usos del suelo en la Cuenca de la presa de Cointzio, Mpio de Morelia, Michoacán México. En Simposio: Acciones y resultados para el desarrollo sostenible de la Cuenca del Lago de Cuitzeo, Michoacán. P 69
- Gómez-Tagle R. A., F. M. Domínguez. y Gómez-Tagle Ch. A. 2007. Relación entre la estructura de la red hidrológica y el impacto del ganado en la cuenca de Cointzio, Mich.
- Duvert C., Gratiot Nicolas, Anguiano-Valencia R., Nemery J., Mendoza M. E., Carlon-Allende T., Prat Christian, Esteves Michel. Baseflow control on sediment flux connectivity : insights from a nested catchment study in Central Mexico. *Catena*, 2011, 87 (1), p. 129-140.
- Echavarría. C. F. G., A. Serna. P., R. Bañuelo. V., A. Salinas. G., M. J. Flores. N., R. Gutiérrez. L. 2007. Degradación física de los suelos de pastizal bajo pastoreo continuo en el Altiplano de Zacatecas. Folleto Científico Num.11. INIFAP. pp.43.
- Ellies. A. 1999. Cambios estructurales y distribución de tensiones en suelos sujetos al tránsito de maquinaria. *Bosques*. Vol. 20, No. 1, p.37-45. ISSN-0304-8799.
- Espinoza; Y. 2004. Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. *Rev. Fac. Agron.* vol.21, no.2, p.126-141. ISSN 0378-7818.
- Fernández Ales, R. y Leiva Morales, M. J. 2002. Ecología para la agricultura. Mundi-Prensa. Madrid. 225 pp.
- FAO-PNUMA-UNESCO (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización de las Naciones para el Medio Ambiente (UNESCO). Roma, Italia.
- Fitz Patrick, E.A. 1987. Suelos su formación, clasificación y distribución. Compañía. Editorial CONTENC.V. Calz. De Tlalpan Núm. 4620, México 22, DF 430p.

- Foth H.D. 1987. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. Compañía editorial Continental, S.A. de C.V. Calz. De Tlalpan número 4620, México 22, D.F. 433p
- Forsythe Warren, 1980. Física de Suelo, manual de laboratorio. Editorial II CA San José Costa Rica. 212 pp.
- Fuentes. P. M., B. Govaerts., J. Etchevers B., F. de León G., y K. D. Sayre. 2005. Efectos de la labranza en algunas características del suelo y en el rendimiento de los cultivos después de 14 años. P. 77-107. In Sánchez-Brito, C. et al. (Ed). Avances de investigación en agricultura sostenible III Bases técnicas para la construcción de indicadores biofísicos de sostenibilidad. INIFAP-CENAPROS, Morelia, Michoacán, México.
- FAO-UNESCO (1970). Soil map of the world 1970 legend. 1:5000 000 Vol I. Paris.
- FAO. 1994. Erosión de suelos en América Latina. Suelos y Aguas. p. 33-52.
- FAO-PNUMA 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. UNESCO. Roma. 80 p.
- FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. Cuarta Edición. Roma. 99 Pp.
- Gliski, J. Y Lipie, J . 1990. Soil Physical Condition y Plant Ruots. C. R. C. Presa Inc. Florida, 250 pp.
- Hernández. J. A. F., Morell. M. O., Ascanio. Y., Borges. Y M., Morales 2006. Cambios globales de los suelos Ferralíticos rojos lixiviados de la provincia La Habana. In. Cultivos tropicales. Vol. 27, no. 2. p 41-50.
- INEGI, 2001. Carta de vegetación primaria potencial (escala 1: 1 000 000) México.
- ISRIC 1995. Procedimientos para análisis de suelos. pp. 1-145. In: L. P. van Reeuwijk (ed). Procedures for Soil Analysis. Traducción de Ma. Del C. Gutiérrez C., C.
- Kemper, W. D. 1965. Aggregate Stability. Methods of Soil Analyses Agronomy No. 9. Acad. Press. N.Y. U.S.A.
- Kohnke, H. 1968. Soil physics. McGraw Hill, New York. 224 p
- MACBETH DIVISION OF KOLLMORGEN CORPORATION. (1975). Munsell Colour Chart. Kollmorgen Corporation: Baltimore.
- Lal, R. 2001. soil degradation by erosion. Land Degradation and Development 12: 519-539.
- Lavelle P. Blanchart E, Martin A, Martin S, Spain A, Tourain F, Barois I, Schaefer R. (1993). A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. Biotropica 25(2): 130-150 pp.
- LWMP. 1992. Main Final Report. Crop production, rainfall, runoff and availability of soil moisture in semi-arid Botswana. (eds.: D. Harris, G. Fry, S.T. Miller and A. Pain). Sebele, Botswana, SACCAR/NRI.

- López E. M., M. Mendoza y G. Bocco. 2004. Cambio de cobertura vegetal y uso de terreno en la ciudad de Morelia y sus alrededores. En Garduño M. V. (ed), Contribuciones a la Geología e Impacto Ambiental de la Región de Morelia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Dpto. Geología. Pp. 106-115.
- Lommis R, R. d, j. Connor. 2002. Ecología de cultivos. Productividad y manejo de sistemas agrarios. Mundi-prensa. Madrid. 195-197 pp.
- Martínez-Trinidad, S. Cotler, H., Etchevers-Barra, J. D., Ordaz-Chaparro, Víctor M., León-González, F. de. 2008. Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. Terra Latinoamericana [en línea] 2008, 26 (Octubre-Diciembre) .
- Medina. J. M., V. H. Volke-Haller., J. González. Ríos., A. Galvis. Spindola., M. J. Santiago Cruz., J. I. Cortés. Flores. 2006. Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en Luvisoles del estado de Campeche. Universidad y Ciencia. Pp.175-189.
- Medina O. L. E. 2002. Erosión hídrica y transporte de sedimentos en la Microcuenca de Atécuaro, Mich. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología, UMSNH. Morelia, Mich.
- Medina. O. L. E. 2006. Pérdidas de suelo, agua y nutrientes en parcelas experimentales con sistemas agrícolas de año y vez y alternativos en un Acrisol de Michoacán. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Instituto de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Montecillo, México. pp91.
- Mendoza, M., López, E., Geneletti, D., Salinas, V. and Nenapace, G. 2006. "Segundo Informe Técnico. Uso de técnicas de análisis multicriterio para la priorización de cuencas para la conservación, restauración y el aprovechamiento de los recursos naturales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo." 52 pp.
- Michael Makussen. 2003. Waldkonversion und Bodendegradation Bergnebelwaldgebieten Guatemalas (Alta Verapaz). Göttingen. pp. 63
- Norma Oficial Mexicana. Diario Oficial de la Federación. 2003 (23 de abril). NOM-023-SEMARNAT-2001.
- Nuñez. S. J. 2000. Fundamentos de Edafología. Editorial universidad (UNED). 189 pp.
- Oleshho. K.1985. Microestructura del suelo. En Simposio Natura, SMCS. San Luis Potosí.
- Ortiz. S. M., M. Anaya Garduño y J. Estrada Berg. 1994. "Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de la tierra", Documento de trabajo, conaza, México.
- Ortiz V. B. Ortiz S. C. A. 1990. Edafología. Editora V. Gómez Cueva. Universidad Autónoma de Chapingo. Carretera México - Texcoco Km 38.5. 394 p.

- M.A. Parra, R. Fernández-Escobar, C. Navarro and O. Arquero. 2002. Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Mundi-Prensa. Madrid. 259 pp.
- Porta, J. López, M y Roquero, C. 2003. Edafología para la Agricultura y el medio ambiente. Mudi – Presa. Madrid. 849 pp.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Poch, R. M. 2008. Introducción a la Edafología: Uso y protección del suelo. Mudi – Prensa. Madrid. 631 pp.
- Plá Santis I. 1994. Labranza y Propiedades físicas de los suelo. Cursos sobre los efectos de labranzas en las propiedades física de los Suelos. Buenos Aires, Argentina. 80p.
- Ramírez, P. R., Marín. U. M. A., Ossa. Y. J. F., Pérez. L. J. C. 2006. Efecto del Pisoteo caprino en las propiedades físicas de un suelo de la Universidad Nacional de Colombia.. Medellín, Colombia. 13 pp
- SAS.1999. JMP. Statistics made visual. Versión 3.2.6.SAS Institute Inc. SAS Campus Drive.Cary, NC 27513.
- Sáenz. R. C. 2005. El patrimonio forestal de Michoacán y su problemática. En: La biodiversidad EN Michoacán. Estudio de Estado. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad, Gobierno del estado, Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente y Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Pp. 128-130
- SARH. 1982. Manual de conservación del suelo y el agua. Colegio de Postgraduados. México. 150 P.
- Savinov, N. O. 1936. Soil physics. Sielchozgiz Press. Moscow, URSS
- SEMARNAT 2002. Inventario Nacional de Suelos. Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México.
- SEMARNAT-Colegio de Postgraduados. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, 2001-2002. Escala 1:250 000. Memoria Nacional 2001-2001. México. 2003
- SEMARNAT-SINADES. 2010. Estrategia nacional de manejo sustentable de tierras. México.
- Shoji, S., M. Nanzyo and R. A. Dahlgren. 1993. Volcanic Ash Soils. Genesis, Properties and Utilization. Ed. Elsevier. 288 p.
- Streme, H. 1930. Degradierte böden. In: Blanck E (ed) Handbuch der Bodenlehre. Dritter Band. Verlag von Julius springer, berlin.Pp. 505-521.
- Rangeon N.I.; L.M Aciar; R. Osinaga; J.L. Arzeno; C. Sánchez. 2008. Análisis de resistencia a la penetración y humedad del suelo como indicadores de la calidad de distintos sistemas de labranza. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Argentina
- Soil Cuality Institute USDA.1998. [http://soils.usda.gov/SQL/assessment/test\\_kit.html](http://soils.usda.gov/SQL/assessment/test_kit.html)

SOIL SURVEY STAFF. 2010. Keys to Soil Taxonomy in Spanish. 11th Edition. USDA, Natural Resources Conservation Service. 332 p.

Steel R. G. and Torrie. J. H. 1985. Bioestadística principios y procedimiento. 2 ed. Bogotá: Mcgraw-Hill. 522 p.

Taboada M.A., Lavado R. S. 1988. Grazing effects of the bulk density in a Natraquoll of the Flooding Pampa of Argentina. Journal of Range Management 41, 502 - 505.

Winding LP. Oleschko K. 1994. Micromorphological indicators of antropogenic effects on soil. 15<sup>th</sup> Worl Congress of Soil science. 6: 205-223.

WOCAT/LADA/DESIRE (World Overview of Conservation Approaches and Technologies/Land Degradation Assesment in Drylands/Desertification, Mitigation and Remediation of Lands: a global approach for local solutions. 2008. Mapas de la degradación de la tierra y el desarrollo de mecanismos para el manejo sustentable de la tierra. H. Liniger *et al* (eds).

US soil taxonomy 11 approximation/ la puedes bajar de internet aquí en la version en español.[ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil\\_Taxonomy/keys/Spanish\\_Keys\\_11th\\_ed.pdf](ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/NSSC/Soil_Taxonomy/keys/Spanish_Keys_11th_ed.pdf)

AFES, 2008. Référentiel pédologique. Quae, Paris, France, 406 pp.

## XII. ANEXO

**Anexo 1. Historial del manejo agrícola de la cuenca.**

Tipo de suelo	Cobertura y uso	Tiempo de uso	Manejo	Materiales de trabajo	Fertilización	Eventos inusuales
<b>Andosol</b>	Bosque de Pino: P. <i>Pseudotsugus</i> , <i>Michoacana</i> , Teocate  Bosque de encino: <i>Quercus sp</i>	50 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extracción de madera para leñan estacas o venta</li> <li>- Extracción de resina</li> <li>- Venta de tierra de encino</li> <li>- Plantas medicinales</li> <li>- Introducción de algunas vacas</li> </ul>			<p>Incendios Heladas y granizadas a partir de octubre</p> <p>Incendios forestales entre mayo y Junio</p>
<b>Andosol</b>	Cultivo de temporal Agricultura de "año y vez"	35 años	<p>1970: Trigo, lenteja, linaza, Frijol y maíz. Trigo y linaza (Venta); Frijol y Maíz (Autoconsumo)</p> <p>A partir de 1990 se deja de siembra frijol, linaza, trigo y Lenteja.</p> <p>En los años 90's se introduce la avena y maíz forrajero , además calabaza, y chilacayote en asociación con el maíz (Autoconsumo)</p> <p>A partir del año 2000 inician los cambios de zonas agrícolas y forestales hacia huertas de aguacate</p>	<p>Siembra rustica: Tracción animal, palo, azadón y el pie</p> <p>A partir de 1981 se introducen los primeros tractores en la zona</p> <p>Barbecho: Tractor y arado Rastreo: Tractor y rastra Siembra: Arado rustico tirado por yunta</p>	<p>1962: Estiércol de Borrego</p> <p>1990: Estiércol de cerdo y aplicación de fertilizantes químicos (NH<sub>4</sub> SO<sub>3</sub> para maíz y 16-46-00 para avena)</p>	

Tipo de suelo	Cobertura y uso	Tiempo de uso	Manejo	Causas de cambio
<b>Andosol</b>	Pastoreo	Antes de 1975	Até cuatro seis Ejidatarios pastoreaban borregos, entre 50 y 100 cada uno. En la actualidad se pastorea ganado vacuno	- A partir de la repartición de tierras por herencia las parcelas se hicieron más pequeñas y se comenzó a abandonar el pastoreo de borregos y algunos cultivos - Daños a los cultivos por pastoreo de borrego

Tipo de suelo	Cobertura y uso	Tiempo de uso	Manejo	Materiales de trabajo	Fertilización	Eventos inusuales
<b>Acrisol</b>	Bosque de encino: <i>Quercus sp</i>	50 años	- Extracción de madera - Elaboración de carbón			
Acrisol	Cultivo de temporal Agricultura de "año y vez"	35 años	-Maíz criollo o violento, y avena, los cuales se asocian con calabaza, chilacayote y haba. En los años 60 se pastoreaban borregos En la actualidad se pastoreo ganado vacuno	Siembra rustica: Tracción animal, palo, azadón y el pie A partir de 1981 se introducen los primeros tractores en la zona Barbecho: Tractor y arado. Rastreo: Tractor y rastra Siembra: Arado rustico tirado por yunta	1962: Estiércol de Borrego 1990: Estiércol de cerdo y aplicación de fertilizantes químicos (NH <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> para maíz y 16-46-00 para avena)	