



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

REGENERACIÓN NATURAL Y ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE
***Quercus rugosa* EN SUELOS EROSIONADOS EN TOLIMÁN, QUERÉTARO.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

PRESENTA:

ASLAM NARVÁEZ PARRA

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:

DRA. NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERÓN, FACULTAD DE CIENCIAS.

COMITÉ TUTOR:

DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS, FACULTAD DE CIENCIAS
DRA. MAYRA ELENA GAVITO PARDO, CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS

MÉXICO, D.F.

AGOSTO 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGÍA
MANEJO INTEGRAL DE ECOSISTEMAS

REGENERACIÓN NATURAL Y ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE
***Quercus rugosa* EN SUELOS EROSIONADOS EN TOLIMÁN, QUERÉTARO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

PRESENTA:

ASLAM NARVÁEZ PARRA

TUTORA PRINCIPAL DE TESIS:

DRA. NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERÓN, FACULTAD DE CIENCIAS.

COMITÉ TUTOR:

DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS, FACULTAD DE CIENCIAS
DRA. MAYRA ELENA GAVITO PARDO, CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS

MÉXICO, D.F.

AGOSTO 2013

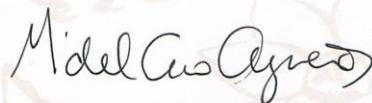
Dr. Isidro Ávila Martínez
Director General de Administración Escolar, UNAM
Presente

Me permito informar a usted, que el Subcomité de Ecología y Manejo Integral de Ecosistemas, en su sesión ordinaria del día 06 de mayo de 2013, aprobó el jurado para la presentación de su examen para obtener el grado de **MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS (BIOLOGÍA AMBIENTAL)** del Posgrado en Ciencias Biológicas, del alumno **NARVÁEZ PARRA ASLAM** con número de cuenta **510008149** con la tesis titulada: "**REGENERACIÓN NATURAL Y ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE QUERCUS RUGOSA EN SUELOS EROSIONADOS EN TOLIMÁN, QUERÉTARO**", bajo la dirección de la **DRA. NORMA EUGENIA GARCÍA CALDERÓN**:

Presidente: DRA. CHRISTINA DESIREE SIEBE GRABACH
Vocal: DRA. SUSANA VALENCIA ÁVALOS
Secretario: DRA. MARÍA DEL CONSUELO BONFIL SANDERS
Suplente: DR. ALBERTO GÓMEZ-TAGLE CHÁVEZ
Suplente: DR. JORGE GAMA CASTRO

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 13 de agosto de 2013.



DRA. MARÍA DEL CORO ARIZMENDI ARRIAGA
COORDINADORA DEL PROGRAMA

c.c.p. Expediente del interesado.

Agradecimientos

Al posgrado en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental con orientación en Restauración Ecológica) Universidad Nacional Autónoma de México.

Al apoyo económico recibido por CONACYT, el cual me permitió realizar y finalizar el proyecto y tesis de maestría.

A la Fundación Packard, por el apoyo económico para el material y actividades del trabajo de campo.

A los miembros del Comité Tutor Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders y a la Dra. Mayra Elena Gavito Pardo por sus sugerencias para fortalecer este trabajo

Agradecimientos a título personal

A la Dra. Norma Eugenia García Calderon por su confianza, apoyo e instrucción para el desarrollo de este trabajo.

A la Dra María del Consuelo Bonfil Sanders por su apoyo en la parte final de este trabajo

Al jurado Dra. Christina Desiree Siebe Grabach, a la Dra. Susana Valencia Ávalos, a la Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders, al Dr. Alberto Gómez-Tagle Chávez y al Dr. Jorge Gama Castro. por sus valiosos aportaciones hechas a este trabajo.

Al M. en C. Xavier Madrigal Sanchez y a la Dra Suzana Valencia por la determinación de los encinos.

A la Dra. Rosalía Ramos Bello, a la M. en C. María del Socorro Galicia Palacios y a la M. en C. Elizabeth Fuentes Romero por su apoyo e instrucción en los análisis de suelo.

Al Dr Jorge René Alcalá Martínez por su apoyo con los análisis en física de suelos

Al Parque Ecológico del Ajusco, por apoyarme con las plantas de *Quercus rugosa* de dos años para el proyecto de maestría

A la Coordinación General de Areas Verdes de la UNAM, por falicitarme sus instalaciones

A la Biol. Georgina García Méndez por el apoyo logístico brindado en la realización de la tesis.

A mis padres a quienes les debo la vida para participar en las contingencias de la vida

A mi novia, hermano y amigos, por haberme ayudado en las salidas a campo

A mis amigos que durante la maestría influyeron en esta parte de mi formación personal y academica; Armando Navarrete, Bruno Barrales, Jorge Marrot, Eliza Talancón, Dafne Vaca, Francisco Guerra, Felipe Campos, Alejandra Guzmán, Angelica, Magali, Lourdes Arqueros y Veronica Solis

Al Ejido Rancho el Derramadero por permitirme intervenir en su ejido con este proyecto de maestría; y apoyarme con techo y comida cuando fue necesario.

A mi novia Rocio Alanis Anaya, por su amor a la vida.

INDICE

Resumen	1
Abstract	2
1. Introducción	3
2. Antecedentes	4
2.1 Disturbio y restauración en bosques subhúmedos de encinos	4
2.2 Erosión del suelo.....	7
3. Objetivos generales	10
3.1 Objetivos particulares.....	10
4. Métodos	11
4.1 Zona de estudio.....	11
4.1.1 Sitio de estudio.....	12
4.2 Supervivencia y crecimiento de plántulas establecidas naturalmente	13
4.2.1 Efecto de la cobertura arbórea, de la hojarasca y de la distancia al árbol más cercano en la supervivencia	14
4.3 Supervivencia y crecimiento de una plantación de <i>Quercus rugosa</i>	15
4.4 Monitoreo de la temperatura y la humedad relativa	16
4.5 Caracterización del suelo	17
4.5.1 Humedad volumétrica y curva de retención de humedad	19
4.6 Análisis de datos.....	19
5. Resultados	21
5.1 Temperatura y humedad relativa.....	21
5.2 Caracterización del suelo.....	22
5.2.1 Propiedades físicas del suelo	23

5.2.2 Humedad volumétrica y curvas de retención de humedad.....	25
5.2.3 Propiedades químicas del suelo.....	27
5.3 Regeneración natural.....	29
5.3.1 Supervivencia.....	29
5.3.2 Crecimiento.....	35
5.4 Reintroducción de <i>Quercus rugosa</i>	36
5.4.1 Supervivencia.....	36
5.4.2 Crecimiento.....	37
6. Discusión	39
6.1 Suelo, procesos pedogenéticos y geomorfológicos.....	39
6.1.1 Propiedades químicas del suelo	40
6.1.2 Propiedades físicas del suelo y supervivencia en la regeneración natural	40
6.2 Regeneración natural en suelos erosionados.....	42
6.2.1 Supervivencia.....	42
6.2.2 Crecimiento.....	44
6.3 Reintroducción de <i>Q. rugosa</i>	45
6.3.1 Supervivencia y Crecimiento.....	45
7. Conclusiones	47
8. Recomendaciones	48
9. Bibliografía	49
Anexos 1 Perfiles de suelo en el ejido Rancho el Derramadero	59
Anexo 2 Tabla con algunas características edafocológicas.....	70
Anexo 3 Tabla desglosada de texturas en cuatro perfiles de suelo.....	71

Anexo 4 Tabla de interacciones entre las unidades de relieve (UR) con cada uno de los factores: Cobertura arbórea (C.Ar), Cobertura de Hojarasca (C.Hj) y Distancia al árbol más cercano (D.Ar).71

REGENERACIÓN NATURAL Y ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE *Quercus rugosa* EN SUELOS EROSIONADOS EN TOLIMÁN, QUERÉTARO.

RESUMEN

Existen pocos estudios con base a la recuperación de los suelos erosionados en bosques de encino principalmente porque existen dificultades con algunas características del suelo (compactación, falta de agua o de nutrimentos). No obstante dependiendo de la calidad de sitio pueden ocurrir una regeneración natural o una recuperación mediante técnicas de restauración ecológica.

Este trabajo abarcó dos estudios: 1) Una evaluación de la supervivencia de las plantas establecidas naturalmente en dos suelos erosionados (ladera y piedemonte) bajo distintas condiciones ambientales dadas por tres categorías de cobertura arbórea, de hojarasca y la distancia al árbol más cercano; así como una comparación del crecimiento en estas dos unidades de relieve. 2) Por otra parte se evaluó la supervivencia y crecimiento de una plantación de *Quercus rugosa* en el suelo erosionado de piedemonte bajo tres tratamientos; con adición de hojarasca, con adición de suelo superficial Oh y un control (sin hojarasca o suelo superficial Oh). Adicionalmente se caracterizaron algunas condiciones físicas y químicas del suelo.

En piedemonte, la supervivencia y el crecimiento de la cobertura fueron significativamente mayores a la ladera a pesar de que el suelo y la vegetación presentan rasgos de mayor perturbación. La cobertura arbórea y la cobertura de hojarasca no tuvieron efectos significativos en la supervivencia, en ambas unidades de relieve; por un lado porque en piedemonte la mayor supervivencia fue en condiciones totalmente abiertas; y en la ladera porque a pesar de mostrar una tendencia de mayor supervivencia a mayor sombra, esta no fue significativa. No obstante, la correlación entre la abundancia de plántulas y la distancia al árbol más cercano fue altamente significativa en la ladera, la cual fue significativamente diferente de la correlación en piedemonte. Esta supervivencia entre ladera y piedemonte se atribuye a los contrastes generados por las características físicas del suelo (textura y profundidad) y el relieve los cuales influyen fuertemente en las condiciones hídricas del suelo, lo cual influyo en la interacción con los factores de cobertura arbórea, cobertura de hojarasca y la distancia al árbol más cercano. La plantación de *Quercus rugosa* tuvo una supervivencia y crecimiento independientes de cualquier tratamiento, por lo que no es necesario hojarasca o suelo superficial Oh en futuras reforestaciones, al menos para relieves en piedemonte. Estos resultados son recomendables a considerar en futuros proyectos de reforestación para identificar la calidad del sitio conforme a su potencial de regeneración natural y también teniendo como alternativa la intervención de estrategias de restauración ecológica directas en sitios menos favorecidos.

NATURAL REGENERATION AND PLANTATION ESTABLISHMENT OF *Quercus rugosa* IN ERODED SOILS IN TOLIMÁN, QUERÉTARO.

ABSTRACT

There are few studies based on the recovery of eroded soils in oak forests mainly because there are difficulties with some soil characteristics (compaction, lack of water or nutrients). However, depending on site quality, natural regeneration may occur or recovery through ecological restoration techniques.

This work included two studies: 1) An assessment of the survival of naturally established plants in two eroded soils (slope and piedmont) under different environmental conditions given by three tree cover categories, three of litter and the distance to the nearest tree; and a comparison of growth in these two relief units. 2) Moreover, we evaluated the survival and growth of a *Quercus rugosa* plantation in the piedmont eroded soil under three treatments; with added litter, with added topsoil Oh and a control (no litter or topsoil Oh). Additionally we characterized some physical and chemical conditions of the soil.

Survival and growth of naturally established plants coverage on piedmont were significantly higher than that in slope even though the soil and vegetation have features of further disruption.

In piedmont, survival and growth of naturally established plants coverage were significantly higher than the slope even though the soil and vegetation have features of further disruption. Tree cover and litter cover had no significant effect on survival, in both relief units; on the one hand because in piedmont the increased survival was in fully open condition, and on the slope because despite showing a trend of greater survival in greater shadow, this was not significant. However, the correlation between the abundance of seedlings and the distance to the nearest tree was highly significant in the slope, which was significantly different from the correlation in piedmont. This survival between slope and piedmont is attributed to the contrasts generated by soil physical characteristics (texture and depth) and the relief which strongly affects soil water conditions and influences the interaction with the factors of tree cover, litter cover and distance to the nearest tree. *Quercus rugosa* planting had an independent survival and growth of any treatment but with a survival rate of 50%, so it is not necessary Oh litter or topsoil in future reforestation, at least in piedmont reliefs. Our results are suitable to consider in future reforestation projects since the quality of the site is important as an indicator of ecological restoration strategies to apply either natural regeneration or investing human effort.

1. Introducción

En México muchos asentamientos rurales se han establecido en zonas de clima templado, debido a las condiciones favorables de temperatura y precipitación que presentan (Challenger, 1998). Como resultado, a finales del siglo pasado presentaban la mayor concentración de población rural (Warman, 2004), lo que ha llevado a que buena parte de los bosques templados hayan sido reemplazados por zonas agrícolas, pastizales inducidos, vegetación secundaria u otro tipo de vegetación (Challenger, 1998) con una reducción aproximada de un 27 % de su área original (CONAFOR, inventario nacional forestal, 2010). Esto limitó la distribución de los bosques templados a zonas montañosas, en donde aún presentan superficies que siguen en riesgo de perderse por el cambio de uso de suelo o el sobrepastoreo. Este último provoca la erosión en el suelo, la cual se favorece por las características mismas del relieve (laderas abruptas) y las propiedades de los suelos de las montañas (generalmente someros y con poca estructura (Schaetzl y Anderson., 2005) .

Los suelos erosionados son difíciles de recuperar, ya que su espesor disminuye continuamente, lo que ocasiona que en general tengan una menor capacidad para almacenar agua y nutrimentos. No obstante, ciertas combinaciones de factores geomorfológicos, edáficos, climáticos y biológicos, pueden generar condiciones favorables para la recuperación de suelos erosionados. Por tanto, es necesario analizar la factibilidad de recuperación de los suelos erosionados considerando las condiciones particulares de cada sitio (Cotler *et al.*, 2005). Esto puede lograrse favoreciendo la regeneración natural, o usando métodos de restauración que incluyan la reintroducción de especies vegetales nativas.

2. Antecedentes

El género *Quercus* (encinos) está ampliamente distribuido en México; estos árboles son dominantes en muchos bosques templados, además de ser elementos de otros tipos de vegetación en regiones subtropicales, tropicales y semiáridas (Rzedowski, 1978). Este género tiene una gran riqueza de especies y endemismos específicos para México; Nixon (1993) propuso alrededor de 150 a 200 especies; pero más recientemente Valencia (2004) propone 161 especies, lo que conforma entre el 32 y el 40% de las especies del género a nivel mundial, y casi 69% de las especies que se encuentran en todo el continente Americano. En México la extensión de los bosques templados con encino corresponde al 12.2 % del territorio, pero sólo 7.8% corresponde a áreas dominadas por *Quercus*, con 15 327 531 ha; de esta superficie 10 035 285 ha son catalogados como bosques primarios y el resto (5 292 245 ha) corresponde a vegetación secundaria (CONAFOR, 2010). Sin embargo la reforestación y recuperación de estos bosques no ha sido planeada en función de su ecología; en el estado de Querétaro, el Pronare (CONAFOR, Programa Nacional de Reforestación, 2000-2001) reportó una reforestación acumulada de 4,000 ha, pero las plantaciones no fueron con especies nativas, y si bien algunas son de origen mexicano (especies de pino) no correspondieron a las especies de los bosques originales (CONAFOR, Evaluación Externa al Pronare, 2000-2001). Estos programas pueden tener efectos fuertemente negativos en los ecosistemas, diversas investigaciones han demostrado que las reforestaciones con especies alóctonas pueden generar modificaciones drásticas en los regímenes hidrológicos (Lara, *et al.*, 2009) así como los procesos edafológicos y ecológicos (Gonzales-Espinosa 1991).

2.1 Disturbio y restauración en bosques subhúmedos de encinos.

El disturbio de los bosques puede ser de origen natural o antrópico, y desde el siglo pasado este último ha sido más determinante y persistente. Los principales agentes de disturbio son (1) los incendios forestales (Zavala, 2000; Peña Ramírez, 2000); (2) la extracción de leña (González-Espinosa *et al.*, 1991; González-Espinosa *et al.*, 1995); (3) los pastizales inducidos o agostaderos (Quintana-Ascencio *et al.*, 1992); (4) la producción de carbón (Quintana-Ascencio *et al.*, 2004); y, (5) la actividad minera. No obstante, la capacidad de los ecosistemas para recuperarse depende de las características del disturbio (intensidad, duración y tamaño) y de las características morfofisiológicas de las especies. Si el disturbio rebasa la resistencia (umbral) y elasticidad del

ecosistema, comienzan los procesos de degradación. Bajo esas condiciones la intervención humana será necesaria para recuperar, en lo posible, las funciones y características del ecosistema (Pritchett, 1986; Hobbs y Harris, 2001).

La restauración ecológica comprende las actividades humanas que se hacen en ambientes degradados para recuperar la funcionalidad, replicabilidad y durabilidad del ecosistema perdido (Higgs, 1997). Para poder llevar a cabo la restauración es importante comprender el comportamiento en la sucesión vegetal a través de los atributos de las especies que participan en ella (Connel y Slatyer, 1977: En Navarrete *et al.*, 2008).

Los encinos tienen diversas características estructurales y funcionales que les han permitido formar parte de múltiples ecosistemas en el país. En el caso de regiones templadas húmedas como en los altos de Chiapas, los disturbios frecuentes de origen antrópico han producido el remplazamiento de los bosques de encino, pino-encino y mesófilos por especies pioneras (González-Espinosa, *et al.*, 1995), a pesar de que el género *Quercus* es clave para aumentar la riqueza florística y promover la regeneración de varios ecosistemas templados y tropicales (González-Espinosa *et al.*, 2007).

La germinación y establecimiento de encinos y otras especies latifoliadas como *Oeropenax xalapensis*, *Styrax argenteus*, *Cleyera theaeoides*, *Persea americana* y *Clethra macrophylla* es mejor en los claros o bordes forestales (Bonfil y Soberón, 1999; Camacho-Cruz y González-Espinosa, 2002; Quintana-Ascencio *et al.*, 2004; López-Barrera y Newton, 2005 y López-Barrera *et al.*, 2006). En las regiones centrales y norteñas de México los bosques de encino pueden estar cercanos a ecosistemas semiáridos por la continentalidad y por el contexto histórico humano que ha influido en su conformación (Murcia, 1995; Zorrilla, 2005). En Durango (México), la intensa actividad ganadera modificó buena parte de los bosques de pino-encino transformándolos en matorrales de manzanita (*Arctostaphylos spp.*) con comunidades de herbáceas (Casas *et al.*, 1995; Marquez-Linarez *et al.*, 2005). En la sierra de Zapaliname, Coahuila, los bosques de *Quercus laeta*, *Q. grisea*, y *Q. saltillensis*, se mezclan con vegetación submontana de rosáceas y matorral rosetófilo, al parecer por la actividad ganadera que evita la regeneración del bosque de encino (Encinas-Dominguez *et al.*, 2009; Encinas-Dominguez *et al.*, 2011).

Las investigaciones de reintroducción de *Quercus* en sitios perturbados han abarcado principalmente las regiones del Eje Neovolcánico (Edo. de México y Morelos), sureste (Chiapas y

Oaxaca), este (Veracruz) y algunas partes del norte (Coahuila y Nuevo León) y oeste (Jalisco) de México, con aproximadamente el 15% de las especies que existen en México (Rubio, 2009); cabe aclarar que ninguno de estos estudios se ha llevado a cabo en suelos erosionados. Bajo esas condiciones de severa degradación del suelo, existe una acentuada participación de los factores edáficos y geomorfológicos, ya que la vegetación se encuentra ausente o muy reducida (Geissert y Rossignol, 1987).

Los distintos tipos de suelo son resultado de la interacción entre los procesos pedogenéticos, como la formación y acumulación de arcillas, y los geomorfológicos, que incluyen procesos de ladera como remoción en masa (Krasilnikov *et al.*, 2005; Schaetzl y Anderson, 2005). Ambos procesos son responsables de las condiciones edáficas y del relieve, las cuales resultan en diferencias en la profundidad fisiológica, la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de los suelos de almacenar agua (Peña *et al.*, 2009; Alanis, 2011). Estos factores edafológicos, junto con el clima local, influyen fuertemente en la composición y estructura del bosque (Fisher y Binkley, 2000; Solón *et al.*, 2007). Las condiciones del suelo a su vez determinan el uso del suelo en zonas rurales (Burke y Mitchell, 2007), y favorecen la presencia de distintos tipos de disturbios que con frecuencia provocan la degradación del suelo.

En México, muchos sitios que originalmente eran bosques de encino han sido reforestados con especies de rápido crecimiento o con potencial comercial; los encinos, en cambio, al ser de lento crecimiento y tener un mercado maderable insuficiente, han sido poco atractivos para la reforestación a gran escala. Al cambiar la dominancia de encinos por la de otras especies como los pinos se afecta la dinámica ecológica y las condiciones edáficas. Muchas de las propiedades físicas y químicas del suelo tienen su origen en el material parental y el clima (Graham *et al.*, 1988); pero la materia orgánica influye también en dichas propiedades (Brady, 1990).

Los microorganismos son el principal factor para la incorporación de la materia orgánica (M.O) al suelo, pero ésta a su vez depende de la calidad del material vegetal depositado, el cual se transforma y da lugar a una característica clave para la clasificación del suelo (WRB, 2008). En suelos de bosques templados, conviven coníferas y especies latifoliadas que, dependiendo de su presencia o dominancia, pueden modificar algunas propiedades químicas y físicas del suelo (Schnitzer y Khan 1978; Binkley,y Sollins, 1990; Tice *et al.*, 1996; Gueye, 2010), como la porosidad, la retención de agua (Johnson-Maynard *et al.*, 2002), las interacciones con los organismos del suelo y los procesos

de descomposición (Negrete-Yankelevich *et al.*, 2008). En los bosques de encino, como en muchos bosques templados, es característico que los horizontes superiores sean ricos en M.O. conformada por hojarasca en diversos estados de descomposición (Pritchett, 1986). La M.O, ya descompuesta se incorpora en los primeros horizontes que conforman el suelo (Horizontes "A"), los cuales contienen el mayor almacén de carbono, N, P y K, y otros nutrientes para las plantas (Brady, 1990). Dependiendo de la calidad de la hojarasca y el clima, la materia orgánica se mineraliza o humifica, lo que determina su permanencia en el sistema además de su calidad; en el caso de bosques templados, las condiciones generadas por la vegetación, es común que la humificación sea dominante, lo que significa la producción de macromoléculas de lenta descomposición (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas) que mejoran la estructura del suelo, aumentan la porosidad, amortiguan la acidez e incrementan la capacidad para retener y liberar cationes en la solución del suelo y en los sitios de intercambio medibles como capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Brady, 1990).

La hojarasca de los encinos, en comparación con la de los pinos, se incorpora más rápido al suelo, aporta mayor disponibilidad de nutrientes e incorpora una mayor cantidad de cationes de potasio (Galindo-Jaimes *et al.*, 2002), lo que también parece tener ventajas para los cultivos agrícolas aledaños a los bosques de encino en relación a los que se encuentran cercanos a los bosques de pino (González-Espinosa, comunicación personal). De esta forma se puede apreciar que la M.O es un agente importante en el suelo y que su pérdida aumenta los riesgos de erosión (Schaetzl y Anderson, 2005).

2.2 Erosión del suelo

Al remover la cobertura vegetal, inhibir la regeneración natural o cambiar la estructura vegetal (mantillo, sotobosque, cobertura arbórea), pueden comenzar los procesos de degradación del suelo: compactación, pérdida de la estructura y disminución en la infiltración; lo que promueve la escorrentía superficial y lateral por los agentes erosivos como el agua, el viento o el tránsito (Brady, 1990). La erosión es el transporte acelerado de sedimentos que sobrepasa a los procesos edafológicos que permiten la estabilización del suelo (Birkeland, 1999). Al activarse la erosión, se pierden horizontes orgánicos y nutrientes; aumenta la densidad aparente y la acidificación del suelo en zonas húmedas; y con ello disminuyen la profundidad fisiológica en la cual las raíces pueden tener adsorción y sostén mecánico, lo cual disminuye el rendimiento de las plantas (Fisher, 2000).

La falta de un suelo desarrollado limita la supervivencia de las plántulas y brinzales de encino (Bonfil y Soberón, 1999). Este estudio se hizo en los suelos erosionados que presentan ciertas limitaciones hídricas y de nutrientes para la regeneración natural o para el establecimiento de plantaciones con brinzales; no obstante esto puede variar por las condiciones de sombra que genera la cercanía a un dosel arbóreo o por la presencia de hojarasca en el suelo (Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991; Carrillo-García *et al.*, 2000).

En suelos erosionados los factores limitantes generalmente son la falta de agua y nutrientes, por lo que cualquier factor que mejore estos dos aspectos puede ser un agente facilitador para la supervivencia y el establecimiento (Cotler *et al.*, 2005). Algunos estudios señalan que la hojarasca es más determinante en sitios totalmente abiertos (López-Barrera y Newton 2005), y aunque en suelo descubierto también hay germinación (Carvell and Tryon 1961), el establecimiento de plántulas puede estar afectado por la desecación o por la remoción de semillas y plántulas por los depredadores (Zavala, 1996; Bonfil y Soberón, 1999). La hojarasca es un agente que prolonga de manera efectiva la permanencia del agua en el suelo (Vleeschauwer, 1978), al funcionar como un acolchado (Jordan *et al.*, 2010) que reduce el estrés hídrico en las plantas (Albrecht y McCarthy, 2009); además, es un agente que puede aportar nutrimentos al suelo (Barajas-Guzman *et al.*, 2006) y fomentar las asociaciones con microorganismos benéficos (Carrillo-García *et al.*, 2000). Por otro lado se ha registrado que la calidad de la hojarasca influye en la supervivencia de las plántulas, que es mayor bajo la hojarasca de encino que bajo la de pino (López-Barrera y González-Espinosa, 2001).

La germinación y establecimiento también depende de la especie, las condiciones ambientales y del estado de la planta. En pastizales inducidos en zonas semiáridas (Medio oriente), plántulas de *Quercus castaneifolia* (Jalali *et al.*, 2007) tiene un mejor establecimiento en los bordes forestales, en donde disminuye la radiación solar y la compactación del suelo. En climas húmedos *Q. laurina* tiene mayor germinación bajo la copa y hojarasca de pino donde la luz y temperatura son más benéficas (López-Barrera y González-Espinosa, 2001); *Q. rugosa* se desarrolla bien tanto en partes sombreadas como en abiertas (pero las plántulas se establecen sobre todo en zonas con sombra), mientras que *Q. crassifolia* prefiere zonas abiertas o de borde, con poca tolerancia a la sombra (González-Espinosa *et al.*, 1991; López-Barrera y Newton, 2005). Conforme el clima es más seco y (o) las condiciones del suelo son más limitantes, la supervivencia parece estar más asociada a la presencia de sombra; en el Ajusco, Distrito Federal la precipitación es cercana a los 1100 mm y la

supervivencia de *Q. rugosa* es mayor en el borde forestal que en las zonas abiertas (Bonfil y Soberón, 1999), con poco suelo desarrollado. Igual sucede con *Q. eduardii* en la Sierra Fría, Aguascalientes (Cruz, 2005).

En el municipio de Tolimán, Querétaro, se presentan zonas con suelos degradados por erosión severa, y existen pocos estudios de recuperación del bosque bajo dicha condición, debido a que muchas veces se considera irremediable. Sin embargo esto depende de las condiciones del sitio, por lo que es relevante tratar de establecer bajo qué condiciones es posible que ocurra una regeneración natural o que tratamientos son pertinentes para promover el establecimiento de encinos en los suelos erosionados.

En el presente trabajo se partió de la consideración de que factores como una cobertura de hojarasca en el suelo y la presencia de sombra brindada por el dosel de los árboles promoverán la supervivencia y el crecimiento de plántulas de encino establecidas de forma natural. También se parte de que la regeneración natural será distinta en función de distintas condiciones edáficas y de relieve, ya que influyen en la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo. Por otro lado para la plantación con *Quercus rugosa* en suelos erosionados, la reintroducción tendrá una mayor supervivencia y(o) crecimiento bajo los tratamientos en que se añade hojarasca o suelo proveniente de un horizonte Oh, respecto a un grupo control. Dicha especie tiene amplia distribución en el territorio mexicano y forma parte de los bosques en el área de estudio; es tolerante al estrés hídrico, y se ha utilizado en diversos estudios de germinación y establecimiento en sitios perturbados (Bonfil y Soberón, 1999, Bonfil, 2006).

3. Objetivos generales

- Analizar la supervivencia y crecimiento de plántulas de *Quercus*: a) establecidas naturalmente, e b) introducidas en una plantación experimental en suelos erosionados del ejido Rancho El Derramadero, Tolimán, Querétaro.

3.1 Objetivos particulares

- Evaluar la supervivencia y el crecimiento de plántulas de *Quercus* establecidas naturalmente en dos condiciones de suelo (piedemonte y ladera) y la supervivencia en diferentes condiciones ambientales debidas a la influencia de la cobertura arbórea, la distancia al árbol más cercano y la abundancia de hojarasca presente en el suelo.
- Evaluar la supervivencia y el crecimiento de una plantación de *Quercus rugosa* establecida en el piedemonte, bajo tres tratamientos: con adición de hojarasca, con adición suelo superficial (horizonte A) y sin adición de hojarasca o suelo superficial (control).
- Determinar algunas condiciones físicas y químicas del suelo en ambas condiciones de relieve, y evaluar su efecto potencial en la regeneración natural y en la reintroducción de plántulas de *Quercus rugosa*.

4. Métodos

4.1 Zona de estudio

El área de estudio está en el ejido Rancho el Derramadero, localizado en el municipio de Tolimán, estado de Querétaro, entre las coordenadas 20° 45' y 21° 04' N y 99° 47' y 100° 05' O, y con un intervalo altitudinal de 2300 a 2600 (Fig. 1)

De acuerdo a la carta geológica minera de 1989, en escala 1:50,000, Tolimán se encuentra en la subprovincia de las sierras y llanuras del norte de Guanajuato, que es parte de la provincia de la Mesa del Centro, cartográficamente está representado en la carta Colón con clave F14C56. Esta subprovincia fisiográfica se compone de depósitos volcánicos del Oligoceno (24 a 36 Ma), con riolita e ignimbrita y en menor proporción riolita y andesitas con tobas riolíticas y andesíticas. Los suelos en su mayoría son Feozems, Cambisoles y Leptosoles; con una alta proporción de arenas, una profundidad menor a 50 cm y una pedregosidad media a alta (Secretaría de Programación y Presupuesto, 1989).

El clima es templado subhúmedo BS₁ kw y con lluvias de verano (INEGI 1989). La estación meteorológica más cercana “El Zamorano” (CLAVE 00022049), con coordenadas 20 54' 15'' N y 100 12' 42'' W en el Mpio. de Colón y se encuentra a 15 km del ejido y a 2590 msnm, y reporta una precipitación promedio anual de 622.6 mm y una temperatura promedio anual de 15.1 °C, con una frecuencia de heladas de 20 a 40 días anuales para los periodos comprendidos entre 1971-2000 (Instituto de Geografía UNAM, 1989; Servicio Meteorológico Nacional, 2000). El ejido abarca alrededor de 1433 ha, cubiertas predominantemente por bosques de encinos, con al menos ocho especies: *Quercus crassipes*, *Q. crassifolia*, *Q. eduardii*, *Q. glaucoides*, *Q. laeta*, *Q. laurina*, *Q. rugosa* y *Q. xiderophyla* y con menor abundancia se encuentran también *Pinus cembroides* (pinos piñoneros), *Juniperus sp* (enebros), *Arbutus jalapensis* (madroños) y *Arctostaphylos sp* (pingüicas). Los bosques son usados principalmente como agostadero y para la extracción de leña para venta y autoconsumo; por lo que se presenta desde una ligera pérdida de vegetación del sotobosque asociada a cambios en su composición y estructura, hasta pérdida de cobertura arbórea con compactación del suelo y erosión por cárcavas.

4.1.1 Sitio de estudio

El sitio de estudio abarca dos unidades de relieve (UR), ambas erosionadas. La primera es una ladera que presentó disturbio con extracción de leña y se usó como agostadero (Fig. 1 y 2), tiene orientación suroeste, pendientes de 20° a 28°, pedregosidad superficial de 70%, presenta una erosión fragmentada con arrastre de sedimentos y hojarasca, con aproximadamente 35% de la superficie del suelo en buen estado bajo los encinos que abarcan una cobertura arbórea de 70.4 % de la superficie. La otra UR, es un piedemonte que fue desmontado para un potrero, que posteriormente fue abandonado. (Fig. 1 y 2) tiene orientación sur, pendientes de 10° a 16°, pedregosidad superficial aproximada del 30%; el suelo presenta cierta compactación, con erosión por cárcavas y pérdida casi total del horizonte orgánico, con 15.3 % de la superficie del suelo con cobertura arbórea, sin suelo conservado. En las dos Unidades de Relieve se presentan *Quercus crassifolia* y *Q. sideroxylla*, y en la ladera se presentan además *Arctostaphylos sp.*, *Arbutus jalapensis*, *Q. laeta* y *Q. rugosa*. Para llevar a cabo el trabajo los ejidatarios accedieron a prestar, de forma temporal, dos hectáreas, las cuales fueron cercadas con alambre de púas (con ayuda de ellos) para evitar el paso del ganado; alrededor de la mitad de dicha superficie se encuentra cada una de las unidades de relieve antes mencionadas (Fig. 1).

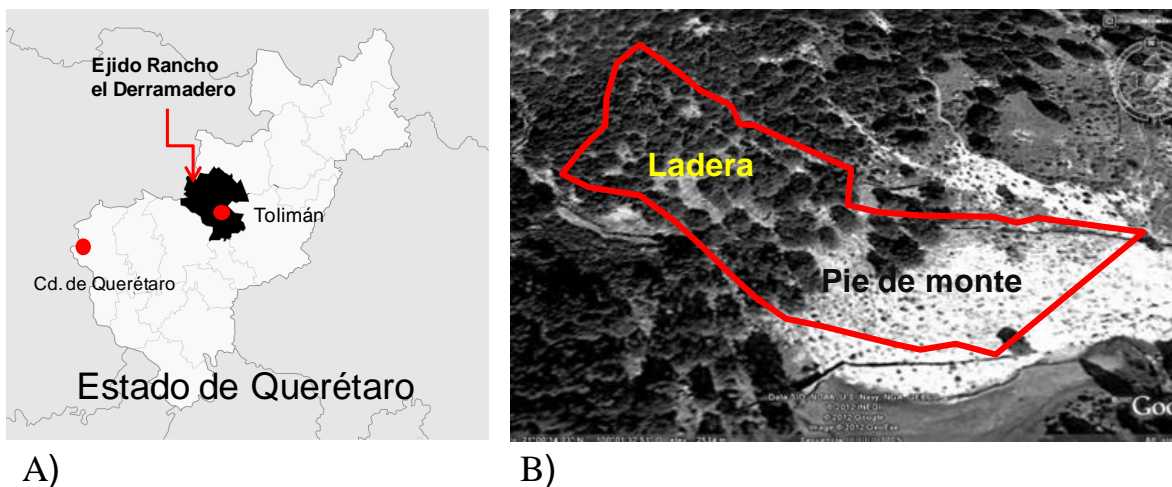


Figura 1. (A) Mapa de la ubicación aproximada del ejido Rancho el Derramadero, en el municipio de Toluimán. (B) Imagen del sitio de estudio, con dos unidades de relieve; ladera y piedemonte (google earth).

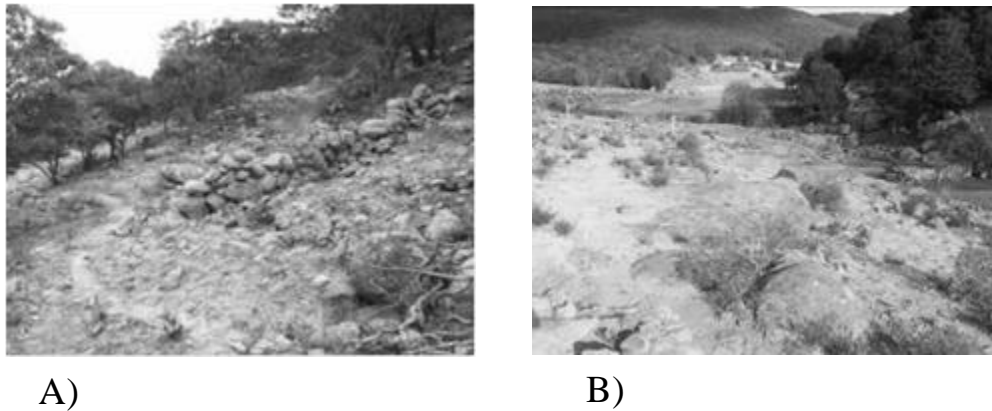


Figura 2. Fotografías de cada unidad de relieve, ladera (A) y piedemonte (B).

4.2 Supervivencia y crecimiento de plántulas establecidas naturalmente

Para evaluar la supervivencia y el crecimiento de las plántulas establecidas naturalmente, se ubicó una parcela de 2500 m² en cada unidad de relieve (ladera y piedemonte) del sitio de estudio (Fig. 3). En marzo del 2010, todas las plántulas de la parcela presentes fueron revisadas, seleccionando sólo aquellas que provenían de una bellota para evitar incluir plantas que provinieran de rebrotes. Cada plántula fue marcada individualmente y localizada en relación con la ubicación de los árboles de encino más cercanos, usando coordenadas (x, y). De julio de 2010 a octubre de 2011 se monitoreó la supervivencia en periodos aproximados de dos a tres meses. Se calculó el incremento en las variables de crecimiento (diámetro en la base del tallo, altura, cobertura y número de hojas), con la diferencia entre los valores finales y los valores iniciales.

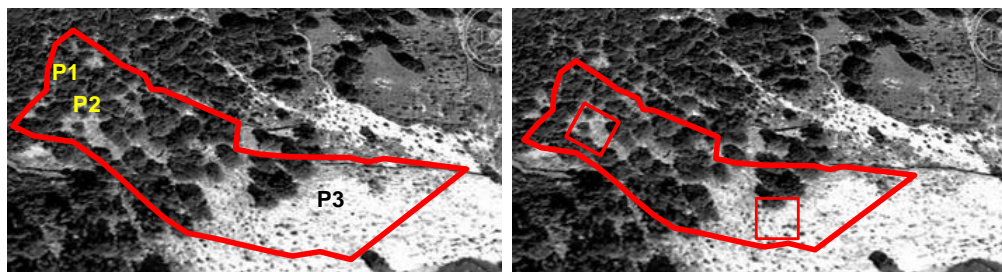


Figura 3. Imagen de la izquierda señala la localización de los perfiles de suelo, y en la imagen de la derecha localización de los cuadrantes de 2500 m² para el monitoreo de la regeneración natural (google earth).

4.2.1 Efecto de la cobertura arbórea, de la hojarasca y la distancia al árbol más cercano en la supervivencia.

Adicionalmente se registraron algunas variables que pueden afectar la supervivencia de las plántulas: la cobertura arbórea (C.Ar), la cobertura de hojarasca (C.Hj) y la distancia al árbol más cercano (D.Ar). Para estimar la C.Ar se utilizaron cuadros de 3×3 m (centrados en cada plántula) señalados con una cuerda en el suelo y se midió la superficie cubierta por el dosel arbóreo; para la C.Hj se utilizó un cuadro de madera de 40×40 cm (también centrado en cada plántula) (Fig. 5). Ambos se subdividieron en 16 subcuadros para hacer la medición, considerando el número de subcuadros totalmente cubiertos o sin cubrir (Fig. 4). Los datos se agruparon en las siguientes tres categorías: **0** - entre once y 16 subcuadros vacíos; **0.5** - entre cinco y diez subcuadros vacíos, y **1** - plántulas totalmente cubiertas o hasta con cuatro subcuadros vacíos (Fig. 4).

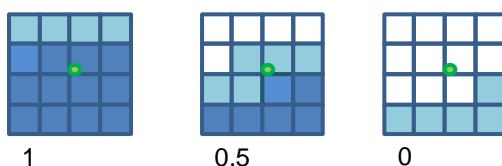


Figura 4. Representación esquemática de las categorías de cobertura arbórea (C.Ar) y cobertura de hojarasca (C.Hj). Los cuadros azul intenso muestran el mínimo número de cuadros ocupados en una categoría, y los cuadros azul claro es el máximo de cuadros que puede abarcar una categoría.

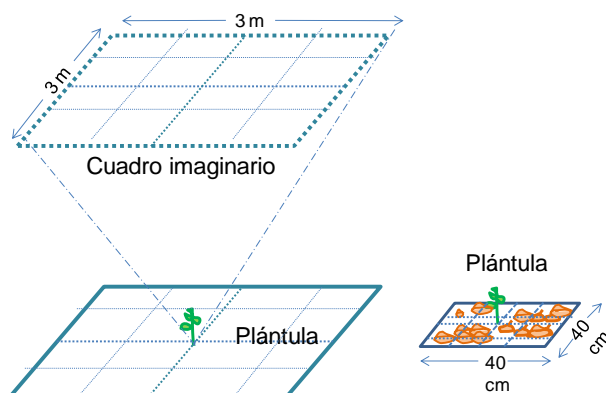


Figura 5. Esquemas de los cuadros para medir la cobertura arbórea (C.Ar) y la cobertura de hojarasca (C.Hj).

La distancia al árbol más cercano (**D.Ar**) fue la distancia de cada plántula al árbol. Esta se obtuvo a partir del mapa de la distribución de todas las plántulas y árboles, dentro de cada cuadro de 2500 m² registradas con coordenadas “x, y”, y se midió en metros.

4.3 Supervivencia y crecimiento de una plantación de *Quercus rugosa*

La plantación se hizo con plantas de *Q. rugosa* de dos años que fueron donadas por el vivero del Parque Ecológico del Ciudad de México, en el Ajusco Medio, D. F. La plantación se estableció en el piedemonte, debido a que es el sitio con mayor deterioro, y por lo tanto el que es más relevante restaurar. Además, la abundancia de plántulas establecidas naturalmente era mayor en la ladera, y había menos espacios libres disponibles para la plantación.

Las plantas se trasplantaron en julio de 2010, una vez establecida la época de lluvias. Se prepararon 240 cepas de 25 × 30 cm por 30 cm de profundidad. Las plantas de distintos tamaños se repartieron de forma equitativa entre los tres tratamientos. El diseño del experimento fue en bloques con dos factores y un control: (**T1**) tratamiento control, sin adición de hojarasca o suelo de horizonte Oh; (**T2**) tratamiento con hojarasca (aproximadamente 350 gr de hojarasca y troncos en la superficie, en total 28 kg); y (**T3**) el tratamiento con adición de suelo de horizonte Oh (aproximadamente 500 g de suelo orgánico en la parte inferior de la cepa, en total 40 kg (Fig. 6). La hojarasca y el suelo de horizonte Oh se extrajeron del bosque en partes de baja pendiente. El tamaño de muestra de cada tratamiento fue de 80 plantas, las cuales se distribuyeron en 12 bloques. Cada bloque contiene dos cuadros (de 4 × 5 m), en uno se plantaron diez individuos con un tratamiento y en el cuadro vecino otros diez individuos con un tratamiento distinto. Esto resulta en que cada bloque tuvo 20 plantas y dos tratamientos distintos. Los tres tratamientos se alternaron aleatoriamente en los 12 bloques (Fig. 7).

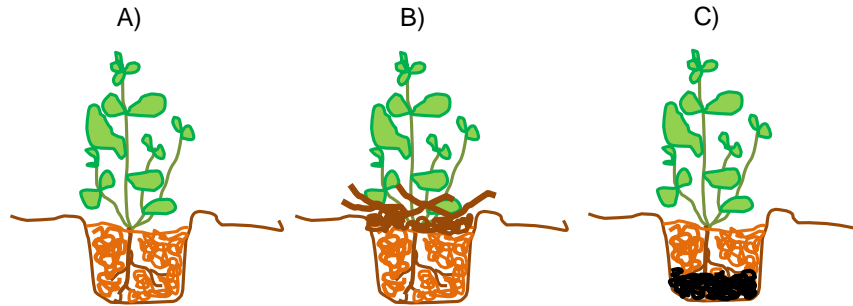


Figura 6. Esquema de los tres tratamientos para la reintroducción de *Q. rugosa*: (A) T1, control, (B) T2, con adición de hojarasca y ramas y, (C) T3 con adición de suelo orgánico.

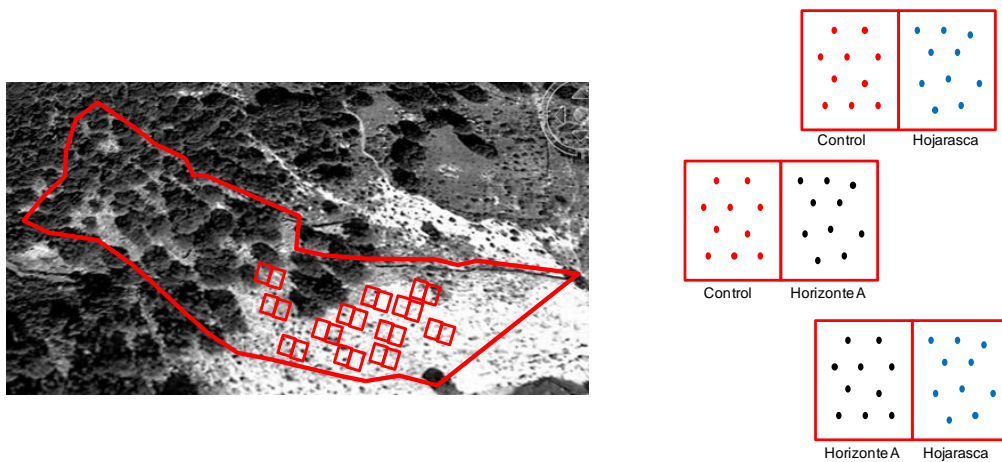


Figura 7. Localización de los 12 bloques para evaluar el establecimiento de *Q. rugosa*, con un esquema de los bloques experimentales. Los individuos en los distintos tratamientos se representan con puntos.

4.4 Monitoreo de la temperatura y la humedad relativa.

Para registrar las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire, se instaló en cada unidad de relieve un sensor (HOBO Pro v2 modelo U23-001) a 50 cm del suelo. Estos sensores electrónicos se colocaron a partir de septiembre de 2010 hasta octubre de 2011; registraron la temperatura y la humedad relativa cada hora. Con estos datos se obtuvieron los valores promedio de cada mes.

4.5 Caracterización del suelo.

Para conocer la variación espacial y las características específicas puntuales del suelo en las unidades del relieve se realizaron un conjunto de calicatas en donde se describieron los perfiles edáficos y se tomaron muestras para análisis de laboratorio. El **perfil 1** en ladera con suelo conservado, **perfil 2** en ladera con suelo perturbado y **perfil 3** en piedemonte con suelo perturbado; dichos perfiles se hicieron dentro del sitio de estudio y se colectó una muestra por horizonte genético, para su posterior análisis en laboratorio y describir algunas variables físicas y químicas del suelo. Posteriormente para entender la variación edáfica a lo largo de una catena de suelo en la microcuenca del ejido, se hicieron otras calicatas fuera del sitio de estudio: el **perfil 0** en una ladera alta con 8 a 10° con suelo conservado, el **perfil 4** en un parte aguas, en la parte media, con 5 a 8° con suelo conservado, el **perfil 5** en una ladera noreste con 18 a 20° con suelos conservado y un **corte** de suelo en una cima extendida con 2 a 5°, con pastizal inducido (Fig. 8). En todos los perfiles se caracterizaron las condiciones morfológicas, se establecieron los horizontes, se determinó la estructura del suelo, la abundancia de raíces, la pedregosidad, la profundidad fisiológica, la coloración (conforme a las tablas Munsell, 1994) y la evaluación edafocológica para obtener el volumen total de poros (VTP), la capacidad de campo (CC), el agua disponible (dCC) y la capacidad de aeración (AC) (Siebe *et al.*, 2006). Para los análisis físicos y químicos de laboratorio, se tomó en cada horizonte 1 kg de muestra y tres núcleos de suelo (100 ml) con un cilindro para la densidad aparente (D.A). Dichas muestras fueron analizadas en el laboratorio de Edafología Nicolás Aguilera de la Facultad de Ciencias, UNAM.



Figura 8. Representación de parte de la microcuenca del ejido Rancho El Derramadero en el que se llevaron a cabo tres calicatas en el sitio de estudio y tres fuera del sitio de estudio.

Los análisis de textura se hicieron con el método de la pipeta, la densidad aparente (D.A) con el método del cilindro, el cálculo del porcentaje de porosidad a partir de la densidad real y la textura (Blake y Hartge, 1986). La concentración de materia orgánica (%M.O.) se hizo por el método de combustión en húmedo con dicromato de potasio (Walkley y Black, 1947 en: ISRIC, 2002); nitrógeno total (Nt) por el método de Kjeldahl (ISRIC, 2002); fósforo asimilable (P.a) por el método de Bray 2, con Floruro de Amónio en mayor concentración; y capacidad de intercambio catiónico (CIC) y cationes intercambiables (Ca, Mg, Na y K) con extracción por acetato de amonio y valorados por medio de cromatografía de iones (ISRIC, 2002). Para determinar el tipo de suelo, se utilizó el sistema de clasificación de suelos de la FAO, la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo del 2007 (WRB, 2007).

Para determinar la profundidad promedio del suelo en cada UR, se hicieron varias barrenaciones uniformemente dentro de cada cuadro de 2500 m², resultando 25 barrenaciones en cada unidad de relieve. Adicionalmente para estimar la pérdida aproximada de suelo, se midieron 10 pedestales presentes en los que estuviera presente parte de lo que sería el horizonte A; esto se hizo en cada unidad de relieve, se sacó un promedio y se estimó mediante la fórmula de volumen los m³ de suelo que perdió por hectárea cada unidad de relieve.

4.5.1 Humedad volumétrica y curva de retención de humedad

Para evaluar el efecto de la humedad del suelo en la supervivencia de las plántulas en las dos unidades de relieve, se consideró la humedad volumétrica (H.Vol) a través del método gravimétrico (Blake y Hartge, 1986). Para ello se extrajeron de forma aleatoria 12 muestras de suelo con núcleos de 100 ml a una profundidad entre 10 y 25 cm en cada unidad de relieve; la colecta se hizo en el mes de mayo (temporada seca), por ser una época más crítica para la supervivencia.

Por otro lado se extrajeron muestras con cilindros de 60 ml en dos horizontes de cada unidad de relieve para elaborar una curva de retención de humedad y obtener la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y el agua aprovechable. En ladera se tomó el horizonte AC y C y en piedemonte los horizontes BA y Bw. Se analizaron en el laboratorio de Física de Suelos del Instituto de Geología UNAM, en donde se saturaron de agua para luego someterlas a diferentes presiones de -33, -100, -200, -400, -800, -1200 y -1500 kilopascales para extraer el agua del suelo. El volumen de agua calculado se utilizó para obtener una curva de retención de humedad y también para comparar el contenido de agua equivalente con la humedad volumétrica obtenida en los 12 núcleos de 100 ml, y determinar si las condiciones en el mes de mayo estaban por encima o por debajo de -1500 KPa el cual es el punto de marchitez permanente (Manual de procedimientos para física de suelos, 2010). Adicionalmente se evaluó la humedad aprovechable estandarizada con densidad aparente de cada horizonte con la cual se obtuvo un promedio en cada unidad de relieve; el valor laminar de agua aprovechable se multiplico por la profundidad de cada una de las 25 barrenaciones para poder comparar entre las unidades de relieve.

4.6 Análisis de datos

Para establecer si existían diferencias entre el tamaño inicial (altura, diámetro en la base, cobertura y número de hojas) de las plántulas establecidas naturalmente en las dos unidades de relieve se realizó un análisis no paramétrico (U de Mann-Whitney).

Para analizar la supervivencia de las plántulas establecidas naturalmente en cada unidad de relieve (UR) y la plantación de *Quercus rugosa* en el Piedemonte se utilizaron pruebas de Mantel-Cox. Esta prueba compara las estimaciones de las funciones de riesgo con base en los eventos de muerte observados en cada tratamiento (unidades de relieve en el caso de plántulas establecidas naturalmente ó tratamientos en el caso de la plantación).

Para analizar el efecto de los factores C.Ar y C.Hj en la supervivencia de las plántulas establecidas naturalmente se usó la misma prueba de Mantel-Cox. En este caso se usaron las categorías de cobertura (C.Ar) y de cobertura de hojarasca (C.Hj) como variables independientes y el tiempo de supervivencia como variable dependiente. El efecto de la distancia al árbol más cercano con la abundancia inicial y final de plántulas se evaluó mediante una regresión. Posteriormente, con los factores que resultaron significativos se evaluó su efecto en la supervivencia pero en interacción con las unidades de relieve, con un modelo lineal generalizado (GLM) Estas pruebas de interacción se evaluaron usando el paquete R (R Development Core Team, 2012).

Para evaluar el crecimiento se usaron como variables de respuesta el incremento anual del diámetro, la altura, la cobertura y el número de hojas. En las plántulas establecidas naturalmente se utilizó una prueba de U de Mann-Whitney; y para las trasplantadas se uso una prueba de Kruskal Wallis de una vía: en el primer caso se compararon las dos unidades de relieve, y en el segundo los tres tratamientos.

Para evaluar las diferencias en la humedad volumétrica en el mes de mayo de 2011 y la humedad aprovechable entre las dos UR se usó una prueba de t-Student; de forma separada para cada una de las variables explicativas.

Las pruebas estadísticas de ANOVA, Mantel-Cox, la regresión, U de Mann-Whitney y Kruskal Wallis se hicieron con el programa de GraphPadPrism 5 (2009).

5. Resultados

5.1 Temperatura y humedad relativa

Los registros de temperatura y humedad relativa del aire mostraron ligera diferencia entre respecto las unidades de relieve. En el piedemonte con ligera orientación sur (ya que la pendiente es poco inclinada 16 a 11°), los valores de la temperatura promedio mensuales (°C) fueron menores y de los de humedad relativa fueron ligeramente mayores que los registrados en la ladera, con orientación suroeste (pendiente de 20 a 28 °), entre los meses de octubre y mayo, sin diferencias en la época de lluvias (junio-octubre 2011; Fig. 9).

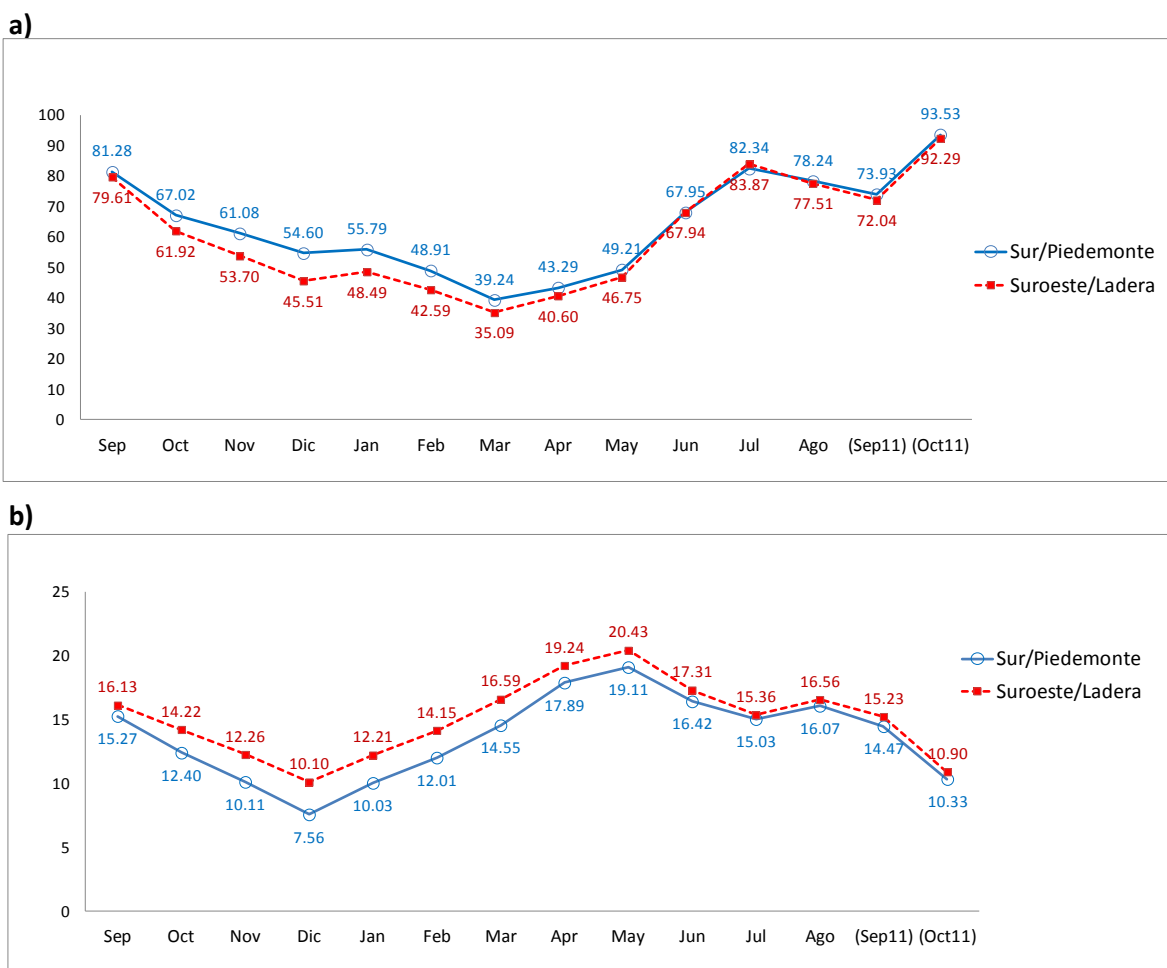


Figura 9. Valores promedio mensuales de: A) humedad relativa y B) temperatura en dos unidades de relieve entre septiembre de 2010 y octubre de 2011.

5.2 Caracterización del suelo.

Los tres perfiles de suelo nos permitieron identificar dos grupos de referencia con base en la clasificación de la WRB (Base referencial mundial del recurso suelo 2007) que corresponden a un Regosol epiléptico en ambos perfiles de la ladera (con y sin perturbación), y a un Cambisol epiléptico en el de piedemonte. En la ladera el suelo presentó una estructura poco desarrollada, bajo contenido de arcillas, y en ambos sitios la capa de materia orgánica fue menor a 20 cm, aunque en el sitio conservado, se presentó un horizonte Oh y en el perfil del sitio perturbado no (Anexo 1). En el piedemonte existe una mayor estructuración, un mayor contenido de arcillas con presencia de óxidos de Fe y dentro de los primeros 50 cm una capa de roca continua (Fig. 10) (Anexo 1). También se encontró un mayor porcentaje del suelo sin cobertura vegetal, pero los árboles presentes tuvieron mayor altura, cobertura y área basal que los de la ladera (Anexo 4).

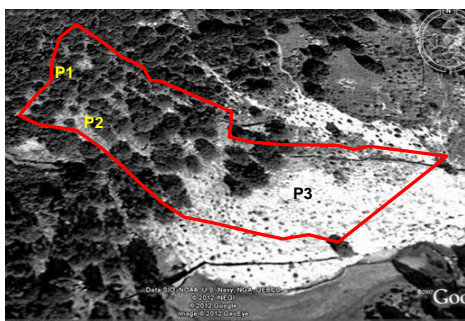
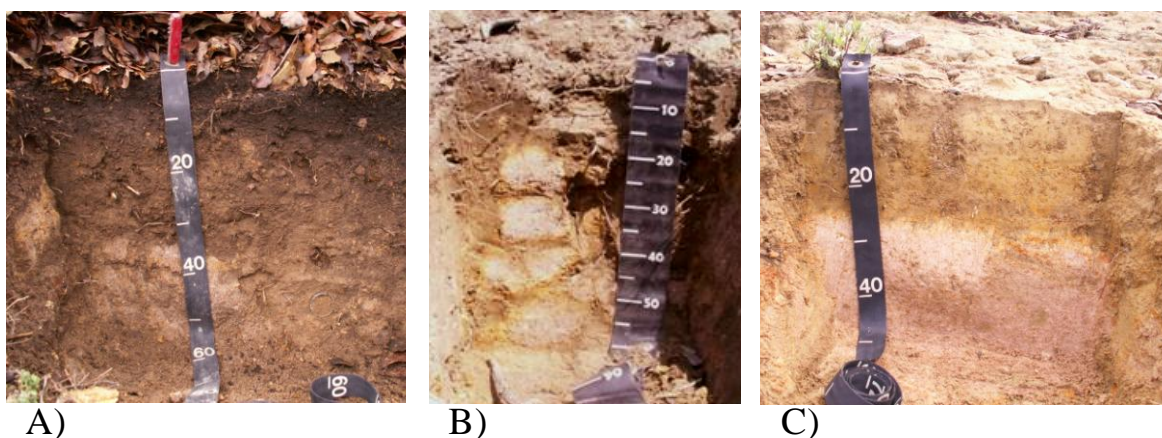


Figura 10. (A) Perfil 1 (P1) del suelo en buen estado de conservación de la ladera, (B) perfil 2 (P2) en suelo perturbado de la ladera; nótese la presencia de rocas intemperizadas, (C) perfil 3 (P3) en suelo perturbado del piedemonte. (D) localización de los tres perfiles en la zona de estudio.

D)

5.2.1 Propiedades físicas del suelo

El suelo del piedemonte contiene 44.8 % de arcillas, 26.8 % de limos y 28.4 % de arenas, lo que resultó en una textura arcillosa; mientras que el suelo de la ladera tiene de 12 a 18% de arcillas, 34 a 40 % de limos y 47 a 50 % de arenas, correspondiente a una textura franca (Tabla. 1). En cuanto a la densidad aparente (D.A.), los perfiles 1 y 2 de la ladera tienen una D.A. menor a 1 g/cm³ en los horizontes con altos contenidos de M.O, mientras que en los horizontes subyacentes fue de 1.17 a 1.34 g/cm³. Por otra parte en el perfil 3 del piedemonte, hay un aumento de 1.38 g/cm³ en el horizonte superficial, a 1.4 g/cm³ en el horizonte subyacente (Tabla 1). El porcentaje de poros fue mayor en los horizontes superficiales de la ladera que en el piedemonte (perfil 3), lo cual coincide con lo esperado (Tabla 1).

Tabla 1. Datos de los porcentajes granulométricos y densidad aparente (g/cm³) en cada horizonte de los tres perfiles de suelo.

	Profundidad (cm)	% Arcillas	% Limos	% Arenas	% poros	D A
Perfil 1						
Oh	0 a 5	11.8	29.5	58.8	56.6	0.94
A1	5 a 15	12.3	46.3	41.4	60.4	0.99
AC	15 a 32	13.8	31.6	54.6	49.0	1.32
C1	32 a 44	23.5	37.2	39.3	46.6	1.34
C2	44 a 54	26.6	22.7	50.7	45.9	1.34
Perfil 2						
A	4 a 14	13.5	33.2	53.3	64.1	0.99
AC	14 a 30	10.1	43.8	46.2	52.7	1.17
C1	30 a 50	19.4	38.4	42.1	46.4	1.34
Perfil 3						
BA	0 a 10	35.7	28.3	36.0	41.5	1.38
Bw	10 a 25	53.9	25.2	20.9	38.5	1.40

De las 25 barrenaciones hechas en cada unidad de relieve, se obtuvo una distribución relativamente heterogénea de la profundidad del suelo de la ladera y más homogénea en el piedemonte; con una profundidad promedio del solum de 23.3 y 28.2 cm, respectivamente. (Fig. 11); dichas varianzas fueron significativamente diferentes ($F=6.44$, g.l 24, $P < 0.001$).

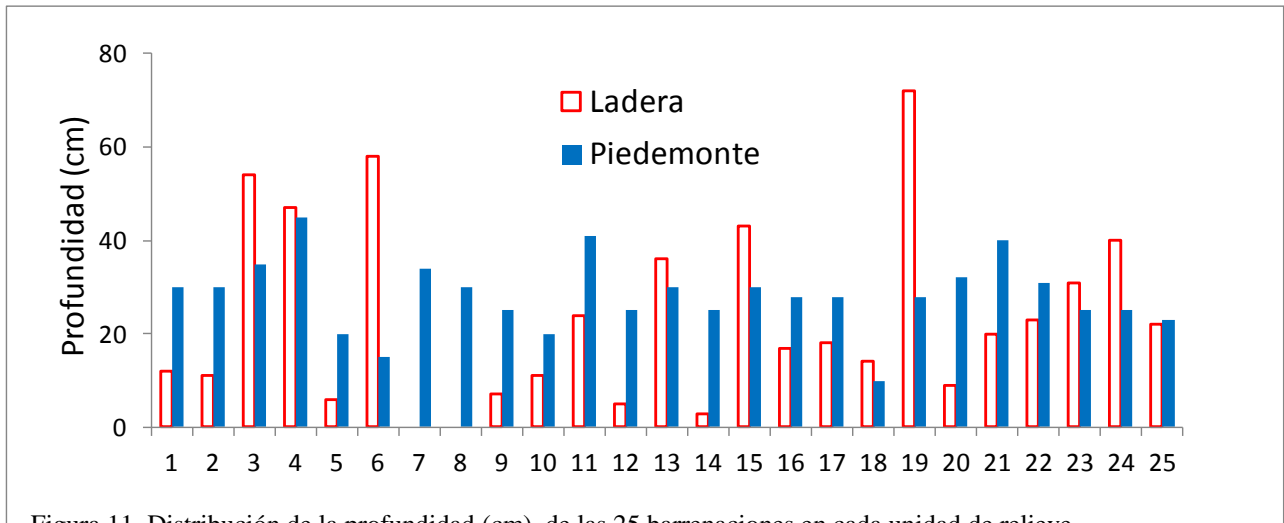


Figura 11. Distribución de la profundidad (cm), de las 25 barrenaciones en cada unidad de relieve.

Con los tres perfiles adicionales y el corte de suelo, se obtuvo una catena en la cual se observa un patrón de las propiedades físicas del suelo a través de las unidades de relieve. (Fig. 12; Anexo 1). Los suelos de las zonas de baja pendiente acumulan más arcillas, poseen una estructura más desarrollada y son más profundos (Anexo 1 y 2). El “corte de suelo” fue el sitio con la menor pendiente y con la mayor presencia de cutanes de arcilla, lo que permitió determinar horizontes Bt. Las zonas muy inclinadas presentan textura franca, con estructura débil y menor profundidad del suelo (Anexo 1 y 2).

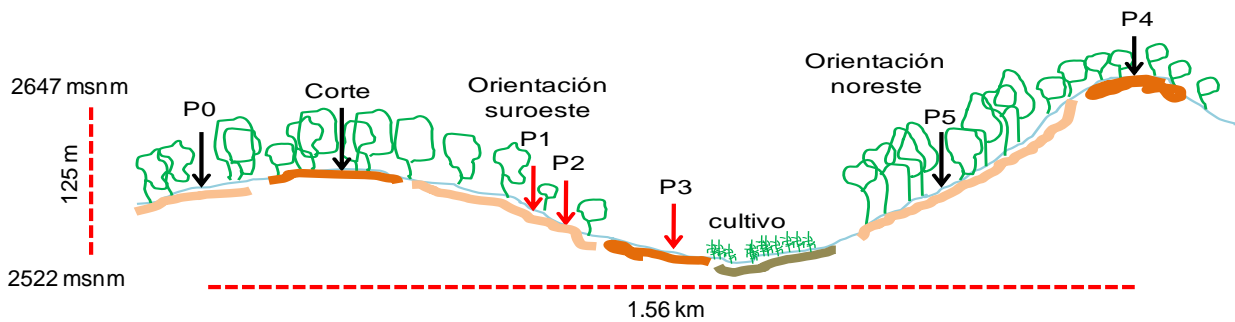


Figura 12. Esquema de la catena de suelo en el área de estudio.

5.2.2 Humedad volumétrica y curvas de retención de humedad

En la época seca del año (mayo de 2011) la humedad volumétrica fue significativamente mayor en el piedemonte que en la ladera ($t = 2.939$, g.l. 22, $P < 0.0076^{**}$), entre los 10 y 25 cm de profundidad (Fig. 13).

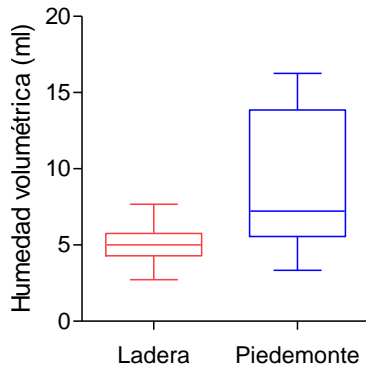


Figura 13. Promedios y desviaciones estándar de la humedad volumétrica del suelo entre los 10 y 25 cm de profundidad en cada unidad de relieve.

Sin embargo, la humedad volumétrica de las 12 muestras de cada unidad de relieve con el punto de marchitez permanente en la curva de humedad, destaca que la humedad volumétrica está por debajo del punto de marchitez permanente en ambas unidades de relieve (Tabla 2).

Las curvas de retención de humedad del suelo mostraron que el piedemonte tiene mayor retención de agua, aunque con un menor contenido de agua aprovechable. El horizonte AC de la ladera tiene un porcentaje de humedad similar al horizonte Bw de piedemonte bajo presiones de -33 y -100 KPa. Al aumentar la presión, el horizonte AC se desfasa y se incorpora al final con el mismo valor en el punto de marchitez del horizonte BA de piedemonte (Figura 14). La prueba de t para la humedad aprovechable obtenida en laboratorio y calculada con cada una de las distintas profundidades en cada unidad de relieve no tuvieron diferencias significativa ($t=0.162$, g.l 48, $P = 0.435$).

Tabla 2. Contenido volumétrico de agua en las muestras de la ladera y piedemonte, obtenidas en mayo de 2011.

Humedad Volumétrica

No. muestra	ladera	piedemonte
1	2.7	5.4
2	7.2	5.8
3	5.8	8.3
4	5.2	6.2
5	4.8	14.9
6	7.7	5.9
7	3.9	14.2
8	5.7	5.5
9	4.3	16.3
10	4.3	10.7
11	4.7	12.7
12	5.5	3.3

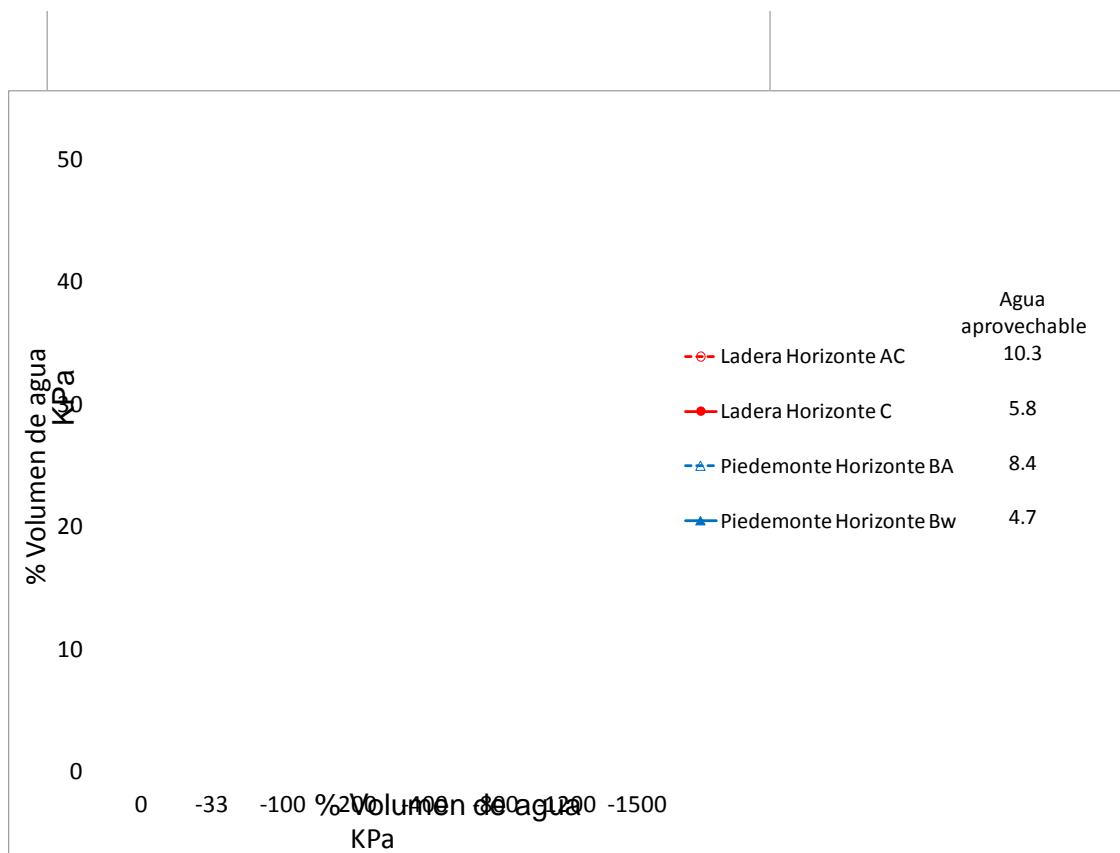


Figura 14. Curva de retención de humedad en los cuatro horizontes de suelo.

5.2.3 Propiedades químicas del suelo

En general los tres perfiles de suelo tienen reacción ácida. Se encontró un pH de 5 únicamente en los horizontes altos en M.O. y disminuyó hasta 4.3 a 4.5 en los horizontes subyacentes. Los valores del porcentaje de carbono orgánico (C.O.) contrastan entre la ladera y el piedemonte; en los horizontes superficiales de los perfiles 1 y 2 (ladera) fueron considerablemente mayores (12 y 3.6 % respectivamente) a los subyacentes (1.5 a 0.5 %). En el perfil 3, el horizonte superficial tiene escasa concentración de C.O. (0.8 %) (Tabla 3).

En el perfil 1 la saturación de bases (SB) fue mayor al 50 % en los tres primeros horizontes, mientras que en el perfil 2 fue considerablemente menor en los tres horizontes. El perfil 3, del piedemonte, presentó valores intermedios y en el horizonte BA el valor es superior al del primer horizonte del sitio perturbado en la ladera (perfil 2). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es media en el primer horizonte orgánico del perfil 1 y regular en el horizonte A, al igual que en el mismo horizonte del perfil 2. En piedemonte el valor es de bajo a regular. Esto refleja que en la ladera se presentan mejores condiciones que en el piedemonte. En todos los perfiles se presentó un aumento en la CIC en los horizontes con un mayor contenido de arcillas (horizonte Bw; Tabla 4).

Con respecto a la relación C:N fue <15 en todos los horizontes, excepto el primero horizonte del perfil 1: los valores más bajos se registraron en el piedemonte. El P asimilable fue extremadamente bajo, con un mínimo aumento en los horizontes orgánicos de los perfiles 1 y 2 (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades químicas del suelo en los horizontes de tres perfiles de suelo. pH, CO - carbono orgánico (g/kg), Nt - nitrógeno total (g/kg), C:N - relación carbono nitrógeno, P – fósforo disponible (mg/kg).

	Profundidad (cm)	pH	CO g/kg	Nt g/kg	C:N	P disp. mg/kg
Perfil 1						
Oh	0 a 5	5.1	119.8	7.8	15.4	0.072
A	5 a 15	5.2	31.2	2.3	13.6	0.027
AC	15 a 32	4.5	7.8	0.8	9.8	0.007
C1	32 a 44	4.3	6.2	1.3	4.8	0.004
C2	44 a 54	4.4	4.5	1.1	4.1	0.009
Perfil 2						
A	4 a 14	4.5	36	2.9	12.4	0.039
AC	14 a 30	4.4	14.7	1.7	8.6	0.027
C1	30 a 50	4.3	7.8	1.4	5.6	0.012
Perfil 3						
BA	0 a 10	4.7	7.5	0.9	8.3	0.004
Bw	10 a 25	4.4	7.8	1.6	4.9	0.001

Tabla 4. Propiedades químicas del suelo de los tres perfiles de suelo. CIC -capacidad de intercambio catiónico (cmol_c/kg), Ca- calcio (cmol_c/kg), Mg – magnesio (cmol_c/kg), Na – sodio (cmol_c/kg), K – potasio (cmol_c/kg), SB -porcentaje de saturación de bases.

	Profundidad (cm)	CIC	Evaluación	Ca	Mg	Na	K	% SB
Perfil 1								
Oh	0 a 5	24.66	Media	18.80	2.55	0.22	1.06	92.2
A	5 a 15	10.45	Regular	4.24	1.32	0.16	0.61	61.3
AC	15 a 32	7.13	Baja	2.60	1.25	0.23	0.48	64.2
C1	32 a 44	9.11	Baja	3.06	1.61	0.21	0.38	58.1
C2	44 a 54	13.63	Regular	1.83	0.90		0.36	44.4
Perfil 2								
A	4 a 14	12.42	Regular	2.66	0.96	0.18	0.54	36.6
AC	14 a 30	9.68	Baja	1.12	0.56	0.17	0.50	24.3
C1	30 a 50	7.13	Baja	1.05	0.54	0.18	0.44	30.4
Perfil 3								
BA	0 a 10	6.78	Baja	2.81	1.61	0.47	0.46	78.7
Bw	10 a 25	12.30	Regular	2.25	1.64	0.38	0.48	39.9

CIC, Ca, Mg, Na, K y %SB, estan en unidades de cmol_c/kg

5.3 Regeneración natural

Al inicio del registro, el número de plántulas en el piedemonte fue ligeramente mayor que en la ladera (74 y 69 plántulas respectivamente). Después de un año, la supervivencia global fue de 44%, pero se presentaron diferencias significativas entre la supervivencia del piedemonte (47%) y la ladera (28%), ($\chi^2 = 10.12$, g.l. 1, $P = 0.0015^{**}$) (Fig. 15). Los descensos más destacados se presentaron en febrero y marzo, en la temporada seca (días 228 y 331), en ambas UR.

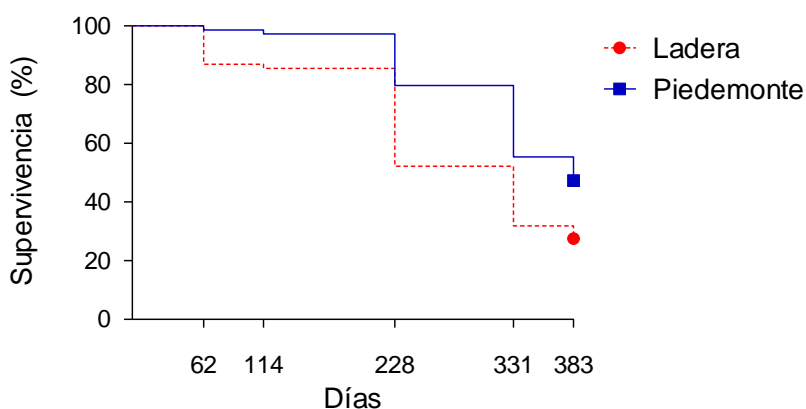


Figura 15. Gráfica de Mantel-Cox de supervivencia en las dos unidades de relieve.

5.3.1 Supervivencia

La abundancia inicial de las plántulas fue mayor en las categorías mayores de cobertura arbórea; en ambas unidades de relieve se encontraron menos plántulas en sitios sin sombra del dosel (Fig. 16A) y las diferencias fueron más grandes en el piedemonte que en la ladera. Después de un año la abundancia de plántulas disminuyó en ambas UR, sin embargo la disminución fue mayor en las categoría sin sombra en la ladera, mientras que en el piedemonte se registró la menor mortalidad (Fig. 16B). Sin embargo, la comparación de la supervivencia en las tres categorías de cobertura arbórea mostró que esta variable no tuvo un efecto significativo en la ladera ($\chi^2 = 3.54$, g.l. 2, $P = 0.169$) a pesar de la tendencia observada hacia una mayor supervivencia en los sitios intermedios o totalmente cubiertos.

En cambio en el piedemonte las diferencias fueron significativas ($\chi^2 = 12$, g.l. 2, $P = 0.002^{**}$), pero con una mayor supervivencia en los sitios expuestos (i. e., sin cobertura) (Fig. 17A y B).

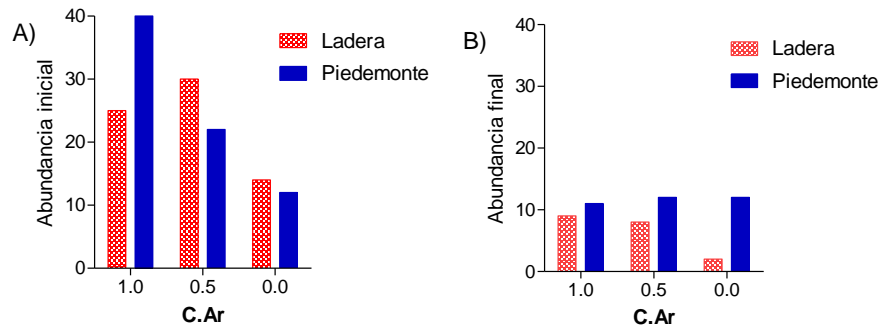


Figura 16. Abundancia inicial (A) y final (B) de plántulas en dos unidades de relieve, en las distintas categorías de cobertura arbórea (C.Ar).

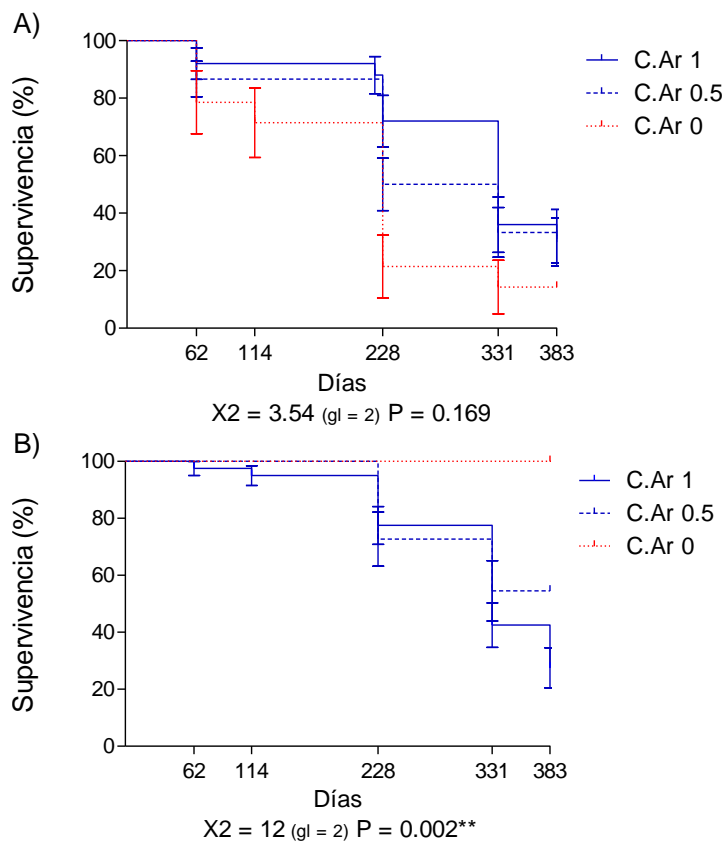


Figura 17. Curvas de supervivencia de Mantel-Cox en tres categorías de cobertura arbórea (C.Ar) en cada unidad de relieve: Ladera (A) y Piedemonte (B).

En cuanto a la cobertura de hojarasca, la abundancia inicial de las plantas fue menor en sitios sin hojarasca en ambas unidades de relieve (Fig. 18A). Después de un año en la ladera la abundancia disminuyó sobre todo en la categoría sin hojarasca, pero las diferencias en la supervivencia entre las tres categorías de cobertura de hojarasca no fueron significativas ($\chi^2 = 1.929$, g.l. 2, $P = 0.381$; Fig. 19A). En el piedemonte las plantas establecidas en sitios abiertos e intermedios registraron la menor mortalidad (Fig. 18B), pero sin diferencias significativas ($\chi^2 = 4.33$, g.l. 2, $P = 0.114$; Fig. 19B).

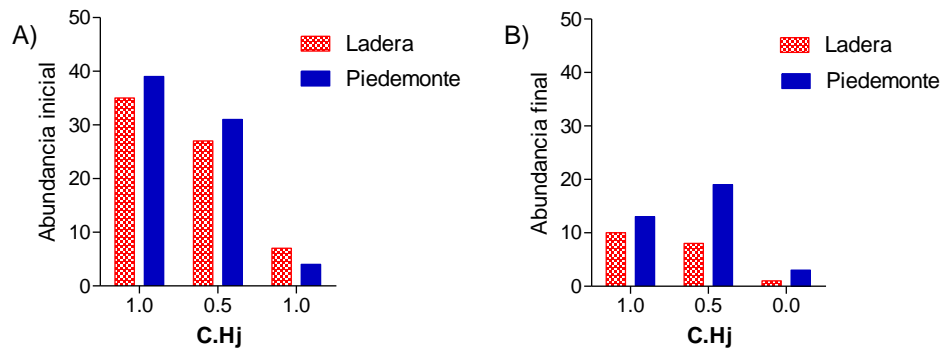


Figura 18. Abundancia inicial (A) y final (B) de plántulas en dos unidades de relieve, en las distintas categorías de cobertura de hojarasca (C.Hj.)

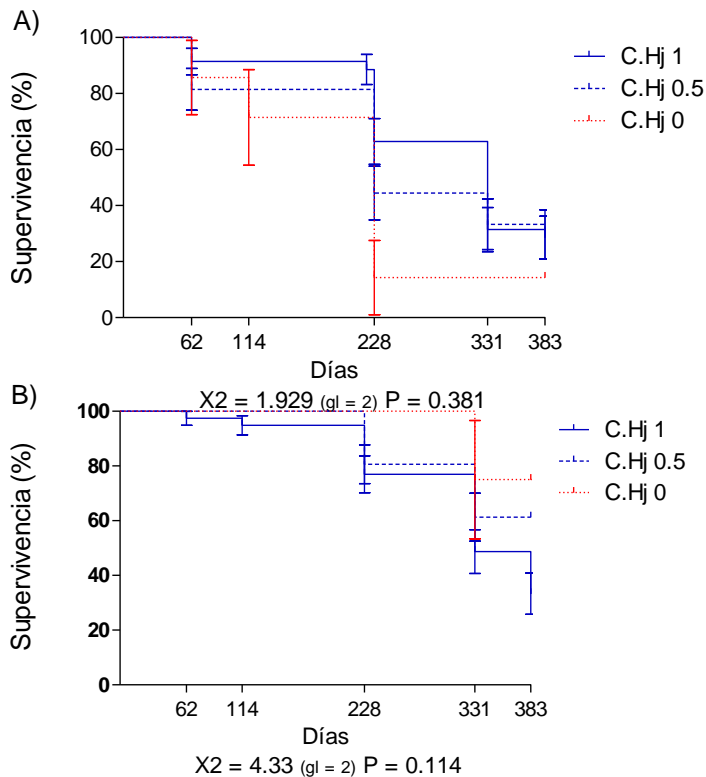


Figura 19. Curvas de supervivencia de Mantel-Cox en las categorías de cobertura de hojarasca (C.Hj) en cada unidad de relieve: Ladera (A) y Piedemonte (B).

Con respecto a la distancia al árbol más cercano, la abundancia inicial de las plantas aumentó con la cercanía a los árboles establecidos en ambas unidades de relieve. En la ladera la abundancia fue mayor a una distancia de entre 3 y 5 m, y decayó a los 7 m, sin registro a una distancia mayor a 10 m. En el piedemonte se presentaron plantas a baja densidad incluso a 20 m del árbol más cercano (Fig. 20A y B). Las regresiones lineales entre el número inicial de plántulas y la distancia al árbol más cercano fueron significativas tanto en la ladera como en el piedemonte ($r^2 = 0.438$, g.l. 1, 8, $P = 0.037$; $r^2 = 0.457$, g.l. 1, 20, $P < 0.001$, respectivamente), sin diferencias significativas entre las pendientes ($F = 1.937$, g.l. 1, 28, $P = 0.174$; Fig. 21A). En cuanto a la abundancia final de plántulas, las regresiones fueron altamente significativas en ambas unidades de relieve ($r^2 = 0.6405$, g.l. 1, 10, $P = 0.0018$; y $r^2 = 0.4461$, g.l. 1, 20, $P < 0.0007$, en ladera y piedemonte respectivamente), con diferencias significativas entre las pendientes ($F = 4.907$, g.l. 1, 30, $P = 0.034$), debido a que la correlación fue mayor en la ladera (Fig. 21B). Nótese la fuerte caída en la abundancia entre ambas fechas (Fig. 20A y B).

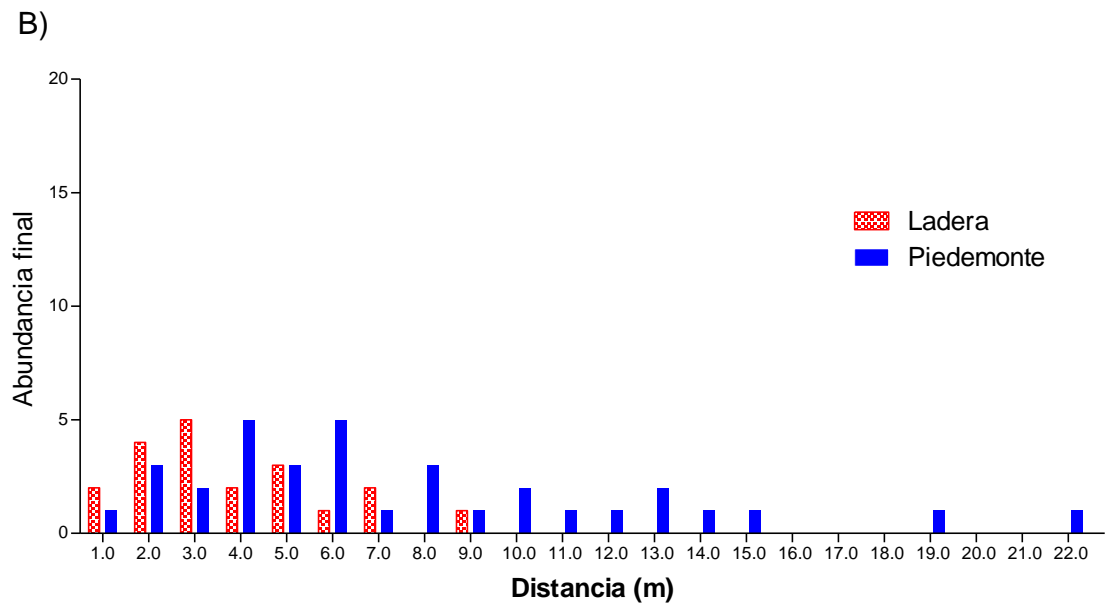
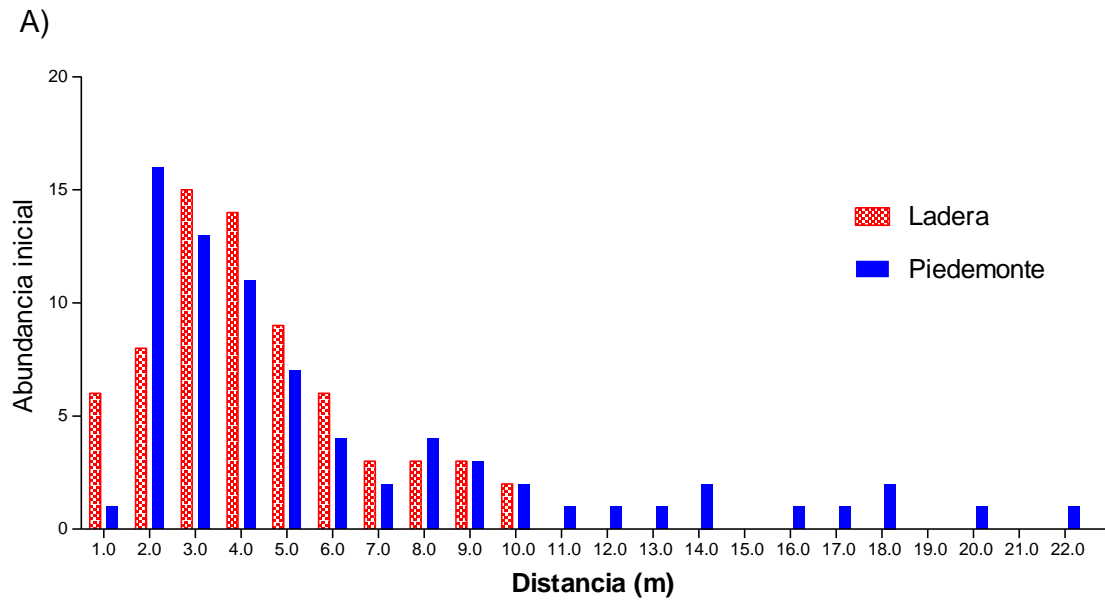


Figura 20. Abundancia inicial (A) y final (B) de plántulas en dos unidades de relieve respecto a la distancia al árbol más cercano.

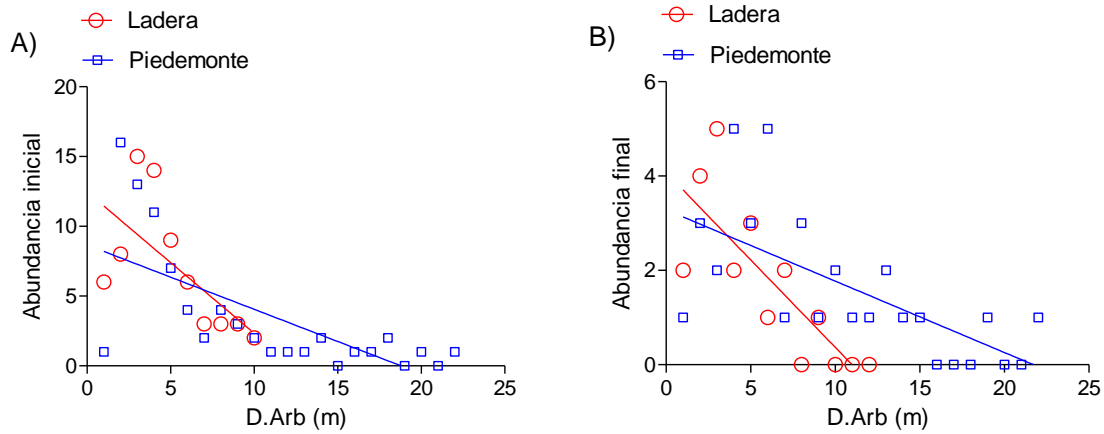


Figura 21. Regresión lineal de la abundancia de plántulas y la distancia al árbol más cercano (D.Ar) en cada unidad de relieve: A) abundancia inicial y B) abundancia final.

Los resultados del análisis con el modelo lineal generalizado (GLM), mostraron que las interacciones entre las unidades de relieve con la cobertura arbórea; y las unidades de relieve con la distancia al árbol más cercano fueron significativas en todos los casos. (Tabla 5). Lo cual implica que según la unidad de relieve los factores de cobertura arbórea y la distancia al árbol más cercano afectan de manera distinta a la supervivencia.

Tabla 5. Resultados del análisis lineal generalizado del efecto de la cobertura arbórea (C.Ar), la distancia al árbol más cercano (D.Ar), y su interacción de cada una con la unidades de relieve de piedemonte.

	Estimado	e.e	Valor de Z	Valor de P	
UR	3.6514	0.878	4.159	< 0.001	***
C.Ar	0.7537	0.7468	1.009	0.312	
UR:C.Ar	-4.1667	1.1425	-3.647	< 0.001	***
UR	-1.35	0.69	-1.967	0.0491	*
D.Ar	-0.2334	0.1297	-1.799	0.0719	
UR:D.Ar	0.4762	0.151	3.154	0.0016	**

5.3.2 Crecimiento

La prueba de U de Mann Whitney no mostró diferencias significativas entre las medidas iniciales de las plántulas en ambas unidades de relieve (julio de 2010), con solo una diferencia marginalmente significativa en la cobertura (Tabla 6). Las comparaciones después de un año mostraron que en el piedemonte los incrementos en la cobertura y el número de hojas fueron mayores que en la ladera (Tabla 7). Estas mismas variables registraron un ligero decremento en la ladera. No se pudo analizar el efecto de las variables de cobertura arbórea y de hojarasca en el crecimiento debido al reducido tamaño de muestra al final del estudio.

Tabla 6. Medidas iniciales de las cuatro variables de respuesta para el crecimiento de las plántulas.

Medidas iniciales de RN jul-10	Ladera n = 69			Piedemonte n = 74			P
	media	± e.e.	d.e.	media	± e.e.	d.e.	
Diámetro (mm)	1.13	± 0.03	0.2	1.25	± 0.06	0.47	0.8290
Altura (cm)	3.5	± 1.4	1.37	3.3	± 0.19	1.59	0.2850
Cobertura (cm ²)	10.07	± 0.64	5.32	12.56	± 0.9	7.67	0.0624
Número de hojas	4.8	± 0.25	2.07	5.53	± 0.32	2.75	0.2183

Tabla 7. El incremento en el diámetro, altura, cobertura y número de hojas en el crecimiento de regeneración natural de la ladera y el piedemonte.

Incremento del crecimiento	Ladera n = 20			Piedemonte n = 35			P
	media	± e.e.	d.e.	media	± e.e.	d.e.	
Incremento de diámetro (mm)	1.16	± 0.17	0.75	1.28	± 0.29	1.73	0.7793
Incremento de altura (cm)	0.53	± 0.52	2.36	3.07	± 1.25	7.4	0.6428
Incremento de cobertura (cm ²)	-1.09	± 3.36	15	9	± 3.01	17.8	0.0037 **
Incremento de número de hojas	-3.1	± 0.9	4.05	2.06	± 0.8	4.74	0.0002 ***

5.4 Reintroducción de *Quercus rugosa*

5.4.1 Supervivencia

La supervivencia total en la plantación experimental de *Q. rugosa* fue del 50.2 %. La prueba de Mantel-Cox no mostró diferencias significativas en la supervivencia entre los tratamientos ($X^2 = 1.826$, g.l. 2, $P = 0.4013$) (Fig. 22). De las 80 plantas que se reintrodujeron inicialmente en suelos erosionados, en el grupo control se registró la mayor supervivencia (58%); seguido por el tratamiento con suelo de horizonte Oh (48%); y por último en el de hojarasca (45%), pero las diferencias entre ellos fueron relativamente menores.

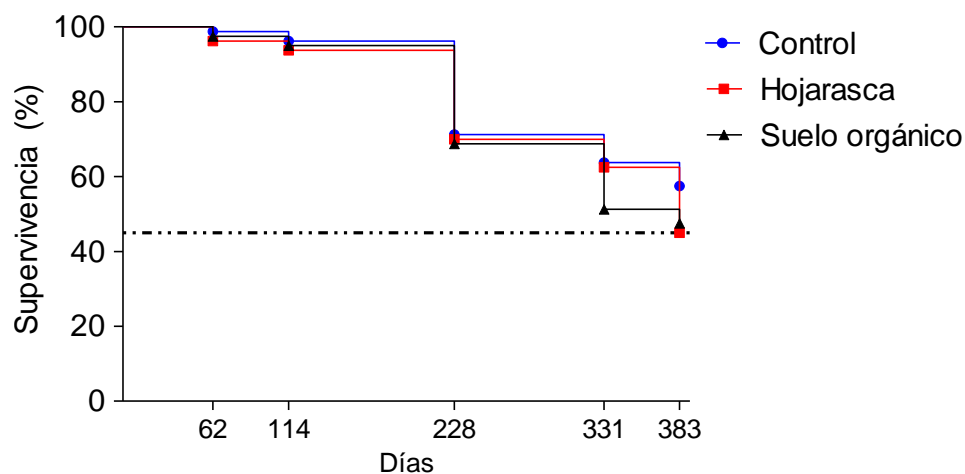


Figura 22. Supervivencia de plantas de *Q. rugosa* a lo largo de un año (383 días), en tres tratamientos.

Por otro lado, la prueba de Mantel-Cox mostró diferencias altamente significativas entre los bloques ($X^2 = 31.4$, g.l. 11, $P = 0.0009$), debido a la baja supervivencia en los bloques 1 y 2 (Fig. 23). Los cambios en la pendiente del suelo a lo largo del piedemonte no se correlacionaron con la humedad volumétrica ($F = 0.0952$, $r^2 = 0.0041$, g.l. 1, 23, $P = 0.7604$).

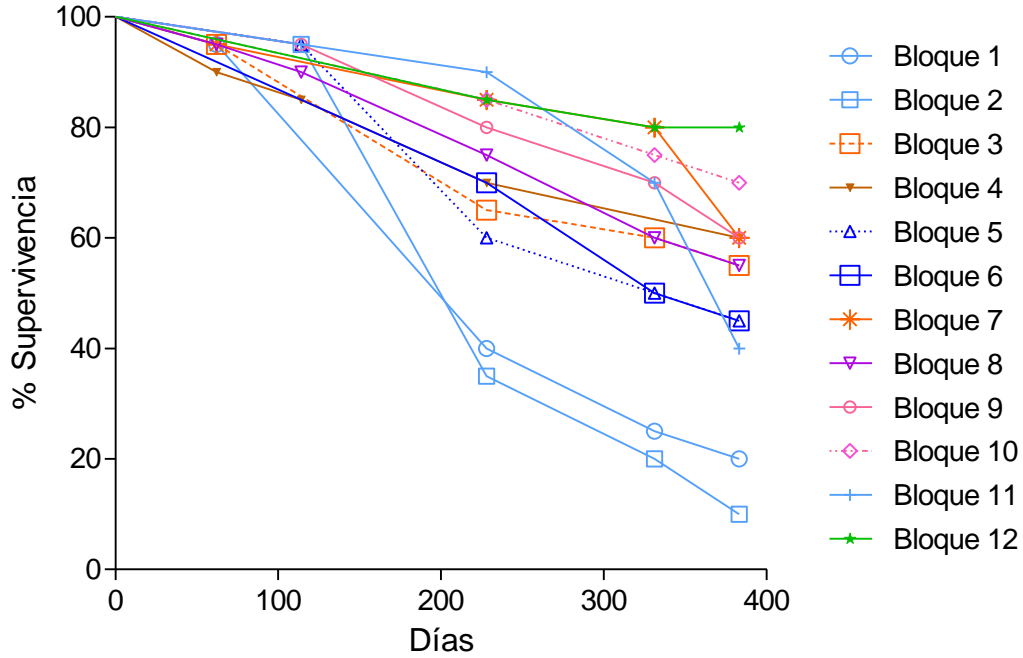


Figura 23. Prueba de supervivencia con Mantel Cox, en cada bloque.

5.4.2 Crecimiento

La prueba de ANOVA mostró que no hubo diferencias significativas en las medidas iniciales de las plantas entre los tratamientos (Tabla 8). Al analizar el crecimiento después de un año, no se encontraron diferencias significativas en las distintas variables de crecimiento entre los tratamientos (Tabla 9).

Tabla 8. Promedios, desviación estándar, error estándar de cada las variables de crecimiento al inicio del monitoreo en cada tratamiento.

Plantación inicial julio del 2010	control n = 80			hojarasca n = 80			suelo de horizonte Oh n = 80			P
	media ± e. e.	d.e.		media ± e. e.	d.e.		media ± e. e.	d.e.		
Diámetro (mm)	4.98 ± 0.27	2.43		4.65 ± 0.27	2.4		4.44 ± 0.27	2.43		0.370
Altura (cm)	21.64 ± 1.33	11.9		21.08 ± 1.38	12.3		20.42 ± 1.29	11.5		0.812
Cobertura (cm ²)	111.4 ± 7.95	71		89.9 ± 6.62	59.2		105.3 ± 7.00	62.5		0.096
Número de hojas	12.7 ± 0.78	6.95		11.84 ± 0.80	7.12		11.59 ± 0.65	5.87		0.544

Tabla 9. Promedios, error estándar y desviación estándar de las variables de crecimientos en cada tratamiento.

Incremento del crecimiento	control n = 46			hojarasca n = 36		suelo de horizonte A n = 38		P
	media ± e. e.	d.e.		media ± e. e.	d.e.	media ± e. e.	d.e.	
Diámetro (mm)	1.07 ± 0.43	2.91		1.12 ± 0.65	3.87	1.78 ± 0.45	2.79	0.451
Altura (cm)	-0.263 ± 1.7	11.5		4.93 ± 2.77	16.6	2.52 ± 1.89	11.6	0.214
Cobertura (cm ²)	14.5 ± 18.6	126		15.4 ± 17.2	103	58 ± 29	178	0.453
Número de hojas	4.5 ± 2.19	14.9		4.5 ± 2	12	14.1 ± 4.96	4.96	0.177

6. Discusión

Este estudio mostró que existen condiciones para el establecimiento natural de plantas de encino, como para una plantación de *Q. rugosa*, bajo suelos erosionados. No obstante los resultados no fueron los esperados, ya que en ambos estudios los factores físicos del suelo y el relieve afectaron más a la supervivencia que las condiciones de sombra o cobertura de hojarasca en el suelo.

Estudios previos han mostrado que la orientación de la ladera tiene un efecto importante en las propiedades del suelo y la vegetación (Gueye, 2010). En una plantación de *Q. rugosa* en la Sierra de Guadalupe, el establecimiento en una ladera orientada al noreste resultó más favorable que en una con exposición al suroeste (Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2004). En esa misma sierra se reporta que la distribución de las especies de *Quercus* está influida por el relieve y la pendiente, con *Q. frutex* en las cimas de la montaña u hombros de ladera, donde sopla más el viento, por lo que hay mayor evapotranspiración, y *Q. mexicana* y *Q. deserticola* en los dorsos de ladera, donde se encuentran más protegidos (Navarrete, 2012).

En nuestro sitio de estudio, la ladera con orientación suroeste tuvo temperaturas promedio mensuales más altas que el piedemonte durante la temporada seca; la humedad relativa también fue menor, y es muy posible que estas condiciones microclimáticas (junto con el relieve y las propiedades del suelo), contribuyeran a la mayor supervivencia de plántulas en el piedemonte, como se discute a continuación.

6.1 Suelos, procesos pedogenéticos y geomorfológicos

Ambas unidades de relieve provienen del mismo material parental, y por la cercanía comparten el mismo clima, vegetación y tiempo de intemperismo. Ello apunta a que el relieve fue el único factor diferenciador en la formación del suelo (Figs. 8 y 12) (Schaeztl y Anderson, 2005), lo cual derivó en distintas propiedades para los requerimientos de las plantas (Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2009). Otro aspecto es que estos suelos

erosionados no alcanzaron las propiedades de un tepetate, ya que su D.A es < 1.7 y no presentan cementación por sílice o calcio (Gama-Castro *et al.*, 2007)

6.1.1 Propiedades químicas del suelo

Se estimó que la pérdida de suelo en ladera y piedemonte ha sido de alrededor de 1200 y 2700 m³/ha respectivamente. Aunque el suelo del piedemonte es el más perturbado, ya que registra cárcavas de 20 a 40 cm de profundidad, en esta UR la profundidad fue menos variable y el promedio del suelo fue mayor que en la ladera. Sin embargo, por la densidad de la vegetación arbórea de la ladera, las propiedades químicas del suelo fueron mejores, ya que hubo altas concentraciones de C.O. y N, y una relación C:N más alta, mientras que en piedemonte las concentraciones fueron mucho más bajas (Tabla 3). Esta alta concentración de materia orgánica (M.O.) provocó que la CIC, el pH y el porcentaje de saturación de bases siempre fueran mayores en el suelo de la ladera (Tabla 4). Además, en la ladera los perfiles de suelo conservado tuvieron mayores espesores de los horizontes Oh y A, posiblemente por la textura franca y porque los procesos de ladera favorecen la mineralización, el traslado y la acumulación de M.O (Krasilnikov *et al.*, 2005; Scharenbroch y Bockhelm, 2007). Aunque en principio dichas características representarían mejores condiciones tanto nutrimentales como ambientales para las plántulas de encino, la mayor disponibilidad de nutrimentos en el suelo de la ladera no fue muy relevante en la supervivencia de las plantas, ya que las propiedades físicas del suelo tuvieron un efecto mayor en esta variable.

6.1.2 Propiedades físicas del suelo y supervivencia en la regeneración natural

El agua del suelo se midió de forma indirecta –al calcular la capacidad de agua disponible (dCC) (obtenida a partir de datos en campo) (Anexo 2), –y de forma directa el agua aprovechable (obtenida en laboratorio con la curva de retención de humedad) (Fig. 14) y la humedad volumétrica en la época seca; aunque esta es una estimación puntual de dicha

variable realizada en mayo (Fig. 13). Las dos primeras aproximaciones son similares en cuanto a su capacidad de almacenar agua disponible para las plantas, y en ambas estimaciones la disponibilidad de agua resultó significativamente menor en el piedemonte que en la ladera; pero la humedad volumétrica en la época seca fue significativamente mayor en piedemonte. A continuación discutiremos porque es posible que el agua presente en la época de mayo fuera disponible para los encinos en piedemonte. Habrá que considerar que el agua aprovechable resulta de la diferencia del agua contenida en el suelo a capacidad de campo (-33 kPa) al punto de marchitez permanente (-1500 KPa); intervalo en el cual muchas plantas de importancia agronómica están limitadas para disponer del agua en el suelo.

El contenido de agua en la época seca estuvo por debajo del punto de marchitez permanente (-1500 KPa) en ambas unidades de relieve (Fig. 14 y Tabla 2), lo que muestra que las plantas enfrentan condiciones de déficit hídrico (al menos agronómicamente) en ambas UR. Sin embargo, se desconoce el punto de marchitez permanente de las distintas especies del género *Quercus*. La fuerza para absorber el agua varía con las especies; en el girasol (*Helianthus annuus*) es suficiente -500 KPa en el suelo para que la planta se marchite; pero en pastos de triguillo intermedio (*Agropyron intermedium*) el punto de marchitez permanente puede llegar hasta -3000 KPa. Esta variable ha sido más estudiada en sistemas agrícolas, por lo que puede que los árboles tengan valores distintos (Parker 1956; Fisher y Binkley 2000). Además, los encinos presentan diversas estrategias para resistir o evadir la sequía; la gran mayoría de las plántulas poseen raíces profundas que funcionan como reserva para resistir el frío o la sequía; y estructuras foliares como ceras, pelos o tejido interno compacto que disminuyen la transpiración. Fisiológicamente también tienen estrategias ante la disminución de agua en el suelo, en *Quercus alba* y *Q. acutissima* se han observado ajustes osmóticos que evitan la pérdida de agua aun con los estomas abiertos (Auge y Moore, 2002, en Matus, *et al.*, 2010), mientras que en *Q. ilex* hay una disminución significativa de la transpiración residual con cierre estomático (Villar *et al.*, 1998, en Matus *et al.*, 2010).

Con respecto a la geomorfología, las características del relieve en el piedemonte depositan el agua de la escorrentía proveniente de las laderas, además, su menor pendiente en piedemonte favorece la infiltración. Aunado a esto, la profundidad promedio del solum fue mayor en el piedemonte (28.2 cm) que en la ladera (23.3 cm), por lo que las raíces pudieron penetrar a mayor profundidad y tener un mayor volumen de exploración. Esto podría explicar la mayor supervivencia de las plántulas establecidas naturalmente en el piedemonte que en la ladera (Solon, *et al.*, 2012). De esta forma, las características de los suelos y el relieve tuvieron un mayor peso en explicar los resultados obtenidos que el grado de conservación de la vegetación y el suelo, que fueron mayores en la ladera.

6.2 Regeneración natural en suelos erosionados

6.2.1 Supervivencia

En un inicio, las abundancias iniciales fueron muy similares en ambas UR, con un valor ligeramente mayor en el piedemonte, más perturbado. Esto difiere de los resultados de otros estudios, en los que se ha registrado una mayor abundancia de plántulas de *Quercus* dentro del bosque y en los bordes del mismo, que en sitios abiertos o perturbados (Bonfil y Soberón, 1999; López-Barrera y González-Espinosa, 2001). Esto se atribuye a que bajo la sombra del dosel la humedad del suelo se mantiene por mayor tiempo, lo que favorece la germinación y el establecimiento iniciales (López-Barrera y Newton 2005; Orozco-Segovia y Sánchez-Coronado, 2009).

Sin embargo, al interior de ambas UR sí se encontró una mayor abundancia inicial de plántulas en las categorías de cobertura arbórea intermedia y alta (Fig. 16A), así como en las categorías intermedia y alta de cobertura de hojarasca (Fig. 18A). La cercanía entre los árboles y la pendiente inclinada de la ladera probablemente permitieron una mayor movilidad de las semillas y la hojarasca, provocando una distribución más homogénea de las plantas, mientras que en el piedemonte el aislamiento del único árbol grande y la menor pendiente provocaron que tanto las semillas como la hojarasca (y por lo tanto las plantas) se

distribuyeran más cerca de éste, con sólo unas cuantas plantas alejadas y expuestas a la radiación directa (Fig. 20). Se ha reportado que en los sitios sombreados y con hojarasca hay una mayor humedad del suelo (Beatty, 1984; Solon *et al.*, 2012) que en los sitios abiertos.

Considerando estos antecedentes, se esperaría que la supervivencia fuera mayor en la categoría con sombra (i.e., con cobertura arbórea) y contenido de hojarasca alto o intermedio. Sin embargo, después de un año, la cobertura arbórea y de hojarasca no tuvieron efectos significativos en la supervivencia en ambas unidades de relieve (Figs. 17 y 19). Aunque en la ladera se registró una tendencia de mayor supervivencia en las categorías de cobertura mayores, ésta no fue significativa (Figs. 16B, 17A, 18B y 19A). En el piedemonte, la supervivencia más alta se registró en la categoría sin cobertura arbórea (Figs. 16B y 17B), y la cobertura de hojarasca no tuvo un efecto significativo (Fig. 19B). Es probable entonces que las plantas ya hubieran pasado por el periodo inicial en el que la sombra es necesaria para la germinación y el establecimiento de las plántulas (Zavala, 1996a, Bonfil y Soberón, 1999), y que por lo tanto las plantas que recibieran una mayor radiación tuvieran tasas fotosintéticas más altas. Esto habría favorecido que las raíces de las plantas en sitios totalmente abiertos alcanzaran mayores profundidades para obtener agua y acumularan reservas para sobrevivir durante la temporada seca, lo que aunado a las condiciones edáficas e hidrológicas ventajosas del piedemonte, explicaría la alta supervivencia registrada (100%), que es muy poco común. En otros estudios con plántulas de *Q. rugosa* la supervivencia en sitios abiertos era mínima durante el primer año pero la mortalidad disminuía en años posteriores (Bonfil y Soberón, 1999).

Al final del monitoreo la correlación entre la abundancia de plántulas y la distancia al árbol más cercano fue positiva y altamente significativa en ambas unidades de relieve. En la ladera la relación fue más alta, por la nula presencia de plántulas a distancias mayores de 7 m; esto podría indicar la mayor importancia de la sombra en la ladera debido a sus condiciones edáficas, dadas por un suelo con menor profundidad y con una textura más franca. En el piedemonte, por el contrario, se presentaron plantas incluso a 23 m del árbol más cercano (Fig. 21B). Por lo anterior proponemos que la importancia de la sombra de los

árboles en la supervivencia está influida por la calidad edáfica, lo cual también fue evidente con los análisis de interacción entre las unidades de relieve con los factores de cobertura arbórea y la distancia al árbol más cercano (Tabla 5).

Los estudios de nodricismo o facilitación por cobertura vegetal, han abarcado zonas donde el agua y los nutrientes son los factores limitantes (Carrillo-García, *et al.*, 2006; Valiente-Banuet y Ezcurra, 1991). Estudios en el Mediterráneo han registrado el efecto facilitador de los matorrales que disminuyen la depredación y la insolación de las plántulas de *Q. ilex* (Christian *et al.*, 2008), pero el efecto de la sombra resulta modificado al interactuar con diversas variables de la calidad del sitio (Wild, 1973; Callaway, 1997; Poulus *et al.*, 2007). En pruebas de establecimientos de plántulas de *Q. ilex*, en dos tipos de clima (uno con 846 mm y el segundo con 548 mm de precipitación anual), la mortalidad fue mucho mayor en condiciones descubiertas en el sitio más seco que en el más húmedo (Gómez-Aparicio, *et al.*, 2005). En nuestro sitio de estudio esta interacción se observó por los cambios que principalmente se explican por las condiciones del suelo y el relieve.

La tolerancia a los sitios abiertos puede variar en las especies de encino, en los Altos de Chiapas (pp > 2000mm anuales) ,*Q. laurina* y *Q. rugosa* demuestran ser abundantes como plántulas y brinzales tanto en condiciones cerradas como en sombra parcial, (Quintana-Ascencio, *et al.*, 2004), no obstante *Q. rugosa* suele tolerar ambientes menos húmedos y condiciones abiertas (Bonfíl y Soberón 1999), y *Q. laurina* es más abundante en bosques con sucesión vegetal más avanzada (Zavala, 1990). En *Q. crassifolia* las plántulas y brinzales son más abundante en espacios abiertos, con resistencia a condiciones secas y con menor tolerancia a espacios cerrados (González-Espinosa *et al.*, 1991; Quintana-Ascencio, *et al.*, 2004)

6.2.2 Crecimiento

El incremento en la cobertura y el número de hojas en las plantas del piedemonte fue mayor al obtenido en ladera (Tabla 6). Esto se debe al mayor crecimiento del follaje de las plantas que crecieron en condiciones totalmente abiertas, en las cuales también se registró

una mayor supervivencia (Fig. 17B). En una plantación de *Q. rugosa* en el Ajusco, D. F., se presentó también un mayor crecimiento en el diámetro de la base y la cobertura de las plantas en los sitios totalmente abiertos, aunque en ellos se registró una mayor mortalidad que en condiciones de sombra parcial (Bonfil y Soberón, 1999), lo cual no sucedió en este caso. A pesar de que los suelos erosionados de piedemonte tuvieron una concentración más baja de nutrientes, esto no afectó el crecimiento de las plantas durante el año de observación.

6.3 Reintroducidas de *Q. rugosa*

6.3.1 Supervivencia y Crecimiento

Aunque en el suelo erosionado del piedemonte no había un horizonte A con alrededor de la mitad de su profundidad original, la plantación tuvo una supervivencia de 50.2%, lo cual es un cifra relativamente alta comparada con la registrada en estudios realizados en otras regiones con precipitación similar (600 - 800 mm anuales): 31.3 % en la Sierra Guadalupe, Edo. de México) con *Q. rugosa* (Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2004) y 13.5% en el Cerro Punhuato, Michoacán con *Q. castanea* (Valle, 2009). Es muy posible que las condiciones microclimáticas y del suelo, provocadas por la orografía, hayan influido en este resultado.

Los tratamientos de adición de suelo y hojarasca no tuvieron un efecto significativo (Fig. 22), posiblemente porque no afectaron la disponibilidad de agua por las condiciones edáficas en el piedemonte; también pudo influir el área y profundidad de las cepas (35 × 25 cm con 30 cm de profundidad). En una evaluación hecha a prácticas de conservación del suelo en reforestaciones (en los estados de Querétaro, Hidalgo, estado de México y Tlaxcala), los tratamientos con tinajas ciegas o las terrazas individuales resultaron contraproducentes en algunas propiedades del suelo, ya que provocaban aumentos en la erosión y en la densidad aparente, así como una disminución de almacenamiento de carbono y nitrógeno, junto con relaciones C:N más bajas. Por otro lado los tratamientos con

acumulación de material vegetal o los sitios control (sin ningún tratamiento), resultaron tener condiciones edáficas más favorables, sin diferencias significativas entre ellos (Cotler *et al.*, 2013). Algo similar resultó en este estudio, en el que la supervivencia de las plantas en los distintos tratamientos fue casi idéntica, y sólo se registró una supervivencia menor en dos de los doce bloques considerados. La baja supervivencia en los bloques 1 y 2 se asoció a una menor concentración de arcillas en los mismos (Fig. 23), lo que muy probablemente resultó en una menor retención del agua durante la época seca en la que se registró la mayor mortalidad.

Finalmente, aunque no fue el objeto del presente estudio analizar la distribución de las distintas especies de *Quercus* en la zona de estudio, se incluye un párrafo con esta información porque puede ser útil para otros estudios futuros. Con base en las observaciones de campo, se sugiere que *Q. laurina* y *Q. crassipes* se encuentra en los piedemontes (ceranos a los valles) y en las laderas con orientación norte al este. *Q. rugosa*, *Q. crassifolia*, *Q. sideroxyla* y *Q. laeta*, son dominantes en las ladera y piedemontes con orientación sur al oeste (también presentes en la zona de estudio). En las cimas de los cerros con exposición a los vientos secos, dominan *Q. eduardii*, *Q. laeta*, y *Q. sideroxyla* y en menor medida *Q. rugosa* y *Q. crassifolia*. En altitudes más bajas, cálidas y secas, se presentan *Q. eduardii*, *Q. grisea* y *Q. glaucoides*, las cuales comparten la dominancia con *Pinus cembroides*.

7. Conclusiones

Las características de los suelos erosionados en el sitio de estudio difieren principalmente por dos aspectos: 1) por las distintas condiciones geomorfológicas dadas por la unidad de relieve (UR) y 2) por la distinta degradación, causado por el tipo e intensidad de uso que se le dio a cada una.

De acuerdo con la catena hecha en el Ejido Rancho el Derramadero, la textura del suelo está en función del relieve, con una textura franca en los terrenos con pendientes fuertes (16 a 30°) y una franco arcillosa a arcillosa en los terrenos relativamente planos (0 a 11°).

La supervivencia fue afectada por la calidad de sitio que apunta a los factores físicos del suelo (como la textura arcillosa y una mayor profundidad) y el relieve (baja pendiente, mayor profundidad y mayor recepción de agua por parte de la ladera adyacente),

En la ladera la correlación entre la abundancia de plántulas y la distancia a un árbol fue mayor que en el piedemonte, lo que indica un efecto positivo de los árboles cercanos en la supervivencia de plantas establecidas naturalmente.

En el piedemonte hubo mayor supervivencia de las plantas establecidas naturalmente, a pesar del mayor deterioro del suelo y vegetación. lo que indica un efecto positivo de las propiedades físicas del suelo y el relieve.

El efecto de la cobertura arbórea (C.Ar) y la distancia al árbol más cercano (D.Ar) en la supervivencia de plantas de encino establecidas naturalmente, está fuertemente influido por las condiciones físicas del suelo y el relieve.

A pesar de las condiciones de suelos erosionados en el piedemonte, la plantación de *Q. rugosa* registró una supervivencia total de 50%, y ésta no se modificó significativamente por la adición de suelo superficial u hojarasca.

8. Recomendaciones

El uso que le han dado al bosque, ha sido para obtención de leña, pastoreo de ganado y obtención de piñón. La intensidad con que se han llevado a cabo estas actividades ha dejado superficie de suelos erosionados poco extensas (20% aproximadamente) en que los procesos de regeneración natural aun pueden actuar. A pesar de que existe presión del ganado vacuno y la extracción de leña, los pobladores ya empiezan a controlar el uso de sus agostaderos.

En el ejido las condiciones edáficas (Anexo 1) sugieren que la producción forestal es regular a baja en casi toda su extensión. Los sitios forestales más productivos son los piedemontes, los bordes de los valles y laderas con orientación N, no obstante para los sitios de baja pendiente existe cierto conflicto por la necesidad de ser utilizados para el ganado como agostadero. Los ejidatarios ya visualizan y practican cierta rotación de su ganado en sus distintos agostaderos, lo cual evita la sobrecarga en cada unidad de relieve, sin embargo también deberían reconsiderar un manejo orientado en la recuperación del bosque y los suelos erosionados que todavía son recuperables, al menos con cierta una cobertura vegetal que le permita obtener a largo plazo algún beneficios ambiental o económico.

En las áreas con suelo arcilloso y relieve de piedemonte, es posible la reforestación con especies nativas de *Q. rugosa* sin aditivos como acolchados de hojarasca, suelo de horizontes superficiales ni otra fuente de materia orgánica. En estos suelos erosionados es más recomendable utilizar barreras con material vegetal ya que no remueven el suelo, y permiten la acumulación de sedimentos y agua.

Debido a las evidencias obtenidas con el estudio de la regeneración natural y la reintroducción de *Q. rugosa* en suelos erosionados, se recomienda que en futuros proyectos de restauración ecológica se identifique la calidad del sitio respecto a su potencial para la regeneración natural e invertir el esfuerzo en sitios con condiciones menos favorables para la regeneración natural.

Bibliografía

- Alanís Anaya, R. M. 2011. Regeneración vegetal en lahares recientes de la Barranca Montegrande, Volcán de Fuego de Colima. Tesis de Maestría en Geografía. UNAM.
- Albrecht, A. M. & McCarthy, C. B. 2009. Seedling establishment shapes the distribution of shade-adapted forest herbs across a topographical moisture gradient. *Journal of Ecology*. 97: 1037-1049.
- Barajas-Guzman, M. G., Campo, E. J & Barradas, V. L., 2006. Soil water, nutrient availability and sapling survival under organic and polyethylene mulch in a seasonally dry tropical forest. *Soil Plant*. 287:347-357.
- Beatty, W. S. 1984. Influence of microtopography and canopy species on spatial patterns of forest understory plants. *Ecology*. 65 (5): 1406-1419.
- Birkeland, P. W. 1999. *Soils and Geomorphology*, 3rd edition, Oxford University Press, New York Oxford.
- Blake, G. R. & Hartge, K. H. 1986. Bulk density. Pp. 363-365. In A. Klute (ed.). *Methods of soils analysis*. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, WI, USA.
- Binkley, D. & Sollins, P. 1990. Factors determining differences in soil pH in adjacent conifer and alder-conifer stands. *Soil Science Society American Journal*. 54: 1,427-1,433.
- Bonfil, C. & Soberón, J. 1999. *Quercus rugosa* seedling dynamics in relation to its re-introduction in a disturbed Mexican landscape. *Applied Vegetation Science*. 2: 189-200.
- Bonfil, C. 2006. Regeneration and Population Dynamics of *Quercus rugosa* at the Ajusco Volcano, Mexico. *Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forest*. 185: 155-163.
- Brady, N. 1990. *The nature and properties of soils*. Macmillan. New York. US.

- Burke, M. B. & Mitchell, N. 2007. People as ecological participation in ecological restoration. *Restoration Ecology*. 15. 340-350.
- Callaway, M. R. 1997 Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. *Oecologia*. 112: 143-149.
- Camacho-Cruz, A. & González-Espinosa, M. 2002. Establecimiento temprano de árboles nativos en bosques perturbados de Los Altos de Chiapas, México. <http://www.um.es/gtiweb/adrico/medioambiente/arboles%20nativos%20chiapas.htm>
- Carrillo-García, A., Bashan, Y. & Bethlenfalvay, J. G. 2000. Resource island soils and the survival of giant cactus, cardon, of Baja California Sur. *Plant and Soil*. 218: 207-214.
- Carta de Climas de México, según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García. 1989. Esc. 1:4 000, 000. INEGI. 1 mapa
- Carta Geológico-Minera, Colon F14-C56, Querétaro y Guanajuato. 1989. Esc. 1:50,000. Servicio Geológico Mexicano. 1 mapa.
- Carvell, K. L. & Tryon, E. H. 1961. The effect of environmental factors on the abundance of oak regeneration beneath mature oak stands. *Forest Science*. 7: 98-105.
- Casas, S. R., González-Elizondo, S. & Tena, A. 1995. Estructura y tendencias sucesionales en vegetación de clima templado semi-seco en Durango, México. *Madroño* 42 (4): 501-515.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México: pasado, presente y futuro.
- Christian, S., den Ouden, J. & Díaz, M. 2008. Facilitation of *Quercus ilex* recruitment by shrubs in Mediterranean open woodlands. *Journal Vegetation Science*. 19: 193-200.

- Cotler, H., Bocco, G. & Velázquez, A. 2005. El análisis del paisaje como base para la restauración ecológica. En: Sanchez, O., Peter, E., Marquez-Huitzil, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M & Azuara, D. Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología., Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-Semarnat). México 256 p.
- Cotler, H., Cram, S., Martinez-Trinidad, S. & Quintanar, E. 2013. Soil conservation in central México: An interdisciplinary assessment. *Catena*. 104: 280-287.
- CONAFOR. Evaluación Externa del PRONARE zona centro, ciclos fiscales 2000 – 2001. Querétaro de Arteaga. Universidad Autónoma de Tlaxcala. México 151 p.
- Cruz, N. N., 2005. Sitio seguro en la regeneración de encinos de la sierra fría y sierra del laurel, en Aguascalientes. Tesis de maestría en ciencias en manejo de agroecosistemas y recursos naturales. Universidad Autónoma de Aguascalientes.
- Encinas-Dominguez, J. A., Zarate-Lupercio, A., Estrada, C. E., Valdés, R. J. & Villareal, Q. J. A. 2009. Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana* 86: 71-108.
- Encinas-Domínguez, J. A., Mata, R. E., Meave, A. J. & Zarate-Lupercio, A. 2011. Estructura y composición florística de los bosques de *Quercus fusiformis* y *Carya illinoensis* de la planicie costera del noreste, Coahuila, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82: 607-622.
- Fisher, F. R. & Binkley, D. 2000. *Ecology and Management of Forest Soils*. Editorial John Wiley & Sons. Impreso en EU. 75 p. 489 p.
- Gama-Castro J., Solleiro-Rebolledo E., Florez-Román D., Sedov S., Cabadas-Báez H., Díaz-Ortega J. 2007. Los tepetates y su dinámica sobre la degradación y el riesgo ambiental: el caso del Glacis de Buenavista, Morelos. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. 1: 133-145.

- Galindo-Jaimes L., González-Espinosa M., Quintana-Ascencio P. & García-Barrios L. 2002. The composition and structure in disturbed stands with varying dominance by *Pinus spp.* in the highlands of Chiapas, México. *Plant Ecology*. 162: 259-272.
- Geissert, D. & Rossignol, J. P. 1987. La Morfoedafología en la ordenación de los paisajes rurales: conceptos y primeras aplicaciones en México. Xalapa, Veracruz, México, Intituto Nacional de Investigaciones sobre Recursos Bioticos INIREBORSTOM, Intitut Francais de Recherche Scientifique por le Developemmet en Cooperation, 83 p.
- González-Espinosa, M., Quintana-Ascencio, P. F., Ramírez-Marcial, N. & Gaytán-Gusmán, P. 1991. Secondary Succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests in the highlands of Chiapas, México. *Journal of Vegetation Sciencie*. 2: 351-360.
- González-Espinosa, M., Ochoa-Gaona, S., Ramírez-Marcial, N. & Quintana-Ascencio, P. F. 1995. Current land use and conservation of old growth forest habitats in the highlands of Chiapas, México. *Conservation Neotropical of Migratory Birds in Mexico*. 190-198.
- González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N. Camacho-Cruz, A., Holz, C. S., Rey-Benayas, J. M. & Parra-Vázquez, R. M. 2007, Restauración de bosques en territorios indígenas de Chiapas: Modelo ecológico y estrategias de acción. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 11-23
- Gómez-Aparicio, L., Gómez, J. M., Zamora, R. & Boettinger, J. L. 2005. Canopy vs. soil effect of shrubs facilitating tree seedlings in Mediterranean montane ecosystems. *Journal of Vegetation Science* 16: 191-198.
- Graham, R. C., Herbert, B. E. & Ervin, J. O. 1988. Mineralogy and incipient pedogenesis of Entisols in anorthosite terrain of the San Gabriel Mountains, California. *Soil Science Society of America Journal*. 52, 738– 746.
- GraphPadPrism5.2009:<http://www.filestube.com/318b8495355a040b03e9,g/GraphPad-Prism-5.html>

- Gueye, S. K. 2010. Potencial de captura de carbono en suelos de ladera en la subcuenca del río Piricua en Tuxpan, Michoacán. Tesis de Maestría en Geografía. UNAM.
- Higgs, E. S. 1997. What is a good ecological restoration? *Conservation Biology* 11: 338-348.
- Hobbs, R. J. & Harris, J. A. 2001. Restoration ecology: Repairing the earth's ecosystems in the new millenium. *Restoration Ecology* 9: 239-246.
- Instituto de Geografía, UNAM. V. 4. 10. 1989. Climas de México, Esc. 1:4, 000, 000. 1 mapa.
- ISRIC. 2002. Van Reeuwijk. Procedures for soil analysis. International Soil Reference and Information Centre. Sixth edition. 337 p.
- Jalali, S. Ch., Ali-Arab, A. R., Tabari, M., Akbarinia, M & Hosseini, S. M. 2007. Effect of sowing depth on performance of *Quercus castaneifolia* seedling at different levels of canopy cover. *Pakistan Journal of Biological Science* 10 (7): 1020-1027.
- Johnson-Maynard, L. J., Graham, C. R., Wu, L. & Shouse, P. J. 2002. Modification of soil structural and hydraulic properties after 50 years of imposed chaparral and pine vegetation. *Geoderma* 110: 227-240.
- Jordán, A., Zavala, M. A. & Gil, J. 2010. Effect of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain. *Catena* 81: 77-85.
- Krasilnikov, P. V., Garcia Calderón, N. E., Sedov, S. N., Vallejo Gómez, E. & Ramos Bello, R. 2005. The relationship between pedogenic and geomorphic processes in mountainous tropical foresta area in Sierra Madre del Sur, México. *Catena*. 62: 14-44.
- Lara, A., Little, C., Urrutia, R., McPhee, J., Álvarez-Garretón, C., Oyarzún, C., Soto, D., Donoso, P., Nahuelhual, L., Pino, M. & Arismendi I. 2009. Assessment of ecosystem service as an opportunity for the conservation and management of native forest in Chile. *Forest Ecology and Management*. 248, 4: 415-424.

- López-Barrera, F. & González-Espinosa, M. 2001. Influence of litter on emergence early growth of *Quercus rugosa*: a laboratory study. *New Forests*. 21: 59–70.
- López-Barrera, F. & Newton, A. 2005. Edge type effect on germination of oaks tree species in the Highlands of Chiapas, México. *Forest Ecology and Management*. 217: 67-79.
- López-Barrera, F., Manson, H. R., González-Espinosa, M. y Newton, C. A. 2006. Effect of the type montane forest edge on oak seedling establishment along forest-edge-exterior gradients. *Forest Ecology and Management*. 225: 234-244.
- Manual de Procedimientos Analíticos, Física de suelos, Departamento de edafología, UNAM. 2010 <http://www.geologia.unam.mx/igl/index.php/parks/laboratorios/laboratorios-de-edafologia/224-laboratorio-de-fisica-de-suelos>
- Marquez-Linares, A. M., Treviño, G. E. & Jurado, E. 2005. Reemplazo de áreas arboladas por chaparral y comunidades herbáceas en el periodo 1970-2000 en una microcuenca de Durango, México. *Boletín del Instituto de Geografía*. 58: 54-65.
- Matus, M. A., Arriaga, F. A. & De la Cruz, G. H. G. 2010. Encinos, respuestas morfológicas a la sequía. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Impreso en México.
- Munsell. Soil Color Charts. 1975. Macbeth division of Kollmorgen Corporation. 244 North Calvert street. Baltimore Maryland 21218.
- Murcia, C. 1995. Edge effects in fragmented forest: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.
- Navarrete, S. N. A., Bustamante, R. L.M., Contreras, R. G. & Elias, F. G. 2008. Sucesión Ecológica, el proceso de restauración natural de las comunidades. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM.

- Navarrete, S. A. 2012. Indicadores de calidad de suelo en matorrales de *Quercus* spp. para la restauración ecológica en el área natural protegida Sierra de Guadalupe México. Tesis de Maestría. UNAM. 77 p.
- Negrete-Yankelevich, S., Fragoso, C., Newton, C. A., Russell, G. & Heal, W.O. 2008. Species-specific characteristic of three can determine the litter macroinvertebrate community and decomposition process below their canopies. *Plant Soil*. 307: 83-97.
- Nixon, K. G. 1993. The genus *Quercus* in México. In: Ramamoorthy, T. P., R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.). *Biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Capítulo 16, pp. 447-458. Oxford University Press. Nueva York. 812 pp.
- Orozco-Segovia, A., & Sánchez-Coronado, M. E. 2009. Functional diversity in seeds and its implications for ecosystem functionality and restoration ecology. *Function Diversity of Plant Reproduction*. 37:175-216.
- Parker, J. 1956. Drought resistance in woody plants. *The Botanical Review*. 22 (4): 241-278.
- Peña-Ramírez, M. V. 2000. Efecto del fuego en la regeneración de dos especies de encino en la montaña, de Guerrero. Tesis de Licenciatura en Ciencias Biológicas. UNAM.
- Peña-Ramírez, M. V., Vásquez-Selem, L. & Siebe, Ch. 2009. Soil organic carbon stocks and forest productivity in volcanic ash soils of different age (1835-30,500 years B.P.) in México. *Geoderma*. 149: 224-234.
- Poulos, H. M., Goodale, M. U. & Berlyn, P. G. 2007. Drought response of two Mexican oaks species, *Quercus laceyi* and *Q. sideroxyla* (Fagaceae), in relation to elevational position. *American Journal of Botany* 94 (5): 809-818.
- Pritchett, W. L. 1986. *Suelos Forestales; propiedades, conservación y mejoramiento*. Editorial Limusa. México D.F.

- Quintana-Ascencio, P. F., González-Espinosa, M. & Ramírez-Marcial, N. 1992. Acorn removal, seedling survivorship and seedling growth of *Quercus crispipilis* in successional forest of the highlands of Chiapas, México. *Bulletin Torrey Botanical Club*. 119: 6-18.
- Quintana-Ascencio, P. F., Ramírez-Marcial, N., González-Espinosa, M. & Martínez-Ico, M. 2004. Sapling survival and growth of coniferous and broad-leaved trees in successional Highland habitats in Mexico. *Applied Vegetation Science*. 7:81-88.
- Ramírez-Contreras, A. & Rodríguez-Trejo, D. A. 2004. Efecto de la calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo. Series Ciencias Forestales y del Ambiente*. 1: 5-11.
- Rubio, L., L. 2009. Reintroducción Experimental de *Quercus candicans* NÉE (FAGACEAE) en Chapa de Mota, Estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. UNAM.
- R Core Team. 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for statistical computing. Viena, Austria.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. Mexico. D.F. 432 pp.
- Schaetzl, R. & Anderson S. 2005. *Soil Genesis y Geomorphology*. Cambridge University Press. Impreso en Inglaterra
- Scharenbroch, B. C. & Bockhelm, G. J. 2007. Impacts of forest gaps on soil properties and processes in old growth northern hardwood-hemlock forests. *Plant Soil*. 294: 219-233.

Secretaría de Programación & Presupuesto. 1989. Síntesis Geográfica de Querétaro, Coordinación General de Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática. México DF. 159 pp.

Servicio Meteorológico Nacional, Normales, Climatológicas del Zamorano 1971-2000. Edo. de Querétaro.

<http://smn.cna.gob.mx/climatologia/normales/estacion/qro/NORMAL22049.TXT>

Schnitzer, M. & Khan, S. U. 1978. Soil Organic Matter. Elsevier, Amsterdam. 8: 319 pp

Siebe, Ch., Jahn, R. & Stahr, K. 2006. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. Segunda edición. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Publicación especial No. 4. México 57 p.

Solon, J., Degorski, M. & Roo-Zielinska, E. 2007. Vegetation response to a topographical soil gradient. *Catena* 71: 309-320.

Solon, J., Roo-Zielinska, E. & Degórski, M. 2012. Landscape scale of topography-soil-vegetation relationship: influence of land use and land form. *Polish Journal of Ecology*. 60: 3-17.

Tice, K. R., Graham, R. C. & Wood, H. B. 1996. Transformation of 2:1 phyllosilicates in 41-years-old soils onder oak pine. *Geoderma*. 70: 49-62.

Valencia, A. S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 75: 33-35.

Valiente-Banuet, A. & Ezcurra, E. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxbaumia tetetzo* and the nurse plant *Mimosa luisana* in the Tehuacan Valley, Mexico. *The Journal of Ecology*. 79: 961-971.

- Valle Díaz, O. I. 2009. Desempeño de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea* en un gradiente altitudinal y de aspecto de la ladera en un sitio adyacente a una zona urbana. Tesis de Maestría . UNAM. 51 p.
- Vleeschauwer, D. 1978. The Comparative effects of surface applications of organic mulch versus chemical soil conditioners on physical and chemical properties of the soil and plant growth. *Catena*. 5: 337-349.
- Warman, A. 2004. El campo mexicano en el siglo XX. Primera edición 2001. Fondo de Cultura Económica. P. 9-31.
- Wild, A. 1973. Russells soil condition and plant growth. Longman Scientific Technical copublished in the United States with John & Sons, Inc., New York, Eleventh edition. 991 pp.
- WRB. Base referencial mundial del recurso suelo 2007. Primera actualización 2007. FAO. Roma
- Zavala, F. C. 1996. Repoblación natural de encinos en la sierra de Pachuca, Hidalgo. Tesis de Doctorado en Ciencias especialista en Botánica. Montecillo México. Colegio de Postgraduados.
- Zavala, F. C. 2000. El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia ErgoSum*, 7 (3): 269-276.
- Zorrilla, R. M., 2005. La influencia de los aspectos sociales sobre la alteración ambiental y la restauración ecológica. En: Sanchez, O., Peter, E., Marquez-Huitzil, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M & Azuara, D. Temas sobre restauración ecológica. Instituto Nacional de Ecología., Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (INE-Semarnat). México 256 p.

Anexos 1 Perfiles de suelo en el Ejido Rancho el Derramadero

Aspectos generales de los suelos

Los siguientes perfiles se encuentran en un bosque de encino. Las calicatas están en suelos relativamente conservados a zonas con alta erosión en el suelo. Todos los perfiles se encuentran sobre un material parental de origen volcánico, de riolita andesita con tobas de riolita andesita del Oligoceno (> a 20 millones de años) el intemperismo de la roca está al grado de poder cortarse con la pala recta. Dentro de los perfiles de suelo no existe evidencia de sales y el manto freático esta a más de 15 metros de profundidad. El clima es semiseco (subhúmedo) templado BS₁ kw con lluvias de verano (INEGI 1989)

Perfil 0

El perfil está en hombro de ladera, en un terreno extendido en superficie LV, moderadamente inclinado (6°), con exposición norte, en un bosque de encino relativamente conservado con mantillo, con *Q. crassifolia*, *Q. sideroxylla* y *Q. laeta*. El sitio está en las coordenadas UTM 393388.40 E, 2323674.12 N, a 2535 msnm. El perfil se hizo a principios de invierno en el mes de septiembre, el estado del tiempo fue ET2.



DESCRIPCIÓN BREVE DEL PERFIL

Es un **Cambisol háplico endoleptico** de color ocre amarillo claro, motas ligeramente con naranja, rojizo a gris en la profundidad. Todo el perfil tiene una estabilidad alta, una densidad aparente media. La estructura es subangular en bloques, con moderada a alta presencia de rocas en el horizonte más profundos. La distribución de raíces es alta a media, con drenaje moderado, condición seca solo en los primeros dos horizonte y fresca en subyacentes.



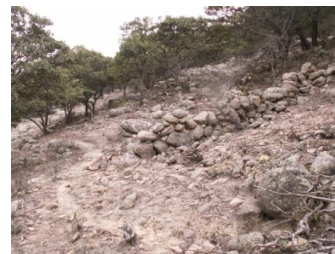
DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE

HORIZONTE	PROFUNDIDAD	CARACTERÍSTICAS
Of	+ 2 cm	Mantillo de tipo Moder, con presencia de artrópodos y ectomicorrizas en la parte más descompuesta y en contacto con el horizonte Oh, ligeramente acida
Oh	0-2 cm	Color negro (10YR 2/1 húmedo, 10YR 4/1 seco); textura franco arenosa; 15.6 % de materia orgánica; pH de 5.8 en H ₂ O; estructura de migajón medios y finos granulares, con desarrollo moderado, estabilidad de agregados moderada; consistencia en seco

		ligeramente friable, en húmedo poco adhesivo no plástico, abrasivo; 5 % de pedregosidad, con cantos de 6 a 20 mm; D.A. de 1 gr/cm ³ ; muchos poros gruesos intersticiales y vesiculares; alta densidad de raíces finas a muy finas. Buen drenaje. El límite entre horizontes es abrupto y ondulado.
AE	2-6 cm	Color ocre (10YR 3/2 húmedo, 10YR 5/3 seco) en húmedo; textura franco arenosa; 4 % de materia orgánica, pH de 5.7 en H ₂ O; estructura en migajón-granular, medio fino, desarrollo moderado, estabilidad de agregados moderada; consistencia ligeramente firme en seco; en húmedo es friable, poco adhesivo, no plástico, abrasivo; 5 % de pedregosidad, cantos de 6 a 20 mm, D.A. de 1.1 gr/cm ³ ; poros comunes finos vesiculares intersticiales; alta densidad de raíces, finas y medianas. Buen drenaje. El límite entre horizontes es ondulado claro.
EB	6-24 cm	Color gris ocre claro (10YR 5/4 húmedo, 10YR 8/2 seco); textura franca; pH de 4.9 H ₂ O; estructura en bloques subangulares medios, desarrollo moderado; estabilidad de agregados es moderada; consistencia en seco es dura, en húmedo es firme, rígida, ligeramente adhesivo, plástico y abrasivo; 4.5% de pedregosidad, con cantos de 6.3 a 20 mm; D.A. de 1.38 gr/cm ³ , 7 % de pedregosidad, cantos de 6 a 20 mm; poros comunes gruesos tubulares, vesiculares medianamente abundantes y medios; densidad mediana de raíces, finas a muy finas y grandes escasas. Buen drenaje. El límite entre horizontes es abrupto claro ondulado.
B1	24-40 cm	Color ocre amarillo (10YR 4/4 en húmedo y 10YR 7/6 en seco) con zonas grises y rojizas. (5YR 4/4 en húmedo y 10YR 5/4 en seco); textura arcillosa; pH de 4.7 en H ₂ O; estructura subangular en bloques grandes, alto desarrollo; estabilidad de los agregados media, con consistencia firme en húmedo, es adhesiva y plástica, con escasos cutanes de arcilla e hidromorfismo dentro y fuera de los agregados; 20% de pedregosidad, cantos y rocas de 20 > 60 mm; D.A. de 1.32 gr/cm ³ ; poros comunes finos a muy finos vesiculares y tubulares; densidad de raíces es mediana, con grandes, finas a muy finas. Drenaje moderado. El límite entre horizontes es difuso.
BC	40-80/92 cm	Color Pardo rojizo-amarillento (10YR 5/6 en húmedo y 10YR 7/4 en seco) con zonas grises (10YR 5/2 en húmedo y 10YR 6/1 en seco); textura arcillosa, pH de 4.9 en H ₂ O; estructura subangular grande con alto desarrollo, estabilidad de agregados media, consistencia firme en húmedo, adhesiva y plástica; escasos cutanes de arcilla e hidromorfismo; 15% de pedregosidad, cantos gruesos y medianos; D.A. de 1.29 gr/cm ³ ; poros comunes finos a muy finos, pocos vesiculares y tubulares; densidad de raíces mediana, medianas finas y muy finas, con pocas gruesas. Buen moderado a deficiente.

Perfil 1

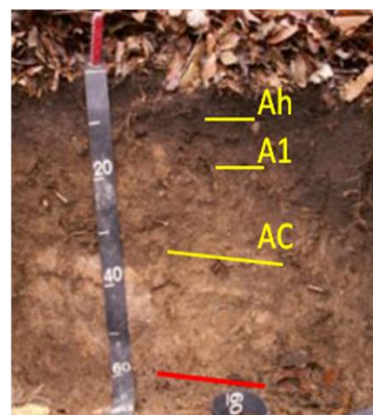
El perfil está localizado en una ladera, en un micro relieve cóncavo, el terreno tiene una superficie LV, escarpado a muy escarpado (20 a 28 °), con exposición suroeste, en bosque de encino muy fragmentando con erosión en el suelo de clase 1 a 2, con claros de entre 50 a 200 m², > al 50% de pedregosidad superficial, con



remanentes de suelo conservado, sitio donde se encuentra la calicata. Los encinos presentes son *Q. crassifolia*, *Q. sideroxylla* y *Q. laeta* y *Q. rugosa*.. El sitio está en las coordenadas UTM 393363.05 E, 2323125 N, a 2534 msnm. El uso de suelo es de extracción de leña y agostadero. El perfil se hizo a principios de marzo, el estado del tiempo es ET1.

DESCRIPCIÓN BREVE DEL PERFIL

Es un **Regosol epiléptico** de color oscuro en superficie a ocre gris claro los subyacentes, la densidad aparente es media baja con estructura débil, apenas sub angular, con una alta pedregosidad. La porosidad es media, con distribución de raíces alta en horizonte superficiales pero mediana en los más profundos, con drenaje bueno, condición fresca en todos los horizontes.



DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE

HORIZONTE	PROFUNDIDAD	CARACTERÍSTICAS
Of	+ 3.4 cm	Mantillo de tipo Moder, de 5 cm de espesor, con presencia de artrópodos y ectomicorrizas en la parte más descompuesta y en contacto con el horizonte Oh, ligeramente acida.
Oh	0-4 cm	Color oscuro (10YR 2/1 en húmedo, 10 YR 4/2 en seco); textura franco arenosa; 24% de materia orgánica, pH de 5.1 en H ₂ O; estructura de migajón, medios y finos granulares, estabilidad de agregados moderada; consistencia en seco ligeramente friable, en húmedo poco adhesivo no plástico, abrasivo; 8 % de pedregosidad, cantos de 6 a 20 mm, D.A. de 0.94 gr/cm ³ ; muchos poros gruesos intersticiales y vesiculares; alta densidad de raíces, finas y muy finas. Buen drenaje. El límite entre horizontes es abrupto y ondulado.
A	5-15 cm	Color gris oscuro (10YR 2/1 en húmedo, 10YR 4/2 en seco); textura franca; 6.24% de materia orgánica, pH de 5.2 en H ₂ O; estructura en migajón-granular, medio fino, ligero desarrollo; consistencia ligeramente firme en seco, en húmedo es friable, poco adhesivo, no plástico, abrasivo; 15 % de pedregosidad, cantos de 20 a 60 mm, D.A. de 1 gr/cm ³ ; poros comunes, finos vesiculares, intersticiales; alta densidad de raíces, finas y muy finas. Buen drenaje. El límite entre horizontes

		difuso ondulado.
AC	15-32 cm	Color ocre oscuro (10YR 4/3 en húmedo, 10YR 7/3 en seco); textura franco arenosa; 1.6 % de materia orgánica, pH de 4.5 H ₂ O; estructura en bloques sub angulares medios, ligero desarrollo y estabilidad moderada, la consistencia en seco moderadamente dura, en húmedo es firme, rígida, ligeramente adhesivo, no plástica, abrasiva; 25% de pedregosidad, cantos de 20 a 60 mm, D.A.de 1.38 gr/cm ³ ; muchos poros gruesos tubulares, vesiculares, medios frecuentes; densidad media de raíces, medias finas y muy finas abundantes, grandes escasas. Buen drenaje. El límite entre horizontes es abrupto claro ondulado.
C1	32-44 cm	Color ocre gris claro (10YR 4/3 húmedo, 10YR 7/2 en seco); textura franca; 1.2% de materia orgánica, pH de 4.3 en H ₂ O; estructura subangular en bloques medianos, desarrollo moderado; consistencia firme en húmedo poco adhesiva y poco plástico, 40% de pedregosidad, rocas de 60 a 200 mm, D.A. de 1.34 gr/cm ³ ; poros comunes finos y muy finos, vesiculares y tubulares; densidad media de raíces con grandes y finas. Buen drenaje. El límite entre horizontes es claro ondulado.
C2	44-54 cm	Color ocre gris claro (10YR 4/3 húmedo, 10YR 7/2 seco), textura franco arcillo arenosa; 1% de materia orgánica, pH de 4.4 en H ₂ O; estructura subangular medianos a pequeños, desarrollo moderado; consistencia firme en húmedo, un poco más adhesiva y plástica, con escasos cutanes de arcilla y óxidos de hierro, presentes entre la roca con severa intemperización y el suelo; tiene 50 a 70% de pedregosidad, cantos > a 200 mm, D.A. de 1.34 gr/cm ³ ; poros comunes finos y muy finos vesiculares y tubulares; densidad media de raíces con finas y algunas grandes. Drenaje moderado.

Perfil 2

El perfil está localizado dentro de una ladera, la superficie del terreno es LV, escarpado a muy escarpado, con una pendiente de 20 a 28 °, con exposición suroeste, en un bosque de encino muy fragmentado, con erosión de clase 1 a 2; el sitio donde está la calicata es en suelo erosionado. Los encinos presentes a los alrededores son *Q. crassifolia*, *Q. sideroxylla* y *Q. laeta* y *Q. rugosa*. El sitio está en las coordenadas UTM 393420.5 E, 2323010.27 N, a 2531 msnm. El uso de suelo es con extracción de leña y agostadero. El perfil se hizo a principios de marzo, el estado del tiempo es ET1.



DESCRIPCIÓN BREVE DEL PERFIL

Es un **Regosol epiléptico** de color ocre gris claro en apariencia, la densidad aparente es media baja. La estructura es sub angular en bloques pequeños y débiles, poca estabilidad, aunque en el último horizonte la estabilidad es mediana. La porosidad es abundante, con mucha pedregosidad, con una distribución de raíces mediana a baja. con drenaje bueno, condición seca solo en los primeros dos horizonte y fresca en los siguientes. Se encuentra actualmente en un bosque fragmentado con remoción de hojarasca y otros horizontes del suelo, las zonas abiertas son de 50 a 200 m².



DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE

HORIZONTE	PROFUNDIDAD	CARACTERÍSTICAS
A	0-10 cm	Color gris oscuro (10YR2/2 en húmedo, 10YR 5/2 en seco), textura franco arenosa, 7.2 % de materia orgánica, pH de 4.5 en H ₂ O, estructura en migajón a granular, medio fino, ligero desarrollo; consistencia ligeramente firme en seco, en húmedo friable, no adhesivo, no plástico y abrasivo; 7 % de pedregosidad, cantos de 6 a 20 mm, D.A. de 0.89 gr/cm ³ ; poros comunes finos vesiculares intersticiales; densidad de raíces poca, finas y medianas. Buen drenaje. El límite entre horizontes difuso ondulado.
AC	10-26 cm	Color ocre gris claro (10YR 3/2 en húmedo, 10YR6/2 en seco); textura franca, 2.8 % de materia orgánica, pH de 4.3 en H ₂ O; estructura en bloques subangulares medios, desarrollo débil, la estabilidad de agregados es baja; consistencia en seco es frágil, en húmedo es poco adhesivo, poco plástica y abrasivo. 15 % de pedregosidad, cantos de 6 a 20 mm, D.A. de 1.17 gr/cm ³ ; Muchos poros gruesos, medianos, tubulares, vesiculares; densidad media de raíces finas y medianas y algunas gruesas. Buen drenaje. El límite entre horizontes es claro ondulado.
C1	26-46 cm	Color ocre gris claro (10YR 4/3 en húmedo, 10YR 7/2 en seco) textura franca, 1.5% de materia orgánica, pH de 4.3 en H ₂ O, estructura subangular en bloques grandes, desarrollo moderado; consistencia en húmedo poco adhesiva, poco plástica, escasos cutanes de arcilla, 50% de pedregosidad, cantos de 60 a 200 mm, D.A. de 1.34 gr/cm ³ ; poros comunes, finos y muy finos, vesiculares y tubulares; densidad de raíces es mediana con finas, muy finas y algunas grandes. Buen drenaje.

Perfil 3

El perfil está localizado dentro de un piedemonte, la superficie del terreno es LV, inclinado, con pendiente de 16 a 10 °, exposición sur, en un terreno severamente degradado, con erosión de clase 4, el terreno sin uso aparente. Los cuatro árboles presentes son encinos de la especie *Q. crassifolia*, *Q. laeta* y *Q. sideroxylla*. El sitio está en las coordenadas UTM 393523.11 E y 2322954.63 N, a una altura de 2527 msnm. El terreno fue usado como potrero, por lo que se desmontó toda cubierta arbórea, con excepción de 4 árboles. Dentro de la dinámica actual de erosión, existen procesos de compactación, erosión laminar, la erosión en surcos y en cárcavas muy irregulares que es causada en gran parte por la compactación, el Splash, la escorrentía difusa y la falta de cobertura vegetal. Se observa acumulación de arenas en pequeñas cunetas que forma el suelo erosionado, y dentro de lo que es el pie demonte. El perfil se hizo a principios de Junio, el estado del tiempo fue ET2.



DESCRIPCIÓN BREVE DEL PERFIL

Es un **Cambisol epiléptico** es de color amarillo claro a ocre en apariencia, únicamente dos horizontes, la densidad aparente ligeramente alta, Material relativamente consolidado a los 44 cm de profundidad. El perfil tiene una estabilidad media alta en el horizonte Bw con óxidos de hierro. Existen regiones con cierta reductomorfía. La estructura es subangular a angular en bloques grandes y medianos. La distribución de raíces es escasa, con finas medianas y grandes, con drenaje moderado, condición fresca en todos los horizontes.



DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE

HORIZONTE	PROFUNDIDAD	CARACTERÍSTICAS
BA	0-16 cm	Color ocre claro (10YR 5/4 en húmedo y 10YR 7/3 en seco); textura franco arcillosa; pH de 4.7 en H ₂ O); estructura subangular en bloques grandes, alto desarrollo; estabilidad de los agregados alta, consistencia firme en húmedo, moderadamente adhesiva y plástica; 1 % de pedregosidad, con cantos de 20 mm; D.A. de 1.38 gr/cm ³ ; poros comunes, medianos, finos a muy finos vesiculares y tubulares; densidad de raíces escasa a nula, con algunas finas. Drenaje moderado.

El límite entre horizontes es difuso.

BW

16-37 cm

Color ocre (10YR 5/4 en húmedo y 10YR 7/4 en seco) con zonas grises y rojizas. (5YR 4/4 en húmedo y 10YR 5/4 en seco), y con vetas más grises, marcadas y no tan mezcladas (10YR 5/2 en húmedo, 10YR 6/1 en seco); textura arcillosa; pH ácido (4.4 en H₂O); estructura subangular en bloques grandes, alto desarrollo; estabilidad de los agregados alta, consistencia firme en húmedo, muy adhesiva, muy plástica, escasos cutanes de arcilla, pero con vetas bien definidas de hidromorfismo entre las rocas que se encuentran a mayor profundidad; 20% de pedregosidad, bloques rocas > a 200 mm, localizadas en las partes más profundas del horizonte; D.A. de 1.4 gr/cm³; poros comunes finos a muy finos vesiculares y tubulares; densidad de raíces es mediana, con grandes medianas y finas. Drenaje moderado algo deficiente. El límite con el material parental es irregular a abrupto.

Perfil 4

El perfil está localizado en la cima, la superficie del terreno es CV, con moderada inclinación (< a 5°) de lo que forma el largo del parte aguas, exposición norte. En el bosque de encino está *Q. eduardii* *Q. crassifolia*, *Q. sideroxyla* y *Q. laeta*. El sitio está en las coordenadas UTM 392918.34 E, 2322487.12 N, a una altura de 2667 msnm. El uso de bosque tiene ligera extracción de leña, pero suelo esta conservado. El perfil se hizo a principios de abril, el estado del tiempo era ET1.



DESCRIPCIÓN BREVE DEL PERFIL

Es un **Cambisol endoléptico** de color ocre a naranja café, con motas grisáceas; la densidad aparente es media, con apreciable dureza debido a la textura de los horizontes de tipo arcilloso (R). Todo el perfil tiene una estabilidad media alta, con mucha porosidad. La estructura es subangular en bloques. La distribución de raíces es alta a mediana en casi todo el perfil, con drenaje bueno, condición seca en horizontes superficiales y húmedos en los subyacentes.



DESCRIPCIÓN DEL HORIZONTE

HORIZONTE	PROFUNDIDAD	CARACTERÍSTICAS
-----------	-------------	-----------------

Of	+ 4 cm	Mantillo L es de 2cm, F de .5 cm, Oh, de 1.5 cm. Hay presencia de micorrizas y artrópodos.
-----------	---------------	--

Oh	0-2 cm	Color negro (10YR 2/1 húmedo, 10YR 4/1 seco), 15.6 % de materia orgánica; pH de 5.8 en H ₂ O, textura franco arenosa, estructura de migajón, medios y finos granulares, la estabilidad de los agregados es ligero; consistencia en seco, ligeramente friable y suelto, en húmedo igualmente friable, poco adhesivo no plástico, abrasivo; D.A. de 1 gr/cm ³ , 2% de pedregosidad, cantos de 6 a 20 mm; muchos poros grandes intersticiales y vesiculares; densidad alta de raíces abundantes finos y muy finos. Drenaje bueno. Límite entre horizontes es ligeramente abrupto y ondulado.
AE	2-12/16 cm	Color gris oscuro (10YR 5/6 en húmedo, 10YR 7/3 en seco); textura franco arcillosa, pH de 4.4 en H ₂ O; estructura subangular grande y medio, poco desarrollados; consistencia ligeramente dura en seco, en húmedo es firme, poco adhesivo, poco plástico y abrasivo; D.A. de 1.2 gr/ cm ³ , 7% de pedregosidad, cantos de 20 a 60 mm; muchos poros finos, cilíndricos y vesiculares; densidad media de raíces, finas y muy finas. Drenaje bueno. Límite entre horizontes es claro ondulado.
Bw	12-30 cm	Color pardo ocre (10YR 5/6 en húmedo, 10YR 6/6 en seco), con motas pardo rojizo y saprolita blanca (7.5YR 4/4 en húmedo, 10YR 6/6 en seco); textura arcillosa, pH ácido de 4.4 en H ₂ O, estructura en bloques subangulares medianos, buen desarrollo, la estabilidad de agregados alta; la consistencia en fresco dura, en húmedo adhesivo y plástico; D.A. de 1.3 gr/cm ³ , 7% de pedregosidad, cantos de 6 a 20 mm; muchos poros finos y muy finos vesiculares intersticiales, Densidad alta de raíces medias, finas y grandes presentes. Drenaje moderado. Límite entre horizontes es claro ondulado.
Bw2	30-47 cm	Color gris rojo ocre (7.5 YR 4/4 en húmedo, 10YR 6/6 en seco), con algunas policromías en pardo rojizo a rojizo intenso y saprolita blanca (manganes y argilanes 50% saprolita) (5YR 4/4 en húmedo, 10YR 7.5/4 en seco; 2.5YR 4/8 en húmedo, 2.5 YR 4/6 en seco; y 10YR 7/2 en húmedo, 10YR 7/3 en seco), manchas oscuras de manganeso; textura arcillosa; pH de 4.4 en H ₂ O; estructura subangular en bloques grandes, alto desarrollo; consistencia firme en fresco, en húmedo es muy adhesiva y plástica, D.A. de 1.2 gr/cm ³ , 2% de pedregosidad, cantos de 20 a 60 m; poros comunes finos y muy finos, vesiculares e intersticiales; densidad media de raíces con medios, finos, muy finos y grandes presentes. Drenaje Moderado. El límite entre horizontes es difuso ondulado.
BCg	47-74 cm	Color Pardo rojizo (10YR 4/6 en húmedo, 10YR 7/4 en seco), con policromía ocre gris (10YR 5/2 en húmedo, 10YR 6/3 en seco); textura arcillosa; pH de 4.4 en H ₂ O; estructura subangular grandes, alto desarrollo algunos angulares; consistencia firme en húmedo adhesiva y plástica; D.A. de 1.17 gr/cm ³ , 0 % de pedregosidad; poros comunes finos escasos, muy finos abundantes, vesiculares; densidad media de raíces con finas, muy finas y grandes presentes. El drenaje es deficiente. El límite es abrupto con el material parental de roca intemperizada

Perfil 5

El perfil está en una ladera, la superficie del terreno es CL, fuertemente inclinado (18°), exposición noreste, en un bosque con *Q. crassifolia*, *Q. sideroxylla*, *Q. rugosa* y *Q. laeta*. El sitio está en las coordenadas UTM 393121.8 E, 2322487.12 N a una altura de 2636 msnm. El uso del bosque tiene extracción de leña y agostadero, aunque para ese sitio el suelo está relativamente conservado. El perfil de suelo se hizo a principios de abril y el estado del tiempo fue ET1.



DESCRIPCIÓN BREVE DEL PERFIL

Es un Regosol háplico de color amarillo gris claro, la densidad aparente es media, apreciable dureza en los horizontes franco arcillo areoso. La estructura es subangular en bloques, con baja presencia de rocas, estabilidad mediana, poco poroso, con mucha pedregosidad, la distribución de raíces mediana a baja, con drenaje bueno, condición seca.



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

HORIZONTE	PROFUNDIDAD	CARACTERÍSTICAS
Of		Mantillo es de tipo Moder con acumulación de hojarasca, aunque fuertemente acida con una relación C:N menor de 18.
Ah	0-1.0 cm	Color negro (10YR 2/1 en húmedo, 10YR 4/1 en seco); textura franco arenosa, 6.2 % de materia orgánica, pH de 5.7 en H ₂ O; estructura de migajón, medios y finos granulares, la estabilidad de agregados es ligera; consistencia en seco, ligeramente friable, en húmedo poco adhesivo no plástico, abrasivo; D.A. de 0.99 gr/cm ³ , 5 % de pedregosidad, cantos de 6 a 20 mm; mucha porosidad grandes intersticiales y vesiculares; densidad alta de raíces finas y muy finas. Drenaje bueno. El límite entre horizontes abrupto.
AC	1-11 cm	Color gris ocre (10YR 2/1 en húmedo, 10YR 5/2 en seco); textura franco arcillo arenosa; 1.5 % de materia orgánica, pH de 4.8 en H ₂ O, estructura subángular a granular, medios y fino, ligero desarrollo; consistencia ligeramente firme en seco, en húmedo es friable, poco adhesivo, no plástico y abrasivo; D.A. de 1.23 gr/cm ³ , 5 % de pedregosidad, poros comunes finos vesiculares intersticiales; densidad media de raíces medianas, finas y grandes presentes. Drenaje bueno. El límite entre horizontes claro.
C	11-42 cm	Color gris ocre claro (10YR 4/2 en húmedo, 10YR 7/2 en seco); textura franco arcillosa; pH de 4.3 H ₂ O), estructura en bloques subangulares medios, poco

desarrollo moderado, estabilidad de agregados es moderada; la consistencia en seco es dura, en húmedo es firme, rígida, ligeramente adhesivo y plástico, abrasivo; D.A. de 1.38 gr/cm³, 2% de pedregosidad; poros comunes, grandes tubulares, vesiculares, medios frecuentes; densidad de raíces medias frecuentes, finas y muy finas abundantes, grandes escasas. Drenaje bueno.

Corte 1

El corte está dentro de una cima de montaña con una extensión de más de 4 hectareas, la superficie del terreno es tipo VV, ligera inclinación, pendiente < a 3°, en un bosque de encino, con moderada perturbación por pztisales inducidos. Las especies que se encuentran son *Q. crassifolia*, *Q. rugosa*, *Q. sideroxylla* y *Q. laeta*. El tipo de uso del suelo es con extracción de leña y al parecer con un antiguo uso de agostadero.



DESCRIPCIÓN BREVE DEL CORTE

Es un es Cambisol háplico color cafe naranja en apariencia, densidad aparente media, horizontes de tipo franco arcilloso (CR) a arcilloso. Todo el perfil tiene una estabilidad media alta. La estructura es subangular en bloques, con moderada a alta presencia de rocas. La distribución de raíces mediana a baja. Condición seca en horizonte superficiales y fresca en los subyacentes con drenaje moderado, compactación en los primeros horizontes.



DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

HORIZONTE	PROFUNDIDAD	CARACTERÍSTICAS
Mantillo		Mantillo tipo mull, pero al parecer antes de la degradación tenía un mantillo de tipo moder.
AE	0-23/31 cm	Color gris blanco (10YR 5/6 en húmedo, 10YR 7/3 en seco); textura franco arenosa,

		<p>estructura de subangular a granular, estabilidad de agregados moderada; consistencia en seco ligeramente friable, en húmedo poco adhesivo no plástico, abrasivo; D.A de 1.3 gr/cm³, 5 % de pedregosidad; poca porosidad, finos intersticiales, pocas raíces medianas y finas. Drenaje moderado. El límite entre horizontes es ondulado y abrupto.</p>
Bt1	23/31-72 cm	<p>Color gris rojo ocre (7.5 YR 4/4 en húmedo, 10YR 6/6 en seco); la textura franca arcillosa, estructura subangular, consistencia firme en seco, en húmedo adhesiva y plástica; cutanes de arcilla dentro y fuera de los agregados; D.A. de 1.2 gr/cm³, 0 % de pedregosidad, poros comunes finos vesiculares intersticiales, raíces frecuentes. Drenaje moderado. El límite entre horizontes ondulado difuso.</p>
Bt2	72-108 cm	<p>Color pardo naranja; franco limo arcillosa; estructura en bloques subangulares, la estabilidad de agregados es moderada fresco; consistencia en seco es dura, en húmedo es adhesivo y plástico, abrasivo; cutanes de arcilla dentro y fuera de lo agregados, D.A. 1.3 gr/cm³, 0.2% de pedregosidad, poros comunes vesiculares e intersticiales, densidad de raíces mediana. Drenaje moderado. El límite entre horizontes es difuso.</p>
BC	108-120	<p>Color pardo naranja, con gris; textura arcillosa estructura subangular en bloques grandes con alto desarrollo; consistencia firme en húmedo adhesiva y plástica con escasos cutanes de arcilla, D.A. 1.3 gr/cm³, 0% de pedregosidad; poros comunes finos y muy finos presentes, vesiculares y tubulares, densidad de raíces es mediana. Drenaje moderado.</p>

Anexo 2 Tabla con algunas características edafocológicas

Perfil 0	Horizon	Text	espesor dm	% de pedregosidad	VPT Vol %	CA Vol %	dCC Vol %	L/m2	CC Vol %	L/m2	Kf cm/día
	Ah	CA	0.2	5	52.5	11.9	24	4.56	41	7.79	(40-100)
	AE	CA	0.4	5	48	11	23	8.74	37	14.06	(40-100)
	E	CA	1.8	4.5	42	4	12	20.628	38	65.322	(10-100)
	B1	R	1.6	15	45	3	12	16.32	42	57.12	(10-40)
	BC	R	4	15	45	3	12	40.8	42	142.8	(10-40)
							Σ dCC	91.048	Σ CC	287.092	
							Evaluac.	baja	Evaluac.	baja	
Perfil 1	Horizon	Text	espesor dm	% de pedregosidad	VPT Vol %	CA Vol %	dCC Vol %	L/m2	CC Vol %	L/m2	Kf cm/día
	Ah	CA	0.4	7	59.5	13.5	28	10.416	46	17.112	(40-100)
	A	C	1	15	58	10	23.5	19.975	49	41.65	(100-300)
	AC	CA	1.5	35	40	11.5	20.5	19.9875	30.5	29.7375	(10-40)
	C1	C	1.2	50	42	7.5	15.5	9.3	35	21	(10-100)
	C2	CRA	1.1	70	43	3.5	14.5	4.785	37	12.21	(40-100)
							Σ dCC	64.4635	Σ CC	121.7095	
							Evaluac.	baja	Evaluac.	muy baja	
Perfil 2	Horizon	Text	espesor dm	% de pedregosidad	VPT Vol %	CA Vol %	dCC Vol %	L/m2	CC Vol %	L/m2	Kf cm/día
	A	CA	0.8	7	58	10	23.5	17.484	49	36.456	(10-40)
	AC	CA	1.4	25	40	11.5	20.5	23.0625	30.5	34.3125	(10-40)
	C1	C	2	40	42	7.5	15.5	18.6	35	42	(10-40)
		C									
							Σ dCC	59.1465	Σ CC	112.7685	
							Evaluac.	baja	Evaluac.	muy baja	
Perfil 3	Horizon	Text	espesor dm	% de pedregosidad	VPT Vol %	CA Vol %	dCC Vol %	L/m2	CC Vol %	L/m2	Kf cm/día
	BA	CR	1.7	0	42	4	12	20.4	38	64.6	(10-40)
	Bw	R	2.6	0	45	3	12	31.2	42	109.2	(10-40)
							Σ dCC	51.6	Σ CC	173.8	
							Evaluac.	baja	Evaluac.	baja	
Perfil 4	Horizon	Text	espesor dm	% de pedregosidad	VPT Vol %	CA Vol %	dCC Vol %	L/m2	CC Vol %	L/m2	Kf cm/día
	Ah	CA	0.2	2	52.5	11.5	24	4.704	41	8.036	(40-100)
	AE	CA	1	7	41	9.5	20.5	19.065	31.5	29.295	(10-100)
	Bw	R	1.8	7	45	3	12	20.088	42	70.308	(10-40)
	Bw2	R	1.7	2	45	3	12	19.992	42	69.972	(10-40)
	BCg	R	2.7	0	45	3	12	32.4	42	113.4	(10-40)
							Σ dCC	96.249	Σ CC	291.011	
							Evaluac.	mediana	Evaluac.	mediana	
Perfil 5	Horizon	Text	espesor dm	% de pedregosidad	VPT Vol %	CA Vol %	dCC Vol %	L/m2	CC Vol %	L/m2	Kf cm/día
	A	CA	0.1	5	48	11	23	2.185	37	3.515	(10-40)
	AC	CRA	1	5	42.5	3	12.5	11.875	33	31.35	(40-100)
	C	CR	3.1	15	42	4	12	31.62	32.5	85.6375	(10-40)
							Σ dCC	45.68	Σ CC	120.5025	
							Evaluac.	baja	Evaluac.	baja	
Corte	Horizon	Text	espesor dm	% de pedregosidad	VPT Vol %	CA Vol %	dCC Vol %	L/m2	CC Vol %	L/m2	Kf cm/día
	AE	CA	3.1	2	39.5	9	20.5	62.279	30.5	92.659	(10-100)
	Bt1	R	4.1	5	45	3	12	46.74	42	163.59	(10-40)
	Bt2	R	3.6	5	45	3	12	41.04	42	143.64	(10-40)
	BC	R	1.8	7	45	3	12	20.088	42	70.308	(10-40)
							Σ dCC	150.059	Σ CC	399.889	
							Evaluac.	alta	Evaluac.	alta	

Anexo 3 Tabla desglosada de texturas en cuatro perfiles de suelo.

Horizontes	Color (tablas munsell)		%arenas	%lims gruesos	%lims medios	%lims finos	%arcillas	D. real	D. A	% poros	
	húmedo	seco									
Perfil 0	A11	10YR 2/1	10YR 4/1	57.148	10.341	11.85	10.5	10.161	2.09	1.0	52.7
	AE12	10YR 3/2	10YR 5/3	62.684	7.6	10.05	7.65	12	2.48	1.1	55.7
	EB	10YR 5/4	10YR 8/2	38.64	5.4	16.2	13.5	26.2	2.45	1.4	43.6
	B	10YR 4/4	10YR 7/6	12.757	4.332	9.65	7.5	65.761	2.48	1.3	46.8
	BC	10YR 5/6	10YR 7/4	19.017	7.42	17.3	11.152	45.11	2.49	1.3	48.1
Perfil 1	Ah	10YR 2/1	10YR 4/2	58.76	9.929	13.1	6.45	11.761	2.17	0.9	56.6
	A1	10YR 2/1	10YR 4/2	41.402	31.237	10.8	4.3	12.261	2.50	1.0	60.4
	AC	10YR 4/3	10YR 7/3	54.64	7.9	16.25	7.4	13.811	2.60	1.3	49.0
	C1	10YR 4/3	10YR 7/2	39.271	12.018	14.45	10.75	23.511	2.52	1.3	46.6
	C2	10YR 4/3	10YR 7/2	50.662	8.327	9.5	4.9	26.561	2.49	1.3	45.9
Perfil 2	Ah	10YR 2/1	10YR 4/1	47.45	16.889	17.1	12.2	6.361	2.14	1.0	53.7
	A	10YR 2/2	10YR 5/2	53.329	12.46	12	8.7	13.46	2.47	0.9	64.1
	AC	10YR 3/2	10YR 6/2	46.18	17.11	13.2	13.45	10.06	2.48	1.2	52.7
	C1	10YR 4/3	10YR 7/2	42.14	11.099	16.6	10.75	19.41	2.51	1.3	46.4
Perfil 3	BA	10YR 5/4	10YR 7/3	35.975	4.614	12.45	11.25	35.711	2.36	1.4	41.5
	Bw	10YR 5/4	10YR 7/4	20.891	3.798	12.75	8.65	53.911	2.28	1.4	38.5

Anexo 4 Características generales de la vegetación y el suelo en cada unidad de relieve

Características de la superficie del suelo y de los árboles	Ladera en 2500 m ²	Piedemonte en 2500 m ²
Número de árboles	38	4
Promedio del área basal (cm)	828.5	1520
Promedio de la altura (m)	6.5	13.2
Promedio de la cobertura (m ²)	29.1	85
Cobertura arbórea total (m ²)	1760.1	382.7
Área basal total	3.5	0.5
Superficie de suelo sin dosel (m ²)	740	2117.2
% de suelo sin cobertura vegetal	29.6	84.7