

**Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUIEL ZAMORA"**



LA UNIVERSIDAD QUE SIEMBRA

**VICERRECTORADO
DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
ESTADO PORTUGUESA**

**COORDINACIÓN
ÁREA DE POSTGRADO**

**CANALES DE INFILTRACION COMO RECURSO
PARA LA CONSERVACION DE SUELO EN LA
ZONA AFECTADA DEL PARQUE UNIVERSITARIO
CENTROCCIDENTAL LISANDRO ALVARADO**

**Autor: Ing. RAMÓN FCO. MARTÍNEZ C.
Tutor: Dra. LUÉ MERÚ MARCÓ PARRA**

GUANARE, DICIEMBRE DE 2015

**Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Occidentales
"EZEQUIEL ZAMORA"**



La Universidad que siembra

**Vicerrectorado de Producción Agrícola
Coordinación de Área de Postgrado
Maestría Manejo de Recursos Aguas Y Suelo**

CANALES DE INFILTRACION COMO RECURSO PARA LA CONSERVACION DE SUELO EN LA ZONA AFECTADA DEL PARQUE UNIVERSITARIO CENTROCCIDENTAL LISANDRO ALVARADO

Requisito parcial para optar al grado de

Magister Scientiarum

AUTOR: Ing. RAMÓN FCO. MARTÍNEZ C.

C.I: 15.400.571

TUTOR: Dra. LUÉ MERÚ MARCÓ PARRA

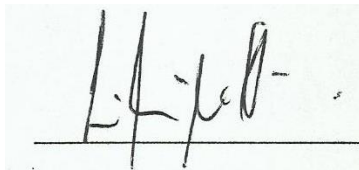
GUANARE, DICIEMBRE DE 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo LUÉ MERÚ MARCÓ PARRA, cédula de identidad N° 8567692, en mi carácter de tutor del Trabajo de Grado, titulado Canales de infiltración como recurso para la conservación de suelo en la zona afectada del parque Universitario Centroccidental "Lisandro Alvarado", presentado por el ciudadano MARTÍNEZ CARVAJAL RAMÓN FRANCISCO para optar al título de Magíster Scientiarum en Manejo de los Recursos Agua y Suelo por medio de la presente certifico que he leído el Trabajo y considero que reúne las condiciones necesarias para ser defendido y evaluado por el jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Guanare, a los 01 días del mes de Diciembre del año 2015

Nombre y Apellido: Lué Merú Marcó Parra

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'L. Merú', is written over a horizontal line.

Firma de aprobación del tutor

Fecha de entrega: 01 de Diciembre 2015



ACTA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO DE GRADO

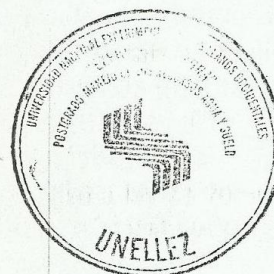
En la sede del Vicerrectorado de Producción Agrícola de la UNELLEZ-Guanare, a las 10:45 a.m. del día cuatro (04) de diciembre del dos mil quince (2015), se reunieron los profesores: Profa. Lué Merú Marcó (Tutora) UCLA-Barquisimeto, Profa. Mari Vargas (Jurado Principal Interno y Coordinadora del Jurado) UNELLEZ-VPA, Prof. Franco Antonucci (Jurado Principal Interno) UNELLEZ-VPA, miembros del Jurado Evaluador designado por la Comisión Técnica de Estudios de Postgrado del Vicerrectorado de Producción Agrícola, según Resolución CTEP 016/2015, de fecha 04-02-2015, Acta N° 001/2015, Ordinaria Punto N° 32, para proceder a emitir el veredicto sobre la defensa pública del Trabajo de Grado titulado: **"CANALES DE INFILTRACIÓN COMO RECURSO PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELO EN LA ZONA AFECTADA DEL PARQUE UNIVERSITARIO CENTROCCIDENTAL LISANDRO ALVARADO"**. Desarrollado por el Ingeniero Martínez Ramón, titular de cédula de identidad V-15.400.571, como requisito parcial para optar al grado académico de **MAGISTER SCIENTIARUM EN MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO**.

Cumplido el acto de presentación pública, el cual finalizó a las 11:20 am, los miembros del Jurado Evaluador resolvieron **APROBAR** el trabajo en su forma y contenido.

Profa. Mari Vargas
C.I: 4.058.384
Jurado Principal Interno-
Coordinadora
UNELLEZ -GUANARE

Prof. Franco Antonucci
C.I: 11.837.078
Jurado Principal Interno
UNELLEZ -GUANARE

Profa. Lué Merú Marcó
C.I: 8.567.692
Tutora
UCLA-Barquisimeto



AGRADECIMIENTO

A Dios Todopoderoso, sin su ayuda, sería imposible lograr meta alguna.

A mis padres: Mama: una vez me dijiste que con esfuerzo y dedicación podría lograr mis metas, y como siempre, tenías razón. Papa: siempre allí, consecuentemente. Agradezco a Dios que todavía estén conmigo, gracias por siempre creer en mí y por su incondicional apoyo.

A la casa de estudio Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ), a la Universidad Centroccidental “Lisandro Alvarado” (UCLA) y al proyecto estratégico del Fondo Internacional de Ciencia y Tecnología (FONACIT 2011000961) por su apoyo y financiamiento en la elaboración de esta investigación, la cual se inscribe dentro de los objetivos específicos del proyecto.

A mi tutora la Dra. Lué Merú Marco Parra, quien a pesar de todos sus compromisos académicos y laborales, me brindó el apoyo necesario para seguir adelante con este trabajo.

A todos los docentes de la Maestría quienes contribuyeron en mi formación académica, especialmente a la profesora Mari Vargas por las observaciones y colaboración durante la ejecución del trabajo, y a los profesores Rafael España y Carlos Parraga, que por su temple y dedicación ética aún siguieron colaborando hasta el final en la culminación de este trabajo de investigación.

A la profesora de la UCV, Deyanira Lobo, por su valiosa colaboración en la revisión y corrección de este trabajo de investigación. Al ingeniero y profesor de la UCLA Ramón Vargas, por su apoyo y colaboración en la ejecución de este trabajo.

A todos aquellos autores a los que hago referencia en este trabajo y gracias a los cuales he obtenido beneficios enriqueciéndome invaluablemente a través de sus publicaciones.

DEDICATORIA

Las victorias se logran con esfuerzo, entusiasmo y seguridad de alcanzarlas, puesto que el soñar es un privilegio del ser humano y convertir esos sueños en metas y las metas en realidades, es lo más grande del esfuerzo. A través del largo camino de la vida cuando los problemas y dificultades nos hacen caer, hay personas que nos alientan a levantarnos y así continuar.

Es por ello que dedico mi triunfo a Dios todo poderoso, por el don de la vida que nos ama incondicionalmente y me da su gracia para seguir adelante.

A mi madre, quien ha luchado incansablemente para sacarme adelante y ha soportado cada uno de mis desaciertos con el firme propósito de convertirme en un hombre de bien y verme caminar con mis propios pies, te lo dedico Haida Rosa Carvajal de Martínez.

A mi padre, de quien tanto he aprendido y del cual no me alcanzaría la vida para aprovechar su gran sabiduría. Gracias por brindarme apoyo y confianza para el logro de esta meta en especial, te lo dedico Ramón Martínez Agüero.

A todos los que han estado conmigo motivándome y brindándome su afecto, a todos ellos se los dedico.

A la Universidad, que además de prestarme un servicio me ha dado una oportunidad única que posee un gran valor que no se puede desperdiciar y que yo sabré retribuir trabajando por este país, mi país al que le dedico todo mi esfuerzo.

INDICE

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
LISTA DE TABLAS	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACTC.....	ix
INTRODUCCION	1
CAPITULO I. EL PROBLEMA	3
Planteamiento del problema	3
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Justificación.....	6
CAPITULO II. MARCO TEORICO	8
Antecedentes de la investigación.....	8
Bases teóricas	14
2.2.1. Erosión y sedimentación	14
2.2.2. Factores que intervienen en la erosión hídrica	15
2.2.2.1. Factores climáticos	15
2.2.2.2. Topografía.....	16
2.2.2.3. Suelo	17
2.2.2.4. Vegetación	18
2.2.2.5. Actividad humana	19
2.2.3. Tipos de erosión hídrica	21

2.2.3.1. Erosión por salpicadura	21
2.2.3.2. Erosión por surcos.....	22
2.2.3.3. Erosión laminar	23
2.2.3.4. Erosión por cárcava.....	24
2.2.3.5. Erosión en bancos aluviales	25
2.2.4. Efectos de la erosión hídrica	26
2.2.5. Modelación de la erosión	28
2.2.5.1. Modelos cualitativos.....	29
2.2.5.2. Modelos cuantitativos.....	29
2.2.6. Conservación de agua y suelo	32
2.2.6.1. Prácticas agronómicas	33
2.2.6.2. Prácticas mecánicas	33
Bases legales.....	34
CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO	41
Área de estudio	41
Naturaleza de la investigación.....	41
Diseño	41
Caracterización del área de estudio, tanto topográficamente como algunas propiedades físicas y químicas del suelo.	43
Diseño de canales de infiltración.....	45
Evaluación de la eficiencia de los canales de infiltración.....	54
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
Caracterización del área en estudio tanto topográficamente como algunas propiedades físicas y químicas de los suelos.	58

Diseño de canales de infiltración de acuerdo con las características edafoclimáticas de la zona.	66
Evaluación de la eficiencia de los canales de infiltración para el control de la erosión hídrica en el área afectada sobre la base de pérdida de suelo estimada.	68
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXO A.....	87
ANEXO B	88
ANEXO C	89
ANEXO D	90
ANEXO E	91
ANEXO F.....	92
ANEXO G	93
ANEXO H.....	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Métodos para medir variables de suelos en laboratorio.	44
Tabla 2. Coeficiente de escorrentía.....	48
Tabla 3. Máximas velocidades permitidas en canales (V_{\max}).....	50
Tabla 4. Taludes para la sección transversal de canales.	50
Tabla 5. Valores de n para fórmula de Manning.	53
Tabla 6. Propiedades físicas y químicas de suelo del área en estudio al comienzo del ensayo.....	61
Tabla 7. Propiedades físicas y químicas de suelo del área en estudio al final del ensayo.....	62
Tabla 8. Promedios por momentos y significancia, según la prueba de Tukey al 5%, cuando se consideraron las dos repeticiones promediadas del tratamiento con canales.	64
Tabla 9. Valores promedio de: arcilla, limo, arena, C.E. y pH por momentos y significancia, según la prueba de Tukey al 5%, cuando se consideraron las dos repeticiones promediadas del tratamiento con canales.	65
Tabla 10. Variables de concentración y localización.....	66
Tabla 11. Intensidades máximas de la tormenta de diseño para los distintos periodos de retorno.....	66
Tabla 12. Variables del dimensionamiento de los canales de infiltración.	68
Tabla 13. Valor de las precipitaciones durante el periodo de evaluación.....	74
Tabla 14. Promedios por tratamiento y significancia, según la prueba de Tukey al 5%, para: PCV, PLE, TINF y SM cuando se consideraron los meses promediados.....	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Prueba de infiltración método de doble anillo.....	46
Figura 2. Construcción de los canales de infiltración del área en estudio.	54
Figura 3. Clavos de erosión en la parcela con canales de infiltración del área en estudio.	55
Figura 4. Medición de los clavos de erosión en la parcela con canales de infiltración del área en estudio.....	57
Figura 5. Plano del área en estudio.	60
Figura 6. Curva de intensidad duración y frecuencia (IDF).....	67
Figura 7. Valores promedios del PCV por mes considerando los tratamientos.	69
Figura 8. Valores promedios del PLE por mes considerando los tratamientos.....	71
Figura 9. Valores promedios de la TINF por mes considerando los tratamientos.	72
Figura 10. Valores promedios de SM por mes considerando los tratamientos.	74

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”

VICERRECTORADO DE PRODUCCION AGRICOLA

COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO

MAESTRÍA MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO

**CANALES DE INFILTRACION COMO RECURSO PARA LA
CONSERVACION DE SUELO EN LA ZONA AFECTADA DEL PARQUE
UNIVERSITARIO CENTROCCIDENTAL LISANDRO ALVARADO**

AUTOR: ING. RAMÓN FCO MARTÍNEZ C.

TUTOR: DRA. LUÉ MERÚ MARCÓ PARRA

AÑO: 2015

RESUMEN

El estudio se llevó a cabo con la finalidad de estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica y el efecto de la construcción de canales de infiltración en el control de la misma. Esta investigación se desarrolló en el Parque Universitario de la Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA). Se aplicó un diseño experimental de campo en cuatro parcelas con dos tratamientos: sin canales (T_0) y con canales (T_1), dos repeticiones y tres puntos de muestreo para evaluar el promedio de lámina de erosión (PLE) y suelo movilizado (SM) por el método de clavos de erosión, el porcentaje de cobertura vegetal (PCV) por el método del cuadrante, y la tasa de infiltración (TINF) por el método del doble anillo, durante el periodo lluvioso del año 2014. Las características físicas y químicas del suelo tales como textura, materia orgánica, calcio, magnesio, fósforo, potasio, conductividad eléctrica y pH se evaluaron al inicio y al final del ensayo. Los resultados indican que hubo cambios significativos ($P < 0,01$) con un aumento al final de ensayo en el contenido de calcio, mientras que en la textura se presentaron aumentos en el contenido de arcilla y pérdidas en el contenido de limo. Igualmente, las variables PCV, SM y PLE mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos. Los cambios producidos en el tiempo sólo resultaron significativos en PCV y SM. La construcción de canales de infiltración indujo mejoras en el control de la erosión y en el incremento de la cobertura vegetal, lo cual mitigaría los problemas detectados en el parque universitario, reduciendo la sedimentación en los sistemas de drenaje naturales y artificiales, y por tanto en la recuperación de la estética paisajista del área en estudio.

Palabras Claves: erosión, sedimentación, canales de infiltración, clavos de erosión.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE LOS LLANOS
OCCIDENTALES “EZEQUIEL ZAMORA”

VICERRECTORADO DE PRODUCCION AGRICOLA

COORDINACIÓN DE ÁREA DE POSTGRADO

MAESTRÍA MANEJO DE LOS RECURSOS AGUA Y SUELO

**INFILTRATION CHANNELES AS A RESOURCE FOR SOIL
CONSERVATION IN THE AFFECTED AREA OF LISANDRO ALVARADO
UNIVERSITY PARK CENTROCCIDENTAL**

AUTHOR: ING. RAMÓN FCO MARTÍNEZ C.

TUTOR: DRA. LUÉ MERÚ MARCÓ PARRA

YEAR: 2015

ABSTRACTC

The study was conducted in order to estimate the loss of soil by water erosion and the effect of the construction of infiltration channels in the control thereof. This research was conducted at the University Park at the University Western Center Lisandro Alvarado (UCLA). Field experimental design was applied in four plots with two treatments: channels (T_0) and channels (T_1), two repetitions and three sampling points to assess the average sheet erosion (PLE) and mobilized soil (SM) by the method of nails of erosion, the percentage of vegetation cover (PCV) by the method of the quadrant, and the infiltration rate (TINF) by the method of double ring during the rainy season of 2014. The physical and chemical characteristics such as soil texture, organic matter, calcium, magnesium, phosphorus, potassium, electrical conductivity and pH were evaluated at the beginning and end of the trial. The results indicate that significant changes ($P<0,01$) with an increase at the end of trial in calcium, while the texture increases occurred in the clay content and lost in the silt content. Similarly, PVC, SM and PLE variables showed significant differences ($P<0,05$) between treatments. The changes over time were significant only in PCV and SM. The construction of infiltration channels improved induced erosion control and increased vegetation cover, which would mitigate the problems identified in the university park, reducing sedimentation in natural and artificial systems drainage, and so on the recovery of the aesthetic landscape of the study area.

Keywords: erosion, sedimentation, infiltration channels, nails erosion.

INTRODUCCION

El agua y el suelo son recursos naturales esenciales en el desarrollo económico y social, especialmente en Venezuela donde parte de su economía está basada en la utilización de estos bienes. Su aprovechamiento ha dado origen a un desequilibrio entre uso, degradación y conservación de estos recursos, el cual involucra a distintos sectores productivos como el forestal, el agrícola, el pecuario, la minería y el desarrollo urbano, entre otros. Es así como, la conservación y rehabilitación de tierras constituyen una parte esencial del uso sostenible del suelo.

Varios son los procesos que atentan contra la degradación del suelo. Los efectos negativos de un suelo degradado sobre la seguridad alimentaria, la economía y calidad de vida de una región son impredecibles y severos, particularmente aquellos que son por causa de la erosión hídrica. Entendida esta, de forma amplia, como un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento. Esto implica la existencia de dos elementos que participan en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno activo que es el agua, el viento, o su participación alterna; la vegetación por su parte actúa como un regulador de las relaciones entre ambos elementos.

Por otra parte, desde la perspectiva geológica y de formación del paisaje, la erosión es entendida como parte del proceso de morfogénesis a través del cual se alteran y moldean las formas terrestres. Desde este punto de vista, la configuración que hoy se tiene de la superficie de la tierra, se debe a los procesos continuos de agradación y degradación que en tiempo geológico, han moldeado la superficie. Estos procesos geomorfológicos están relacionados con factores internos (litología, estructura, tectónica, volcanismo y topografía) y externos (clima: temperatura y precipitación; organismos; y acción antrópica).

El proceso de pérdida de suelo por la erosión es mucho más rápido que el proceso de formación de éste. Aunque la erosión hídrica es un proceso natural

ocasionado fundamentalmente por las lluvias intensas y la topografía, el bajo contenido de materia orgánica del suelo y cobertura vegetal, ayudan a producirla. De esta manera, las actividades humanas que modifican las condiciones naturales de los suelos contribuyen a intensificar los procesos erosivos.

En este sentido, la afectación del paisaje por movimientos de tierra en desarrollos urbanos constituye una preocupación, toda vez que, en suelos frágiles con alta precipitación, o lluvias concentradas en cortos períodos de tiempo, conducen a la activación de tales procesos de magnitud importante: como surquillos, surcos cárcavas, y en condiciones más severas movimientos en masa. Situación encontrada en las instalaciones del Parque Universitario de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) en Barquisimeto, estado Lara.

En este ámbito, el marcado impacto de la erosión hídrica en la zona afectada del parque Universitario y la carente información cuantitativa sobre el tema de la erosión es un problema evidente. Por tanto, urge establecer alternativas de conservación de suelos en una terraza abandonada, que en su momento fue acondicionada para soporte de edificaciones que luego no se construyeron, y que actualmente generan focos erosivos que afectan la visual paisajística del referido parque. En este marco, la construcción de obras para la captura de aguas de lluvia, en particular los canales de infiltración, pudiera ser una técnica válida para reducir la erosión y también propiciar el proceso de infiltración de las aguas de lluvia bajo condiciones edafoclimáticas desfavorables, de tal forma que permitan el cultivo o la forestación de las zonas afectadas por procesos erosivos.

Por lo anterior, es necesario dirigir acciones que faciliten la toma de decisiones y que permitan la recuperación y mejoramiento del paisaje natural afectado en el área objeto de estudio, lo cual constituyó el propósito fundamental de la presente investigación. En atención a esto se evaluó el efecto de los canales de infiltración sobre el control de la erosión hídrica superficial mediante el método de parcelas con clavos de erosión.

CAPITULO I. EL PROBLEMA

Planteamiento del problema

El área de estudio donde se realizó el trabajo de investigación se encuentra en el parque universitario de la UCLA, el cual fue impactado por actividades antrópicas, como es el caso de movimientos de tierra para la construcción de edificaciones que no se ejecutaron y afectaron su ecosistema natural así como su estabilidad en uno de sus bordes, dando como resultado una terraza sin soportes laterales en uno de sus lados, que amenaza la estabilidad de la terraza. De acuerdo con la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS, 2010), esta actividad antrópica se describe como un acondicionamiento de tierras realizadas con inadecuadas especificaciones ingenieriles que provocaron un movimiento en masa en la terraza, ubicada al sur de las instalaciones de la UCLA, se desconoce la fecha exacta de la ocurrencia. También es conveniente acotar que en el borde de la corona, la presencia de grietas de tracción indica que el deslizamiento se mantiene activo.

El área afectada presenta un paisaje de contraste intervenido con pendiente relativamente plana, presencia principalmente de pequeños arbustos y plantas herbáceas distribuidas en el área, siendo afectadas de igual manera por manejos inadecuados de basuras que en época de sequía junto con la vegetación seca se activan para generar incendios que degradan aún más el paisaje, dejando el mismo sin mantos vegetales necesarios para la protección natural del suelo, ya que al producirse los torrenciales aguaceros característicos de la zona se generan movimiento de partículas de suelo, ese suelo erosionado tiende a ser movilizado a quebradas de drenajes naturales colinas abajo colmatando las mismas.

Los problemas presentes en el área de estudio no solo afectan al parque universitario en específico, sino también a la universidad en general ya que el suelo movilizado tiende a sedimentar los sistemas de drenaje de las instalaciones

universitarias ocasionan problemas al desarrollo y ejecución de actividades académicas.

Esta investigación plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo influirán los canales de infiltración en el paisaje natural del área en estudio del parque Universitario de la UCLA?

Objetivo General

Evaluar canales de infiltración como recurso para la conservación de suelo en la zona afectada del parque Universitario Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA).

Objetivos Específicos

1. Caracterizar el área de estudio tanto topográficamente como algunas propiedades físicas y químicas de los suelos.
2. Diseñar canales de infiltración de acuerdo a las características edafoclimáticas de la zona.
3. Evaluar la eficiencia de canales de infiltración para el control de la erosión hídrica en el área afectada sobre la base de pérdida de suelo estimada.

Justificación

La erosión hídrica, es un factor crítico para el establecimiento y desarrollo de parques naturales en gran parte de Venezuela, además de ser un elemento determinante en la pérdida de la productividad de suelos, ya que no permite una buena retención de las aguas de lluvia y a la vez, provoca la pérdida de nutrientes así como también movimientos de suelos. En este sentido, la incorporación de las técnicas de conservación de aguas y suelos y la vigencia de la ley forestal de suelos y aguas del año 1966 Gaceta Oficial N° 1.004, que incentiva a la conservación fomento y aprovechamiento de los recursos naturales tales como cuencas hidrográficas, parques nacionales y zonas protectoras entre otros, de esta manera hacen vislumbrar una nueva forma de trabajo de la tierra, asegurando un mejor uso productivo de ella.

De esta manera, se puede señalar que la presente investigación permite desarrollar un estudio acerca de la solución al problema de degradación del paisaje natural en una zona afectada del parque universitario de la UCLA, ya que ésta se encuentra intervenida por actividades antrópicas como mal manejo de basuras, incendios provocados y movimientos de tierra realizados con maquinarias para la construcción de infraestructuras que no se ejecutaron, modificando las propiedades físicas y químicas del suelo dejándolo desprovisto de su cobertura vegetal acelerando el proceso de degradación.

En ese sentido, resulta importante la realización de zanjas de infiltración como medida de conservación enfocada en la investigación consistente de estimaciones de la erosión hídrica superficial en áreas representativas de la zona afectada del parque universitario. Especialmente, al haberse considerado una zona de franco proceso de degradación y más aún si no existen referencias de que se hayan efectuado similares estudios sobre la estimación de la erosión hídrica superficial.

Siguiendo el mismo contexto, la necesidad de tener medidas óptimas para corregir los problemas de degradación del paisaje natural del área afectada se basa no solo en el control y recuperación del paisaje natural, sino que también es un medio

eficiente y representativo para garantizar la continuidad de dicha medida de conservación de agua y suelo y así servir de herramienta para el desarrollo de estrategias que hagan sostenibles y sustentables los ecosistemas naturales con esta medida conservacionista.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

Antecedentes de la investigación

En el estudio realizado por Quiñonez y Dal (2008) sobre la distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el estado Lara, aplicando la metodología propuesta por FAO-PNUMA-UNESCO en el año 1980 para el cálculo de riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica, obtuvieron como resultados que los riesgos de degradación de suelo alto (50 – 200 t/ha/año) el estado cubre un 29%. Los riesgos de degradación moderados (10 - 50 t/ha/año) ocupan una superficie de 19%. Los riesgos de degradación bajos (0 - 10 t/ha/año) se ubican en los sistemas de valles y depresiones ocupando una superficie de 22%. Un 9% de la superficie se encuentra cubierta por afloramientos rocosos, el restante 8% de la superficie no tiene información de suelos.

En lo referente a lo expuesto, se puede determinar que la distribución de los terrenos erosionados en el estado Lara no sigue un patrón regular, y es posible encontrar tanto áreas escasamente erosionadas, como sectores en los cuales la pérdida y el deterioro hacen casi irrecuperable el recurso. Asimismo, se puede resaltar que dichos procesos de degradación de suelos, suelen traducirse en una reducción de rendimientos. La conservación y rehabilitación de tierras constituyen una parte esencial del desarrollo agrícola sostenible. Los efectos negativos de un suelo degradado sobre la economía de una región son más severos en las zonas que más dependen de la agricultura para obtener ingresos.

Siguiendo el contexto descrito, Andrade *et al.* (2010), realizaron evaluaciones de riesgos de erosión de suelo en el municipio Torres del estado Lara, mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), para ello utilizaron el modelo de ecuación universal de pérdidas de suelo revisada Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), cuyos resultados indicaron valores más bajos de pérdidas de suelo en zonas agrícolas y bosques. La erosión real fue de 0 – 2,558 t/ha/ año, más del

72% del área tiene muy bajo riesgo de erosión y es altamente apta para agricultura de secano. Áreas susceptibles de erosión con pérdida de suelo >12 t/ha/año se encuentran principalmente en las partes más altas de la cuenca o donde la cobertura es poco densa.

De acuerdo con la información citada, se puede visualizar los riesgos a la degradación de los suelos en esta región y por ello, se resalta la necesidad de atender la problemática, mediante el estudio de los suelos, conociendo sus propiedades y limitaciones se podría usar la tecnología necesaria para diseñar y poner en práctica las medidas óptimas en armonía con el ecosistema natural y avanzar en el logro de un desarrollo sustentable. Si se toman decisiones acertadas en el manejo de suelos así como la gestión de la actividad agrícola, se podrá mejorar y aumentar la potencialidad de los suelos para la producción agrícola del país.

Por otro lado, Pineda *et al.* (2011), determinaron áreas susceptibles a deslizamientos en un sector de la Cordillera de la Costa Central de Venezuela, por medio de dos procedimientos; uno de ellos consistió en la evaluación de unidades de paisajes a través de un índice de susceptibilidad y el segundo procedimiento se basó en regresión logística; arrojando como resultados para el índice de susceptibilidad que el mismo varió desde 0 para la unidad sedimentos coluvio - aluviales hasta 1,23 para la unidad de El Chino y El Caño. En cuanto a la ecuación de regresión ésta predijo una alta susceptibilidad a los deslizamientos en todo el sector, particularmente en laderas con escasa cobertura vegetal.

Asimismo, es importante agregar que de acuerdo a lo citado anteriormente son precisamente las regiones montañosas las que presentan la situación más crítica del país, en donde las precipitaciones torrenciales, arrastran consigo significativamente porciones de suelo con las mejores condiciones de fertilidad, como es el caso de parte del estado Lara, cuyas unidades fisiográficas de sectores de lomajes está afectada por la erosión hídrica que genera la degradación de los paisajes naturales.

La degradación de los paisajes naturales es un proceso dinámico en el que intervienen múltiples factores de orden natural; el uso de los suelos por el hombre constituye la causa principal de su degradación; en este contexto López *et al.* (1989) citado en Torres *et al.* (2009), experimentaron con la utilización de prácticas dirigidas a incrementar la capacidad productiva de los suelos en Quíbor y cubrir los requerimientos nutricionales de los cultivos de interés alimenticio; en este sentido, zonas agrícolas fueron sometidas al manejo convencional basado en altos insumos, que originaron un deterioro físico, químico y biológico de los suelos, debido entre otros factores, al uso intensivo del monocultivo, con excesiva mecanización, e inadecuado uso de agroinsumos.

En relación con lo anterior, es evidente que los factores socioeconómicos juegan un rol muy importante en la degradación de los suelos al constituirse en la principal causa de sobre-explotación de la capacidad de uso de las tierras y llevar a prácticas de manejo de suelo inadecuadas que generan deterioro de los paisajes naturales. De esta forma la economía del estado Lara depende en gran medida de su actividad agrícola, dicha actividad presenta fuerte incidencia en la degradación de los suelos agrícolas en la mayoría de los casos por las ya mencionada, inadecuadas prácticas de manejo de cultivos.

En el marco de lo expuesto, sobre la degradación de paisajes naturales, Toledo (2013) cuantificó la erosión regresiva en cabeceras y pérdida de suelo en cárcavas en el sector Susucal estado Lara, a través del análisis de la morfología acarcavada a partir de técnicas para cuantificar el avance de las cabeceras y el volumen de suelo perdido en tres cárcavas de diferentes tamaños; obtuvo como resultado que la evolución geomorfológica de las cárcavas tendió a aumentar del tamaño de las cabeceras y bordes de las mismas, (tasas de retroceso de 2,05, 4,56 y 4,72 m/año en las cárcavas “A”, “B” y “C” respectivamente). La tasa de erosión representó en pérdida de suelo 2.223,83 m³ en un año, elevada si se considera la extensión monitoreada de 1.350,2 m².

Por otro parte, la degradación de los paisajes puede controlarse con medidas que favorezcan el desarrollo sustentable, en tal caso Torres *et al.* (2009), estudiaron el impacto del tipo de uso de la tierra sobre propiedades del suelo en la depresión de Quíbor, determinadas en muestras de suelo alteradas, no alteradas y rizosféricas en los manejos de cultivos agrícolas. Obtuvieron como resultados la recuperación de lotes de producción con las prácticas que incluyeron períodos de descanso y fertilización con abonos orgánicos, reflejado en propiedades físicas, químicas y cepas de microorganismos cuyo crecimiento y número de colonias fueron mayor en la serie Quíbor en comparación con la serie Chaimare que mantuvo el manejo convencional, los microorganismos fueron más afectados por los tipos de usos de tierras.

En otro estudio realizado por Mendosa (2010), quien evaluó los efectos de la aplicación de abonos orgánicos en la calidad física, química y biológica de dos suelos bajo diferentes sistemas de uso y manejo en la zona semiárida de Quíbor estado Lara, por medio de los manejos convencionales y manejos conservacionistas en zona de ecosistemas muy frágiles, especialmente por la inestabilidad estructural de los suelos y su escasa cobertura; obtuvo como resultado la recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos pobres y agotados ayudando así a la recuperación del ecosistema natural con la aplicación de abonos orgánicos y sistemas de labranza conservacionistas.

En este ámbito, los anteriores estudios han concluido que la siembra sin impactar los suelos produce un mejoramiento de algunas propiedades de éstos, siendo una buena práctica de conservación de aguas y suelos, tal es el caso Bravo *et al.* (2004), quienes evaluaron los efectos de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz localizado al sureste del estado Guárico, estas evaluaciones fueron realizadas a través de un muestreo de parcelas grandes antes del establecimiento del ensayo y durante dos ciclos de cultivo. Después de dos años de evaluación los índices estructurales fueron mantenidos o mejorados en todas las coberturas y se demostró la factibilidad de implantación de los sistemas de manejo evaluados.

Contrario a lo anterior, Olivares y Lobo (2010.), estudiaron las magnitudes y distribución de las pérdidas de suelo anuales bajo lluvia natural en la zona semiárida de San Pedro, Chile, por medio de parcelas experimentales con los tratamientos de subsolado, zanjas de infiltración y pradera natural. Obtuvieron como resultados que el tratamiento de pradera natural presentó valores de erosión menores a los tratamientos de subsolado y zanjas de infiltración, lo cual evidenció para dicho trabajo de investigación que estas prácticas de preparación de suelos y conservación de aguas y suelos no tuvieron un efecto significativo en cuanto a la disminución de la cantidad de sedimento registrado en la zona de estudio.

Por otro lado, Lagos *et al.* (2004), evaluaron el efecto de tres prácticas conservacionistas en los niveles de humedad del perfil del suelo en la región semiárida de Chile. Las prácticas evaluadas correspondieron a zanjas de infiltración, zanjas de desviación y cobertura con pradera artificial, con suelos de textura franco-arcillosa hasta los primeros 20 cm y arcillosa en profundidad (20 - 100 cm). Obtuvieron como resultado para el período de análisis que no existió diferencias en las diversas prácticas evaluadas, la respuesta de la humedad a los eventos de precipitación fue directa en todo el perfil mostrando mayor variación en los estratos más superficiales que en la más profunda.

En el mismo contexto, Pizarro *et al.* (2008), propusieron un diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el seco costero e interior de las regiones semiáridas de Chile, y evaluaron así dos tipos de zanjas de infiltración de diferentes dimensiones asociadas a plantaciones forestales. Los resultados validaron la aplicación de la propuesta de diseño hidrológico de zanjas de infiltración ratificado por su comportamiento frente a eventos extremos. Asimismo, las zanjas en general favorecieron la sobrevivencia de las plantaciones forestales especialmente, las del tipo que definen menores distancias de separación entre zanjas.

Vásquez y Tapia (2011), evaluaron la cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana, con la construcción de

zanjas de infiltración para el control de la erosión hídrica en 22 microcuencas de altos andinos de 12 regiones del país, las cuantificaciones de las pérdida por erosión hídrica se realizaron sobre la base de la estimación del método de clavos de erosión instalados en las parcelas que fueron estudiadas durante toda la temporada de lluvia (2010 – 2011). Obteniendo como resultado una tasa promedio de erosión en las laderas de la sierra de 45,04 t/ha-año, que representó una lámina de pérdida suelo de 3,20 mm/año. Asimismo, se encontró que estas zanjas, redujeron la pérdida de suelo en 20,60 t/ha-año lo que significa 1,47 mm/año.

Bases teóricas

2.2.1. Erosión y sedimentación

La erosión es un proceso de desgaste y deterioro del suelo a través del cual se produce la remoción progresiva y selectiva de las partículas del mismo, debido a la acción individual y/o combinada de los agentes climáticos (lluvia, viento o hielo), afectada por la biota (vegetación, actividad humana), y el relieve (pendiente: longitud, forma y grado de inclinación) actuando en el tiempo, sobre el recurso suelo (Gásperi, 1982 citado en Toledo, 2013). Esto hace referencia que la erosión es el proceso de degradación del suelo a través del cual se produce movimiento de partículas del mismo, debido a acciones individuales o combinadas de agentes naturales o antrópicos.

En el mismo contexto, Torres *et al.* (2009), describe la erosión como un proceso de degradación en las propiedades físicas, químicas y biológicas por manejos inadecuados de los agrosistemas, cuyos efectos se pueden producir en períodos de tiempo cortos o largos, generando una alteración del equilibrio natural del sistema, así como procesos irreversibles cuando alcanzan niveles extremos, ya que la regeneración de un suelo en forma natural es un proceso lento y requiere de cientos y en otros casos hasta miles de años, convirtiéndose, en la práctica, como un recurso natural no renovable.

En cuanto a la sedimentación según Bello y Lara (2006), ésta se produce cuando los materiales removidos por acción de la lluvia son transportados por escurrimiento, en un tiempo variable, y depositados en partes bajas de los terrenos. Este problema afecta a las tierras de cultivos, acequias, canales de riego, obras para construcciones civiles entre otros. Por otra parte, en el caso de la sedimentación si el escurrimiento alcanza velocidades bajas las partículas del suelo arrastradas empiezan a sedimentarse, observándose este proceso generalmente en las partes planas de los terrenos a donde llegan gran parte de las partículas producto de la erosión.

2.2.2. Factores que intervienen en la erosión hídrica

2.2.2.1. Factores climáticos

Entre los factores que intervienen en la erosión hídrica tenemos los factores climáticos, los cuales juegan un papel importante en el proceso erosivo, de acuerdo con Marín y Desir (2010), la lluvia es uno de los factores climáticos más importantes que influyen sobre la erosión. El volumen y la velocidad de la escorrentía dependen de la intensidad, la duración y la frecuencia de la lluvia. De estos factores, la intensidad es considerada la más importante y las pérdidas por la erosión aumentan con las intensidades más altas de las lluvias. La duración de la lluvia es un factor complementario.

En este contexto, es importante señalar que las precipitaciones, tanto en su intensidad como en su duración y frecuencia, son el elemento desencadenante de los procesos erosivos en países tropicales. En este caso se demuestra que cuando el volumen o la intensidad de la lluvia son altos y superiores a la velocidad de infiltración del suelo, se genera escurrimiento y consecuentemente la erosión hídrica del recurso suelo.

Respecto a lo expuesto, Bard y Taalad (2007), hacen referencia que al precipitar una gota de lluvia al suelo, su erosividad está definida por el tamaño y su velocidad de caída. A medida que la intensidad aumenta, el rango de distribución se hace más amplio esto quiere decir, que la velocidad de la caída de las gotas tienden a condicionar la energía cinética que alcanzan éstas. Por lo tanto, durante una tormenta fuerte, decenas de gotas de lluvia golpean cada centímetro cuadrado de tierra, aflojando las partículas de la masa de suelo. Si la tierra no tiene una cobertura vegetativa, las gotas pueden remover muchas toneladas de suelo por hectárea que son así fácilmente transportadas por la escorrentía superficial.

En el mismo marco se puede referir, que las lluvias de corta duración pero de alta intensidad, pueden causar la mayor parte del suelo erosionado. No obstante las

lluvias de gran duración pero de baja intensidad, también pueden causar escurrimiento superficial y por lo tanto erosión (Andrade *et al.* 2010). Como es el caso del estado Lara en el cual generalmente se presentan lluvias de corta duración pero con gran intensidad las cuales generan escorrentías y movimientos de suelo provocando los procesos tanto de erosión como sedimentación.

Por otra parte, de acuerdo a Wischmeier y Smith (1978) citado en Marín y Desir (2010), cuando se considera sólo el factor lluvia, la pérdida de suelo por unidad de área de suelo desnudo es directamente proporcional al producto de dos características de la lluvia: la energía cinética y la máxima intensidad durante un período de 30 minutos. Este producto es usado para expresar el potencial de erosividad de la lluvia.

2.2.2.2. Topografía

La topografía se caracteriza por los ángulos de las pendientes y por la longitud y forma de las mismas. La topografía es un importante factor para determinar la erosión del suelo, las prácticas de control de la erosión y las posibilidades de labranza mecanizada del suelo, y tiene una influencia primaria sobre la aptitud agrícola de la tierra (Mármol *et al.* 2007). Es decir, el relieve es otro de los factores influyentes en la erosión hídrica, por lo tanto es considerado como uno de los actores principales en los mecanismos de degradación de suelos tanto por la repercusión que tiene sobre la cantidad de agua infiltrada como sobre la escorrentía.

Respecto a lo expuesto Machado *et al.* (2009), señala que la influencia del relieve puede ser determinante de la cantidad de suelo perdido a consecuencia de una lluvia por dos motivos principales: el ángulo de la pendiente modifica el tiempo de permanencia de la lámina de agua que circula por la superficie del terreno, independiente del volumen de escorrentía generado. Cuanto mayor sea la longitud y el ángulo de inclinación de una ladera mayor será la energía cinética que alcanzará el agua circulante por su superficie, por lo que mayor será su capacidad de desagregación y transporte (y por tanto su poder erosivo).

Generalmente se ha determinado que en la mayoría de los casos de erosión hídrica a medida que aumenta la pendiente y la longitud del terreno, aumenta la escorrentía y por ende el suelo removido. Es decir, a mayor longitud y pendiente, mayor es la cantidad de agua que se junta y escurre, aumentando la erosión hídrica que se produce por la capacidad de separar las partículas de la superficie y transportarlas.

En función de lo anteriormente expuesto, Quiñonez y Pozo (2005), coinciden con dichos autores al señalar que cuanto mayor es el ángulo de la pendiente de la tierra y la longitud de esa pendiente, mayor será la erosión del suelo. Un aumento del ángulo de la pendiente causa un aumento de la velocidad de escorrentía y con ello la energía cinética del agua causa una mayor erosión. Las pendientes largas llevan a una intensificación de la escorrentía, aumentando su volumen y causando así una erosión más seria.

2.2.2.3. Suelo

En cuanto a la influencia del factor suelo en los procesos erosivos Durán *et al.* (2013), señalan que los factores que contribuyen a la erosión, no producen los mismos efectos en todos los suelos. Las condiciones físicas y químicas de los terrenos, al impartirles mayor o menor resistencia a la acción de las aguas, tipifican y singularizan el comportamiento de cada suelo expuesto a condiciones similares de pendiente, lluvia y cubierta vegetal. El tipo de suelo es uno de los principales factores que determinan la respuesta del terreno frente a los eventos climáticos; por otra parte la susceptibilidad del suelo a sufrir pérdidas por erosión va también en función de características edáficas tales como textura, estructura, estabilidad de agregados, pedregosidad superficial, etc.

De acuerdo con Wischmeier y Smith (1978) citado en Visconti y Ramón (2009), cuanto mayor sea la estabilidad de los agregados mejor se mantendrá la estructura del espacio poroso durante la precipitación, manteniéndose estable la capacidad de transmitir y almacenar el recurso agua. Cuanto mayor es la capacidad

del suelo para almacenar agua más se demorará el inicio de la escorrentía, disminuyendo con ello su efecto destructor sobre los agregados. Cuanto mayor es la capacidad del suelo para transmitir el agua, menor será el volumen de escorrentía generado, y con ello su capacidad erosiva. Es decir la capacidad de almacenar y transmitir agua está íntimamente ligada tanto a la textura como a la estructura del suelo, a través de la configuración del espacio poroso.

En este marco y considerando lo expuesto por los anteriores autores, se puede señalar que no todos los suelos son iguales en términos de su resistencia al proceso de erosión. La erosividad de un suelo en particular está en función de variables como textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad, variable que influyen notoriamente en la resistencia del suelo ante cualquier evento que lo impacte de forma negativa. Por otra parte, García y López (2009), señalan que las propiedades físicas, químicas y la composición granulométrica influyen en la capacidad de infiltración y la resistencia del mismo al desprendimiento y transporte por la escorrentía. La cantidad de tierra desplazada por la percusión de las gotas de lluvia, es tanto más grande cuanto más susceptibles sean las partículas a disgregarse.

2.2.2.4. Vegetación

Siguiendo en el contexto de los factores que influyen en los procesos de erosión hídrica se encuentra la vegetación según Sepúlveda *et al.* (2009), esta actúa como cubierta protectora, estableciéndose como un *buffer* entre el suelo y la atmósfera. El mismo autor señala que como regla general, la efectividad de la vegetación para reducir la erosión de impacto depende directamente de la altura y continuidad de la copa de los árboles, así como la densidad de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos).

Asimismo, es importante resaltar que la cubierta vegetal que sustenta el suelo es uno de los principales factores que determinan la respuesta del terreno frente a los eventos de lluvia. En este caso, la vegetación cumple el papel de interceptar las gotas de lluvia y protege los suelos frente a la acción erosiva del agua. Es decir, la

presencia de la cobertura vegetal tiene influencia directa en la absorción de la energía de las gotas de lluvia y en la disminución de la velocidad de escurrimiento.

Por otro lado Morgan (2005), señala que la cobertura vegetal no sólo cumple la función de proteger el suelo contra la erosión de impacto, sino que también brinda rugosidad al terreno por el que el flujo superficial viaja, reduciendo su velocidad y, por ende, su poder erosivo. Dicho autor resalta que tal rugosidad se expresa comúnmente en términos del coeficiente de Manning, el cual representa la suma de la rugosidad de la superficie del suelo, la microtopografía y la cobertura vegetal.

De acuerdo a lo descrito, si bien la influencia de la vegetación sobre la erosión varía con la época del año, cultivo, cobertura vegetal y desarrollo de raíces, se puede considerar que su efecto se relaciona directamente con la velocidad de escurrimiento e infiltración. En este caso Bertol y Meliquitei (1993) citado en Torres *et al.* (2005), afirman que las pérdidas de suelo se reducen en un 85% y 29% respectivamente cuando se usan cultivos de cobertura para conservar los suelos, es decir las tasas de escorrentía y erosión disminuyen en relación inversa a la cobertura, debido a que la vegetación y el mantillo disipan la energía cinética de las gotas de lluvia, retardan la velocidad del escurrimiento y aumentan la permeabilidad del suelo, actuando así como un agente protector del suelo.

2.2.2.5. Actividad humana

La realidad actual hace que las características de las concentraciones de sedimento en los ríos y áreas de unidades fisiográficas baja dependan, casi exclusivamente, de las actividades humanas (manejo de la tierra) a nivel de cuencas hidrográficas. Por lo tanto, el uso de la tierra se encuentra como uno de los factores más importante que afectan la erosión y la sedimentación. En este ámbito, Espinosa *et al.* (2011), señalan que durante los últimos años se han construido y urbanizado más terrenos que la suma de todas las áreas urbanas de los siglos anteriores. Los sitios en construcción representan la actividad humana más devastadora, en términos erosivos, debido a la agresividad espacial y temporal asociada a esto.

Lo anterior permite inferir, que la degradación de los suelos es un proceso que puede estar inducido por el hombre y que disminuye la capacidad actual y futura para sostener la vida humana. Esto hace reseñar que el hombre tiende a aumentar los procesos erosivos, a través de la forma de ocupación y uso de la tierra, contribuyendo en gran parte al deterioro del suelo. Así las actividades agrícolas, ganaderas, viales, forestales, entre otras, significan en general una alteración al medio natural del suelo.

Respecto a lo expuesto, Montiel *et al.* (2007), señalan que las actividades antrópicas son más rápidas, perturban el delicado balance entre el suelo y su medio ambiente, y ocasionan alteraciones drásticas en las propiedades y procesos de los suelos. Asimismo, es importante agregar que estos cambios pueden generar la remoción y alteración del equilibrio dinámico del suelo con el medio ambiente. Las cuales a diferencia de los procesos naturales (movimientos de suelos), permiten al suelo adaptarse a las nuevas condiciones; no obstante, algunos procesos naturales pueden ser rápidos con cambios drásticos.

Adicionalmente, cabe referir que los efectos del exceso de las operaciones agrícolas en zonas semiáridas se reflejan en la estructura de los suelos compactándolos, según Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales (2000) citado en Núñez y Toledo (2013), las áreas con mayor extensión de suelos sometidos a procesos de desertificación se localizan en las regiones áridas y semiáridas de los estados Lara y Falcón, al noroeste del país, generando impactos en la vida de los habitantes locales y en la capacidad productiva de los recursos naturales. En el caso particular del estado Lara, existen grandes zonas semiáridas sujetas a severos procesos de degradación del suelo, incluyendo la erosión, la degradación estructural así como el agotamiento de los suelos producto del manejo inadecuado de este recurso.

2.2.3. Tipos de erosión hídrica

2.2.3.1. Erosión por salpicadura

La fuerza erosiva de las gotas de lluvia generalmente es la primera que actúa en las áreas expuestas de los suelos. El suelo se desprende, moviéndose debido al impacto de las gotas, mientras que el agua que cubre el suelo crece verticalmente rompiéndose en pequeñas gotas y transportando el suelo hasta 0,60 m de alto y 1,5 m de largo lo que genera un movimiento de partículas del suelo provocando erosión por salpicaduras (Schlumberger, 1996 citado en Capriles, 2007). En este marco, se puede señalar que el primer paso en el proceso de la erosión hídrica comienza con el golpe de las gotas de lluvias que destruyen los agregados del suelo. Lo que quiere decir, que las partículas de suelo más finas van provocando un llenado de los poros y canales del suelo, generando la disminución de la infiltración y de la permeabilidad de los suelos.

En otros estudios de investigación De Baets *et al.* (2006) citado en Huerta *et al.* (2012), hacen referencia a que el impacto de las gotas de lluvia tiene un efecto mecánico sobre el suelo reduciendo su resistencia a ser erosionado; al penetrarlo directamente lo debilita y disminuye así su resistencia al esfuerzo cortante. La erosión por salpicadura desagrega las partículas de suelo y reduce la rugosidad superficial de éste, aumentando la susceptibilidad a la erosión en canales y cárcavas. Debido a esta reducción en la rugosidad y permeabilidad, se disminuye la capacidad de infiltración.

Zamudio y Méndez (2011), coinciden con la referencia anterior, al concluir que la infiltración lenta del agua en el suelo, debida a la destrucción de la estructura de las capas superficiales por el impacto de las gotas de lluvia, conducirá a una escorrentía indeseable que genera pérdida de suelo. Dichos autores señalan que, al mismo tiempo, como el efecto destructivo del impacto de las gotas de lluvia es función de la energía cinética de las gotas, ésta se relaciona positivamente con la intensidad de la lluvia, a mayor intensidad de lluvia mayor es la desagregación del suelo por impacto de las gotas.

2.2.3.2. Erosión por surcos

Entre otros de los diversos tipos de erosión se encuentra la erosión por surcos, según Fernández (1995) citado en Hernández y Florentino (2004), este tipo de erosión, ocurre cuando el agua de lluvia se concentra en pequeñas depresiones y al rebasarse comienza a fluir, siguiendo la trayectoria de mínima resistencia, transportando sedimentos en suspensión y formando surcos, el desprendimiento se origina por la energía del flujo de agua. La erosión en surcos transporta menos material que la laminar y por lo tanto los daños son menores pero más visibles. Estos surcos por ser de pequeñas dimensiones pueden ser controlados con operaciones normales de manejo de suelos como la labranza conservacionista.

Así mismo, se puede mencionar que la erosión por surcos se genera donde el escurrimiento comienza a desagregar el suelo con el transporte de sus partículas. La mayoría de los surcos se forman dependiendo de la textura del mismo, del uso de suelo, la pendiente y del escurrimiento. Es decir, a medida que el agua de escurrimiento superficial baja por la pendiente va concentrándose cada vez más en las micro depresiones del terreno, formando pequeños canales de desagüe, la velocidad de escurrimiento de dichos canales permiten la profundización y arrastre del material y la formación de los surcos de erosión.

En el mismo contexto, Márquez y Guevara (2011), señalan que la erosión por surcos son aquellos canales miniatura, generados de la remoción de aproximadamente 10 a 30 cm de suelo por acción de la escorrentía, desplazando este material erosionado hacia canales o riberas. Dichos autores hacen referencia además, que el accionar constante del agua a través de estos canales, podría producir barrancos o cárcavas. En este ámbito, se debe señalar que en este tipo de erosión, el desprendimiento y arrastre de partículas tiene su origen principal en la energía del flujo y la magnitud de este desprendimiento es proporcional al cuadrado de la velocidad del agua.

Respecto a lo expuesto Mingoti y Vettorazzi (2011), refieren que el desprendimiento de las partículas del suelo en los surcos se presenta cuando la carga de sedimentos en el flujo es menor a la carga que puede soportar. De la misma manera la erosión por surcos se desarrolla en terrenos con pendientes irregulares de 3 a 5 %, a veces con pendientes menores también se observa dicho fenómeno; cuando la erosión es de tipo moderada a severa los surcos pueden ser: surcos medios de 8 a 15 cm de profundidad, mientras que en los surcos profundos estos pueden ser de 15 a 30 cm de profundidad.

2.2.3.3. Erosión laminar

En cuanto a la erosión laminar al igual que los anteriores tipos de erosión explicados, también corresponde a la pérdida de suelo producto de efectos tanto naturales como antrópicos. En este ámbito Maya (2011), define la erosión laminar como la remoción de una lámina delgada desde la superficie en terrenos inclinados o de poco declive. Es una erosión inapreciable, aunque también es importante, se manifiesta en sectores de suelo de color claro en las partes elevadas del terreno.

Se considera a la erosión laminar como la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que esta pérdida como se definió anteriormente, es casi imperceptible, solo será visible cuando pasado un tiempo haya aumentado su intensidad. Así mismo, se puede señalar que la erosión laminar causa grandes aportaciones de sedimentos a los cursos de agua e importantes pérdidas de fertilidad de los terrenos, al afectar las partículas de tierras más finas.

En este sentido, para Ouriemi *et al.* (2007), la erosión laminar se puede identificar mediante los siguientes síntomas: presencia de montículos en el suelo, plantas con su sistema radicular al descubierto, invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados entre otros. Por otro lado, la erosión laminar es un modo uniforme de degradación y con el tiempo el efecto se puede visualizar por los cambios de color que se aprecian en la superficie del suelo. Adicionalmente, cabe señalar que este tipo de erosión constituye uno de los principales procesos de pérdida

de suelo y representa una de las formas más completas de degradación, englobando tanto la degradación física del suelo como la química y la biológica, ya que este proceso puede dar origen a la erosión en surcos y posteriormente cárcavas.

En función a la cita anteriormente expuesta, otra manera de identificar el accionar de la erosión laminar según Rodríguez (1982) citado en Jacinto de Almeida *et al.* (2005), es la presencia de pavimentos de erosión, que corresponde al proceso que deja al descubierto áreas con presencia de piedras de diferentes tamaños, las cuales originalmente estaban cubiertas por partículas de suelo. Dichos autores también acotan que a medida que el proceso avanza, disminuyen los rendimientos y va cambiando de coloración del suelo hacia tonalidades más claras.

2.2.3.4. Erosión por cárcava

Otro tipo de proceso de degradación de suelos es la erosión por cárcavas la cual se define según Toledo (2013), como el proceso de remoción de suelo, por acción del agua, que forma depresiones más grandes que los surcos, usualmente transportan material durante la tormenta. Las dimensiones varían en profundidad de 1 m o más y anchura 2 m o más. En este contexto, cabe señalar a la erosión por cárcavas como aquella que se forma en lugares donde escurre el drenaje superficial o desagüe natural del agua, presentándose como surcos intensos de profundidades altas y variables en dimensiones la cual hace problemático nivelar con métodos de labranza comunes.

De acuerdo a estudios realizados por Montiel *et al.* (2009), éstos hacen referencia que la intervención en laderas con pendientes moderadas, provoca producción y acarreo de sedimentos, lo que a futuro puede ocasionar la aparición de áreas de susceptibilidad alta, sobre todo en las zonas deforestadas, quemadas, con pastos y cultivos de conucos de las microcuencas, y por ende generará el proceso de erosión por cárcavas.

En este marco, se puede señalar que la aparición de la erosión por cárcavas, guarda relación con tales prácticas inadecuadas de utilización de la tierra. Este es el caso de la disposición inapropiada del material proveniente de cortes de terreno, en diferentes tipos de construcciones civiles y minería, quedando aquél a merced del agua de lluvia. Asimismo, tiene relación con la generación de surcos en campos de cultivo y caminos de ganado en pastizales, los cuales, favorecidos por la acción de la lluvia y concentración de flujos, tienden a profundizarse, y con el tiempo, ser precursores de esta manifestación erosiva.

Por otra parte Rivera *et al.* (2014), indican que al comparar estas depresiones llamadas cárcavas con los cauces permanentes, relativamente llanos y cóncavos en su perfil, las cárcavas se caracterizan por tener cabeceras y saltos a lo largo de su curso. Además, poseen una mayor profundidad, menor anchura que los cauces estables y transportan más cantidad de sedimentos.

2.2.3.5. Erosión en bancos aluviales

Antes de hablar de la erosión en bancos aluviales es conveniente hacer referencias sobre lo que son dichos bancos aluviales. De acuerdo con Henao y Obregón (2007), los bancos aluviales son acumulaciones inestables de material de gravas, cantos o arenas en el lecho menor de un río y transportado por éste como carga de fondo. Se forman dentro del cauce o en posición lateral y son generalmente de forma alargada. Los bancos pueden o no ser temporales y móviles, lo cual depende del régimen hídrico del río, de la carga de sedimentos y emergen en épocas de aguas bajas y medias.

En cuanto a la erosión en bancos aluviales, al igual que los anteriores tipos de erosión, ésta también consiste en la activación de los procesos como desintegración y transporte de partículas del suelo por acción del agua, pero no sólo ataca la parte superficial del suelo, sino también a lo largo de todo el perfil, comprometiendo así a toda la estructura del terreno a ser potencialmente arrastrada por la escorrentía, y acumular el suelo erosionado en el lecho de las vías fluviales.

De acuerdo con González *et al.* (2012), la erosión en bancos aluviales se produce de los procesos degradativos que se generan en el lecho de los barrancos o cárcavas, haciéndolos más profundos, causando que el material de las riberas se vuelva más inestable y se desprenda material desde las zonas altas. Generalmente según Lindstrom *et al.* (1998) citado en Rivera, Oropeza *et al.* (2012), esta erosión se produce de bancos aluviales que son muy sensibles a su desestabilización por su posición topográfica en relación al nivel que alcanzan las crecidas ordinarias y constituyen zonas potencialmente críticas al fenómeno de la desestabilización de masas rocosas.

2.2.4. Efectos de la erosión hídrica

La erosión hídrica de los suelos es una de las principales problemáticas ambientales a nivel mundial y sus efectos son bien conocidos, entre los cuales según Vasconcelos *et al.* (2012), es conveniente mencionar la pérdida de fertilidad de los suelos, la cual consiste en las pérdidas de nutrientes que las plantas necesitan para subsistir. La pérdida de estas capas por la erosión puede causar que un suelo se vuelva estéril. En cuanto a la pérdida de recursos hídricos, un aumento de la erosión significa siempre una disminución en la recarga de los acuíferos y un riesgo para todos aquellos que se abastezcan de dichos acuíferos. Por otro lado, la modificación que esto supone para los ciclos hidrológico y climático puede suponer graves alteraciones de estos en el futuro.

Es importante señalar que el agua juega un papel muy importante en la mayoría de los procesos que reducen la resistencia del suelo. El agua igualmente está relacionada con varios tipos de agentes que aumentan las acciones de inestabilidad en los taludes. La mayoría de las fallas de los taludes están relacionadas de una u otra forma con el agua causando efectos negativos en los suelos y provocando su erosión.

Por otro lado, Huerta y Figueroa (2014), mencionan que otro efecto del proceso de erosión hídrica es la colmatación, debido a que los materiales arrastrados por las corrientes de agua se depositan en humedales que acaban convertidos en

barrizales inútiles para el consumo humano o animal y alteran los ecosistemas de dichas áreas, la mala distribución de estos sedimentos por las corrientes puede causar que algunos puertos, canales de riego y drenajes entre otros se colmate reduciendo su capacidad operativa.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, es importante señalar que la erosión del suelo es una de las principales problemáticas ambientales a nivel mundial, la degradación de los ecosistemas afectados involucra indirectamente un impacto económico y social, mientras que los efectos que presenta en el recurso suelo son variados y muchos de ellos se asocian a la pérdida de la fertilidad natural de los suelos ocasionando una disminución de los rendimientos de las cosechas. La tierra arrastrada contribuye además a la contaminación y a la colmatación de los ríos.

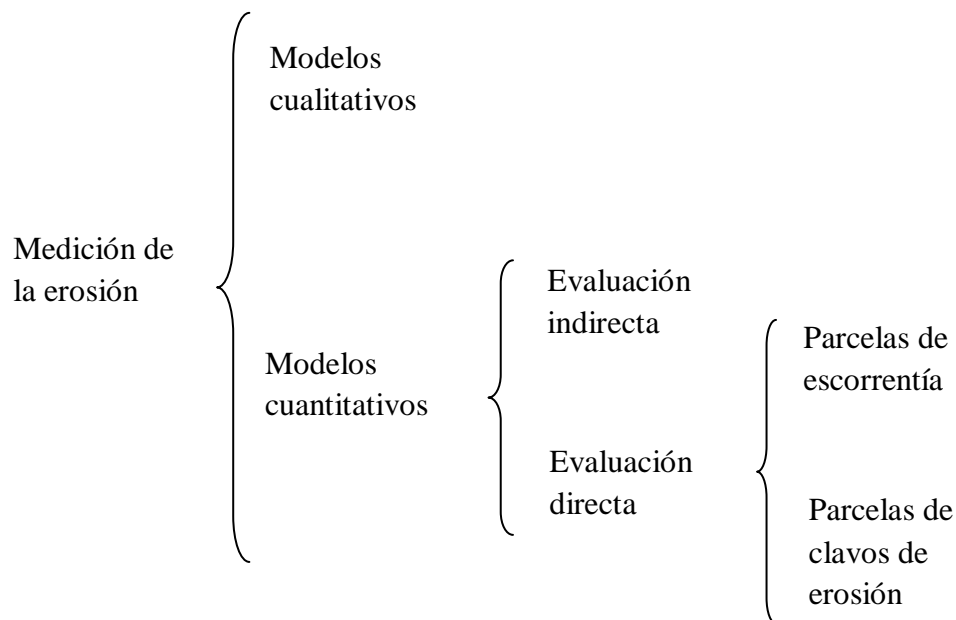
En lo que respecta a los daños en infraestructuras y actividades económicas Mármol *et al.* (2007), hacen referencia a que el aumento de la carga sólida de las corrientes de agua incrementa el desgaste que ejercen sobre las construcciones humanas a las que afectan. En el caso agrícola, durante un evento de inundación las tierras de cultivo o de vegetación natural pueden llegar a verse completamente cubiertas de sedimento lo cual afecta negativamente a las plantas, transformando lo que podía ser un aporte natural de nutrientes en una capa de lodo y piedras que asfixia a la vegetación.

Así mismo, cabe referir que la erosión de los suelos origina un retroceso desde un estado más elevado y productivo a uno inferior y poco o nada productivo, lo que supone una disminución de su capacidad potencial. Es evidente que todo ello puede implicar, una secuencia degradativa y según Brunel y Seguel (2011), como resultado de la misma se genera una disminución de rendimiento en la producción vegetal, pérdida de recursos incluido el suelo, mayor necesidad de insumos agrícolas, descenso del valor del suelo con la pérdida del mismo y reducción de las poblaciones vegetal y animal.

2.2.5. Modelación de la erosión

Según Meléndez *et al.* (2010), la modelización del proceso de erosión hídrica trata de dar respuesta a todos aquellos aspectos técnicos que facilitan el conocimiento de los diferentes parámetros e interrelaciones implicados, para posteriormente tratar de reproducir el sistema en el cual se desarrollan los procesos, y explicar el comportamiento global en una cuenca hidrográfica. Esto quiere decir, que los modelos de estimación de la erosión hídrica se basan en la definición de factores importantes que regulan los mecanismos de la erosión mediante el uso de observaciones, mediciones y técnicas de análisis estadístico que permitan establecer relaciones significativas entre estos factores y pérdidas de suelo.

En cuanto al tipo de modelo para estimar erosión Alomoro *et al.* (2010), propone la siguiente clasificación, cuyo esquema se presenta a continuación:



2.2.5.1. Modelos cualitativos

En lo referente a la anterior clasificación, la estimación cualitativa se basa en la definición homogénea a través de cartografía en función de los principales parámetros que controlan los procesos erosivos. De acuerdo con Albaladejo y Martínez (1988) citado en Mejías *et al.* (2010), este tipo de modelo se basa en la delimitación de unidades fisiográficas homogéneas en las que los factores considerados condicionantes de procesos erosivos muestran homogeneidad. De este modo, el modelo evalúa las variables que influyen en el tipo y grado de erosión.

En el mismo contexto, para este modelo la herramienta fundamental la constituye según Vega y Febles (2008), la cartografía de las unidades homogéneas en función de los parámetros principales que controlan el fenómeno erosivo (suelo, vegetación, topografía, entre otros), y la atribución de categorías, niveles o clases, en los que la subjetividad juega un papel importante. Esto quiere decir, que los sistemas de información geográficos (SIG) son una herramienta óptima en la evaluación cualitativa de la erosión, siendo de gran utilidad en la captura y análisis de toda la información necesaria en la posterior aplicación de los modelos.

2.2.5.2. Modelos cuantitativos

En cuanto a los modelos cuantitativos, éstos pueden estimar las pérdidas de suelo por erosión mediante evaluaciones directas o indirectas. Las tasas de erosión pueden ser medidas con precisión en experimentos a pequeña escala; para escalas grandes sólo pueden hacerse estimaciones de acuerdo Lima *et al.* (2002) citado en Vega y Febles (2005). Es decir, el modelo de erosión cuantitativa requiere de la evaluación de los factores que condicionan la erosión para poder definir el monto de la pérdida de suelo en función de la erosión hídrica, teniendo como objetivo poder estimar en un marco referencial el daño sobre el área afectada.

Por lo tanto, se puede señalar que el modelo cuantitativo según Alomoro *et al.* (2010), estima el proceso erosivo, con evaluaciones indirectas por formulaciones

que explican los procesos mediante ecuaciones que tienen en cuenta las leyes físicas, o evaluaciones directas en el terreno o en ensayos, por mediciones de parámetros asociados a sedimentos. Esto hace referencia a que este modelo puede medir cuantitativamente la cantidad de pérdida de suelos en función de la erosión hídrica, donde se plantea el objetivo de estimar numéricamente la magnitud del daño sobre las cuencas hidrográficas o lugar afectado.

2.2.5.2.1. Evaluación indirecta

En el marco de los tipos de modelos cuantitativos, se encuentra la evaluación indirecta, según Lozano y Parras (2011), el método de evaluación indirecta está asociado a modelos que son representaciones simplificadas de la realidad, entre estos se puede distinguir modelos conceptuales, modelos físicos y modelos empíricos; Asimismo, el método indirecto parte de la delimitación de unidades homogéneas en cuanto a tipo de suelo, pendiente, uso de suelo y vegetación, ya que éstas son las variables requeridas para aplicar las ecuaciones de estimación de pérdida de suelo que se utilizan.

En relación a lo expuesto por los anteriores autores Rivera, Pérez *et al.* (2012), coincide con éstos, al definir que las evaluaciones indirectas se basan en el uso de modelos matemáticos desarrollados sobre bases estadísticas, empíricas o de leyes físicas. La utilización de gran número de variables importantes, relacionadas con los procesos de degradación y sus interacciones, para determinar probabilidades, riesgos de erosión de suelos, su influencia en la producción de cultivos y daños ambientales, puede facilitarse con su integración en modelos.

Por otro lado, en esta evaluación se pueden encontrar según Alatorre y Beguería (2009), tres modelos: modelos conceptuales basado en representaciones de cuencas vertientes, transferencias y almacenamientos de sus sedimentos, modelos físicos con formulaciones que interpretan mecanismos erosivos sus causas y efectos; modelos empíricos relacionan mediante análisis de regresión mediciones de degradación específica con parámetros asociados al proceso erosivo.

2.2.5.2.2. Evaluación directa

Entre otro de los tipos de modelos cuantitativos, está la evaluación directa, la cual puede llevarse a cabo por cualquiera de los siguientes métodos: analizando el rebajado de la superficie topográfica, ubicando clavos o varillas verticales en el suelo; realizando sucesivos levantamientos microtopográficos en laderas; evaluando el volumen de surcos y cárcavas; por análisis de la carga sólida y en disolución arrastrada por el agua, ya sea a nivel de ladera o de cuencas fluviales; ensayos en parcelas experimentales; mediante simuladores de lluvia; o efectuando mediciones de parámetros asociados a los sedimentos o al suelo como es el caso de los isótopos radioactivos (Escalante, 2005).

Otro de los métodos más ampliamente utilizados para medir problemas de degradación por acción hídrica a través de la estimación del riesgo de erosión son los clavos de erosión. De acuerdo con Vásquez y Tapia (2011), el método consiste en utilizar clavos de 20 a 30 cm de largo con marcas a ras del suelo, se colocan a lo largo de un transecto a intervalos regulares, realizándose las mediciones con una regla milimetrada cada cierto intervalo de tiempo. Dicho método se destaca por su sencillez, comodidad y economía, las pérdidas del suelo puede ser rastreadas a través de la parcela de clavos observándose procesos de acumulación a medida que sea cubierta la marca en el clavo por el suelo removido y transportado.

Adicionalmente se puede referir, que el método de clavos de erosión, corresponde a parcelas abiertas en términos de permitir el flujo líquido y sólido desde la parte alta de la ladera hasta la parcela, a las cuales se les instalan clavos, los que son medidos inicialmente desde la cabeza de cada clavo, hasta el nivel del suelo, medida que fija la lectura inicial (López *et al.* 2012).

Según lo expuesto, ya que el método de clavos de erosión es de bajo costo y relativamente sencillo, existe la posibilidad de efectuar muchas mediciones para que los resultados sean confiables y representativos, lo que significa que serán creíbles y utilizables; es necesario resaltar que una única medición exacta en un lugar puede no

ser representativa. En este caso los clavos para medir la erosión y el intervalo entre las mediciones puede ser flexible, o sea, los clavos pueden medirse después de un mes o después de una temporada o de un año.

2.2.6. Conservación de agua y suelo

Frente al mencionado problema como lo es la erosión hídrica de los suelos, se presentan a continuación alternativas basadas en la conservación de agua y suelo integrando todo lo relacionado con su uso racional y tratamiento. Según Betancourt y Pulido (2006), la conservación de agua y suelo es un conjunto de prácticas aplicadas para promover el uso sustentable de estos recursos, por lo tanto es un aspecto que involucra a distintos sectores productivos e institucionales como el agrícola, el forestal, el pecuario y de infraestructura, entre otros.

En el mismo contexto, se debe señalar que la conservación de agua y suelo se asocia y frecuentemente se identifica con el control de la erosión. Pero en base a diversos estudios se puede referir que es mucho más, ya que según Troyo (2011), define la conservación de agua y suelo como, la integración de todo lo relacionado con el uso racional del agua y suelo así como su tratamiento. Por otra parte, las obras de conservación de agua y suelo permiten la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación.

Adicionalmente se puede referir, que los recursos naturales y el medio ambiente de áreas afectadas se pueden mejorar apreciablemente, y a corto plazo, con el empleo acertado de prácticas de manejo y conservación de agua y suelo, que contribuyan a la regeneración de los mismos, y que además puedan remover o eliminar ciertas limitaciones de los suelos que afectan la producción sostenible de cultivos, tales como: compactación, encostramiento, infiltración deficiente, drenaje pobre y regímenes de humedad y temperatura desfavorables.

En función de lo anterior, es importante agregar que la incorporación de medidas de conservación de agua y suelo, demanda un esfuerzo técnico y económico,

por lo que es conveniente conocer las principales prácticas para controlar la erosión y por ende conservar las aguas, suelos y paisajes evitando el movimiento del mismo de un lugar a otro. Entre estas prácticas de conservación se puede mencionar según MPPA (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente), (2008) las siguientes:

2.2.6.1. Prácticas agronómicas

Labranza reducida, labranza sobre cubierta (mulch), labranza cero y labranza sobre camellones, abonos orgánicos (residuos de cultivos y lombricultura), rotación de cultivos, cultivos múltiples, abonos verdes, cultivos de cobertura, barreras vivas, cultivos en franjas, cultivos en contorno, cortinas rompevientos.

2.2.6.2. Prácticas mecánicas

Canales de infiltración, terrazas individuales, terrazas angostas y terrazas de banco, canales de desviación, barreras de piedras, diques para el control de cárcavas, muros de piedras.

Según la FAO (2010), los canales de infiltración son obras de recuperación de suelo construidos generalmente en laderas, los cuales tienen por objetivo captar el agua que escurre disminuyendo su velocidad, evitando procesos erosivos de manto, permitiendo la infiltración del agua en el suelo. De esta manera, los de infiltración como práctica de conservación de agua y suelo permiten no sólo beneficios sociales y económicos, sino también ambientales para que se conserven por el mayor tiempo posible, ya que estas medidas se enfocan en tratar de reducir o modificar los factores que intervienen en la degradación de los suelos.

De acuerdo con Fernández (2010), los canales de infiltración se construyen transversalmente a la pendiente, en la curva de nivel, con el objetivo de interceptar agua de esorrentía, disminuyendo o anulando su velocidad, permitiendo mayor infiltración; también almacenar el agua, retener sedimentos y disipar la energía. El mismo autor acota que en suelos arenosos, deben construirse dichos canales de infiltración superficialmente con base ancha.

Bases legales

Los aspectos legales que sustentan la evaluación en el marco legal dado por la ley forestal de suelos y de aguas (1966), aún vigente en los siguientes artículos:

Título I, disposiciones generales, Artículo 1. La presente ley regirá la conservación, fomento y aprovechamiento de los recursos naturales que en ella se determinan y los productos que de ellos se derivan.

Artículo 19. En las zonas declaradas protectoras por disposición de la ley o por decreto ejecutivo, no se podrá efectuar labor de carácter agropecuario o destrucción de vegetación sino en los casos previstos por el reglamento y con sujeción a las normas técnicas que determine el ministerio de agricultura y cría. En el reglamento se determinara además, la forma como podrán ser utilizadas las zonas protectoras para instalaciones de utilidad pública.

Parágrafo único. La declaratoria de zonas protectora tiene el carácter de limitación legal a la propiedad predial y está destinada a la conservación de bosques, suelos y aguas.

Capítulo único de disposiciones generales de la ley forestal de suelos y agua. La reforestación, la tala de vegetación alta o mediana, las rozas y quemas, desmontes y cualquier otra actividad que implique destrucción de la vegetación, así como también la explotación de productos forestales en terrenos ejidos o de propiedad privada, no podrán efectuarse sin previa autorización de los funcionarios del ramo, quienes la impartirán de conformidad con los requisitos que al efecto establezca el reglamento. Esta autorización podrá ser negada o revocada cuando exista o surjan impedimentos técnicos o reglamentarios que lo determinen.

Título II. De la protección forestal, capítulo I de los parques nacionales.

Artículo 12. Los parques nacionales solamente se utilizarán para solaz y educación del público, para turismo o investigaciones científicas, en las condiciones

que determinen los respectivos decretos o las resoluciones del ministerio de agricultura y cría. Las riquezas naturales existentes en los parques nacionales, no podrán ser sometidas a intervenciones que perjudiquen las funciones de los parques, ni explotadas con fines comerciales.

Titulo VI de los suelos Artículo 82. Los suelos deben usarse de acuerdo con su capacidad agrológica específica. El ejecutivo nacional proveerá lo conducente para la clasificación de las tierras del territorio nacional, basada en la pendiente, grado de erosión, fertilidad del suelo y factores del clima.

Artículo 84. El ejecutivo nacional establecerá en el reglamento de esta ley, las normas conforme a las cuales deberán aprovecharse los suelos en cuanto a su fertilidad, inclinación, grado de erosión y otros factores.

Artículo 85. El ejecutivo nacional podrá acordar la realización de estudios y trabajos de conservación de suelos en cualquier porción del territorio nacional.

Artículo 87. El ministerio de agricultura y cría podrá crear comités locales, que tendrán por finalidad colaborar con las autoridades forestales en las labores de conservación de los recursos naturales renovables, determinando en cada caso, además, la forma como habrá de prestarse ayuda técnica y financiera para el funcionamiento de dichos comités.

Capítulo IX de la constitución bolivariana de Venezuela (1999), de los derechos ambientales.

Artículo 127. Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica.

El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia. Es una obligación fundamental del estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley.

Artículo 128. El estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información, consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento.

Artículo 129. Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural. El estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas.

Ley de tierras y desarrollo agrario (2010)

Título II de la afectación de uso y redistribución de las tierras, Capítulo I disposiciones generales.

Artículo 34. Con el objeto de establecer las bases del desarrollo rural, el instituto nacional de tierras (INTI), adoptará las medidas que estime pertinentes para la transformación de todas las tierras con vocación de uso agrícola en unidades productivas bajo modalidades organizativas diversas, privilegiando las de propiedad social. En cumplimiento de este mandato, podrá rescatar toda tierra de su propiedad, o del dominio de la república, institutos autónomos, corporaciones, empresas del

estado, fundaciones o cualquier entidad de carácter público nacional, incluso baldíos nacionales que se encuentren ociosas o de uso no conforme.

En aquellas zonas sometidas a un régimen de administración especial, adoptará las medidas que estime pertinentes en coordinación con el ministerio del poder popular con competencia en materia ambiental.

Ley orgánica del ambiente (2006)

Artículo 1, capítulo I. Esta ley tiene por objeto establecer las disposiciones y los principios rectores para la gestión del ambiente, en el marco del desarrollo sustentable como derecho y deber fundamental del estado y de la sociedad, para contribuir a la seguridad y al logro del máximo bienestar de la población y al sostenimiento del planeta, en interés de la humanidad. De igual forma, establece las normas que desarrollan las garantías y derechos constitucionales aun ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado.

Artículo 4. Principios para la gestión del ambiente, esta comprende:

1. Corresponsabilidad: Deber del estado; la sociedad y las personas de conservar un ambiente sano, seguro y ecológicamente equilibrado.

2. Prevención: Medida que prevalecerá sobre cualquier otro criterio en la gestión del ambiente.

3. Precaución: La falta de certeza científica no podrá alegarse como razón suficiente para no adoptar medidas preventivas y eficaces en las actividades que pudiesen impactar negativamente el ambiente.

4. Participación ciudadana: Es un deber y un derecho de todos los ciudadanos la participación activa y protagónica en la gestión del ambiente.

5. Tutela efectiva: Toda persona tiene derecho a exigir acciones rápidas y efectivas ante la administración y los tribunales de justicia, en defensa de los derechos ambientales.

6. Educación ambiental: La conservación de un ambiente sano, seguro y ecológicamente equilibrado debe ser un valor ciudadano, incorporado en la educación formal y no formal.

7. Limitación a los derechos individuales: Los derechos ambientales prevalecen sobre los derechos económicos y sociales, limitándolos en los términos establecidos en la constitución de la república bolivariana de Venezuela y las leyes especiales.

8. Responsabilidad en los daños ambientales: La responsabilidad del daño ambiental es objetiva y su reparación será por cuenta del responsable de la actividad o del infractor.

9. Evaluación de impacto ambiental: Todas las actividades capaces de degradar el ambiente deben ser evaluadas previamente a través de un estudio de impacto ambiental y socio cultural.

10. Daños ambientales: Los daños ocasionados al ambiente se consideran daños al patrimonio público.

Artículo 7. Política ambiental

La política ambiental deberá fundamentarse en los principios establecidos en la constitución de la república bolivariana de Venezuela, en la presente ley, las demás leyes que la desarrollen y conforme a los compromisos internacionales contraídos válidamente por la república bolivariana de Venezuela.

Capítulo II. De las autoridades ambientales

Artículo 18. La autoridad nacional ambiental será ejercida por el ministerio con competencia en materia ambiental como órgano rector, responsable de formular, planificar, dirigir, ejecutar, coordinar, controlar y evaluar las políticas, planes, programas, proyectos y actividades estratégicas para la gestión del ambiente.

Artículo 23. De los lineamientos para la planificación del ambiente son:

1. La conservación de los ecosistemas y el uso sustentable de éstos asegurando su permanencia.

2. La investigación como base fundamental del proceso de planificación, orientada a determinar el conocimiento de las potencialidades y las limitaciones de los recursos naturales, así como el desarrollo, transferencia y adecuación de tecnologías compatibles con desarrollo sustentable.

3. La armonización de los aspectos económicos, socioculturales y ambientales, con base en las restricciones y potencialidades del área.

4. La participación ciudadana y la divulgación de la información, como procesos incorporados en todos los niveles de la planificación del ambiente.

5. La evaluación ambiental como herramienta de prevención y minimización de impactos al ambiente.

6. Los sistemas de prevención de riesgos para garantizar su inserción en los planes nacionales.

Artículo 27. Los planes ambientales deberán ajustarse a las políticas que al efecto se dicten en materia ambiental, y definirán los objetivos, lineamientos, estrategias; metas y programas que orienten la gestión del ambiente, así como prever la viabilidad social, política, económica, financiera y técnica a los fines de lograr sus objetivos.

Título V de los recursos naturales y la diversidad biológica Capítulo I.

Artículo 45. El presente título establece las disposiciones que regirán el manejo, la conservación de los ecosistemas y sus funciones, los recursos naturales y de la diversidad biológica, para garantizar su permanencia y los beneficios sociales que se derivan de ellos como elementos indispensables para la vida y su contribución para el desarrollo sustentable.

Artículo 62. La gestión para la conservación del suelo y del subsuelo debe realizarse atendiendo a los lineamientos siguientes:

1. La clasificación de los suelos en función de sus capacidades agroecológicas.

2. El uso y aprovechamiento del suelo y del subsuelo debe realizarse en función a su vocación natural, la disponibilidad y acceso a las tecnologías ambientalmente seguras, a fin de evitar su degradación.

3. La adopción de medidas tendientes a evitar y corregir las acciones que generen erosión, salinización, desertificación o modificación de las características topográficas y otras formas de degradación del suelo y del paisaje.

4. La restauración y recuperación del suelo y del subsuelo que haya sido afectado por la ejecución de actividades.

Título VI, De la investigación e información ambiental. Capítulo I.

Artículo 64. El derecho a la información sobre el ambiente debe ser reconocido a cada persona. El estado es el garante de su ejercicio, de la confiabilidad de la información y de su difusión. Este derecho será ejercido según las modalidades definidas en esta ley en los demás instrumentos normativos que al efecto se dicten.

CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO

Área de estudio

El ensayo se estableció el 1 de mayo del año 2014, en el parque Universitario UCLA del Decanato de Agronomía núcleo Héctor Ochoa Zuleta, sector Tarabana del municipio Palavecino, estado Lara, localizada según las coordenadas UTM 1107265,99 N - 469039,66 E, 1107272,24 N – 469162,43 E, 1107019,00 N – 469008,76 E, 1107061,80 N – 468854,65 E, con una altitud de 513 msnm. La zona con problemas de degradación de suelo comprende un área de 1 ha, de los cuales se seleccionaron cuatro parcelas experimentales para su respectivo estudio.

Según López (1995) citado en Vásquez *et al.* (2007), la región corresponde con la transición entre bosque muy seco tropical a un bosque seco premontano como zona de vida. Los suelos presentan texturas arenosas, poco profundos, bajo contenido de materia orgánica. La precipitación media anual es de 812,6 mm/año, temperatura media anual 25°C, humedad relativa 74,6 % y la radiación solar diaria 371 cal/cm² (UCLA, 2012).

Naturaleza de la investigación

El presente trabajo se adapta a la naturaleza de investigación comparativa; ya que según Hurtado (2010), permite el estudio comparativo acerca de la situación del proceso de degradación de suelo que se presenta en una zona afectada del parque Universitario de la UCLA, del estado Lara, considerado como una importante área verde de reserva natural.

Diseño

En este trabajo de investigación se aplicó un diseño de tipo experimental, el cual consistió en establecer parcelas sometiénolas a dos tratamientos para observar los efectos o reacciones que se producen en determinado periodo de tiempo, como lo resalta Arias (2006).

La investigación se realizó mediante un diseño completamente aleatorizado de 2 tratamientos 2 repeticiones y 3 puntos de muestreos. Cada tratamiento constó de un área de 400 m².

Tratamientos

T₀: testigo. Sin medidas de conservación.

T₁: canales de 0,2 m de base, 4 m de largo y 0,16 m de altura con 4 m de distancia entre líneas de canales.

El procesamiento de los resultados se realizó utilizando el programa estadístico: Statistix versión 8.0, y las pruebas aplicadas fueron:

1. Análisis de la varianza para modelo de clasificación simple, (DCA) y mediciones repetidas en el tiempo, en todas las variables consideradas en el estudio.

Modelo lineal aditivo:

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_k + (\alpha\tau)_{ik} + \gamma_{k(i)} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

X_{ijk} : representa una observación cualquiera de las variables medidas en el estudio.

μ : efecto de la media general.

α_i : efecto de tratamiento.

τ_k : efecto de momento o mes, según sea el caso.

$(\alpha\tau)_{ik}$: efecto de la interacción tratamiento por momento o mes.

$\gamma_{k(i)}$: error intrasujeto.

ε_{ijk} : error experimental.

2. Pruebas de comparación de medias de Tukey para el efecto de manejo, elementos y período, en el primer modelo y para los efectos de manejo y elementos en el segundo modelo.
3. Pruebas W de Wilk-Shapiro para la normalidad y de Bartlett para la homogeneidad de varianzas entre tratamientos o combinaciones de factores.
4. Prueba de Kruskal-Wallis para la aproximación a F de aquellos parámetros con exceso de variación y problemas de normalidad.

Caracterización del área de estudio, tanto topográficamente como algunas propiedades físicas y químicas del suelo.

En primer lugar, con el fin de determinar la configuración del terreno, la delimitación específica del área en estudio y todos los datos recolectados en campo necesarios para la representación gráfica de dicha área en estudio se realizó como primera actividad un levantamiento topográfico con un teodolito Wild T1-GPS Garmin MAP 76CSX.

La determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo correspondiente al área en estudio, consistió en la toma de tres puntos de muestras en campo para cada tratamiento y sus dos repeticiones, ubicando dichos puntos de muestras en un patrón regular, la misma se realizó arrancando de un punto determinado al azar a partir del cual se establece cierta distancia para ubicar los demás puntos (Lozano, 2006). Las muestras se tomaron a una profundidad de 0 - 30 cm, es importante mencionar que todos los puntos de muestreos de suelo fueron los mismos tanto al inicio como al final del ensayo, esto para evitar posibles errores en la variabilidad espacial en el ensayo.

Las propiedades físicas y químicas del suelo se determinaron en el laboratorio de suelo de la UNELLEZ. Las variables analizadas y los métodos utilizados se presentan en la Tabla 1. El procesamiento estadístico de los resultados de las mediciones de: materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, arcilla, limo, arena, conductividad eléctrica y pH, en dos momentos (inicio y al final del ensayo),

se realizó, aplicando análisis de la varianza (mediciones repetidas en el tiempo), con modelo de clasificación simple (DCA).

Tabla 1.

Métodos para medir variables de suelos en laboratorio.

Método	Variables medidas
Walkley Black	Materia Orgánica
Conductrimétrico	Conductividad Eléctrica
Solución de Olsen	Fósforo
Acetato de Amonio fotometría de llama	Potasio
Acetato de Amonio pH7 -Absorción Atómica	Calcio y Magnesio
Potenciómetro	Potencial de Hidrógeno (pH)
Hidrómetro de Bouyoucos	Distribución de tamaño de partículas (textura)

Consulta: Laboratorio de suelo de la UNELLEZ (2013).

Al inicio del establecimiento de los tratamientos se llevó a cabo un levantamiento de la vegetación, cuya información obtenida se puede observar en el capítulo IV de la caracterización del área de estudio, posteriormente se procedió a cortar la vegetación en toda el área para realizar las estimaciones necesarias. En cuanto a la recolección de información del porcentaje de vegetación correspondiente a la zona en estudio, esta se recabó por medio del método de cuadrante (1x1), en el cual se procedió a la toma de tres muestras en los puntos de estudio por cada una de las dos repeticiones de cada tratamiento y así obtener la información necesaria por apreciación visual para calcular y conocer los porcentajes de cobertura vegetal (Martella *et al.* 2012).

Tal muestreo se realizó en los mismo puntos donde se tomaron las muestras de suelo una vez al mes durante los seis meses de evaluación, con el propósito de hacer seguimiento de la evolución del porcentaje de cobertura vegetal (Anexo A). Para la estimación de la cobertura vegetal correspondiente a la zona en estudio, una vez recolectada la información, se continuó con el análisis y procesamiento de la

misma por medio de la siguiente ecuación que expresa el porcentaje de la cobertura vegetal para cada tratamiento:

$$\% \text{ de suelo cubierto: } \Sigma (\% \text{ de cobertura vegetal}) / N^{\circ} \text{ de puntos registrados}$$

Diseño de canales de infiltración

Para el segundo objetivo de diseñar canales de infiltración, tomando en consideración las características edafoclimáticas de la zona, se procedió de la siguiente manera:

Definida el área de la zona en estudio se recolectó la información necesaria para determinar la velocidad de infiltración del agua en el suelo, y con ello conocer la cantidad de agua que se infiltra a través de un medio poroso no saturado, por una unidad de tiempo. Coincidiendo con Pizarro *et al.* (2008), se utilizó el método de doble anillo (de diámetros 50 cm el de mayor tamaño y 30 cm el de menor tamaño) dichos anillos fueron enterrados a 10 cm de profundidad en forma recta y uniforme utilizando una pieza de guía para mantener los cilindros uniformes entre sí y alterar lo menos posible el suelo para obtener un flujo unidimensional de infiltración (Figura 1). Dicho método se aplicó en cada punto de muestreo, de cada una de las dos repeticiones de los tratamientos.

Esto permitió obtener registros de las mediciones en base a una tabla con distintas alturas de agua en el cilindro en función de intervalos periódicos, a modo de contar con intervalos a los 5, 10, 20, 30, 45, 60 y 90 minutos para el análisis y procesamiento de la información necesaria que determinaron la velocidad de infiltración en cada tratamiento (Pizarro *et al.* 2008). Luego se continuó con el análisis y procesamiento de dicha información por medio del empleo de la siguiente ecuación propuesta por el anterior autor para determinar la velocidad de infiltración promedio:

$$V_i: Dh . 600/t$$

En donde:

V_i : Velocidad de infiltración (mm/h).

D_h : Diferencial de altura de agua (cm).

t : Diferencial de tiempo (min).

600: Factor de ajuste.

La información de la tasa de infiltración promedio del área en estudio se puede ver en el Anexo B.



Figura 1. Prueba de infiltración método de doble anillo.

Para llevar a cabo el análisis y procesamiento de la información pluviométrica en la actividad de selección de la estación adecuada, luego de recolectar la información necesaria se procedió a la caracterización de las estaciones más cercanas basada en coordenadas tanto geográficas como UTM, altitud, serie, tipo y años de registros. En este sentido, luego de haber procesado la información se continuó con el análisis utilizando el método de polígonos de Thiessen, el cual define el alcance de la estación pluviométrica con la mitad de la distancia entre dos pluviómetros consecutivos Lobo *et al.* (2006), es decir evalúa qué área de la cuenca le pertenece a

cada pluviómetro y de esta manera se puede establecer una correspondencia de cada parte del área en estudio con un pluviómetro concreto si es el caso.

Para la elaboración de las curvas IDF, se utilizaron los datos disponibles de intensidades de la lluvia (mm/h), correspondiente a los periodos de tiempo de 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 3 horas, 6 horas, 9 horas, 12 horas y 24 horas durante 20 años que van desde (1970 – 1977) y (1980 – 1991) de la estación Barquisimeto seminario. Se siguió el procedimiento sugerido por Koutsoyiannis *et al.* (1998), citado en Pizarro *et al.* (2013), quienes usaron la siguiente ecuación del modelo matemático escogido para elaborar las curvas IDF, determinando así las intensidades correspondientes a distintos periodos de retorno.

$$I_{\max} \text{ (mm/h): } [-\text{Ln} \cdot (-\text{Ln} \cdot (1 - 1/Tr))] / \alpha + \beta$$

En donde:

Tr: Tiempo de retorno (h).

I_{\max} : Intensidad máxima (mm/h).

Los valores de entrada para determinar los promedios (\bar{X}) y desviación estándar (δ), fueron los del análisis de la precipitación e información básica de los registros anuales (Anexo C). Estos valores se analizaron para obtener los parámetros de α y β luego de reemplazarlos en las siguientes ecuaciones (Pizarro *et al.* 2007):

$$\alpha: 1,281 / \delta \quad ; \quad \beta: \bar{X} - 0,4506 \cdot \delta$$

En donde:

\bar{X} : Promedio de precipitación en 24 horas (mm).

δ : Desviación estándar de precipitaciones en 24 horas (mm).

α : Parámetros de concentración.

β : Parámetro de localización.

Para el caso del tiempo de concentración, el mismo se calculó con la ecuación de Kirpich (Soto *et al.* 2012), desarrollada específicamente para pequeñas cuencas montañosas y para el caso de las variables diferencia de elevación y la máxima longitud de recorrido del curso de agua se usó lo estableció según López (1995) citado en Vásquez *et al.* (2007):

$$tc: 0,0195 \cdot (L^3/H)^{0,385}$$

En donde:

tc: Tiempo de concentración (min).

L: La máxima longitud de recorrido del curso de agua (m).

H: Diferencia de elevación entre Hs (superior) y Hi (inferior) (m).

En cuanto al coeficiente de escorrentía una vez recabada la información necesaria para su análisis, se procedió a la determinación del mismo, por medio del conocimiento de algunas condiciones naturales del área en estudio entre las cuales se encuentran suelos de características permeables a semipermeables información obtenida según la textura de los análisis de suelos, con una cobertura de pastos y vegetación muy ligera con muy pocos arbustos, dicha información fue necesaria para determinar el coeficiente de escorrentía con la Tabla 2.

Tabla 2.
Coeficiente de escorrentía.

Permeabilidad	Cobertura vegetal	Valor de C
Impermeables	Sin vegetación	0,60
Impermeables	Pastos	0,45
Semipermeables	Sin vegetación	0,50
Semipermeables	Pastos	0,35
Semipermeables	Bosques	0,25

C: coeficiente de escorrentía.

Fuente: Renard et al. (1997) citado en Brea y Balocchi (2010).

En lo que respecta al desarrollo en el cual se llevó a cabo la actividad para determinar el caudal de diseño, se utilizó el método racional ya que según Chow (2004), es un método apropiado cuando la información disponible de la zona de trabajo, es de superficie no superior a 1000 ha.

$$Q_{esc}: C \cdot I \cdot A / 360$$

En donde:

C: Coeficiente de escorrentía.

I: Intensidad máxima de lluvia para un periodo de retorno dado (mm/h).

A: Área de la cuenca (ha).

360: Factor de ajuste de unidades.

Q: Es el gasto máximo posible que puede producir con una lluvia de intensidad (I) en una cuenca de área (A) y coeficiente de escorrentía (C) que expresa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa (m³/s).

Para el procesamiento y análisis del área mínima de diseño, esta se determinó de un ejercicio de máximos y mínimos basándose en la hipótesis que el perímetro mojado también debe ser mínimo, tomando en cuenta estos criterios, se procedió al cálculo del área mínima de diseño del canal (A_{min}), usando la siguiente ecuación (Chow, 2004):

$$A_{min}: Q_{esc} / V_{max}$$

En donde:

V_{max} : Máxima velocidad permitida (m/s) Tabla 3.

Q_{esc} : Escorrentía crítica o caudal de diseño (m³/s).

Tabla 3.

Máximas velocidades permitidas en canales (V_{\max}).

Materiales	Velocidad media (m/s)	
Suelo arenoso muy suelto	0,3	0,45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0,45	0,6
Suelo arenoso promedio	0,6	0,75
Suelo franco arenos	0,75	0,83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0,83	0,9
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0,9	1,2
Suelo arcilloso o cascajoso	1,2	1,5
Conglomerado, cascojo cementado, pizarra blanda, hardpan, roca sedimentada blanda	1,8	2,4
Roca dura	3	4,5
Hormigón	4,5	6

Fuente: Ciancaglini (1986) citado en Pizarro et al. (2005).

Para la determinación de los parámetros de la sección transversal, se puede señalar que en primera instancia se comenzó con los taludes utilizando como herramienta la Tabla 4 de taludes recomendada según SAGARPA (2012).

Tabla 4.

Taludes para la sección transversal del canal.

Terreno	Talud (Z)
Roca	Casi vertical
Turba	0,25
Arcilla y revestimiento de hormigón	0,5 - 01
Tierra	1
Suelo arenoso	2

Fuente: DGOP (2002) citado en SAGARPA (2012).

En el mismo marco, se puede señalar que la altura de sección transversal de los canales de infiltración se determinó por medio de la siguiente ecuación propuesta en SAGARPA (2012):

$$H: [-2b + \sqrt{4b^2 + 4(Z_{\text{inf}} + 8Z_{\text{sup}}) \cdot (2A_c)}] / 2(Z_{\text{inf}} + Z_{\text{sup}})$$

En donde:

b: Base (m).

Z_{inf} : Talud inferior.

Z_{sup} : Talud superior.

A_c : Área de la sección transversal o A_{min} (m^2).

H: Altura de sección transversal del canal (m).

En cuanto a la actividad para el procesamiento de los datos que permitió determinar el ancho superior de la sección transversal del canal de infiltración la misma se realizó, por medio de la siguiente ecuación utilizada por Arteaga (2002) citado en SAGARPA (2012):

$$as: b + H \cdot Z_{inf} + H \cdot Z_{sup}$$

En donde:

as: Ancho superior.

Para la determinación de la longitud superior e inferior se utilizó las siguientes ecuaciones propuestas por Aros (1997) citado en Pizarro *et al.* (2008):

$$L_{inf}: \sqrt{H^2 + (H \cdot Z_{inf})^2} \quad y \quad L_{sup}: \sqrt{H^2 + (H \cdot Z_{sup})^2}$$

En lo que respecta al cálculo del radio hidráulico para la sección transversal este se llevó a cabo a partir de la siguiente ecuación propuesta por Chow (2004):

$$r: A_c / P_m \quad y \quad P_m: b + L_{sup} + L_{inf}$$

En donde:

r: Radio hidráulico (m).

A_c : Área mínima de diseño (m^2).

P_m : Perímetro mojado (m).

Para el caso del área en estudio del trabajo de investigación, a partir de ecuaciones propuestas, se definió el espaciamiento horizontal entre los canales en

función de las características particulares de la precipitación y el suelo de dicha área en estudio. Siendo así según Pizarro *et al.* (2008), la siguiente ecuación:

$$d: b \cdot (H + v) / I \cdot e$$

En donde:

d: Distanciamiento entre canales (m).

b: Base del canal (m).

H: Altura del canal (m).

v: Velocidad de infiltración del canal (mm/h).

I: Intensidad de precipitación (mm/h).

e: Coeficiente de escurrimiento.

Para el área de la sección transversal la misma se determinó por medio de la siguiente ecuación propuesta por Sotelo (2002) citado en SAGARPA (2012):

$$A_c: (b + as) \cdot H / 2$$

Por otra parte, para el cálculo del caudal y la velocidad de flujos según Manning, se procedió de la siguiente manera considerando la Tabla 5 para determinar el coeficiente de fricción del área en estudio y utilizando la siguiente ecuación propuesta por Jiménez *et al.* (2012):

$$Q_c: 1/n \cdot A \cdot r^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

En donde:

n: Coeficiente de fricción.

r: Radio hidráulico (m).

S: Pendiente del caudal.

A: Área del canal (A_{min}) (m^2).

Tabla 5.

Valores de n para formula de Manning.

Valores de n para canales	Condiciones de paredes		
	Malo	Regular	Bueno
En tierras, alineados y uniformes	0,02	0,0225	0,025
En rocas lisos y uniformes	0,03	0,033	0,035
Sinuosos y de escurrimiento lento	0,025	0,0275	0,03
Dragados en tierra	0,028	0,03	0,033
Con lecho pedregoso y bordes de tierra enhierbados	0,03	0,035	0,04
Fondos (plantilla de tierra, taludes ásperos)	0,03	0,033	0,035

Fuente: Trueba (1981) citado en Valverde (2007).

En cuanto a la velocidad de flujo según Manning, esta se calculó por medio de la siguiente ecuación (Granados *et al.* 2006):

$$V_c: 1/n \cdot r^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

En donde:

V_c : Velocidad del canal (m/s).

n: Coeficiente de fricción (Tabla 5).

r: Radio hidráulico (m).

La información recolectada para determinar el caudal de diseño, fue obtenida de la intensidad máxima de la lluvia determinada anteriormente con la curva IDF, el coeficiente de escurrimiento y el área de la cuenca se tomaron según López (1995) citado en Vásquez *et al.* (2007).

Opcionalmente para comprobar si los cálculos de los parámetros de la sección transversal fueron bien efectuados se optó por calcular el área de la sección transversal (A_c) y la velocidad de flujo del canal según Manning para compararlos, respectivamente con el área mínima de diseño del canal (A_{min}) y velocidad máxima permitida (V_{max}), verificando que el área de la sección transversal sea mayor o igual al área mínima de diseño del canal y que la velocidad de flujo del canal sea menor o

igual a la velocidad máxima permitida. Definidas las dimensiones de los canales se procedió a la construcción de las mismas, como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Construcción de los canales de infiltración del área en estudio.

Evaluación de la eficiencia de los canales de infiltración

La evaluación de la eficiencia de las canales de infiltración para el control de la erosión hídrica, sobre la base de la pérdida de suelo estimada, se llevó a cabo realizando las siguientes actividades:

Para la estimación de la pérdida o sedimentación de suelo, se utilizó el método de los clavos de erosión usando como clavos cabillas de construcción de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro. Asimismo, se optó por emplear las medidas sugeridas por Vásquez y Tapia (2011), como lo fue los clavos o cabillas de 20 cm de longitud, y por cada parcela experimental se usó 45 clavos para un total de 180 clavos por las cuatro parcelas. Estos se colocaron en zig-zag en tres grupos de 15 clavos, como puntos de muestreos para cada una de las dos repeticiones de cada tratamiento, la marca en el clavo a ras del suelo se colocó de manera que a partir de ella se monitoreen los procesos erosivos a nivel superficial (Pizarro *et al.* 2009). Cada clavo se enterró a 10

cm de profundidad. La distancia entre clavos fue de 40 cm en la misma línea y 40 cm entre línea de clavos, como se observa en la Figura 3.



Figura 3. Clavos de erosión en la parcela con canales de infiltración del área en estudio.

Las mediciones en los clavos de erosión fueron realizadas cada 30 días, desde el día que se cumplió el primer mes de instalado el ensayo hasta 1 de noviembre del 2014. Estas mediciones se realizaron con una regla milimetrada al costado de cada clavo de erosión como se observa en la Figura 4.

En esta etapa luego de la digitalización de las mediciones de los clavos de erosión del área en estudio, se llevó a cabo el procesamiento y análisis de las variables promedio de lámina de erosión y suelo movilizado.

En la estimación de las pérdidas o entradas de suelo, autores como Pizarro *et al.* (2009), asocian al establecimiento y aplicación de este método algunos conceptos que permiten explicar los procesos que ocurren. Así, se habla de promedio de lámina de erosión y suelo movilizado.

Según lo expuesto, cabe señalar de acuerdo con Vásquez y Tapia (2011), que en cada parcela de medición y por cada línea de clavos se obtuvo una suma

algebraica, la cual se utilizó para la obtención del promedio de lámina de erosión, el mismo consistió en dividir la suma obtenida entre las 15 mediciones en los clavos, los valores obtenidos de los promedios de láminas de erosión se pueden observar en el Anexo D. En este mismo contexto, se debe mencionar que en cada uno de los clavos, fue necesario determinar la erosión neta para poder determinar el promedio de lámina de erosión, ésta se calculó por medio de la ecuación propuesta por Brea y Balocchi (2010):

$$E_{\text{neta}}: S - P$$

En donde:

E_{neta} : Erosión neta (cm).

S: Sedimentación o acumulación del suelo (cm).

P: Pérdida o acarreo del suelo (cm).

En cuanto al suelo movilizado, se puede decir que es el resultado de estimar tanto la erosión media como la sedimentación ocurrida; es decir, la suma de todos los valores obtenidos en cada clavo de erosión sin tomar en cuenta el signo. En este caso la expresión matemática del suelo movilizado permite describir la totalidad de suelo que se desplazó en el terreno.

Coincidiendo con Pizarro *et al.* (2010), el suelo total que se mueve en una superficie determinada como una medida de la magnitud de la dinámica del suelo en su respuesta a la acción de las precipitaciones y el escurrimiento superficial se conoce como suelo movilizado. La siguiente expresión matemática según Romero *et al.* (1998) citado en Romero *et al.* (2011), permite describir la totalidad de suelo que se movilizó en el terreno y dichos valores se observan en el Anexo E:

$$S_m: E + S$$

Donde:

S_m : Suelo movilizado (cm).

E: Erosión media (cm).

S: Sedimentación media (cm).



Figura 4. Medición de los clavos de erosión en la parcela con canales de infiltración del área en estudio.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del área en estudio tanto topográficamente como algunas propiedades físicas y químicas de los suelos.

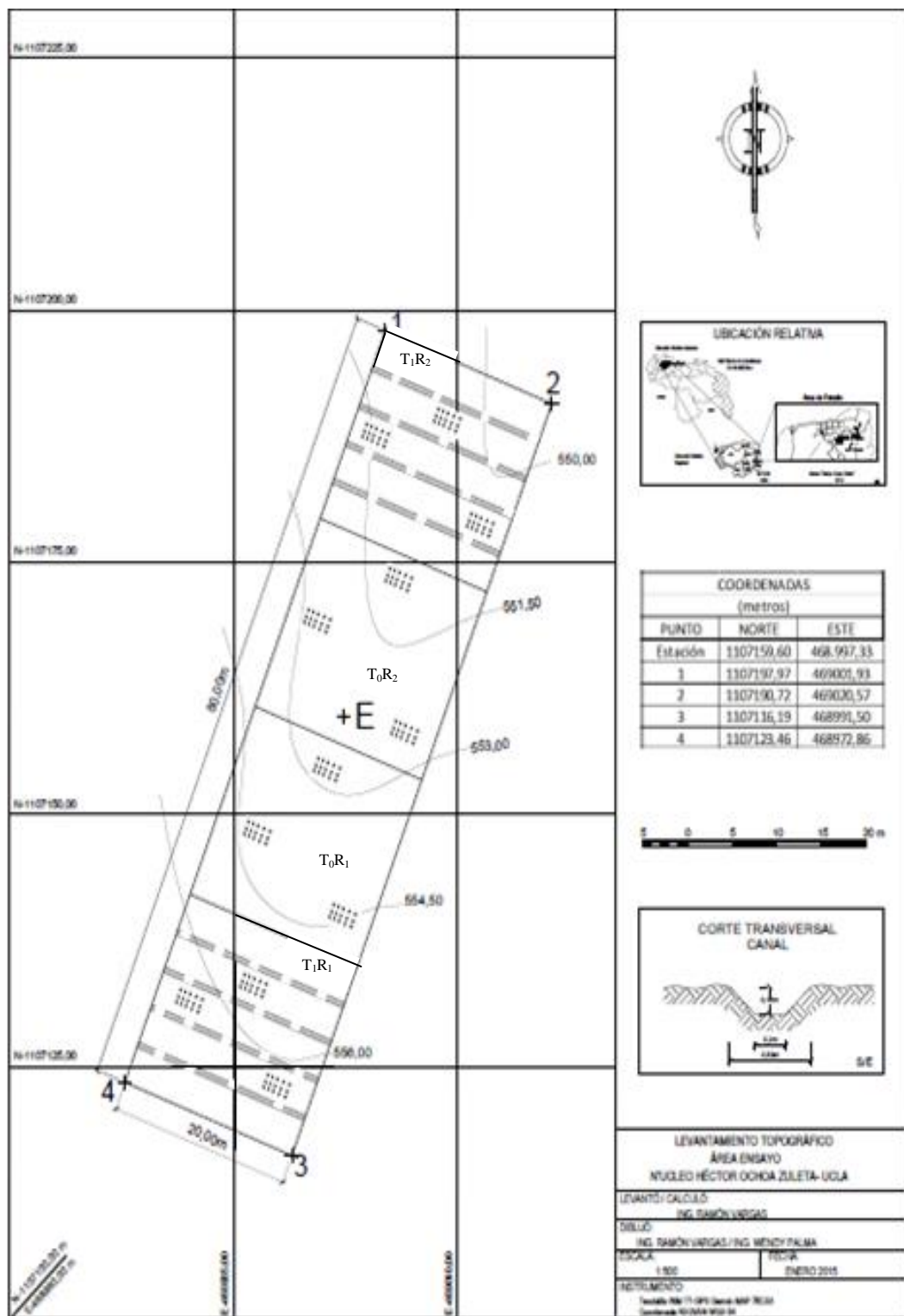
El área en general presenta topografía de terrazas con terrenos planos en el área en estudio, así como sectores altos con poco declive que representa la terraza más elevada del área en total. En general, las pendientes fluctúan entre 1% a 15% y en el área en estudio la misma presenta una pendiente de 1,5%, estas terrazas se encuentran sometidas a francos procesos de degradación. De acuerdo con FUNVISIS (2010), el área en estudio comprende en su mayor parte una densidad de cobertura vegetal intervenida de bajo extracto, matorrales densos y arbustos en menor población de individuos que la conforma.

En cuanto al levantamiento de la vegetación realizada, con esta se determinó la presencia principalmente de especies tales como *Melochia tomentosa*, *Acacia macracantha*, *Indigofera suffruticosa*, *Lantana canescens*, *Lantana camara*, *Heliotropium angiospermum*, *Euphorbiaceae hypericifolia*, *Acacia macracantha*, *Platysmiscium diadelphum*, y *Demanthus virgatus*. Sin embargo, existen también la presencia de plantas herbáceas entre otras tales como *Passiflora foetida*, *Jacquemontia cumanensis*, *Stylosanthes hamata*, *Panicum maximum*, *Cenchrus pilosus*, *Centrosema brasilianum*, *Malvastrum americanum*, *Stigmaphyllon sinuatum*, *Tephrosia leptostachya*, *Pappophorum mucronulatum*, y *Turnera scabra* (Díaz et al 2009).

Por otra parte, luego de realizar el levantamiento topográfico del área en estudio se llevó a cabo el análisis y procesamiento de la información por medio del programa AutoCAD 2010, el cual permitió generar un plano del área (Figura 5).

De acuerdo a la caracterización de suelo del área en estudio en la Tabla 6, se puede observar en las parcelas con canales de infiltración (T_1R_1 y T_1R_2) un pH entre ligero a moderadamente alcalino en ambas parcelas, materia orgánica baja con excepción al T_1R_{1c} en la que se encontró un valor con rango de medio, en el mismo periodo el contenido de fósforo presentó niveles de alto a muy alto, el potasio con niveles muy bajos a moderados, calcio y magnesio mostraron niveles altos, por otro lado la textura predominante fue la franca, los porcentajes de arena fueron superiores a la arcilla y el limo en ambas repeticiones del tratamiento (Lobo y Lozano, s/f).

Mientras que para las parcelas testigos (T_0R_1 y T_0R_2) sin medidas de conservación se detalla, un pH entre ligero a moderadamente alcalino, muy bajos porcentajes en el contenido de materia orgánica y elementos como fósforo presentaron niveles de medios a altos, potasio con niveles bajos, calcio con niveles alto mientras que el magnesio presentó niveles de normales a altos textura mayormente franco con sectores franco árenos (Lobo y Lozano, s/f).



Legenda: Canales de infiltración. Clavos de erosión.

Figura 5. Plano del área en estudio.

Tabla 6.

Propiedades físicas y químicas de suelo del área en estudio al comienzo del ensayo.

Parcela		pH (Rel 1:2)	CE (dS/m)	Materia orgánica (%)	Fósforo (mg.kg ⁻¹)	Potasio (mg.kg ⁻¹)	Calcio (mg.kg ⁻¹)	Magnesio (mg.kg ⁻¹)	Textu ra	Arena %	Arcilla %	Limo %
T ₁ R ₁	T ₁ R ₁ a	8,2	0,18	0,7	116	35	5880	20	F	50,8	16,8	32,4
	T ₁ R ₁ b	8,2	0,16	1,44	96	20	5235	17	F	48,8	16,8	34,4
	T ₁ R ₁ c	8,1	0,15	0,59	84	20	5108	23	F	50,8	16,8	32,4
T ₀ R ₁	T ₀ R ₁ a	8,1	0,17	0,35	80	30	5433	23	F.a	56,8	16,8	26,4
	T ₀ R ₁ b	8,2	0,15	0,55	92	35	5060	23	F	46,8	16,8	36,4
	T ₀ R ₁ c	8	0,22	1,42	124	30	5283	33	F	48,8	20,8	30,4
T ₀ R ₂	T ₀ R ₂ a	8,2	0,13	0,57	96	30	5445	25	F	50,8	16,8	32,4
	T ₀ R ₂ b	8,1	0,13	0,26	132	35	5443	26	F.a	54,8	16,8	28,4
	T ₀ R ₂ c	8	0,18	0,59	96	25	5238	17	F	46,8	16,8	36,4
T ₁ R ₂	T ₁ R ₂ a	8,1	0,15	0,68	64	35	5053	24	F.a	54,8	18,8	26,4
	T ₁ R ₂ b	8,2	0,12	0,55	84	20	5505	17	F	48,8	18,8	32,4
	T ₁ R ₂ c	7,7	0,27	2,36	124	60	5373	34	F	50,8	16,8	32,4

T₀: Tratamiento 0, T₁: Tratamiento 1; R₁: Repetición 1; R₂: Repetición 2; a: Punto muestreado a; b: Punto muestreado b; c: Punto muestreado c.; F: Franco; Fa: Franco arenoso; FAa: Franco arcillo arenoso. CE: conductividad eléctrica. Fuente: Laboratorio UNELLEZ.

En cuanto a los análisis de suelo para complementar la caracterización del área en estudio al final del ensayo, se puede observar que en la Tabla 7, las parcelas con canales de infiltración (T₁R₁ y T₁R₂) presentaron al igual que el anterior análisis un pH ligeramente a moderadamente alcalino homogéneo en toda la parcela, materia orgánica en porcentajes muy bajos, mientras que los nutrientes como el fósforo presento niveles muy altos, el contenido potasio con niveles bajos, calcio y magnesio se mantuvieron de altos a moderados, con textura franco arcillo arenoso, los porcentajes de arena se mantuvieron por debajo del 50% y los porcentaje de arcilla y limo similares entre sí (Lobo y Lozano, s/f).

Para el caso de las parcelas testigos (T₀R₁ y T₀R₂) sin medidas de conservación, se detalla un pH ligeramente a moderadamente alcalino, con un porcentaje de materia organica muy baja, el contenido de fosforo en niveles altos,

potasio con niveles muy bajos, calcio y magnesio presentaron de niveles moderados a altos, textura variable de franco arcillo arenoso a franco, el porcentaje de arena se mantiene predominante mientras que la arcilla y limo presentan niveles similares (Lobo y Lozano, s/f).

Tabla 7.

Propiedades físicas y químicas de suelo del área en estudio al final del ensayo.

Parcela		pH (Rel 1:2)	C.E. (dS/m)	Matéria orgânica (%)	Fósforo (mg.kg ⁻¹)	Potasio (mg.kg ⁻¹)	Cálcio (mg.kg ⁻¹)	Magnésio (mg.kg ⁻¹)	Textura	Arena %	Arcilla %	Limo %
T ₁ R ₁	T ₁ R ₁ a	8,3	0,17	0,57	84	30	8128	26	F	45,2	24	30,8
	T ₁ R ₁ b	8,3	0,16	0,46	80	20	7975	19	F.A.a	47,2	24	28,8
	T ₁ R ₁ c	8,6	0,14	0,31	92	15	8535	20	F.A.a	45,2	26	28,8
T ₀ R ₁	T ₀ R ₁ a	8,3	0,15	0,39	81	20	8678	21	F.A.a	49,2	24	26,8
	T ₀ R ₁ b	8,1	0,2	0,94	80	20	7780	24	F.A.a	55,2	22	22,8
	T ₀ R ₁ c	8,4	0,16	0,46	84	20	9085	26	F	47,2	22	30,8
T ₀ R ₂	T ₀ R ₂ a	8,1	0,2	0,87	83	30	8185	28	F.A.a	57,2	22	20,8
	T ₀ R ₂ b	7,9	0,26	1,44	84	35	8488	33	F.A.a	47,2	24	28,8
	T ₀ R ₂ c	8	0,19	1,22	69	30	8915	32	F.A	43,2	28	28,8
T ₁ R ₂	T ₁ R ₂ a	7,8	0,25	1,4	97	35	8975	38	F.A.a	45,2	28	26,8
	T ₁ R ₂ b	8	0,2	1,05	100	20	7010	25	F.A.a	49,2	24	26,8
	T ₁ R ₂ c	8	0,22	1,16	80	30	7143	36	F	41,2	26	32,8

T₀: Tratamiento 0, T₁: Tratamiento 1; R₁: Repetición 1; R₂: Repetición 2; a: Punto muestreado a; b: Punto muestreado b; c: Punto muestreado c.; F: Franco; Fa: Franco arenoso; FAa: Franco arcillo arenoso. CE: conductividad eléctrica. Fuente: Laboratorio UNELLEZ.

En cuanto a la comparación de las variables materia orgánica, fósforo, potasio, calcio y magnesio evaluadas tanto al inicio como al final del ensayo, el procesamiento estadístico de dichas variables, se llevó a cabo en primer lugar por un modelo de análisis de varianza, mostrado en el Anexo F, el cual no indicó diferencias significativas ($P > 0,05$) entre tratamientos en el mismo momento para ninguna de las variables consideradas. Por otro lado, los momentos (al inicio y al final del ensayo) solo mostraron diferencias significativas ($P < 0,01$), con un aumento de los niveles del contenido de calcio en los tratamientos con canales de infiltración.

Los resultados mostrados en la Tabla 8, permiten observar que sólo en el elemento calcio, se encontraron valores estadísticamente diferentes y superiores en el segundo momento de evaluación. Estos resultados, indican que dicha variable aumentó de manera significativa durante el transcurso del periodo evaluado posiblemente por la escorrentía superficial influenciada hacia las menores pendiente del área de estudio y también por el movimiento de tierra del cual se habla al inicio del trabajo, ya que el mismo pudo haber dejado al descubierto algún material como partículas de piedra caliza que tienen la influencia de generar algún falso valor que se muestra en el análisis de suelo realizado como lo es la variación del elemento calcio.

En este caso Vergara *et al.* (2005), coinciden en sus estudios de investigación al mencionar que la remoción de calcio depende de su proporción en el complejo de cambio y de la cantidad del agua de escorrentía durante los eventos lluviosos que tienden a movilizarse a lugares de desniveles inferiores. De acuerdo con Rivera, Oropeza *et al* (2012), los cambios en los contenidos de nutrientes de los suelos se pueden deber a interacciones antrópicas o también a la influencia del escurrimiento de aguas superficiales o suelo erosionado que conjuntamente tienen la capacidad de movilizarlos hacia lugares de menor pendiente. Asimismo Moreno (2009), hace referencia que la distribución en el terreno de las bases intercambiables entre ellas el calcio estuvieron altamente influenciadas durante todo el ensayo por la escorrentía superficial del terreno estudiado.

En este mismo contexto, Belmonte *et al.* (2013), señalan que al evaluar el contenido de los macro y micro elementos en el suelo durante un determinado tiempo, concluyeron que dichos elementos presentaron variaciones en los tratamientos evaluados debido al lavado superficial que sufren los suelos por la escorrentía desde la parte topográficamente más elevadas a la más baja del área estudiada. Por otro lado Combatt *et al.* (2009), menciona que la presencia de la piedra caliza influyo en los resultados de sus experimentos al momento de analizar los suelos, ya que se produjeron cambios significativos al final del ensayo en las variables químicas evaluadas de dichos suelos.

Tabla 8.

Promedios por momentos y significancia, según la prueba de Tukey al 5%, cuando se consideraron las dos repeticiones promediadas del tratamiento con canales.

Momento	MO	P	K	Ca	Mg
1	0,76 a	99,0 a	31,3 a	5338 b	23,5 a
2	0,86 a	84,0 a	25,4 a	8241 a	27,3 a

Nota: Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes. 1: Al inicio del ensayo 2: Al final de ensayo. MO: Materia orgánica; P: Fosforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio.

Los resultados del análisis de la varianza para arcilla, limo, arena, conductividad eléctrica (C.E) y pH, mostrados en el Anexo G, no indicaron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre tratamientos en el mismo momento sobre ninguno de las variables mencionadas. Mientras que, en los momentos (al inicio y al final del ensayo) sólo se mostraron efectos significativos ($P < 0,01$), en el contenido de arcilla y limo en el tratamiento con canales de infiltración.

Por otro lado, cuando se consideró el cambio producido entre los momentos evaluados, los resultados de la Tabla 9, permiten observar que se produjeron cambios significativos en los contenidos de arcilla y limo, presentándose aumentos en el contenido de arcillas y disminución en el contenido de limo. Los valores de arena, C.E. y pH, no fueron afectados a través del tiempo.

Lo anterior pudo deberse a que la intensidad de las precipitaciones fue mayor que la tasa de infiltración, y que el impacto de las gotas de lluvia pudo haber provocado una compactación y un sellado de la superficie del suelo, accionando así el movimiento libre de las partículas de menor tamaño del suelo generando un movimiento de partículas de menor tamaño a lugares con desniveles inferiores como se muestra en los análisis de suelo que la tendencia de movilidad de dichas partículas fue hacia los tratamientos de pendiente menor; esto coincide con lo reportado por Tapia *et al.* (2004) citado en Rivera, Oropeza *et al* (2012), donde indican que la compactación y sellado de la superficie del suelo puede disminuir drásticamente la

infiltración, aumentando el escurrimiento superficial y causar el desplazamiento de las partículas de suelo de menor tamaño hacia lugares de menor pendiente.

Según García y López (2009) al igual que Pacheco *et al.* (2011), en estudios de investigación determinaron que la fuerza de escorrentía en el suelo influyó en las partículas de menor tamaño de los suelos estudiados al analizar los resultados en los cambios de textura del terreno. De esta manera Pizarro *et al.* (2010), concluyen en los ensayos realizados que las precipitaciones de corta duración y alta intensidad influyen notoriamente en el movimiento de las partículas de menor tamaño del suelo y más aún si la escorrentía superficial no se encuentra ningún obstáculo que le reduzca la velocidad a través de la ladera desplazando a estas a los lugares topográficamente más bajos .

Los resultados del presente trabajo de investigación, refuerzan los hallazgos reflejados por los anteriores autores en cuanto al desplazamiento de las partículas de menor tamaño del área en estudio. En este mismo contexto, Torres *et al.* (2005), hacen referencia que al colocar coberturas en un suelo desnudo se aumentó la tasa de infiltración reduciendo de manera significativa la escorrentía superficial y por ende el movimiento de partículas de menor tamaño del suelo.

Tabla 9.

Valores promedio de: arcilla, limo, arena, C.E. y pH por momentos y significancia, según la prueba de Tukey al 5%, cuando se consideraron las dos repeticiones promediadas del tratamiento con canales.

Momento	Arcilla	Limo	Arena	C.E.	pH
1	17,5 b	31,7 a	50,8 a	0,17 a	8,09 a
2	24,5 a	27,8 b	47,7 a	0,19 a	8,15 a

Nota: Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes. 1: Al inicio del ensayo; 2: Al final de ensayo; C.E.: Conductividad eléctrica.

Diseño de canales de infiltración de acuerdo con las características edafoclimáticas de la zona.

Para el análisis hidrológico se utilizó la información de la estación Barquisimeto seminario, de esta manera se procedió al cálculo de las variables de concentración (α), localización (β), promedio de la precipitación (\bar{X}) y desviación estándar de la precipitación (δ) obteniendo los resultados de la Tabla 10, por otro lado, con esta información se continuó con el cálculo del periodo de retorno en la tormenta de diseño con las ecuaciones ya discutidas en el capítulo anterior.

Tabla 10.

Variables de concentración y localización.

	15 min	30 min	1 h	3 h	6 h	9 h	12 h	24 h
\bar{X}	18,053	25,612	31,9	37,9	39,5	41,75	42,55	45,8
δ	8,501	11,284	12,452	16,348	18,214	18,41	18,383	20,613
α	0,151	0,114	0,103	0,078	0,07	0,07	0,07	0,062
β	14,22	20,53	26,29	30,53	31,29	33,45	34,27	36,51

En la Tabla 11 se presentan las intensidades de lluvias máximas y sus respectivos periodos de retorno necesarios para determinar la curva IDF.

Tabla 11.

Intensidades máximas de la tormenta de diseño para los distintos periodos de retorno.

Periodo de retorno (años)	Duración en h							
	15 min	30 min	1	3	6	9	12	24
	Intensidades máximas en mm/h							
	0,25	0,5	1	3	6	9	12	24
2 años	93,97	73,48	50,64	22,96	12,95	8,9	6,94	3,65
5 años	123,59	86,64	62,07	29,83	17,21	11,75	9,21	4,74
10 años	143,21	95,35	69,64	34,37	20,03	13,64	10,71	5,47
15 años	154,27	100,26	73,91	36,93	21,62	14,71	11,56	5,87
25 años	167,99	106,35	79,2	40,11	23,59	16,03	12,61	6,38
50 años	186,38	114,52	86,3	44,37	26,24	17,8	14,02	7,05
100 años	204,62	122,62	93,34	48,6	28,86	19,56	15,42	7,73

Conociendo los valores de las intensidades máximas para los distintos periodos de retorno se procedió a determinar la curva IDF, que se observa en la Figura 6.

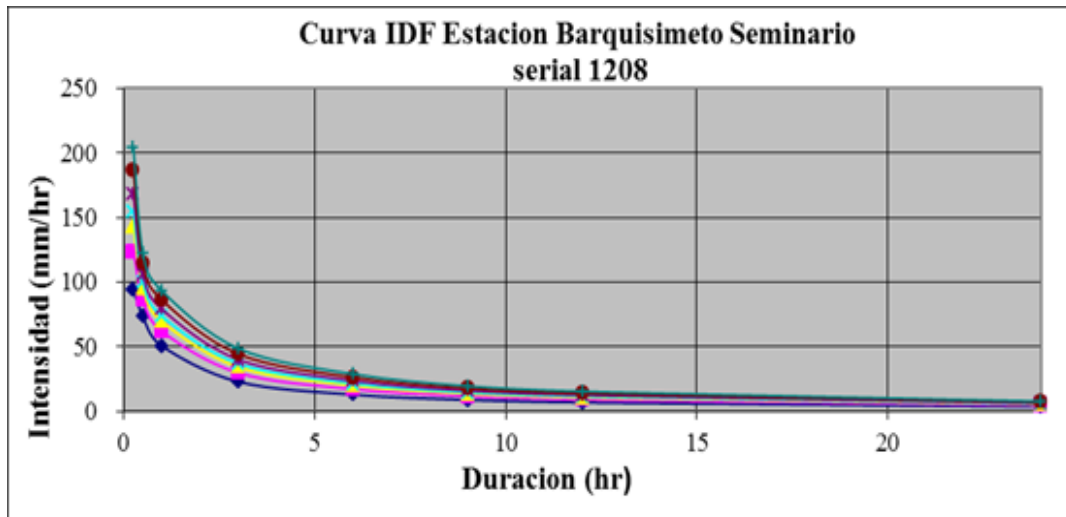


Figura 6. Curva de intensidad duración y frecuencia (IDF).

Los resultados del análisis de la información para determinar las variables del diseño de los canales de infiltración, se expresaron en la siguiente Tabla 12.

Al comparar el área de la sección transversal igual a $0,060 \text{ m}^2$ con el área mínima de diseño de los canales igual a $0,013 \text{ m}^2$ se puede observar que cumple con la factibilidad de los resultados obtenidos, ya que el área de la sección transversal es mayor que el área mínima de diseño de los canales. Seguidamente, se comparó la velocidad de flujo de los canales igual a $0,33 \text{ m/s}$ con la velocidad máxima permitida igual a $0,75 \text{ m/s}$ y se logró observar que también cumple con la factibilidad de los cálculos, ya que, la velocidad de flujo de los canales es menor a la velocidad máxima permitida.

Tabla 12.

Variables del dimensionamiento de los canales de infiltración.

Variables	Valor
Tiempo concentración (Tc)	0,41 h
Coeficiente de escorrentía (Ce)	0,35
Intensidad de la lluvia para 50 años	17,8 mm/h
Caudal de diseño	0,01 m ³ /s
Máxima velocidad permitida en canales para suelos arenosos	0,75 m/s
Área mínima de diseño del canal (A _{min})	0,013 m ²
Talud (Z)	1
Altura del canal (H)	0,16 m
Ancho superior del canal (as)	0,53m
Longitud superior e inferior del canal (L _{sup} y L _{inf})	0,23 m
Radio hidráulico (r)	0,02 m
Distanciamiento entre canales (d)	4 m
Longitud del canal	4 m
Longitud de tabique separador del canal	0,50 m
Área de la sección transversal (A _c)	0,060 m ²
Caudal según Manning (Q _c)	0,004 m ³ /s
Velocidad de flujo según Manning (V _c)	0,33 m/s

Evaluación de la eficiencia de los canales de infiltración para el control de la erosión hídrica en el área afectada sobre la base de pérdida de suelo estimada.

En la Figura 7, se observa que el porcentaje de cobertura vegetal (PCV), en ambos tratamientos, presentó aumentos progresivos durante todo el periodo de evaluación, con incrementos superiores en todos los meses del T₁ en comparación con T₀, es decir el PCV en T₁ varió de 23,9% a 90,8%, mientras que en la parcela testigo T₀ los valores variaron de 22,3% a 79,4%. Estos incrementos a lo largo del periodo de evaluación podrían atribuirse a que dicha variable está influenciada estrechamente con el periodo de lluvia, y los valores superiores de la variable en T₁ durante cada

mes podría deberse a la medida de conservación implementada en dicho tratamiento así como también a las diferencias fisionómicas de la vegetación.

Lo anterior se comprueba de acuerdo con Belmonte *et al.* (2013), quienes mencionan en sus estudios de investigación que la vegetación del área evaluada fue altamente influenciada por el movimiento de sedimento producto de la escorrentía; en otro trabajo de investigación Sepúlveda *et al.* (2009), hacen referencia que al comparar la cobertura vegetal autóctona en suelos sin medidas de conservación y otra en suelos con medidas de conservación, ésta aumento considerablemente los niveles de cobertura vegetal con el transcurso del periodo de lluvia en los suelos con medidas de conservación.

Así mismo, Pizarro *et al.* (2010), al analizar el comportamiento de la textura y vegetación en laderas, observaron que sectores del área estudiada en el cual existió mayor precipitación, coincidieron con las áreas de mayor cantidad de cobertura de vegetación relativa.

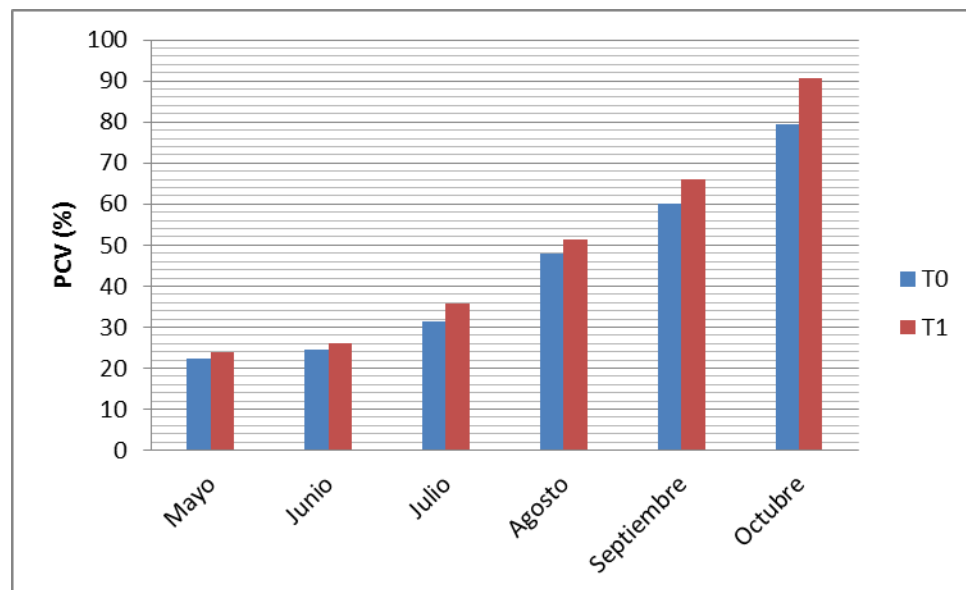


Figura 7. Valores promedios del PCV por mes considerando los tratamientos.

Al analizar la Figura 8, se pueden observar los valores del promedio de lámina de erosión (PLE) durante los meses de evaluación, evidenciándose de manera general que T_0 presentó mayor PLE al compararlo con T_1 en cualquiera de los meses de evaluación, detallándose los mayores valores en T_0 igual a 0,08 cm y T_1 igual 0,06 cm en el mes de mayo al inicio de la temporada de lluvias, mientras que los valores superiores durante todo el periodo de evaluación fueron de 0,15 cm para T_0 , y 0,12 cm para T_1 a mediados de la temporada de lluvia. Posiblemente esta variable evaluada está relacionada con la precipitación, la cobertura vegetal, la pendiente y las medidas de conservación implementadas, es decir, estos resultados reflejaron que pudo haber existido un movimiento de partículas de suelo en ambos tratamientos, pero en T_1 fue menor que en T_0 .

Según Romero *et al.* (2011), en estudios de investigación para determinar la tasa de erosión en una zona semiárida, llegaron a concluir que las variaciones de los valores de erosión obtenidas se rigieron en función de la práctica de conservación implementada así como la pendiente, cobertura vegetal y la incidencia de las precipitaciones. En este mismo contexto Brea y Balocchi (2010), comenta en sus resultados que la cobertura vegetal como una de las medidas de conservación en el área de estudio y la pendiente del terreno, permitieron absorber la energía del agua tanto por escorrentía como por el impacto de las gotas de lluvias, reduciendo con ello el fenómeno de pérdida de suelo hacia lugares de menores pendientes.

De acuerdo con García y López (2009), quienes permiten reforzar lo comentado anteriormente al evidenciar en sus resultados de investigación que los valores promedios de erosión por tratamientos estudiados, estuvieron influenciados fundamentalmente por la intensidad de las lluvias, el porcentaje y tipo de cobertura vegetal así como también a la topografía en cuanto a los diferentes desniveles del terreno.

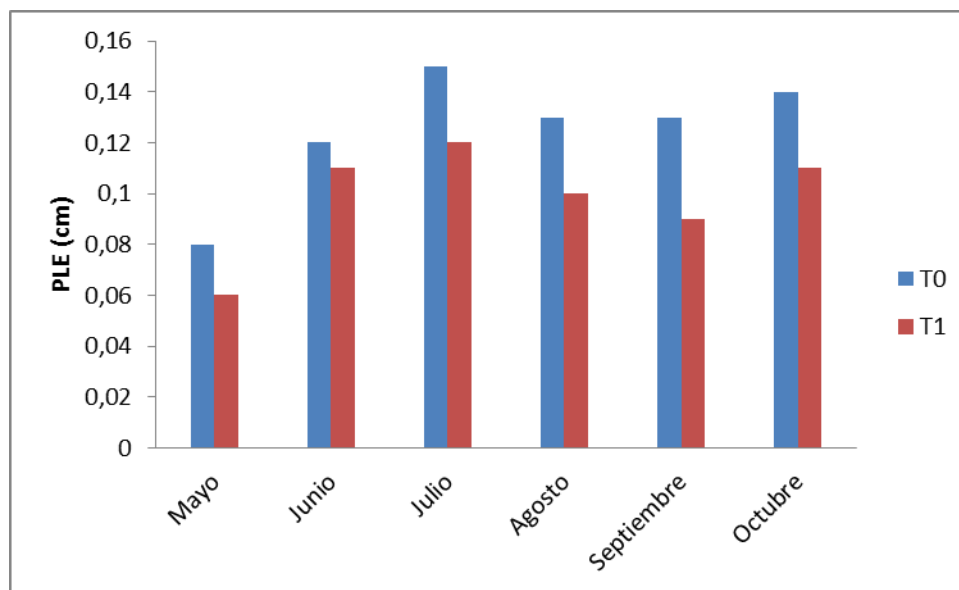


Figura 8. Valores promedios del PLE por mes considerando los tratamientos.

En cuanto al comportamiento de la variable tasa de infiltración promedio (TINF) señalado en la Figura 9, se puede observar que se presentaron diferencias en los valores entre tratamientos de TINF, sufriendo cambios dependiendo del mes evaluado, siendo superior en el T_0 en los meses mayo, junio y julio, e inferior en los meses agosto, septiembre y octubre. Mientras que en T_1 , los valores para esta variable fueron totalmente diferentes, ya que en los meses de mayo, junio y julio fueron inferiores que los meses de agosto, septiembre y octubre, cuyos valores fueron superiores. Es decir, para T_0 los valores de infiltración se comportaron de manera decreciente durante el desarrollo del estudio, a diferencia de T_1 , cuyos valores de infiltración aumentaron progresivamente a medida que transcurrió el estudio de investigación.

Estos resultados indican que posiblemente el movimiento de las partículas del suelo hacia lugares de menor pendiente pudo haber influenciado dichos valores obtenidos que resultan físicamente lógicos; es decir, la suspensión de las partículas de suelo disgregadas tienden a ser arrastradas por escurrimiento superficial y algunas de ellas se depositan en los poros del suelo, reduciendo la capacidad de este al infiltrar el

agua de lluvia. Los resultados del presente trabajo de investigación son reforzados por los hallazgos reflejados en Flores *et al.* (2012), en el cual emplearon zanjas de infiltración en terrenos de diversas clases texturales observándose diferentes resultados entre los mismos en cuanto a la infiltración del agua de lluvia y por ende la escorrentía, determinaron con esto que la textura y la pendiente del área estudiada influyó en la infiltración del agua en el terreno.

De acuerdo con Duran *et al.* (2013), quienes evaluaron la erosión en laderas, y determinaron que el movimiento de las partículas de menor tamaño del suelo hacia sectores de menor pendiente son accionados por las lluvias e influyen en el proceso de infiltración natural, reduciendo sus espacios capilares, aumentando así la escorrentía superficial y por ende los procesos erosivos. Por otro lado, Mingoti y Vettorazzi (2011), en los resultados obtenidos de su trabajo de investigación concluyeron que las medidas de conservación de suelo empleadas así como la intensidad de las lluvias, la pendiente y textura de suelo influyeron en la tasa de infiltración del suelo de la zona en estudio.

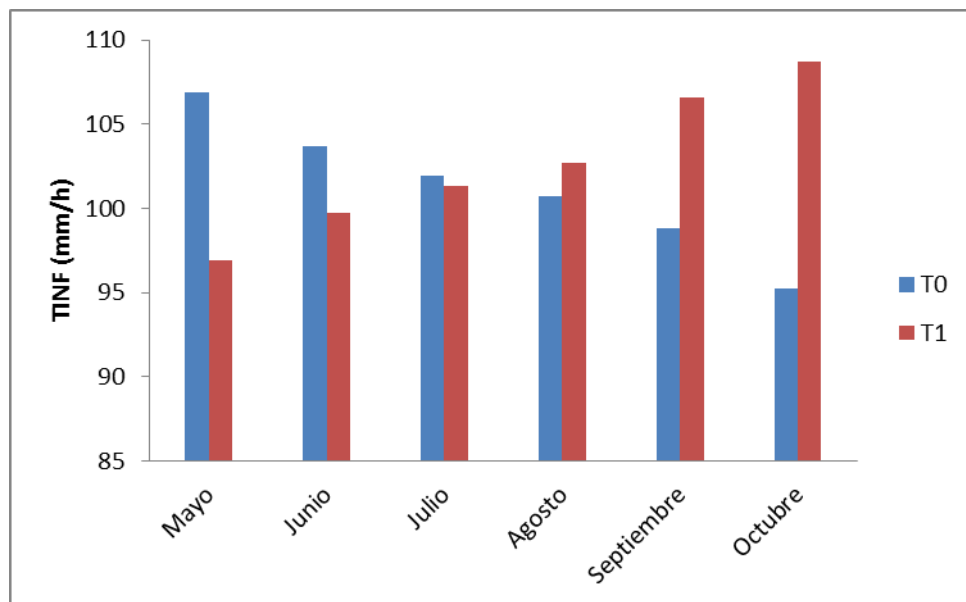


Figura 9. Valores promedios de la TINF por mes considerando los tratamientos.

Los valores del suelo movilizado (SM), en la Figura 10, permiten detallar el comportamiento de dicha variable en los tratamientos a través del periodo evaluado, presentándose incrementos para ambos tratamientos en los meses mayo y julio. Por otro lado, en el mes de junio se observó para T_0 una reducción en la variable estudiada, mientras que T_1 presentó un incremento que superó a T_0 en dicho mes. En cuanto al mes de agosto se sostuvo un decrecimiento general de SM; sin embargo, en dicho mes el SM aumentó para T_1 y disminuyó para T_0 . Siguiendo con el mes de septiembre la variable SM aumentó para T_0 y T_1 , pero en mayor proporción para T_0 . Finalmente en el mes de octubre se observó una reducción en ambos tratamientos en cuanto a la variable SM, pero el T_0 en comparación con T_1 resultó superior en dicho mes.

El comportamiento del SM en los tratamientos evaluados podría atribuirse probablemente a la pendiente del terreno, al incremento de las precipitaciones y su intensidad variable de las mismas durante los meses de evaluación, de esta manera es conveniente acotar que las precipitaciones variaron irregularmente durante dichos meses como se observa en la Tabla 13. Velásquez (2006) citado en Rivera, Oropeza *et al.* (2012), sostienen en sus estudios de investigación que la ocurrencia y magnitud de los eventos de pérdida de suelo dependen de la magnitud e intensidad de la precipitación así como de las condiciones de desnivel del suelo y la cantidad de vegetación presente.

En este orden de ideas Pizarro *et al.* (2010), estimaron las pérdidas de suelo por medio de parcelas con clavos de erosión, obteniendo como resultados que los procesos erosivos se rigen en función de la vegetación presente, variable pluviométrica y pendiente del área de estudio, encontrando tendencias lineales positivas y esperadas en la mayoría de las relaciones efectuadas que permitió evidenciar sus conclusiones. Asimismo, Vásquez y Tapia (2011), sostienen en su investigación que unos de los factores de mayor influencia y determinante en los procesos erosivos fue la variación de la pendiente del terreno así como la intensidad de la lluvia durante las evaluaciones realizadas.

Tabla 13.

Precipitaciones durante el periodo de evaluación 2014.

Meses	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Precipitación (mm)	72,8	75,1	74	55,2	44,5	57

Fuente: Estación Barquisimeto seminario.

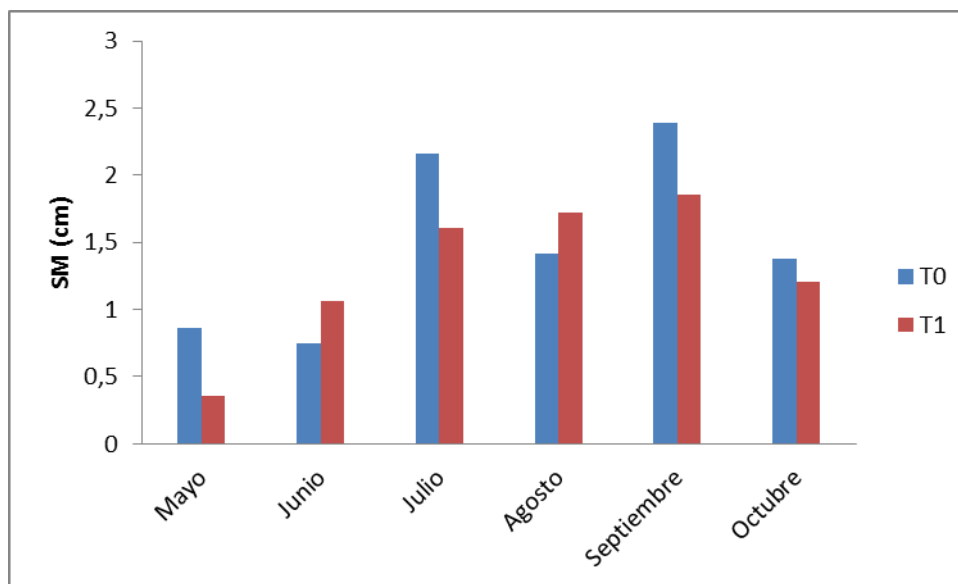


Figura 10. Valores promedios de SM por mes considerando los tratamientos.

Cuando se analizó estadísticamente el PCV, PLE, TINF y SM, los resultados del modelo de análisis de la varianza, mostrados en la Anexo H, indicaron diferencias significativas entre tratamientos para el PCV, SM y PLE, mientras que la TINF no fue afectada significativamente por estos tratamientos. Por otro lado, los cambios producidos en el tiempo, sólo resultaron significativos en PCV y SM.

En la Tabla 14, se puede observar claramente que en el T₁ se encontraron mayores valores de PCV y menores valores de SM y PLE, lo que podría indicar que la estrategia conservacionista fue efectiva, ya que disminuye evidentemente la pérdida de suelo, es decir, el T₁ es el más favorable para detener físicamente más suelo en la época de lluvia. Así mismo Escalante (2005), coincide en sus resultados que las áreas de mayores pérdidas de suelo fueron las zonas sin medidas de

conservación y lluvias intensas, ya que las pérdidas de suelo estuvieron relacionadas con el impacto de las gotas de lluvias al disgregar el suelo cuando estas caen y a su vez por la contribución de la escorrentía hacia sectores de menor pendiente.

De acuerdo con Vásquez y Tapia (2011), en investigaciones realizadas en las Sierras Peruanas, las zanjas de infiltración como medida de conservación de suelo redujeron de manera significativa las pérdidas de suelo por erosión hídrica, en comparación con la tasa promedio de lámina de erosión de las parcelas testigos (sin medidas de conservación). Simultáneamente Pizarro *et al.* (2008), también coinciden con los resultados obtenidos en esta investigación, ya que estos autores validaron la aplicación de la propuesta de diseño hidrológico de medida de conservación de suelos, ratificado por su comportamiento frente a eventos extremos de lluvias y su escurrimiento a sectores menores pendientes, siendo significativo estadísticamente al efecto en la estabilidad de las partículas de suelos.

Tabla 14.

Promedios por tratamiento y significancia, según la prueba de Tukey al 5%, para: PCV, PLE, TINF y SM cuando se consideraron los meses promediados.

Tratamiento	PCV	PLE	TINF	SM
	%	cm	mm/h	cm
0	44,3 b	0,13 a	101,2 a	1,49 a
1	49,0 a	0,10 b	102,7 a	1,30 b

Nota: Letras distintas indican promedios estadísticamente diferentes. PCV: Porcentaje de cobertura vegetal; PLE: Promedio de lámina de erosión; TINF: Tasa de infiltración promedio; SM: Suelo movilizado.

CONCLUSIONES

❖ No hubo respuesta a la aplicación de las prácticas utilizadas en cuanto a las características químicas evaluadas con excepción del calcio al final del ensayo. Por otro lado, fue evidente la diferenciación textural al final del ensayo en lo que respecta al contenido limo y arcilla en los suelos evaluados.

❖ El diseño hidrológico de canales de infiltración implementados, fue una práctica efectiva para el control de la erosión hídrica y captación de agua de lluvia en el área estudiada.

❖ De acuerdo a los análisis estadísticos aplicados en este estudio, se concluye que el tratamiento con canales de infiltración presentó mayores valores de porcentaje de cobertura vegetal y menores valores de erosión que el tratamiento testigo sin medidas de conservación, lo cual evidencia que dicha práctica de manejo y conservación de suelo y agua tiene efectos significativos en cuanto al aumento del porcentaje de cobertura vegetal y la disminución de la cantidad de erosión y sedimento de suelo registrada en la zona de estudio.

RECOMENDACIONES

- ❖ Considerando la manera práctica y fácil de trabajar con el método de los clavos de erosión, se recomienda implementar nuevos estudios para estimar la erosión hídrica superficial en una mayor área del parque. Esto se puede realizar en un intervalo de pendientes más amplio, con la finalidad de tener una mejor representación del total del área afectada, y con esto continuar con la evaluación temporal del sistema y su combinación con otras prácticas de control.
- ❖ Implementar estrategias para la rápida recuperación de la vegetación del área estudiada en el que incida una mayor cobertura para la regeneración del área afectada del Parque Universitario de la UCLA.
- ❖ Uso de pantallas vegetales como cocuy, sábila, plumería, sisal, con el objetivo de evaluar su efecto sobre la reposición de suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, O; Kappas, M; y Eramis, S. 2010. Evaluación del riesgo de erosión en el municipio Torres del Estado Lara (Venezuela) basada en SIG. *Revista de Ciencia y Tecnología de América* 35(5): 348 – 356.
- Alatorre, L. C; Beguería, S. 2009. Los modelos de erosión: una revisión. *Cuaternario Geomorfología* 23(1-2): 29 – 48.
- Alomoro, J; López, F; Rafaelli, S. 2010. La degradación de los suelos por erosión hídrica. *Métodos de estimación*. Universidad de Murcia, Murcia. pp. 61 – 145.
- Arias, F. 2006. El proyecto de investigación. *Introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme, 5ta Edición, Caracas, Venezuela. pp. 20 – 35.
- Badr, A; Taalab, A. 2007. Effects of drip irrigation and discharge rates on water and solutes dynamics in sandy soils and tomato yield. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 1(4): 545 - 552.
- Belmonte, F; Delgado, F; Lopez, F. 2013. Interacciones entre el suelo y la vegetación a lo largo de un transecto en un ecosistema semiárido (El Ardal, Murcia). *Cuaternario Geomorfología* 13(4): 17 – 29.
- Bello, Y; Lara, R. 2006. Evaluación del arranque y puesta en marcha del sistema de tratamiento de aguas residuales de una empresa tabacalera. *Ingeniería UC*. 21(1): 1 – 12.
- Betancourt, P; Pulido, P. 2006. Actitud de los agricultores hacia el manejo y conservación del suelo y agua en dos comunidades rurales del estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 18(3): 155 – 161.
- Bravo, C; Lozano, Z; Hernández, R; Piñango, L; Moreno, B. 2004. Efectos de diferentes especies de coberturas sobre las propiedades físicas de un suelo de sabana con siembra directa de maíz. *Bioagro* 16(3): 163 – 172.
- Brea, D; Balocchi, F. 2010. Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. PHI-VI Documento Técnico N° 22. pp. 33 – 35.
- Brunel, N; Seguel, O. 2011. Efectos de la erosión en las propiedades del suelo. *Agro Sur* 39(1): 1 – 12.
- Capriles Verdi, M. D. 2007. Evaluación de la erosión lineal costera en la ciudad de Lechería, Estado. Anzoátegui. *Terra Nueva Etapa*, 18(33): 13 - 38.

- Chow, V. T. 2004. Hidráulica de canales abiertos. McGraw-Hill, Bogotá, Colombia. pp. 87 – 195.
- Combatt Caballero, E; Mercado Fernández, T; Palencia Severiche, G. 2009. Alteración química de la solución de un suelo sulfatado ácido, con enclavamiento y lavado de una columna disturbada. Revista (U.D.C.A.) actualidad y divulgación científica, 12(1): 1-12.
- Constitución de la República Bolivariana de Venezuela 1999. [Documento en línea] <http://pdpa.georgetown.edu/Parties/Venezuela/Leyes/constitucion.pdf>. [Consulta: Enero 03, 2015].
- Díaz, F; Mondragón, A; Alvarado, H; Dávila, M. 2009. Reporte de familias y especies de MAGNOLIOPHYTA del parque nacional Terepaima depositadas en el herbario José Antonio Casadiego (UCOB) de la UCLA - Barquisimeto, Venezuela. ERNSTIA 19(1): 1 - 26
- Durán Zuazo, V. H; Rodríguez Pleguezuelo, C. R; Cuadros Tavira, S, Francia Martínez, J. R. 2013. Impacto de la erosión y escorrentía en laderas de agroecosistemas de montaña mediterránea. Ecosistemas 23(1): 66 – 72.
- Escalante, C. A. 2005. Efecto en la estimación del factor erosivo de la lluvia en el aporte de sedimentos, 85 – 102 pp. En Rivera Trejo, F; Gutiérrez López, A; Val Segura, R; Mejías Zermeno, R; Sánchez Ruiz, P; Aparicio Mijares, E. J; Díaz Flores, L. L. La medición de sedimentos en México. IMTA-UJAT, Jiutepec, Morelos/Villahermosa, Tabasco, México. 318p.
- Espinosa, M; Andrade Limas, E; Rivera Ortiz, P; Romero Díaz, A. 2011. Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. Papeles de Geografía 1(53): 77 – 88.
- FAO. 2010. Sistematización de experiencias de manejo de recursos naturales para la reducción de riesgos y desastres naturales en el sector agropecuario; terrazas de formación lenta y canales de infiltración en las comunidades de Cuyuni, Julllicunca y Ccarhuayo, en Cusco. Perú. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. 50p.
- Fernández, E. 2010. La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. Desarrollo tecnológico. Madrid Grafinat, Madrid, España. 492 p.
- Flores, J. P; Giráldez, J. V; Ayuso, J. L. 2012. Diseño de zanjas con velocidad de infiltración variable para conservación de aguas y suelos de la Cuenca del Río Purapel (Chile). Cuaderno de Pesquisa, Serie Biología 24(1): 130 – 146.

- FUNVISIS, 2010. Proyecto de microzonificación sísmica en las ciudades de Caracas y Barquisimeto. Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológica, Caracas. 76p.
- García Ruiz, J. M; López, F. 2009. La erosión del suelo en España. Cuaternario Geomorfología 23(3 - 4): 5 – 6.
- González, O; Bezada, M; Millán, Z. 2012. Geomorfología de los sistemas de abanicos aluviales localizados en el trayecto Yaritagua-Guama, estado Yaracuy-Venezuela. Geográfica Venezolana, 53(2): 255 - 276.
- Granados Sánchez, D; Hernández García, M. Á; López Ríos, G. F. 2006. Ecología de las Zonas Ribereñas. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 12(1): 55 - 69.
- Henaó R. L. J; Obregón R. G. 2007. Gestión ambiental para conservar la potencialidad turística en función de la oferta hídrica de los suelos de terrazas aluviales entre las quebradas La Seca, La Nuarque y el Río Cauca. Municipio de Olaya, Departamento de Antioquia. Gestión y Ambiente 10(2): 191-206.
- Hernández, C; Florencio, A. 2004. Evaluación de dos tipos de coberturas en suelos cultivados son piña (*Ananas comosus* L. Merr) en el estado Lara, bajo lluvia simulada, en condiciones de invernadero. Revista Facultad de Agronomía (LUZ) 21(1): 228 – 236.
- Huerta, P; Figueroa, O. 2014. Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. Ecológica Aplicada 13(1): 1 – 8.
- Huerta Olague J; Ríos Berber J. D; Oropeza Mota J. L; Martínez Menes M. R; Guevara Gutiérrez R. D; Ramírez Ayala C; Velázquez Mendoza J. 2012. Efecto del sistema radical de cuatro cultivos en la erosión del suelo. Terra Latinoamericana 30(3): 271 – 278.
- Hurtado de Barrera, J. 2010. Metodología de la investigación: Guía para una comprensión holística de la ciencia. Quirón ediciones. Caracas, Venezuela. pp. 461 – 487.
- Jacinto de Almeida M. C; Ridente Júnior J. L; Melo C; Monteiro A. C; de Azevedo D. Marins A. M. 2005. Soil erosion analysis in the influence area of Tiete – Parana Hydroway (TIETÊ BRANCH). Sociedade & Naturaleza 1(1): 62 - 71.
- Jiménez, A. A; Luna, A; Berezowsky, M. 2012. Métodos para el cálculo de tirantes normales y críticos. In Universidad Michoacán. eds. XXII Congreso Nacional de Hidráulica Acapulco, Guerrero, México. Universidad Michoacán, Departamento de Hidráulica, Michoacán. 58.p.

- Lagos, O; Uribe, H; Okuda, Y. 2004. Evaluación de tres prácticas de conservación sobre los niveles de humedad del perfil del suelo. *Agricultura Técnica* 62(4): 50-56.
- Ley forestal de suelos y de aguas. 1966. [Documento en línea] http://www.agropatria.com.ve/wpcontent/uploads/2011/01/ley_forestaldesuelo.pdf. [Consulta: Enero 01, 2015].
- Ley de tierra y desarrollo agrario. 2010. [Documento en línea] <http://www.inti.gob.ve/GACETA/LEY%20DE%20TIERRAS%20Y%20DEARROLLO%20AGRARIO%2029%20de%20julio%20de%202010%20ULTIMA.pdf>. [Consulta: Enero 02, 2015].
- Ley orgánica del ambiente. 2006. [Documento en línea] <http://www.minamb.gob.ve/files/Ley%20Organica%20del%20Ambiente/LeOrganica-del-Ambiente-2007.pdf>. [Consulta: Enero 01, 2015].
- Lobo, D; Lozano, D. s/f. Guía para la interpretación de características y propiedades físicas y químicas en suelos, con fines de diagnóstico. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía. UCV. Maracay, Venezuela. pp 8 – 15.
- Lobo, D; Gabriels, D; Ovalles, F; Santibáñez, F; Moyano, M. C; Aguilera, R; Pizarro, R; Sangüesa, C; Urra, N. 2006. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (UNESCO-Montevideo). PHI-LAC. Documento Técnico N° 3 58 p.
- López, J. A; Batalla, R. J; Verticat, D. 2012. Balance de sedimentos en una cuenca altamente dinámica: El río Isábena. In González, A; Fernández, G; Doughty, M; Remondo, J; Bruschi, V; Bonachea, J; Díaz, J; Martínez, P; Rivas, V; Flor, G; Serrano, E; Gutiérrez, F; Benito, G; Desir, G; López, J; Romero, M; Batalla, R; Gracia, F; Flor Blanco, G; Garzón, G; Cardenal, J; Vilaplana, J; Coronimas, J; Díaz Martínez, E; Jiménez, Guerra, J. Avances de la geomorfología en España 2010 – 2012: Actas de la XII reunión nacional de Geomorfología. Universidad de Cantabria, Santander. pp. 521 – 525.
- Lozano, Z. 2006. Muestreo con fines de caracterización y evaluación de propiedades de los suelos. *Venesuelos* 14(1): 70 – 79.
- Lozano B; Parras L. 2011. Erosión actual y potencial en suelos ácidos del sur de España. *Terra Latinoamericana* 29(1): 35 - 46.

- Toledo, V. 2013. Cuantificación de la erosión regresiva en cabeceras y pérdida de suelo en cárcavas en el sector de Susucal, estado Lara Venezuela. *Revista de Investigación* 37(80): 1 - 22.
- Torres, D; Aparicio, M; López, M; Contreras, J; Acevedo, I. 2009. Impacto del tipo de uso de tierras sobre propiedades del suelo en la depresión de Quíbor. *Agronomía Tropical* 59(2): 207 – 217.
- Torres, D; Florentino, A; López, M. 2005. Perdidas de suelos y nitrógeno por escorrentía en un Utisol degradado bajo diferentes condiciones de cobertura vegetal en Chaguaramas – Guárico. *Agronomía Tropical* 55(4): 475 – 496.
- Troyo E. 2011. Diagnóstico y manejo ambiental del agua y suelo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2): 55 – 65.
- Machado, D; Pineda, M; Viloria, J; Casanova, E; Ochoa, J. 2009. Evaluación ambiental, agrícola y forestal de tierras de la Cuenca Alta del Rio Guárico, Venezuela. *Venesuelos* 17(1): 1 – 12.
- Marín, C; Desir, G. 2010. Procesos de erosión en una zona de clima semiárido de la depresión del Ebro (Bardenas Reales, NE de España). *Cuaternario Geomorfología* 24(4): 63 – 72.
- Márquez, A; Guevara, E. 2011. Modelación de la erosión y el transporte de sedimentos en surcos en un campo agrícola bajo riego en Venezuela. *Tecnología y Ciencias del Agua* 2(2): 125 – 156.
- Mármol, L; Díaz, J; Larreal, M; Jiménez, L. 2007. Evaluación de la erosión hídrica en la microcuenca de las quebradas Roja y Colorada en el municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia. *Revista de la Facultad de Agronomía* 24(2): 25 – 39.
- Martella, M; Trumper, E; Bellis, D; Giordano, P; Bazzano, G; Gleiser, R. 2012. Manual de ecología. Poblaciones: Introducción a las técnicas para el estudio de las poblaciones silvestres. REDUCA (Biología) Serie Ecología 5(1): 1 – 31.
- Maya, Y. 2011. Diagnóstico ambiental de suelos erosionados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13(2): 169 - 179.
- Mejías, J; Pozzo, D; Motilla, P; Torres, G. 2010. Evaluación cuali-cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca aguas calientes estado Mérida – Venezuela. *Geográfica Venezolana* 51(2): 203 – 223.
- Meléndez, I; Córdoba, P; Navarro, J; Gómez, I. 2010. Evaluación de la vulnerabilidad a la degradación por erosión en suelos mediante un modelo de lógica borrosa. *Revista de Ciencias Agrarias* 33(1): 1 – 13.

- Mendoza, B. J. 2010. Efecto de la aplicación de abono orgánico en la calidad física, química y biológica de dos suelos bajo diferentes sistemas de usos y manejo de la zona semiárida, Quíbor-Estado Lara. Tesis doctoral. UCV, Facultad de Agronomía. Postgrado en Ciencia del Suelo 220 p.
- Mingoti R; Vettorazzi C. A. 2011. Relative reduction in annual soil loss in micro watersheds due to the relief and forest cover. *Eng. Agriculture* 31(6): 122 - 131.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA). 2008. Manual de conservación de suelos. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, Caracas. 17 pp.
- Montiel, K.; Gouveia, E; E. Montes. 2007. Impacto de la intervención antrópica en la ocurrencia de procesos de ladera. Microcuenca Quebrada Ramos, Flanco norandino Venezolano. *Terra* 18(34): 35 - 69.
- Montiel, K.; Gouveia, E; E. Montes. 2009. Un ensayo de zonificación de áreas susceptibles a inestabilidad de laderas en el flanco norandino de Venezuela. *Geográfica Venezolana* 50(1): 131 – 155.
- Moreno, M. T. 2009. Efectos de la distribución de las propiedades edáficas sobre el manejo de la fertilidad de dos suelos agrícolas. *Revista UDO Agrícola* 9(4): 901 – 911.
- Morgan, R. 2005. Soil erosion and conservation. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, Reino Unido. 304 p.
- Núñez, F; Toledo, V. 2013. Variación en la composición de la costra microbiana según la exposición (solana-umbría), en suelos del sector de la quebrada Los Barrancos, Valle de Quíbor, estado Lara. *Revista de Investigación* 37(78): 45 – 56.
- Olivares B; Lobo, D. 2010. Evaluación de las magnitudes y distribuciones temporales de las pérdidas de suelo anuales (1996-2000) en la localidad de Alto Loica, comuna de San Pedro, Chile. *Geominas*, 38(52): 69-72.
- Ouriemi, M; Peysson, Y; Guazzelli, E. 2007. Determination of the critical shields number for particle erosion in laminar flow. *Magazine American Institute of Physics* 19(6): 21 – 44.
- Pacheco, E; Farguell, J; Úbeda, X; Outerio, L. 2011. Runoff and sediment production in a mediterranean basin under two different land use. *Cuaternario Geomorfología* 25(4): 103 – 114.

- Pineda, M. C; Elizalde, G; Vilorio, J. 2011. Determinación de áreas susceptibles a deslizamientos en un sector de la Cordillera de la Costa Central de Venezuela. *Revista de Ciencia y Tecnología de América* 36(5): 370 – 377.
- Pizarro, R; Aravena, D; Macaya, K; Abarza, A; Cornejo, M; Labra, M; Pavez, M; Román, L. 2007. Curvas intensidad – duración – frecuencia para la zona centro sur de Chile. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe. PHI-VI Documento Técnico N° 7. pp. 20 – 35.
- Pizarro, R; Sangüesa, C; Bjarne, P; Ingran, B; Vera, M; Morales, C; Olivares, C; Balocchi, F; Lagos, F; Mendoza, R; Abarza, A; Valdés, R. 2013. Curvas intensidad duración frecuencia para las regiones Metropolitana, Maule y BioBío. Intensidades desde 15 minutos a 24 horas. UNESCO Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 29. pp 20 –29.
- Pizarro, R; Sangüesa, C; Flores, J; Martínez, E. 2005. Elementos de ingeniería hidrológica para el mejoramiento de la productividad silvícola. Sociedad de Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos, Universidad de Talca. Talca, Chile. pp. 70 – 76.
- Pizarro, R; Flores, J; Sangüesa, C; Martínez, E; León, L. 2008. Diseño hidrológico de zanjías de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile. *Bosque* 29(2): 136 – 145.
- Pizarro, R; Morales, C; Vega, L; Olivares, C; Valdés, R; Balocchi, F. 2009. Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile. UNESCO Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 18. pp 12 – 92.
- Pizarro, R; Morales, C; Vega, L; Valdés, R; Olivares, C; Balocchi F. 2010. Evaluación de la erosión hídrica superficial en zonas áridas y semiáridas de Chile Central. *Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC)*, 2(1): 1 – 11.
- Quiñónez, E; Dal Pozzo, F. 2005. Influencia del cálculo del factor topográfico en la distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por la erosión hídrica en el estado de Mérida, Venezuela. *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* N° 5: 204 – 218.
- Quiñónez, E; Dal Pozzo, F. 2008. Distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el estado Lara, Venezuela. *Geoenseñanza* 13(1) 59 - 70.

- Rivera, F; Pérez, S; Ibáñez, L. A; Hernández, F. R. 2012. Aplicabilidad del modelo SWAT para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México. *Agrociencia* 46(2): 101 - 105.
- Rivera Ruiz, P; Oropeza Mota, J. L; Martínez Menes, M. R; Mejía Sáenz, E; Tapia Vargas, L. M; Ventura Ramos, E. J. 2012. El proceso lluvia-escurrimiento-erosión en laderas y microcuencas instrumentadas. *Tecnología y Ciencias del Agua* 3(4): 151 - 166.
- Rivera, P; Rivera, J; Andrade, E; De la Garza, F; Castro, B; Belmonte, F. 2014. Medición de la erosión en cárcavas por medio de imágenes de satélite. *Terra Latinoamericana* 32(1): 13 – 21.
- Romero, A; Ruiz, J; Belmonte, F. 2011. Tasa de erosión en la región de Murcia. Universidad de Murcia, Universidad de Málaga y Asociación de Geógrafos Españoles, Departamento de Geografía, Murcia. *Boletín Técnico* N° 56. 129 – 153.
- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA) 2012. Diseño hidráulico de un canal de llamada. *In* Universidad Michoacán. eds. XXII Congreso Nacional de Hidráulica Acapulco, Guerrero, México. Universidad Michoacán, Departamento de Hidráulica, Michoacán. 36 p.
- Sepúlveda, A; Geissen, V; Ochoa, S; Jarquín, A; Hernández, S; Capetillo, E; Zamora, L. 2009. Influencia de tres tipos de vegetación ribereña en el control de la erosión fluvial en Pantanos de Centla, México. *Biología Tropical*, 57(4): 34 – 57.
- Soto, E; Ávila, J. A. Domínguez, C. 2012. Determinación de gastos máximos en cuencas grandes por medio de subcuencas y el método del HUT. *In* Universidad Michoacán. eds. XXII Congreso Nacional de Hidráulica Acapulco, Guerrero, México. Universidad Michoacán, Departamento de Hidráulica, Michoacán. 89 p.
- UCLA, 2012. Información climatológica 1976 – 2012. Estación climatológica "Lisandro Álvaro" (ECLA). Lara. 22 p.
- Valverde, J. C. 2007. Riego y Drenaje. Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica. Pp. 120 – 130.
- Vasconcelos da Silva, G. R; Menezes de Souza, Z; Vieira Martins F. M; Sobreira Barbosa, R; Soares de Souza, G. 2012. Soil, water and nutrient losses by

- interrill erosion from green cane cultivation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36(3): 63 - 70.
- Vásquez, C; Sánchez, C; Valera, N. 2007. Diversidad de ácaros (Acari: Prostigmata, Mesotigmata, Astigmata) asociados a la hojarasca de formaciones vegetales del Parque Universitario de la UCLA, Venezuela. *Iheringia, Serie Zoología* 97(4): 1 – 13.
- Vásquez, A; Tapia, M. 2011. Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de Sierra Peruana. *Revista de Ingeniería UC* 18(3): 42 – 50.
- Vega, M. B; Febles, J. M. 2005. La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 21(2): 1 – 18.
- Vega, M. B; Febles, J. M. 2008. Sistema integrador de métodos cualitativos y cuantitativos para evaluar la erosión de los suelos en las regiones cársticas de uso ganadero de Cuba. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 42(3): 313 - 317.
- Vergara, M; Etchevers, J; Padilla, J. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39: 259 – 266.
- Visconti, E; Ramón, A. 2009. Efecto de la cobertura por fragmentos gruesos de roca, sobre la erosión hídrica simulada en un suelo agrícola de ladera del estado Táchira. *Venesuelos* 17: 41 – 49.
- Zamudio, V; Méndez, E. 2011. La vulnerabilidad de erosión de suelos agrícolas en la región Centro-Sur de estado de Nayarit, México. *Revista Científica Ambiente y Desarrollo* 15(28): 55 – 69.

ANEXO A

Porcentaje estimado de suelo cubierto por vegetación del área en estudio.

Parcela		Porcentaje de cobertura vegetal (%)					
		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
T₁R₁	T₁R_{1a}	23,33	20,00	35,00	48,33	66,67	86,67
	T₁R_{1b}	26,67	30,00	36,67	56,67	68,33	96,67
	T₁R_{1c}	23,33	33,33	36,67	51,67	65,00	91,67
Promedio mensual/parcela		24,44	27,78	36,11	52,22	66,67	91,67
T₁R₂	T₁R_{2a}	23,33	25,67	35,00	48,33	68,33	95,00
	T₁R_{2b}	23,33	24,67	35,00	55,00	65,00	95,00
	T₁R_{2c}	23,33	26,67	36,67	48,33	63,33	80,00
Promedio mensual/parcela		23,33	25,67	35,56	50,56	65,56	90,00
T₀R₁	T₀R_{1a}	16,67	23,33	33,33	50,00	60,00	81,67
	T₀R_{1b}	20,67	20,00	30,00	46,67	55,00	83,33
	T₀R_{1c}	26,67	26,67	31,67	48,33	66,67	75,00
Promedio mensual/parcela		21,33	23,33	31,67	48,33	60,56	80,00
T₀R₂	T₀R_{2a}	23,33	20,00	33,33	50,00	63,33	73,33
	T₀R_{2b}	20,00	25,00	30,00	43,33	55,00	83,33
	T₀R_{2c}	26,67	28,33	30,00	50,00	60,00	80,00
Promedio mensual/parcela		23,33	24,44	31,11	47,78	59,44	78,89

T₀: Tratamiento 0; T₁: Tratamiento 1; R₁: Repetición 1; R₂: Repetición 2; a: Punto muestreado a; b: Punto muestreado b; c: Punto muestreado c.

ANEXO B

Resultados de la prueba de infiltración del área en estudio.

Parcela		Prueba de infiltración (mm/h)					
		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
T₁R₁	T₁R_{1a}	74,67	83,33	97,33	100	106	110
	T₁R_{1b}	104,66	97,33	101,33	102	106	108,67
	T₁R_{1c}	100	100	101,33	101,33	105,33	110
Promedio mensual/parcela		93,11	93,55	100,00	101,11	105,78	109,56
T₁R₂	T₁R_{2a}	96,67	102	100,67	100,67	106,67	108,67
	T₁R_{2b}	102,67	104	104	106,67	107,33	105,33
	T₁R_{2c}	102,67	104,67	103,33	105,33	108	110
Promedio mensual/parcela		100,67	103,56	102,67	104,22	107,33	108,00
T₀R₁	T₀R_{1a}	100	103,33	102	100	98	91,33
	T₀R_{1b}	106	100,67	99,33	99,33	98,67	99,33
	T₀R_{1c}	111,33	107,33	102	100,67	98,67	100
Promedio mensual/parcela		105,78	103,78	101,11	100,00	98,45	96,89
T₀R₂	T₀R_{2a}	109,33	108	103,33	100	97,33	89,33
	T₀R_{2b}	108,67	104,67	102,67	102,67	100,67	96
	T₀R_{2c}	106	104,67	102	101,33	99,33	95,33
Promedio mensual/parcela		108,00	105,78	102,67	101,33	99,11	93,55

T₀: Tratamiento 0; T₁: Tratamiento 1; R₁: Repetición 1; R₂: Repetición 2; a: Punto muestreado a; b: Punto muestreado b; c: Punto muestreado c.

ANEXO C

Registros pluviométricos anuales desde (1970 – 1977) y (1980 – 1991) de la estación Barquisimeto seminario.

Año	Duración en h/ (mm)										Años de registro
	5 min	10 min	15 min	30 min	1	3	6	9	12	24	
1970			14,2	16,7	19	22	22	34	37	39	1
1971					46	57	68	68	68	68	2
1972			19,2	25,1	32	32	34	38	40	46	3
1973					23	23	23	23	23	23	4
1974			14	20,7	31	40	46	66	66	76	5
1975			23,1	31,6	37	40	40	40	40	40	6
1976			18	20,7	27	44	45	45	45	52	7
1977					21	28	28	28	28	28	8
1978											
1979											
1980			15,1	35	38	38	39	41	49	56	9
1981			22,6	33,4	44	72	77	77	77	77	10
1982			14,7	19,7	31	32	32	32	32	32	11
1983			17,8	27,8	35	37	37	37	37	44	12
1984			19,7	29,6	48	61	67	67	67	68	13
1985			42	47,8	52	52	52	53	53	76	14
1986			10,4	15,2	18	19	19	21	22	22	15
1987			20,6	26,7	30	42	42	44	45	45	16
1988			22,9	28,9	34	42	42	42	42	42	17
1989			10,4	13,9	17	18	18	20	20	20	18
1990			22	42,3	50	54	54	54	55	57	19
1991			0,2	0,3	5	5	5	5	5	5	20

Fuente: Estación Barquisimeto seminario.

ANEXO D

Resultados del promedio de lámina de erosión del área en estudio.

Parcela		Promedio de lámina de erosión (cm)					
		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
T₁R₁	T₁R_{1a}	0,17	0,03	0,13	0,07	0,2	0,1
	T₁R_{1b}	0	0,13	0,13	0,13	0,07	0,16
	T₁R_{1c}	0,07	0,13	0,07	0,1	0,03	0,07
Promedio mensual/parcela		0,08	0,10	0,11	0,10	0,10	0,11
T₁R₂	T₁R_{2a}	0,07	0,1	0,13	0,1	0,13	0,05
	T₁R_{2b}	0	0,13	0,07	0,13	0,07	0,15
	T₁R_{2c}	0,07	0,1	0,2	0,07	0,07	0,13
Promedio mensual/parcela		0,04	0,11	0,13	0,10	0,09	0,11
T₀R₁	T₀R_{1a}	0,13	0,17	0,17	0,17	0,07	0,07
	T₀R_{1b}	0,07	0,13	0,16	0,13	0,2	0,18
	T₀R_{1c}	0,03	0,09	0,13	0,07	0,17	0,17
Promedio mensual/parcela		0,08	0,13	0,15	0,12	0,14	0,14
T₀R₂	T₀R_{2a}	0,07	0,13	0,3	0,13	0,1	0,07
	T₀R_{2b}	0,07	0,17	0,07	0,07	0,13	0,15
	T₀R_{2c}	0,13	0,07	0,07	0,2	0,13	0,2
Promedio mensual/parcela		0,09	0,12	0,14	0,13	0,12	0,14

T₀: Tratamiento 0, T₁: Tratamiento 1; R₁: Repetición 1; R₂: Repetición 2; a: Punto muestreado a; b: Punto muestreado b; c: Punto muestreado c.

ANEXO E

Resultados de suelo movilizado del área estudiada.

Parcela		Suelo movilizado (cm)					
		Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
T₁R₁	T₁R₁a	0,83	0,83	0,67	1	1	1,17
	T₁R₁b	0	0,67	2	3,33	1,67	1,27
	T₁R₁c	0,33	0,67	1,67	1,17	1,17	1,33
Promedio mensual/parcela		0,39	0,72	1,44	1,83	1,28	1,26
T₁R₂	T₁R₂a	0,33	0,5	1,33	2,5	3,33	1,27
	T₁R₂b	0	0,67	1,67	1,33	2,33	0,73
	T₁R₂c	0,67	0,5	2,33	1	1,67	1,47
Promedio mensual/parcela		0,33	0,56	1,78	1,61	2,44	1,16
T₀R₁	T₀R₁a	0,67	0,83	3,5	1,5	3,67	1
	T₀R₁b	0,33	0,67	2	2,67	1,67	1,9
	T₀R₁c	1,17	1,33	1,33	0,33	1,17	1,5
Promedio mensual/parcela		0,72	0,94	2,28	1,50	2,17	1,47
T₀R₂	T₀R₂a	1,33	1,33	1,5	0,67	3,17	1
	T₀R₂b	1	1,5	2,33	2,33	2	1,23
	T₀R₂c	0,67	1,33	2,33	1	2,67	1,67
Promedio mensual/parcela		1	1,39	2,06	1,33	2,61	1,30

T₀: Tratamiento 0, T₁: Tratamiento 1; R₁: Repetición 1; R₂: Repetición 2; a: Punto muestreado a; b: Punto muestreado b; c: Punto muestreado c.

ANEXO F

Valores de F y significancia (ANDEVA) para modelo de clasificación simple con mediciones repetidas en el tiempo, aplicado a los contenidos de MO, P, K, Ca, y Mg.

FUENTE DE VARIACIÓN	MO	P	K	Ca	Mg
Tratamiento	1,02 NS (P>0,05)	0,00 NS (P>0,05)	0,03 NS (P>0,05)	1,24 NS (P>0,05)	0,12 NS (P>0,05)
Momento	0,39 NS (P>0,05)	7,53 NS (P>0,05)	5,07 NS (P>0,05)	225,3** (P<0,01)	5,57 NS (P>0,05)
Tratat (*)Moment (Interacción)	1,20 NS (P>0,05)	2,69 NS (P>0,05)	0,01 NS (P>0,05)	2,43 NS (P>0,05)	0,38 NS (P>0,05)
CV%	56,8(29) ¹	19,9	34,5(16) ¹	6,9	25,0
W de Normalidad	0,92 NS (P>0,05)	0,89 * (P<0,05)	0,86 ** (P<0,01)	0,83** (P<0,01)	0,94 NS (P>0,05)
χ^2 de Bartlett	0,06 NS (P>0,05)	0,16 NS (P>0,05)	4,14 NS (P>0,05)	0,24 NS (P>0,05)	0,15 NS (P>0,05)

Nota. ()¹: Variable transformada con \sqrt{x} , por exceso de variación. MO: Matéria organica; P: Fosforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio.

ANEXO G

Valores de F y significancia (ANDEVA) para modelo de clasificación simple con mediciones repetidas en el tiempo, aplicado a los valores de: arcilla, limo, arena, C.E. y pH.

FUENTE DE VARIACIÓN	Arcilla	Limo	Arena	C.E.	pH
Tratamiento	1,32 NS (P>0,05)	0,68 NS (P>0,05)	1,03 NS (P>0,05)	0,04 NS (P>0,05)	0,05 NS (P>0,05)
Momento	254,4 ** (P<0,01)	19,89** (P<0,01)	6,18 NS (P>0,05)	1,38 NS (P>0,05)	0,38 NS (P>0,05)
Tratat*Moment (Interacción)	3,57 NS (P>0,05);	2,29 NS (P>0,05)	3,02 NS (P>0,05)	0,08 NS (P>0,05)	0,07 NS (P>0,05)
CV%	8,9	11,6	6,9	23,2	2,7
W de Normalidad	0,86 ** (P<0,01)	0,96 NS (P>0,05)	0,96 NS (P>0,05)	0,93 NS (P>0,05)	0,96 NS (P>0,05)
χ^2 de Bartlett	0,19 NS (P>0,05)	2,80 NS (P>0,05)	0,62 NS (P>0,05)	0,32 NS (P>0,05)	2,80 NS (P>0,05)

C.E: Conductividad eléctrica; pH: Potencial de hidrogeno.

ANEXO H

Valores de F y significancia (ANDEVA) para modelo de clasificación simple con mediciones repetidas en el tiempo, aplicado a: PCV, PLE, TINF y SM.

FUENTE DE VARIACIÓN	PCV %	PLE cm	TINF mm/h	SM cm
Tratamiento	11,58 * (P<0,05)	19,88** (P<0,01)	0,65 NS (P>0,05)	6,86 * (P<0,05)
Mes	350,0** (P<0,01)	1,16 NS (P>0,05)	0,11 NS (P>0,05)	7,78** (P<0,01)
Tratat*Mes (Interacción)	2,03 NS (P>0,05)	0,06 NS (P>0,05)	11,98** (P<0,01)	1,33 NS (P>0,05)
CV%	5,9	38,9	4,5	43,6(21,7) ¹
W de Normalidad	0,91 ** (P<0,01)	0,90 ** (P<0,01)	0,86 ** (P<0,01)	0,97NS (P>0,05)
χ^2 de Bartlett	0,70 NS (P>0,05)	2,52 NS (P>0,05)	6,43 * (P<0,05)	0,34 NS (P>0,05)
Aprox. a F (Kruskal y Wallis)		3,75* (P<0,05)	5,55* (P<0,05)	

Nota. ()¹: Variable transformada con \sqrt{x} , por exceso de variación. PCV: Porcentaje de cobertura vegetal; PLE: Promedio de lámina de erosión; TINF: Tasa de infiltración promedio; SM: Suelo movilizado.