

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
POSTGRADO EN MANEJO DE CUENCAS

α
S625
76

*ESCORRENTIA Y EROSION BAJO DIFERENTES GRADOS DE COBERTURA Y
SISTEMAS DE SIEMBRA EN SUELOS DE LADERA*

Por: Andrés Forti

Tutor: Ph.D. Rafael Rojas

Trabajo presentado ante la Universidad de los Andes como
Requisito parcial para optar al grado de Magister Scientae
en Manejo de Cuencas

Mérida, Octubre de 1.999

U. L. A. Consejo de Estudios de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de los Andes (ULA).

Al Centro de Estudios de Postgrado (CEP) por el otorgamiento de la ayuda económica.

Al Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado (CEFAP).

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) por el otorgamiento del financiamiento para la elaboración de este trabajo.

Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP) por el otorgamiento de las áreas donde se instalaron las parcelas para los ensayos.

Al Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales y a sus trabajadores.

Un reconocimiento muy especial al Ph.D. Rafael Rojas y a la Ms.C. Yajaira O. de Cabezas por los certeros consejos y adecuadas orientaciones que me brindaron durante transcurso del postgrado.

DEDICATORIA

A Olga mi esposa

A mis padres

www.bdigital.ula.ve

RESUMEN

Se realizó un estudio para medir la escorrentía y erosión bajo diferentes sistemas de siembra y cobertura. Se utilizó un simulador de lluvia portátil para generar precipitaciones de diferente intensidad sobre parcelas experimentales de 2 x 10 metros colocadas a ambos lados del mismo. Los tratamientos abarcaron diversos grados de cobertura y los sistemas de siembra fueron: liso en el sentido de la pendiente, surcos en el sentido de la pendiente y surcos en contorno. La cobertura utilizada fue: desnudo, zanahoria y pasto. Se realizaron 16 pruebas representando un total de 60 eventos simulados. En todos los eventos se observó que la producción de sedimentos presenta una relación directa con la escorrentía y variable con la precipitación. Estos resultados indican que, al nivel de eventos, la escorrentía representa un mejor factor de erosividad que la precipitación, expresada por el factor EI30 de la USLE. Las relaciones entre la escorrentía y la producción de sedimentos durante los eventos indican correlaciones entre 90 y 99%. El efecto de la cobertura y método de siembra en la producción de sedimentos resultó dentro de las expectativas, resaltando la gran influencia del sistema de raíces del pasto sobre la reducción de la erosión. Se hicieron comparaciones con los resultados obtenidos utilizando diferentes metodologías de estimación de sedimentos resultando que la ecuación MUST contenida en el modelo EPIC fue la que produjo los mejores resultados. Como esta ecuación utiliza la escorrentía como factor de erosividad, se confirma la influencia de la misma. Los simuladores de lluvia demostraron nuevamente ser una herramienta muy útil para este tipo de estudio, además de proporcionar la información necesaria para estimar la infiltración. La información recolectada indica que las parcelas estudiadas presentaban gran heterogeneidad en términos de: pendiente, micro relieve y características físicas indicando la necesidad de medir todos los parámetros para este tipo de estudio.

ABSTRACT

A study was conducted to measure runoff and erosion under different cover and cropping systems. A rainfall simulator was utilized to generate different intensity precipitation over 2 x 10 experimental plots located both sides of the simulator. Treatments covered a wide range of cover and cropping system. Cropping system was downhill flat, downhill furrows, and contour furrows. Cover was fallow, carrots and pasture. There were 15 tests covering a total of 60 plot-test-simulated events. In all events it was observed that sediment production was directly related to runoff and variable related to precipitation. These results indicate that at event level, surface runoff represents a better erosivity factor than precipitation, expressed as USLE's EI30 factor. Correlation between runoff and sediment during events were in the range of 90 to 99 %. The effect of soil cover and cropping systems were as expected featuring a great influence of the pasture root system on erosion reduction. Comparisons were made with results from USLE and EPIC methodologies, resulting the MUST equation as the most accurate one. Since this equation uses a function of runoff as the erosivity factor, runoff influence is confirmed. Rainfall simulator again demonstrated to be a very useful toll for this type of study been also useful to estimate infiltration. Collected information indicates that the plots studied presented a great heterogeneity in terms of: slope, micro relief and soil physic characteristics suggesting the need for measuring all plot characteristics.

INDICE

RESUMEN.....	iv
--------------	----

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

1.1 La problemática de la erosión hídrica.....	1
1.2 Estimación de la erosión hídrica.....	1
1.3 Necesidad de evaluación y adaptación de metodológicas.....	2
1.4 Problemática de la falta de datos.....	2
1.5 El enfoque de parcelas de erosión.....	3
1.6 Los simuladores de lluvia.....	4
1.7 Justificación del estudio.....	5
1.8 Objetivos.....	5

ANTECEDENTES.....	6
-------------------	---

2.1 Historia de las ecuaciones de pérdida de suelo.....	6
2.2 La medición de la erosión hídrica.....	9
2.3 Los simuladores de lluvia.....	9
2.4 Aplicación de la información obtenida con la ayuda de los simuladores.....	11

METODOLOGIA.....	13
------------------	----

3.1 Selección del sitio de estudio.....	13
3.2 Selección de las tierras o áreas de experimentación.....	14
3.2.1 Conformación de las unidades de experimentación parcelarias y parcelas experimentales	15
3.3 El simulador de lluvia.....	20
3.3.1 Construcción del simulador de lluvia.....	21

3.3.1 Prueba del equipo de simulación de lluvia.....	22
3.4 Tratamientos.....	23
3.5 El ensayo.....	25
3.5.1 Mediciones preliminares.....	26
3.5.2 Montaje de la prueba.....	26
3.5.3 Mediciones durante la prueba.....	26
3.5.4 Mediciones al final de la prueba	27
3.6 Procesamiento de la información.....	28
3.6.1 Determinación de la escorrentía.....	28
3.6.2 Determinación de los sedimentos.....	28
3.6.3 Obtención de los Hidrogramas y Sedimentogramas.....	28
3.6.4 Determinación del Hidrograma suavizado	30
3.6.5 Valores acumulados de escorrentía y sedimentos	30
3.6.6 Cálculo del índice de erosividad de la lluvia	31
3.6.7 Metodologías de estimación de producción de sedimentos	32
3.6.8 Relación producción de sedimentos contra parámetros fisiográficos	33
4. PRESENTACION DE RESULTADOS	36
4.1 Resultados de las mediciones de campo	36
4.2 Resultados de las metodologías de cálculo de estimación de sedimentos	37
4.3 Resultados de la relación producción de sedimentos y parámetros fisiográficos... ..	39
5. ANALISIS DE RESULTADOS	41
5.1 Análisis de los resultados de campo.....	41
5.2 Análisis de la comprobación de metodología de estimación	44
5.3 Análisis de producción de sedimentos contra parámetros fisiográficos	45

INTRODUCCIÓN

1.1 La problemática de la erosión hídrica

El hombre ha visto con preocupación la degradación y destrucción de los recursos naturales, de allí su interés en estudiar a fondo los aspectos relacionados con estos procesos y conseguir instrumentos eficaces para corregir la degradación de los recursos, como la pérdida de suelo y la producción de sedimentos producto de la erosión.

La degradación de los suelos debido al poco uso de prácticas conservacionistas está causando estragos en todas las cuencas productoras de agua del mundo. En Venezuela la intervención antrópica en las cuencas altas está degradando los recursos naturales de manera muy acelerada, poniendo en peligro el abastecimiento de agua y la productividad de la tierra que servirán de medio de subsistencia para las futuras generaciones.

Este problema de degradación de suelos es urgente resolverlo, para ello es necesario obtener resultados satisfactorios a corto plazo, a través de ensayos que demuestren la disminución de la cantidad de suelo perdido mediante una buena utilización de las prácticas de conservación.

1.2 Estimación de la erosión hídrica

La determinación de la erosión hídrica es realizada para diferentes fines:

- Conocer la problemática de la erosión en una determinada área.
- Elaborar proyectos de manejo de cuencas.
- Diseñar obras hidráulicas.
- Conocer los efectos de la erosión sobre la productividad.
- En estudios ecológicos.

Cada uno de los puntos de vista o finalidades mencionados anteriormente, requiere de un enfoque metodológico que puede ser diferenciado, dependiendo de la información deseada. En cualquiera de los casos, hay que considerar los dos fundamentos o factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica: el factor hídrico y el factor suelo-cobertura.

Pueden definirse dos métodos diferentes en la determinación de la erosión hídrica. El primero se basa en observar y medir la erosión en las condiciones naturales. El segundo, por su parte, trata de simular las condiciones naturales con modelos físicos.

Cada una de éstas metodologías tiene sus ventajas y desventajas. La primera tiene la ventaja de medir la erosión en las condiciones naturales y por ello puede ser más exacta, sin embargo, tiene como desventaja su dependencia de las condiciones climáticas y su mayor requerimiento de tiempo y de equipos de medición; como por ejemplo podemos mencionar las “parcelas de erosión” y las “cuencas experimentales”. La segunda tiene como desventajas su “artificialidad”, en contraposición, tiene la ventaja del control sobre todos los factores, en especial el tiempo; en este grupo los modelos más populares, son las parcelas de erosión con simuladores de lluvia.

1.3 Necesidad de evaluación y adaptación de metodológicas

El control de la erosión requiere conocer o al menos tener idea de la magnitud del problema. En ese sentido, se vienen desarrollando modelos para estimar erosión y producción de sedimentos, incorporándoseles con el tiempo mejoras en la medida en que se avanza en la investigación y el conocimiento del área.

La erosión hídrica debe ser analizada desde varios puntos de vista tales como: pérdida de la capacidad productiva de los suelos; producción de sedimentos o como un factor de degradación ambiental.

1.4 Problemática de la falta de datos

La falta de datos dificulta las aplicaciones de los nuevos modelos que han sido desarrollados para la estimación de la pérdida de suelo, como son los modelos computarizados.

Por otra parte, es necesario generar datos en forma rápida y eficiente para las condiciones que puedan presentarse, siendo esto de suma importancia para los investigadores del área de la conservación de los recursos naturales. Más aún si se dispone de pocos recursos para realizar la investigación.

1.5 El enfoque de parcelas de erosión

Las parcelas de erosión son utilizadas para la medición de la pérdida de suelo. Estas han sido de mucha utilidad para diversos investigadores que han realizado sus ensayos utilizando éstas como un instrumento eficaz para determinar las posibles causas que afectan directa o indirectamente la degradación del medio ambiente.

Mediante la utilización de parcelas de erosión el investigador puede tener una visión a escala de las pérdidas de suelo que puedan ocurrir en determinado momento producidas por diferentes eventos de precipitación que generen una lluvia erosiva. Estas parcelas son implementadas de la manera más conveniente según los requerimientos y objetivos de la investigación que se quiera realizar.

En Venezuela se han utilizado parcelas de erosión pudiéndose citar a Pérez (1989), quien utilizando parcelas de erosión, evaluó el efecto de la cobertura de la papa y del pasto sobre la erosión de los suelos bajo prácticas agronómicas de manejo en Los Andes venezolanos, por otro lado, Fernández (1989), evaluó algunas prácticas de conservación de suelos y aguas en tierras de una cuenca alta donde se desarrolló la horticultura utilizando para ello parcelas de erosión, de igual forma, Montesdeoca (1989), quien evaluó algunas prácticas culturales conservacionistas en tierras agrícolas de la región andina venezolana

utilizando también parcelas de erosión.

1.6 Los simuladores de lluvia

El uso de los simuladores de lluvia para realizar estudios relacionados con el área de la conservación de suelos es un instrumento muy eficaz para la generación de datos siempre y cuando se tengan presente las limitaciones que éstos puedan presentar.

Según Meyer (1965), las ventajas del uso de estos equipos son:

- Obtención rápida y eficiente de datos y resultados en sistemas de manejo y cultivos.
- Mayor control sobre los sistemas colectores haciéndose observaciones directas durante la ocurrencia de los eventos.
- Se seleccionan la duración e intensidad de la lluvia y los tipos de tratamiento a evaluar.
- Los resultados obtenidos son comparables para localidades con diferentes patrones de lluvia.
- Más adaptables a condiciones de laboratorio altamente controlados para estudios sobre procesos y mecanismos de erosión.

Rojas (1976), señala que los primeros simuladores de lluvias fueron diseñados en los Estados Unidos para el estudio de la erosión hídrica. Siendo también utilizados para estudiar el comportamiento de diferentes combinaciones de suelo - cobertura - pendiente, intensidad de lluvia y estado de humedad del suelo.

En nuestro país se cuenta con muy poca información sobre la utilización de simuladores de lluvia para determinar pérdida de suelo, sólo se conoce un estudio realizado por Vázquez (1979), quien utilizó un simulador de lluvia construido en el Laboratorio de Hidráulica de la de La Universidad de Los Andes (ULA) con apoyo del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT); y las experiencias realizadas en la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de

Venezuela (FAGRO-UCV), Pla (1978), citado por Rodríguez (1989); las cuales han generado información aceptable a través de varios ensayos con la aplicación de este método.

Rojas (1997), asegura que los simuladores de lluvias son utilizados combinados con parcelas experimentales, a fin de que cada una de ellas represente un tratamiento de combinaciones de intensidades de lluvia y suelo - cobertura. Confirma que los simuladores de lluvia pueden ser de intensidad variable o constante

1.7 Justificación del estudio

En el manejo de cuencas hidrográficas se debe tomar en cuenta la conservación de los suelos que conforman esta unidad territorial, para ello los profesionales implicados en la elaboración de planes de conservación de los recursos naturales existentes en las cuencas altas, deben obtener datos sobre el comportamiento del suelo en forma detallada para poder clasificar, evaluar las potencialidades y conocer las limitaciones del uso que se les destine a las tierras, debido a esto es necesario generar y obtener datos detallados del proceso de erosión.

Por otra parte, algunos investigadores encargados del estudio del comportamiento del suelo, debido a la falta de recursos económicos existentes para desarrollar los experimentos se ven en la necesidad de desarrollar metodologías sencillas y prácticas para medir la erosión.

1.8 Objetivos

- Medir en campo la pérdida de suelo en diferentes métodos de siembra y cobertura mediante el uso de un simulador de lluvia portátil.
- Evaluar metodologías de estimación de la erosión como son: La Ecuación Universal de

Perdidas de Suelo “USLE” desarrollada por Wischmeier y Smith (1978), y su variación hecha por Onstand y Foster (1975). La “MUSLE”, modificación de la “USLE” hecha por Williams (1975) y dos variaciones recientemente desarrolladas también por Williams (1995), contenidas dentro del texto del manual de operación en el programa “*Erosion Productivity Impact Calculator*” (EPIC) Williams (1995).

2. ANTECEDENTES

2.1 Historia de las ecuaciones de pérdida de suelo.

Según Wischmeier y Smith (1978), el desarrollo de las ecuaciones para calcular pérdidas de suelo en campo empezaron aproximadamente en 1940 en el llamado Cinturón de Maíz en los Estados Unidos de América. El procedimiento que estima la pérdida de suelo que se desarrolló en esa región entre 1940 y 1956 ha sido generalmente referido como el método de la práctica de la pendiente. Zingg (1940), publicó una ecuación de la proporción de pérdida de suelo relacionando la longitud y el porcentaje de la pendiente del terreno. El año siguiente Smith (1941), agregó los factores del cultivo y prácticas de conservación, además del concepto de límite específico de pérdidas de suelo, desarrollando un método gráfico para determinar las prácticas de conservación en el condado de Shelby y las tierras asociadas del Medio Oeste de los Estados Unidos. Browing (1947), en colaboración con sus asociados, agregó los factores de suelo y manejo, además elaboró una serie de tablas para simplificar el uso en campo de la ecuación en Iowa. El personal científico de investigación y operación del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) en los estados Centrales Nortes, trabajando conjuntamente, desarrollaron el método de la pendiente para su uso a lo largo del Cinturón de Maíz.

Refiere también Wischmeier y Smith (1978) que, un comité nacional se reunió en Ohio en 1946 para adaptar la ecuación del Cinturón de Maíz a tierras de cultivo en otras regiones. Este comité evaluó los valores de los factores utilizado y agregó un factor de lluvia. La fórmula resultante, generalmente conocida como la Ecuación de Musgrave

(1947), se ha usado ampliamente para estimar la erosión de las cuencas en programas de control de inundaciones. Una solución gráfica de la ecuación se publicó en 1952 y fue usada por el SCS en los Estados Nororientales de los Estados Unidos.

La ecuación de pérdidas de suelo presentada en el manual elaborado por Wischmeier y Smith (1978), se ha conocido como la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo USLE. Sin tener en cuenta si la designación es totalmente exacta, el nombre distingue esta ecuación de las ecuaciones regionalizadas basadas en la pérdida de suelo. La USLE se desarrolló en el Centro Nacional de Datos de Esguerrimiento y Pérdidas de Suelo establecido en 1954 por la Administración de la Ciencia y la Educación, anteriormente el Servicio de la Investigación Agrícola, en cooperación con la Universidad de Purdue de los Estados Unidos.

Con la cooperación del Estado Federal, se proyectó la investigación en 49 localidades contribuyentes con más de 10.000 parcelas - año, para generar datos de esguerrimiento básico y pérdidas de suelo, siendo en el Centro Nacional de Datos de Esguerrimiento y Pérdidas de Suelo donde se resumieron los datos recolectados y se elaboraron los análisis estadísticos globales. Luego en la década de los años 60, utilizando simuladores de lluvia fabricados en Indiana, Georgia, Minnesota y Nebraska, instalados en parcelas de campo en 16 estados, se corrigieron y estimaron algunos datos faltantes necesarios para la evaluación de los factores de la ecuación.

Los análisis de los datos básicos hechos en esta asamblea proporcionaron grandes mejoras a la ecuación de pérdidas de suelo, como fue la introducción de:

- a) Un índice de erosividad de la lluvia evaluado basándose en las características locales de la precipitación.
- b) Un factor de erosionabilidad del suelo cuantitativo que se evalúa directamente de los datos de las propiedades del suelo que es independiente de la topografía y diferencias de lluvia.

- c) Un método de evaluación de la cobertura y del efecto del manejo respecto a las condiciones climáticas locales.
- d) Un método que considera los efectos de interacciones entre el sistema de cultivo, nivel de productividad, las prácticas aplicadas al cultivo y el manejo de los residuos.

Los desarrollos hechos desde 1965 han extendido el uso de la ecuación de pérdidas de suelo proporcionando técnicas de estimación evaluando factores en sitio para los diferentes usos de las tierras, condiciones climáticas y prácticas de manejo. Estos han incluido un nomograma para el factor de erosionabilidad del suelo para tierras agrícolas y áreas para la construcción, factor topográfico para las pendientes irregulares, factores para rangos de coberturas y bosques, manejo de la cobertura donde se apliquen prácticas de conservación de cultivos, predicción de la erosión en áreas de la construcción, valores de índice de erosión estimados para los estados Occidentales y Hawaii, el factor de erosionabilidad del suelo para la referencia de la tierra en Hawaii y mejoró los diseños y evaluaciones de prácticas de soporte del control de la erosión.

La investigación ha continuado haciendo énfasis en obtener un mejor entendimiento de los principios básicos en los procesos de la erosión hídrica y la sedimentación, además en el desarrollo de modelos fundamentales capaces de predecir las pérdidas de suelo específica y la deposición de sedimentos a través del flujo. Estos modelos fundamentales han sido muy útiles para entender los factores de la ecuación de pérdidas de suelo en campo y para interpretar los datos generados en las parcelas.

Según Robinson (1979), la USLE deducida por Wischmeier y Smith (1978), no tiene límites geográficos, pero su aplicación en muchos países está limitada en el presente por falta de datos. El mismo autor sostiene, la probable falta de exactitud se manifiesta cuando se estudian pendientes y texturas extremas y, además en regiones donde las fuerzas erosivas sean principalmente por el flujo procedente de aguas arriba y no por la energía cinética dispersora de las gotas de lluvia.

2.2 La medición de la erosión hídrica

Hudson (1976), divide las observaciones de campo para la medición de la erosión en: evaluaciones del cambio en el nivel superficial, evaluaciones de la evolución de la erosión en cárcavas, las parcelas de erosión propiamente dichas y los experimentos realizados con simuladores de lluvia, los cuales en condiciones apropiadas reportan resultados confiables.

Por otro lado dentro de los métodos para medir la erosión hídrica citados por el CP-SARH (1977), se encuentran el de “las parcelas de escurrimiento”. A los fines de la medición de pérdidas de suelo ocasionadas por erosión hídrica, en tierras de explotación agrícola, estas parcelas resultan ser la metodología más adecuada por su facilidad de manejo y cuantificación del escurrimiento y pérdida de suelo generados por la precipitación y demás factores actuantes.

Según la FAO (1980), Dentro de los métodos para identificar y evaluar los tipos de degradación del suelo incluida la erosión hídrica, están los siguientes:

- Observaciones visuales sencillas.
- Inferencias a partir de factores ambientales: clima, suelo, topografía y factores humanos.
- Modelos paramétricos como la Ecuación Universal de Perdida de Suelo USLE y sus modificaciones MUSLE y RUSLE.
- Determinaciones de campo y de laboratorio: parcelas y bandejas de erosión, copas de salpicadura, con ayuda de simuladores de lluvia.

2.3 Los simuladores de lluvia

Horton (1938), fue uno de los primeros investigadores relacionado con estos equipos, e ideó un procedimiento para el análisis de la información obtenida de los ensayos con simuladores de lluvia y posteriormente desarrolló una ecuación de infiltración basada

en ese análisis. Por otro lado Izzard (1944), realizó experimentos con simuladores de lluvia sobre superficies impermeables, obteniendo valiosas conclusiones que hoy día forman parte de la base científica de la hidrología. Un poco más tarde Moran (1958), citado por Zachar (1982), utilizando simuladores de lluvia observó que un incremento de 8,3 veces, en la intensidad de lluvia, estaba asociado con un incremento de 201 veces el escurrimiento y un incremento de 4.214 veces en la pérdida de suelo.

En Venezuela Vázquez (1979), estableció un modelo de predicción de pérdidas de suelo por cada hora de lluvia, utilizando un simulador. Este autor recomienda la necesidad de seguir investigando sobre el tema pero incluyendo pruebas en el campo. En los Estados Unidos de América (USA), Jennings et al. (1986) realizaron un estudio, para determinar el efecto del encharcamiento superficial causado por el impacto de la gota de lluvia simulada, en la conductividad hidráulica de suelos perturbados. Las pruebas de infiltración fueron dirigidas a muestras de suelo expuestas a duraciones, intensidades y frecuencias iniciales de lluvia diferentes. El mismo año Johnson et al. (1986), evaluaron en el sudoeste de Idaho (USA), mediante la aplicación de lluvia simulada, los efectos de la materia orgánica, la densidad volumétrica del suelo, la topografía del terreno, el dosel de vegetación y del almacenamiento en depresiones sobre el escurrimiento superficial, infiltración y en la pérdida de suelo, en pequeñas parcelas circulares. También Steichen et al. (1986), realizaron un experimento a largo plazo y demostraron, mediante el uso de un simulador de lluvia en un suelo desnudo producto de la quema y remoción de la paja de trigo, que se producía una infiltración significativamente más baja que en las parcelas donde el residuo se incorporó al suelo. Así mismo McIsaac et al. (1986), realizaron una evaluación del efecto del cultivo en hileras sobre el escurrimiento, pérdida de suelo y de nutrientes mediante la aplicación de lluvia simulada, en el centro de Illinois, (USA). Igualmente se tiene conocimiento que Alberts et al. (1986), determinaron la variación temporal en la erosionabilidad de dos suelos en dos años consecutivos utilizando simulación de lluvia. Además Finker et al. (1986), utilizaron un simulador de lluvia, para medir los efectos de las proporciones variantes de residuos de sorgo y soya en el suelo, sobre el escurrimiento y la erosión. Volviendo a nuestro país Paéz y Pla (1989), evaluaron la eficiencia de diferentes "Índices de estabilidad estructural" con relación a la evaluación de la erosionabilidad de los

suelos con la aplicación del simulador de lluvia tipo boquilla diseñado por Rodríguez y Rodríguez (1984). En este mismo estudio se midió el “Índice de separabilidad” desarrollado por Ellison (1948), utilizando un simulador de lluvia tipo gotero diseñado por Pla (1978). Por otro lado y siguiendo con el mismo orden de ideas Rodríguez et al. (1986), evaluaron el efecto de la labranza y cobertura en la erosión y escorrentía conduciendo ensayos bajo condiciones de lluvias simuladas. En la década de los noventa conocemos que en Maracay, Urbina et al. (1995), con el objeto de evaluar el efecto de los abonos orgánicos sobre la erosión y el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo, realizaron un ensayo utilizando un simulador de lluvia donde se determinaron las pérdidas de suelo de los 10 cm superficiales. En Europa también se tiene conocimiento de la utilización de estos equipos por parte de Serrada et al. (1997), quienes presentaron un método para simular lluvias torrenciales en parcelas experimentales, a fin de analizar sus efectos en las mismas, dependiendo del grado de sus cubiertas vegetales y/o distintos tipos de preparaciones del suelo para las repoblaciones forestales.

2.4 Aplicación de la información obtenida con la ayuda de simuladores de lluvia

Rojas (1976), señala que la información que se produce en ensayos con los simuladores de lluvia es de suma importancia para:

- a) Estudios hidrológicos. En estos estudios es necesario la estimación de la producción de escorrentía y sedimentos de la cuenca o región a estudiar. Cuando no existan datos, entonces será necesario hacer las estimaciones basándose en estudios locales. El simulador de lluvia, en éstos casos, será de gran utilidad.
- b) Estudios de erosión y producción de sedimentos. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE, fue desarrollada con datos de parcelas de erosión y con simuladores de lluvias, por lo que se considera que éstos constituyen una herramienta práctica para determinar los parámetros de esta ecuación de una manera simple y a bajo costo.
- c) Desarrollo y comprobación de modelos escorrentía y sedimentos. Muchos modelos y

los estudios iniciales de las relaciones precipitación escorrentía han sido desarrollados con el apoyo de simuladores de lluvia. Estos equipos seguirán siendo de gran utilidad en la obtención de datos para el desarrollo y la comprobación de nuevos modelos.

- d) Estudios de infiltración con diferentes combinaciones de suelo y cobertura. Cabe mencionar que los primeros simuladores de lluvia fueron diseñados y utilizados para tal fin. Al aplicar la metodología propuesta por este autor se podrán obtener curvas de infiltración en la ejecución de los ensayos.
- e) Estudios de manejo de suelos. La utilización del simulador de lluvia es de gran utilidad, toda vez que permitirá un ahorro de tiempo y recursos en la ejecución de actividades relacionadas con el manejo de suelo, como es la preparación, mecanización y siembra, entre otras.
- f) Estudios ambientales. Este aparato contribuirá en la evaluación de la contaminación por pesticidas aguas abajo y de pérdidas de nutrientes del suelo en la producción de sedimentos.

Por otro lado, Rodríguez et al. (1989), mencionan que las aplicaciones del simulador de lluvia debe enfocarse hacia la obtención de datos relativos para la comparación de diversos suelos y tratamientos de uso y manejo, lo cual posibilita establecer relaciones entre esos valores relativos obtenidos en condiciones de laboratorio o campo y los valores de estudios en condiciones naturales. Debiendo tener cuidado en la extrapolación de los valores necesarios cuando no se cuente con datos en condiciones naturales. Este mismo autor afirma que los campos de aplicación son múltiples, por ejemplo menciona:

- Estudios de ersionabilidad relativa de suelos.
- Evaluación de tratamientos para el control de la erosión.
- Estudios del problema de encostramiento y sellado de los suelos.
- Estudios de las relaciones suelo - agua - planta.
- Establecimiento de coeficientes de escorrentía relativos para diferentes condiciones del

complejo suelo - cobertura - topografía.

3. METODOLOGIA

3.1 Selección del sitio de estudio

Los ensayos se realizaron en la estación experimental de la hacienda Santa Rosa, Distrito Libertador del Estado Mérida sede del Instituto de Investigaciones Agropecuarias de la Universidad de Los Andes (I.I.A.P.- U.L.A.) de coordenadas 08°38'21'' de latitud norte y 71°08'48'' longitud oeste, con una altitud aproximada de 1950 msnm.

El clima es subtropical con dos estaciones marcadas, el viento predominante es de norte a sur. La precipitación esta caracterizada por un régimen bimodal, presentándose los picos mayores en mayo y octubre.

Montesdeoca (1989), utilizando la clasificación propuesta por Holdrige (1978), clasificó la Zona de Vida como Bosque Húmedo Premontano. Según Romero (1980), citado por Montesdeoca (1989), el suelo es un Humitropept típico familia esquelética franca, mixta e isotérmica, con régimen de humedad Udico. La pendiente media de las áreas, utilizadas en el presente estudio se encuentra dentro un rango comprendido entre 5 y 20%.

En este sitio se dieron condiciones favorables para la siembra del cultivo agrícola, además hubo existencia de pasto, los cuales fueron utilizados como coberturas vegetales en el experimento. En el sitio existe un sistema de riego por aspersión con una buena fuente de agua, además de una serie de equipos y materiales indispensables que fueron adecuados para la realización del experimento.

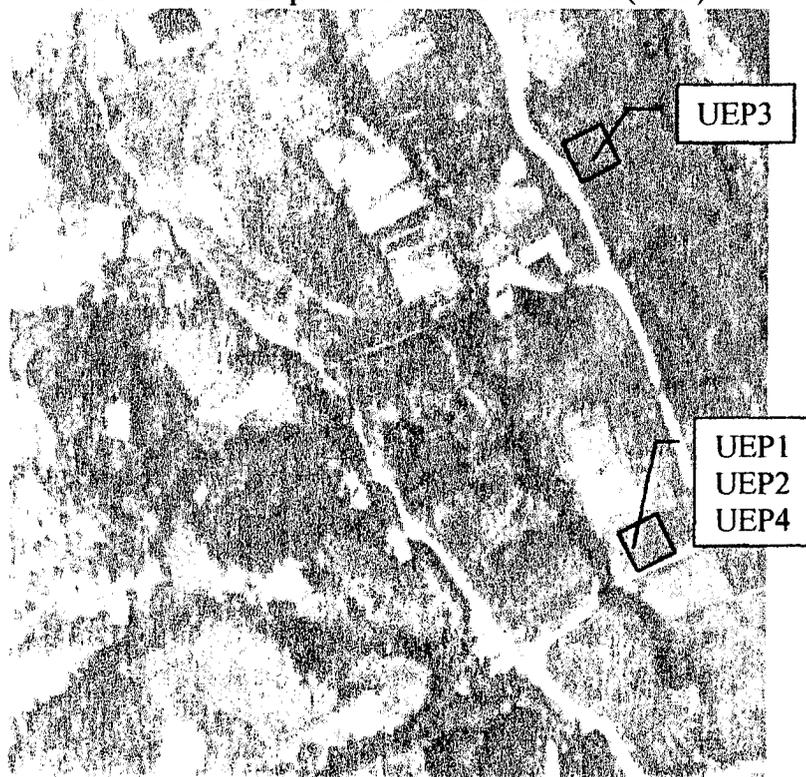
La ubicación de la hacienda Santa Rosa fue muy favorable debido a la cercanía con las Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de La Universidad de Los Andes, donde

funciona un laboratorio de suelo del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales que sirvió de apoyo para realizar los análisis de las muestras de suelo. Por otro lado, en el I.I.A.P. trabajan una serie de profesionales investigadores de esta área del saber que fueron de mucha utilidad como asesores y consultores en la ejecución del trabajo de campo.

3.2 Selección de las áreas para la experimentación

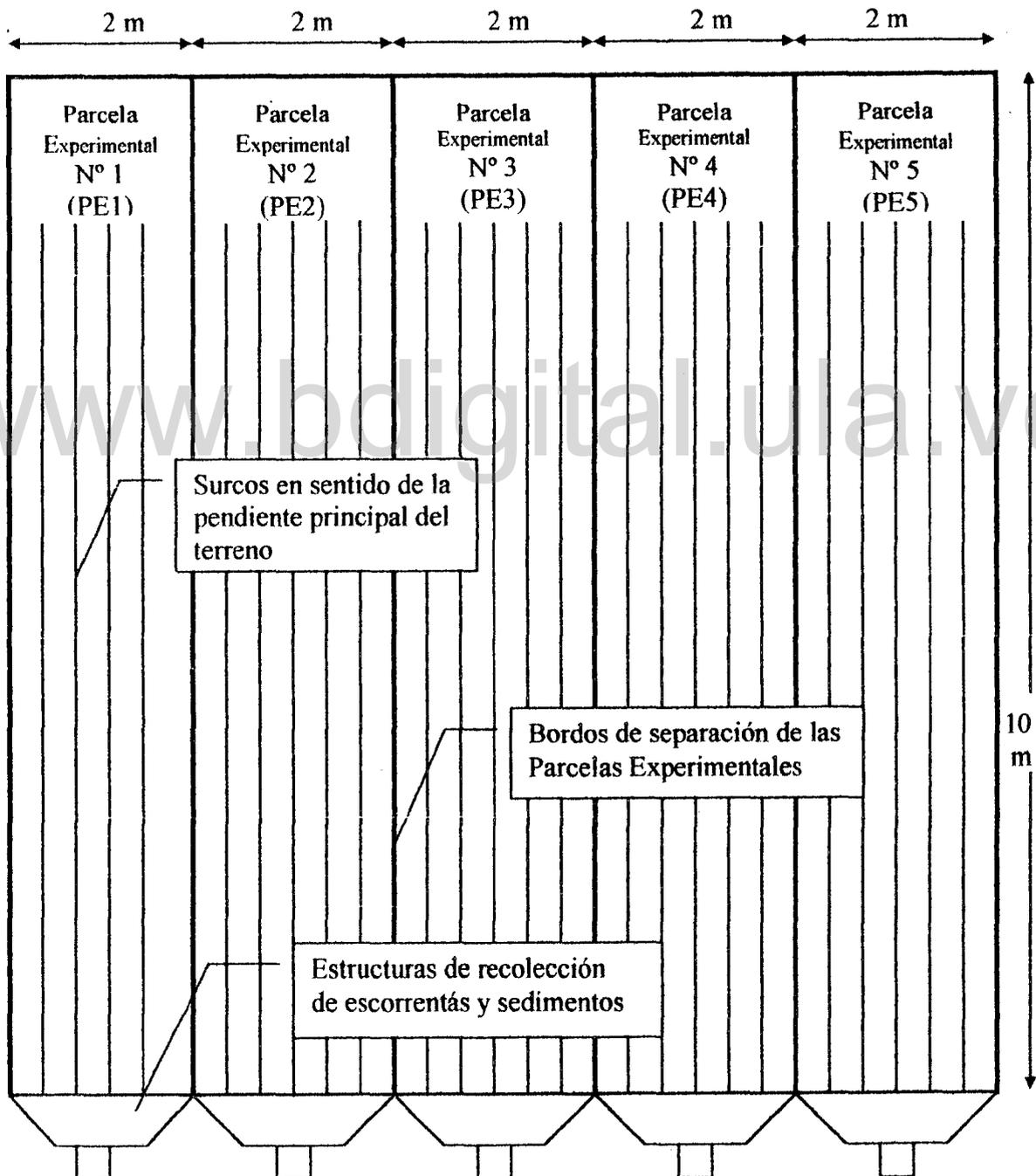
Se seleccionaron las tierras en el IIAP, que disponían de una toma de riego para instalar el simulador de lluvia y que presentaran diferentes pendientes del terreno. La figura 1 presenta la ubicación de las áreas seleccionadas.

Figura 1: Hacienda Santa Rosa.
Instituto de Investigaciones Agropecuarias (IIAP).
Ubicación del área de estudio.
Unidades de Experimentación Parcelarias (UEP).

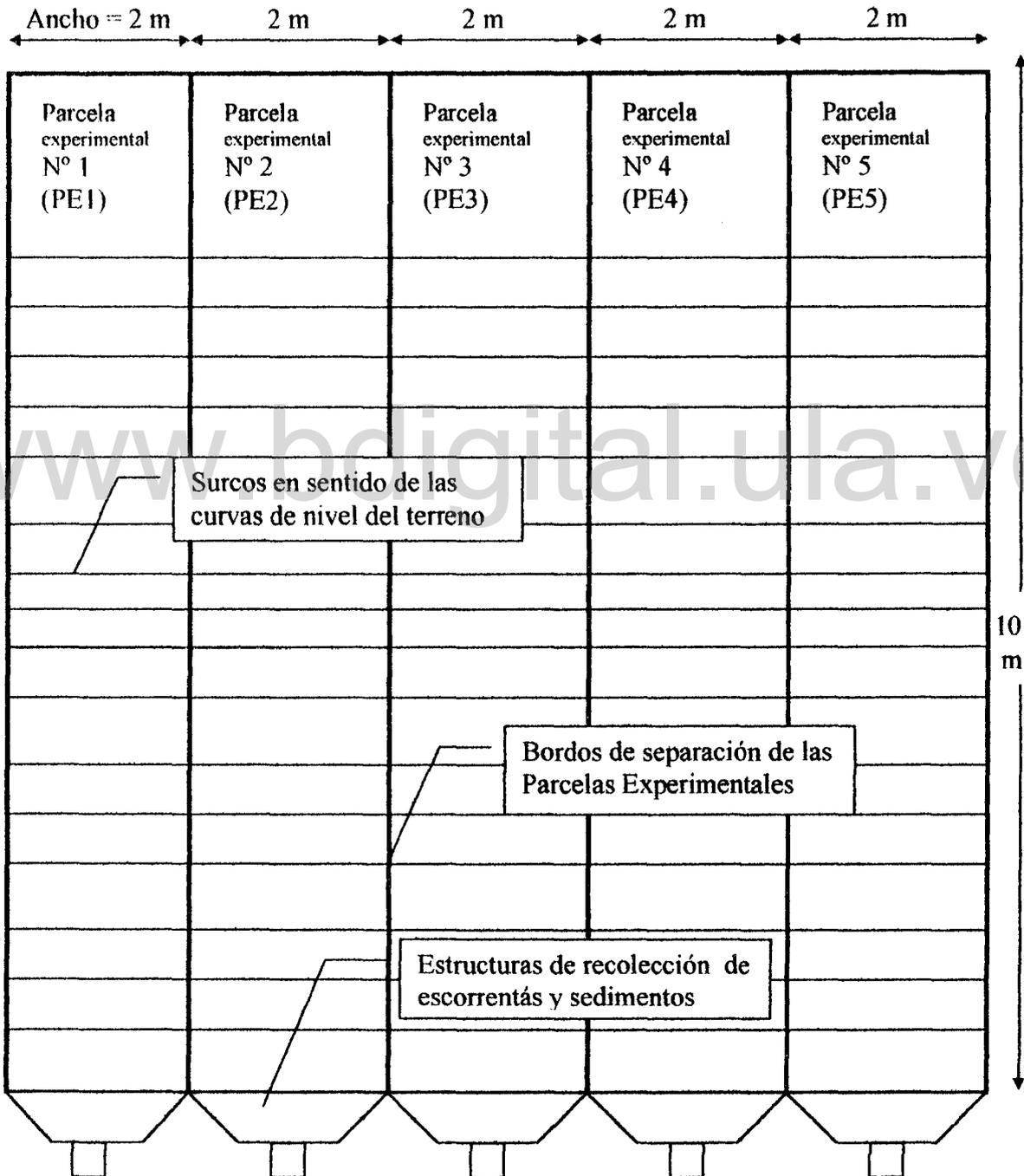


3.2.1 Conformación de las unidades de experimentación parcelarias (UEP) y Parcelas experimentales, (PE). En los croquis que se presentan a continuación se muestran los detalles.

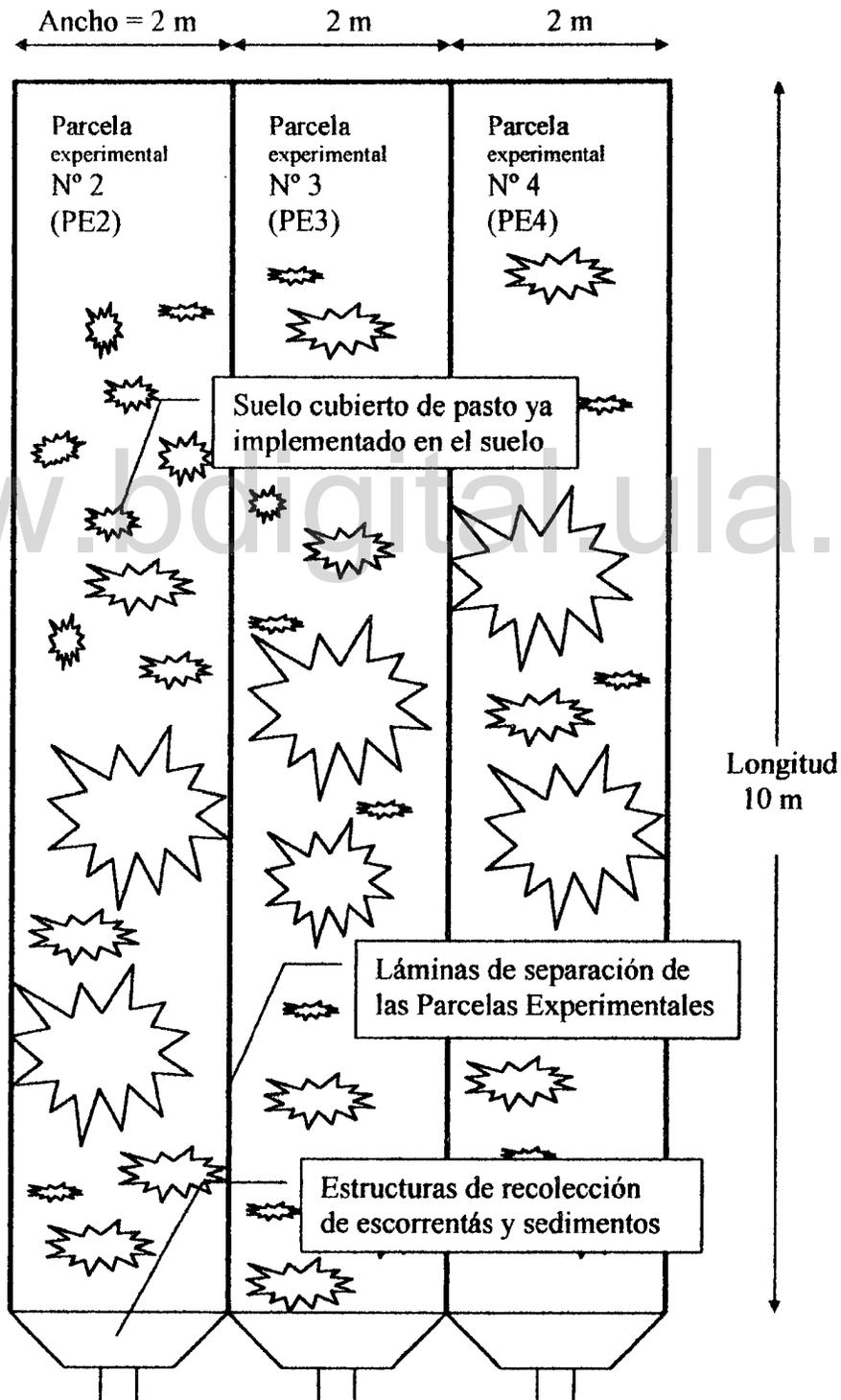
Croquis N° 1: Unidad de Experimentación Parcelaria N° 1, (UEP1): Cultivo de zanahoria como cobertura vegetal, sembrada en surcos siguiendo el sentido de la pendiente principal, con 5 parcelas experimentales (PE) separadas por bordos.



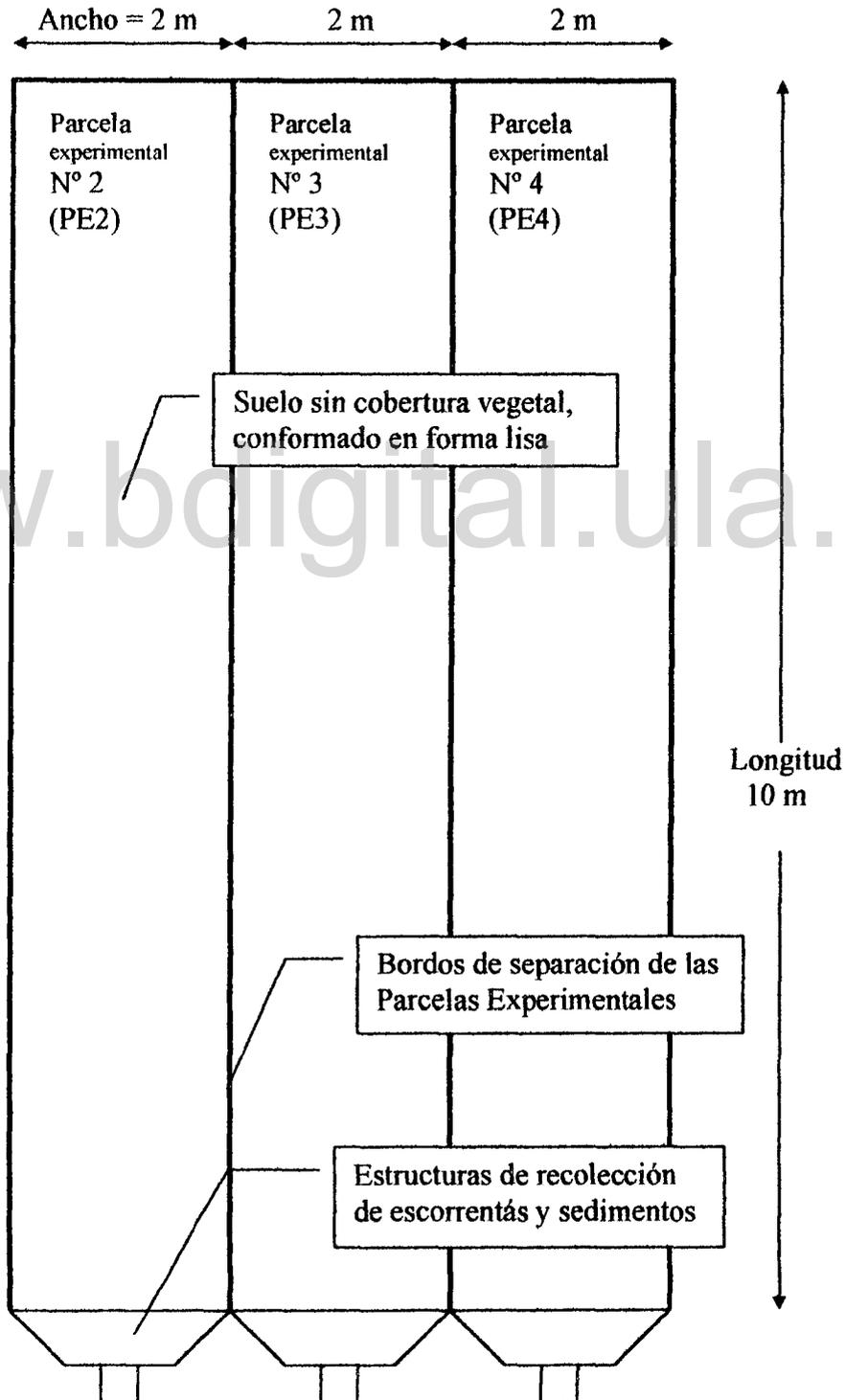
Croquis N° 2: Unidad de Experimentación Parcelaria N° 2, (UEP2): Cultivo de zanahoria como cobertura vegetal, sembrada en surcos siguiendo el sentido de las curvas de nivel, con 5 parcelas experimentales (PE) separadas por bordos.



Croquis N° 3: Unidad de Experimentación Parcelaria N° 3, (UEP3): Cultivo de pasto como cobertura vegetal ya implementado en el suelo, con 3 parcelas experimentales (PE) separadas por láminas de zinc.



Croquis N° 4: Unidad de Experimentación Parcelaria N° 4, (UEP4): Suelo sin cobertura vegetal preparado en forma lisa, 3 parcelas experimentales (PE) separadas por bordos.



En la figura 2 se observa la conformación de la unidad de experimentación parcelaria 3, con 3 parcelas experimentales.



Figura 2: Parcelas Experimentales (PE) separadas por láminas de Zinc. (UEP3).

En la figura 3 se observa la conformación de la unidad de experimentación parcelaria 4.



Figura 3: Parcelas Experimentales (PE) separadas por camellones. (UEP4).

Dentro de cada parcela experimental se recolectaron muestras de suelo para su respectivo análisis en el laboratorio. La figura 4 muestra el sistema de recolección de escorrentía y sedimentos que consistió de una estructura de hierro galvanizado de 2 metros de ancho con forma de triángulo, y una zanja de drenaje en donde se introdujo un envase de plástico o tanque de recolección para realizar las mediciones volumétricas del caudal y la recolección de los sedimentos contenidos en la escorrentía.



Figura 4: Sistema de recolección.

3.3 El simulador de lluvia

El sistema de simulación de lluvia que se utilizó consistió en una fuente de agua representada por la tubería de riego y un sistema de tuberías donde se encontraban los emisores, los cuales eran regaderas rotativas tipo mariposa, colocadas verticalmente y de difusión circular, la figura 5 muestra en detalle uno de estos accesorios.

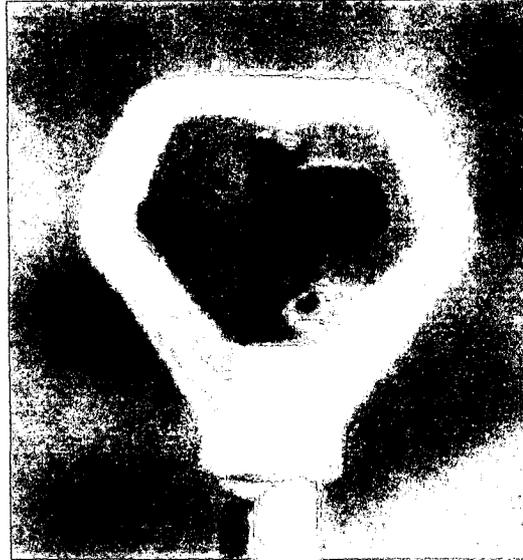
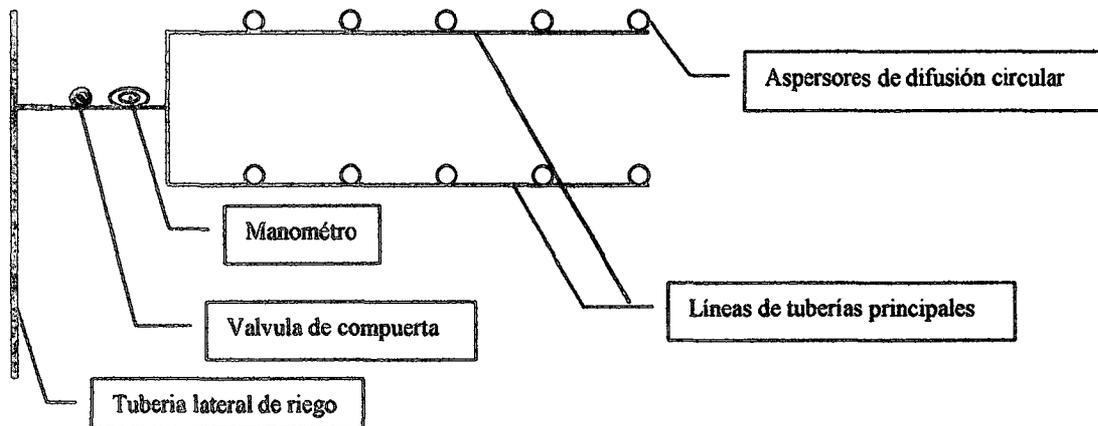


Figura 5: Aspersor tipo mariposa.

3.3.1 Construcción del simulador de lluvia: el croquis N° 5, muestra un esquema del simulador de lluvia con sus componentes.

Croquis N° 5: esquema de la vista superior del simulador de lluvia.



En la Figura 6 se observa el simulador de lluvia con sus 2 líneas de tuberías y sus 10 aspersores en funcionamiento, también se aprecian también los envases colectores de la precipitación que fueron utilizados como pluviómetros.

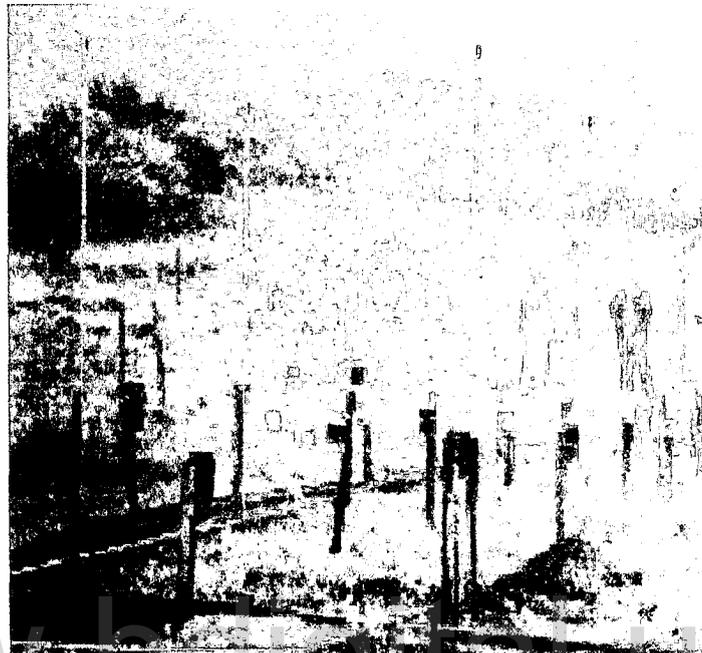


Figura 6: El simulador de lluvia en funcionamiento.

3.3.2 Prueba del equipo de simulación de lluvia

Se realizaron las pruebas pertinentes con los componentes del simulador de lluvia para conocer la intensidad de lluvia efectiva que generaba el aparato y se midieron, utilizando un manómetro, las presiones existentes en el sistema principal del simulador de lluvia.

Luego de ensamblar el simulador de lluvia, se instaló en el terreno, se colocaron estratégicamente los pluviómetros para medir el volumen de la precipitación y se puso a funcionar el aparato y se obtuvo un estimado de la intensidad media en cada parcela experimental y para cada prueba, además se utilizó el programa “*Surfer*” (1994), con el cual se obtuvieron la distribución espacial y tridimensional de la precipitación. Algunos de los resultados pueden ser consultados en las figuras 7 a la 14 del anexo 1.

El simulador produce diferentes intensidades de lluvia. La parcela experimental que queda dentro de las líneas de tuberías del simulador recibe una intensidad de lluvia mayor, mientras que las que se encuentran a ambos lados de estas líneas de tuberías reciben una intensidad de lluvia un poco menor y finalmente las más alejadas de estas líneas reciben una intensidad de lluvia mucho menor. De esta manera en una misma unidad de experimentación parcelaria se obtienen diferentes tratamientos de lluvia dentro de las cinco o tres parcelas experimentales que la conformaban.

Por otro lado se realizó en cada parcela experimental el levantamiento altimétrico para conocer la pendiente existente mediante mediciones a cada dos metros de longitud, en las figuras 15 a la 22 del anexo 1, se representa el levantamiento topográfico y la configuración tridimensional de las unidades de experimentación parcelarias.

3.4 Tratamientos (T): los tratamientos fueron realizados para hacer mediciones con diferentes grados de coberturas, sistemas de siembra e intensidades de lluvia.

T1. Cultivo en suelo preparado en surcos siguiendo el sentido de la pendiente principal del terreno, (SP). En 5 parcelas experimentales con diferentes intensidades. Para 3 pruebas efectuadas.

T2. Cultivo en suelo preparado en surcos siguiendo las curvas de nivel del terreno, (CN). En 5 parcelas experimentales con diferentes intensidades. Para 3 pruebas efectuadas.

T3. Pruebas en pasto a diferente grado de cobertura. En 3 parcelas experimentales con diferentes intensidades. Para 8 pruebas efectuadas.

T4. Pruebas en suelo desnudo o barbecho. En 3 parcelas experimentales con diferentes intensidades. Para 2 pruebas efectuadas.

El cuadro 1, presenta el resumen de los tratamientos realizados y mediciones preliminares efectuadas antes de la ejecución de cada prueba con el simulador.

Cuadro 1: Tratamientos y Mediciones Preliminares.

Cuadro 1: TRATAMIENTOS Y MEDICIONES PRELIMINARES													
cultivo	Tratamientos			Cobertura	Pendiente	Humedad	Textura			ρ	Retencion de Humedad		Mat. Organic
	siembra	prueba	Parcela	%	%	%	%a	%A	%L	gr/cm2	1/3 atm	15 atm	% M.O.
Z A N A H O R I A	SP	1	1	0	5,45	16,41	56	14	30	1,80	20,43	10,83	3,76
			2	0	6,75	15,34	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76
			3	0	5,85	13,51	54	12	34	1,80	20,43	10,83	3,76
			4	0	5,95	12,87	56	12	32	1,80	20,43	10,83	3,76
			5	0	5,35	19,76	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76
	CN	2	6	0	5,79	16,14	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76
			7	0	6,10	15,61	56	14	30	1,80	20,43	10,83	3,76
			8	0	6,15	14,09	52	18	30	1,80	20,43	10,83	3,76
			9	0	6,00	13,25	50	16	34	1,80	20,43	10,83	3,76
			10	0	6,05	16,96	50	16	34	1,80	20,43	10,83	3,76
	CN	3	6	45	5,79	23,61	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76
			7	46	6,10	19,62	56	14	30	1,80	20,43	10,83	3,76
			8	48	6,15	20,19	52	18	30	1,80	20,43	10,83	3,76
			9	58	6,00	22,10	50	16	34	1,80	20,43	10,83	3,76
			10	76	6,05	20,77	50	16	34	1,80	20,43	10,83	3,76
	SP	4	1	39	5,45	22,70	56	14	30	1,80	20,43	10,83	3,76
			2	54	6,75	20,19	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76
			3	44	5,85	19,76	54	12	34	1,80	20,43	10,83	3,76
			4	64	5,95	19,33	56	12	32	1,80	20,43	10,83	3,76
			5	73	5,35	19,76	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76
	SP	5	1	6	5,45	13,76	56	14	30	1,80	20,43	10,83	3,76
			2	6	6,75	10,38	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76
			3	5	5,85	10,62	54	12	34	1,80	20,43	10,83	3,76
			4	4	5,95	9,17	56	12	32	1,80	20,43	10,83	3,76
5			6	5,35	11,13	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76	
CN	6	6	25	5,79	7,99	54	14	32	1,80	20,43	10,83	3,76	
		7	11	6,10	10,13	56	14	30	1,80	20,43	10,83	3,76	
		8	28	6,15	13,77	52	18	30	1,80	20,43	10,83	3,76	
		9	10	6,00	12,87	50	16	34	1,80	20,43	10,83	3,76	
		10	30	6,05	14,16	50	16	34	1,80	20,43	10,83	3,76	
P A S T O	E	7	1	100	14,00	143,90	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			2	100	15,37	170,27	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			3	100	15,25	177,78	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
	S	8	1	100	14,00	113,33	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			2	100	15,37	179,04	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			3	100	15,25	186,85	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
	T	9	1	75	14,00	113,33	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			2	75	15,37	179,04	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			3	75	15,25	186,85	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
	E	10	1	50	14,00	30,65	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			2	50	15,37	33,57	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			3	50	15,25	31,06	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
	11	1	1	50	14,00	51,05	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			2	50	15,37	56,24	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			3	50	15,25	54,72	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
P A S T	E	12	1	25	14,00	31,58	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			2	25	15,37	26,74	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			3	25	15,25	42,05	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
	S	13	1	0	14,00	53,85	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60

O	T E N T E	14	2	0	15,37	21,21	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			3	0	15,25	42,86	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			1	0	14,00	8,76	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			2	0	15,37	6,61	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			3	0	15,25	8,70	54	4	42	1,32	44,30	40,12	20,60
			D E S N U D O	L I S O	15	1	0	7,92	48,71	56	14	30	1,80
2	0	7,80				55,71	52	18	30	1,80	20,43	10,83	3,76
3	0	7,92				33,75	50	16	34	1,80	20,43	10,83	3,76
16	1	0			7,92	49,35	56	14	30	1,80	20,43	10,83	3,76
	2	0			7,80	53,39	52	18	30	1,80	20,43	10,83	3,76
	3	0			7,92	32,45	50	16	34	1,80	20,43	10,83	3,76

Debido a las características de este tipo de ensayo en el cual se miden todas las variables y parámetros que tienen influencia sobre la escorrentía y la producción de sedimentos, cada una de las parcelas estudiadas resulta diferente, en consecuencia los tratamientos resultantes que se obtuvieron dentro de las cuatro unidades de experimentación parcelarias generaron un total de 16 pruebas, divididas de la siguiente forma:

- En la unidad de experimentación parcelaria 1 se realizaron 3 pruebas, con 3 series de mediciones por parcela experimental para un subtotal de 15 series.
- En la unidad de experimentación parcelaria 2 se realizaron 3 pruebas, con 3 series de mediciones por parcela experimental para un subtotal de 15 series.
- En la unidad de experimentación parcelaria 3 se realizaron 8 pruebas, con 8 series de mediciones por parcela experimental para un subtotal de 24 series.
- En la unidad de experimentación parcelaria 4 se realizaron 2 pruebas, con 2 series de mediciones por parcela experimental para un subtotal de 6 series.

En total se realizaron 60 series de mediciones durante toda la fase de campo de la investigación.

3.5 El ensayo

En cada uno de los ensayos se tomaron las muestras respectivas de suelo para conocer su humedad precedente. Iniciada la prueba se realizó la toma de muestras de la escorrentía en cada parcela experimental, una vez finalizado el tiempo del ensayo se procedió a tomar

las medidas de los pluviómetros instalados en las parcelas donde se conoció la intensidad y la distribución espacial de la precipitación que fue aplicada con el simulador de lluvia.

Las muestras de sedimentos se llevaron al laboratorio en donde se conoció el peso del sedimento por métodos gravimétricos secando las muestras con la estufa o empleando un Turbidímetro para medir la turbidez del agua de escorrentía (HELLIGE TURBIDIMETER; the turbidimeter without standarts. Manufacture in U.S.A. by Hellige, Inc. 877 Stewart Avs. Garden City, N.Y.).

3.5.1 Mediciones preliminares.

Las mediciones preliminares son aquellas que se efectuaron antes del inicio de cada prueba. Sus determinaciones en forma detallada pueden ser consultadas en el anexo 2, por otro lado el cuadro 1, expuesto anteriormente, muestra también el resumen de estas mediciones.

3.5.2 Montaje de la prueba.

Una vez realizadas las mediciones preliminares, se inició el ensayo, el cual se continuó hasta que la tasa de escorrentía se tornó constante: entre 1 hora y 1 ½ horas del inicio de la prueba. El tiempo de duración del ensayo dependió de las condiciones iniciales de las parcelas experimentales dentro de las unidades de experimentación parcelarias.

3.5.3 Mediciones durante la prueba.

- a) Tiempo de inicio del ensayo (t_0).
- b) Tiempo del encharcamiento (t_e), inicio de la detención superficial.
- c) Tiempo de escurrimiento, en que comenzó a moverse el agua y comenzó el almacenamiento superficial (t_{escu}), inicio del movimiento del agua.
- d) Tiempo de inicio de la escorrentía (t_{esco}).
- e) Escorrentía en función del tiempo (q). En la aplicación.

- f) Tiempo de finalización de lluvia (tf).
- g) Escorrentía en función del tiempo (q). En la recesión.
- h) Tiempo en que cesa la escorrentía (tr). Tiempo final de recesión.

3.5.4 Mediciones al final de la prueba.

- a) Volumen de agua contenido en los pluviómetros (Intensidad y Distribución de la lluvia).
- b) Volumen de agua contenido en las muestras y determinación del sedimento.

En el cuadro 2, se presenta un ejemplo de las mediciones durante y al final de las pruebas, para los datos de la parcela experimental 3, prueba 1, unidad de experimentación parcelaria 1.

Cuadro 2: Resumen de las mediciones durante la prueba para la parcela experimental 3, prueba 1, unidad de experimentación parcelaria 1.

Datos		Tiempo de la prueba		Volumen de las muestras	Tiempo de aforo	Peso sedimento	Comentario	Tiempo acumulado (tac)	Intensidad de la lluvia
prueba	parcela	min	seg	ml	seg	gr	Obs/# mu	min	mm/h
1	3	23	48				to	0,00	53,71
		24	50				te	1,03	
		27	13				tescu	3,42	
		28	45				tesco	4,95	
		30	43	592	7,50	20,60	25	6,92	
		33	0	660	6,78	29,50	26	9,20	
		36	56	630	4,13	30,29	27	13,13	
		38	11	736	4,47	37,25	28	14,38	
		42	2	780	3,87	38,00	29	18,23	
		44	49	874	3,97	40,11	30	21,02	
		48	38	700	3,15	35,12	31	24,83	
		52	47	743	3,34	38,15	32	28,98	
		57	20	846	3,80	43,42	33	33,53	
		2	10	702	3,10	35,12	34	38,37	
		10	24	750	3,09	40,12	35	46,60	
		15	42	732	2,91	43,54	36	51,90	
		23	48				tf	60,00	
		25	21	775	4,50	43,97	47	61,55	
		27	33	196	12,31	2,78	4	63,75	
		29	5	74	8,88	0,59	5	65,28	
30	35	60	10,97	0,44	7	66,78			
32	0	40	9,88	0,19	8	68,20			
37	3	42	19,75	0,16	10	73,25			
40	0				tr	76,20			

3.6 Procesamiento de la información.

3.6.1. Determinación de la escorrentía: La estimación del caudal de escorrentía, q , fue calculada mediante la razón del volumen recolectado en el envase, medido con una probeta graduada y el tiempo de llenado registrado con un cronómetro, este resultado fue convertido en la unidad de medición en que son expresados los resultados, milímetros por hora (mm/h). El ejemplo de cálculo de escorrentía puede ser consultado en el anexo 3.

3.6.2. Determinación de los sedimentos: La determinación en las muestras recolectadas en todas las pruebas, efectuadas en las unidades de experimentación parcelarias 1 y 2 y hasta la prueba 11 ejecutada en la unidad de experimentación parcelaria 3, fueron realizadas por métodos gravimétricos, las muestras de flujo recolectadas en cada parcela experimental, previamente medidas y colocadas en envases metálicos, fueron introducidas en la estufa de secado, luego por diferencia de peso, se obtuvo la cantidad sedimento contenido en la muestra y conocido el volumen de cada muestra su concentración, este resultado fue convertido en la unidad de medición en que son expresados los resultados, toneladas por hectárea por hora (t/ha*h). Otra forma de determinar los sedimentos fue por medio del Turbidímetro, el ejemplo de cálculo y la calibración del aparato pueden ser consultados en el anexo 3.

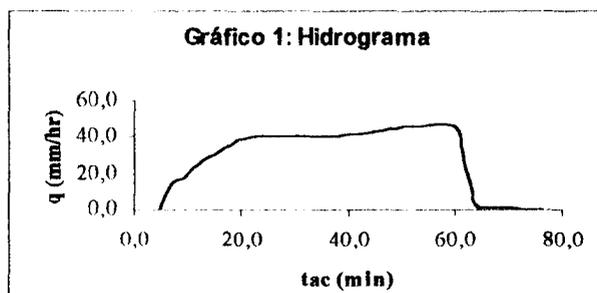
3.6.3. Obtención de los hidrogramas y sedimentogramas: esto se logra graficando los valores instantáneos en función del tiempo. La escorrentía expresada en mm/h y los sedimentos en toneladas por hectárea por hora (t/ha*h).

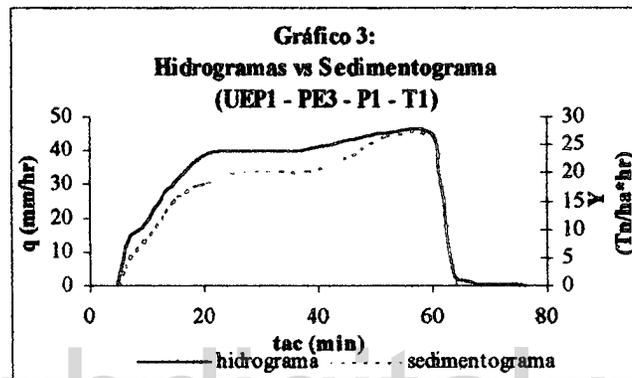
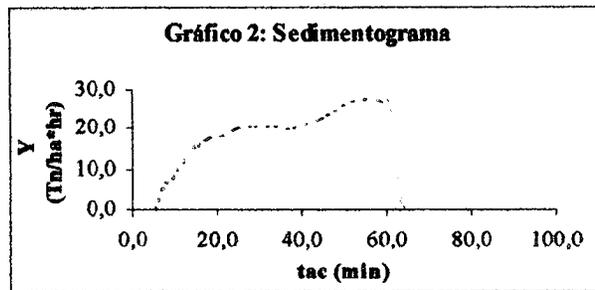
El cuadro 3, muestra un ejemplo de la determinación de la escorrentía y sedimentos, también se muestran los gráficos 1 y 2 de Hidrograma y Sedimentograma respectivamente, el gráfico 3 muestra la superposición del Hidrograma y el Sedimentograma donde se

observa la tendencia casi paralela de las dos gráficas, para la parcela experimental 3, prueba 1, unidad de experimentación parcelaria 1.

Cuadro 3: Resumen de determinación de la escorrentía y sedimentos, para la parcela experimental 3, prueba 1, unidad de experimentación parcelaria 1.

Cuadro 3 Datos		Comentario	Tiempo acumulado	Caudal de escorrentía	Producción de sedimentos	Caudal de escorrentía	Producción de sedimentos		
prueba	Parcela	Obs/# mu	Min	ml/seg	gr/lts	mm/h	t/ha*h		
1	3	To	0,00						
		Te	1,03						
		Tescu	3,42						
		Tesco	4,95				0,00	0,00	
			25	6,92	78,93	34,80	14,21	4,95	
			26	9,20	97,35	44,70	17,52	7,83	
			27	13,13	152,54	48,08	27,46	13,20	
			28	14,38	164,65	50,61	29,64	15,00	
			29	18,23	201,55	48,72	36,28	17,67	
			30	21,02	220,15	45,89	39,63	18,19	
			31	24,83	222,22	50,17	40,00	20,07	
			32	28,98	222,46	51,35	40,04	20,56	
			33	33,53	222,63	51,32	40,07	20,57	
			34	38,37	226,45	50,03	40,76	20,39	
			35	46,60	242,72	53,49	43,69	23,37	
			36	51,90	251,55	59,48	45,28	26,93	
			Tr	60,00			45,28	26,93	
				47	61,55	172,22	56,74	31,00	17,59
				4	63,75	15,92	14,18	2,87	0,41
				5	65,28	8,33	7,97	1,50	0,12
				7	66,78	5,47	7,33	0,98	0,07
				8	68,20	4,05	4,75	0,73	0,03
				10	73,25	2,13	3,81	0,38	0,01
				Tr	76,20			0,00	0,00





3.6.4 Obtención de Hidrogramas suavizados

Esta determinación se realiza para evitar las fluctuaciones generadas por los valores instantáneos medidos en campo y conseguir el caudal pico de la escorrentía, esto se logra graficando los valores medios de la escorrentía y del tiempo acumulado.

3.6.5 Determinación de los valores acumulados de escorrentía y sedimentos:

Siguiendo con las determinaciones se calculó el volumen total de escorrentía acumulada y la producción de sedimentos acumulados que se generaron durante el evento de precipitación aplicada por el simulador de lluvia. Esto se logra multiplicando el valor medio de la escorrentía y de los sedimentos por el diferencial de tiempo para cada intervalo de medición.

3.6.6 Cálculo del Índice de Erosividad de la Lluvia:

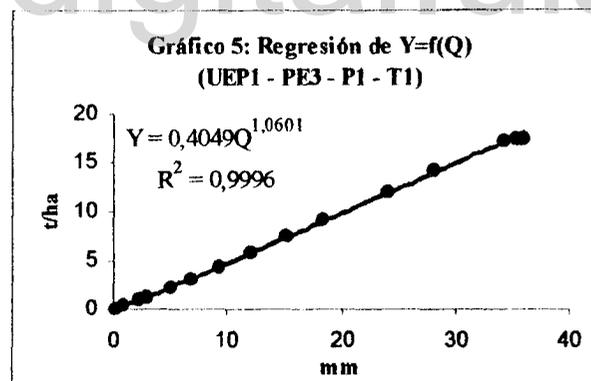
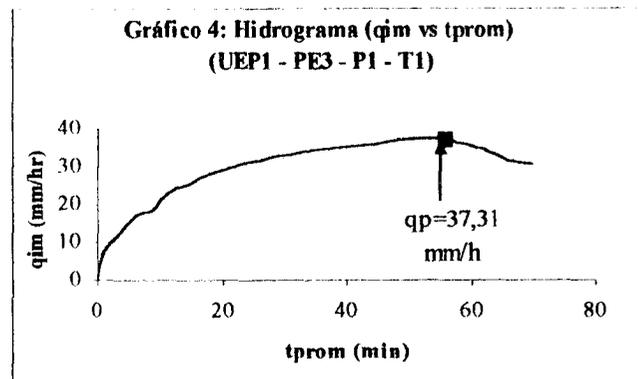
Esta determinación se realizó mediante la ecuación de energía cinética para intensidades de lluvia menores a 76 mm/h propuesta por Wischmeier y Smith (1978), citado por Barrios (1995). Luego se acumulan éstos valores puntuales hasta el final de la aplicación de la lluvia.

El cuadro 4, muestra un ejemplo de la determinación de los valores acumulados de la escorrentía y sedimentos, además del cálculo del índice de erosividad de la lluvia EI30 por la ecuación de Wischmeier y Smith (1978), también se muestra el gráfico 4 del Hidrograma suavizado y el gráfico 5 muestra la regresión potencial entre la escorrentía acumulada y la producción de sedimentos acumulados donde se obtiene la ecuación de la producción de sedimentos en función de la escorrentía con un coeficiente de determinación cercano a la unidad, para la parcela experimental 3, prueba 1, unidad de experimentación parcelaria 1. El ejemplo de éstas determinaciones en forma detallada pueden ser consultadas en el anexo 4.

Cuadro 4: Determinación de valores acumulados de escorrentía y sedimentos, índice de erosividad de la lluvia y obtención del hidrograma suavizado para la parcela experimental 3, prueba 1, unidad de experimentación parcelaria 1.

Cuadro 4.		i (mm/hr)= 53,71			$EI30$ (Mj*mm/ha*hr) = 435,82				
tac (min)	q (mm/hr)	Y (Tn/ha*hr)	taces (min)	tprom (min)	Qac (mm)	Yac (t/ha)	qim (mm/hr)	EI30	EI30/10
4,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00	36,06	0,00
6,92	14,21	4,95	1,97	0,98	0,23	0,081	7,10	50,35	5,03
9,20	17,52	7,83	4,25	3,11	0,84	0,324	11,81	66,93	6,69
13,13	27,46	13,20	8,18	6,22	2,31	1,014	16,94	95,49	9,55
14,38	29,64	15,00	9,43	8,81	2,91	1,307	18,48	104,57	10,46
18,23	36,28	17,67	13,28	11,36	5,02	2,356	22,68	132,52	13,25
21,02	39,63	18,19	16,07	14,68	6,78	3,187	25,32	152,73	15,27
24,83	40,00	20,07	19,88	17,98	9,31	4,404	28,11	180,45	18,04
28,98	40,04	20,56	24,03	21,96	12,08	5,809	30,16	210,58	21,06
33,53	40,07	20,57	28,58	26,31	15,12	7,369	31,74	243,63	24,36
38,37	40,76	20,39	33,42	31,00	18,38	9,019	32,99	278,72	27,87
46,60	43,69	23,37	41,65	37,53	24,17	12,021	34,82	338,51	33,85
51,90	45,28	26,93	46,95	44,30	28,10	14,243	35,91	377,00	37,70
60,00	45,28	26,93	55,05	51,00	34,21	17,248	37,29	435,82	43,58
61,55	31,00	17,59	56,60	55,83	35,20	17,480	37,31		

63,75	2,87	0,41	58,80	57,70	35,82	17,490	36,55		
65,28	1,50	0,12	60,33	59,57	35,87	17,493	35,68		
66,78	0,98	0,07	61,83	61,08	35,90	17,494	34,84		
68,20	0,73	0,03	63,25	62,54	35,92	17,494	34,08		
73,25	0,38	0,01	68,30	65,78	35,97	17,495	31,60		
76,20	0,00	0,00	71,25	69,78	35,98	17,495	30,30		
					Qmm	Y			



3.6.7 Verificación de las metodologías de cálculo para la producción de sedimentos:

Se realizaron comparaciones de las diferentes metodologías de cálculo para la estimación de la erosión hídrica y producción de sedimentos, utilizando las ecuaciones

incluidas en el programa EPIC en su última modificación por Williams (1995), y mediante la metodología tradicional de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE propuesta por Wischmeier y Smith (1978).

Para simular la erosión y sedimentos el EPIC, contiene seis ecuaciones: La Ecuación Universal de pérdidas de Suelo USLE desarrollada por Wischmeier y Smith (1978), con algunas reestructuraciones de cálculo; una variación de ésta ecuación hecha por Ostand y Foster (1975) citado por Williams (1995) que utiliza una combinación de los factores de energía, la lluvia y las variables del escurrimiento, de la USLE y MUSLE; la MUSLE de Williams (1975), y dos modificaciones desarrolladas más recientemente MUST y la MUSS por Williams (1995). Además existe una sexta ecuación MUSI también desarrollada por Williams (1995), pero que no se utilizó en éste análisis.

Las seis ecuaciones son similares salvo en sus componentes de energía. La USLE depende estrictamente de la lluvia como un indicador de la energía erosiva. La MUSLE y sus variantes usan solamente variables del escurrimiento para simular erosión y producción de sedimentos. Las ecuaciones para realizar los cálculos pueden ser consultadas en el anexo 5.

Por otro lado, mediante la aplicación de las ecuaciones y las tablas para obtener los parámetros tradicionales de Wischmeier y Smith (1978), citadas por Barrios (1995), se efectuaron los cálculos para estimar la pérdida de suelo y compararla con los valores experimentales obtenidos de las pruebas efectuadas en campo. Las ecuaciones para realizar los cálculos pueden ser consultadas en el anexo 5. En el anexo 6 se presentan los parámetros utilizados en la USLE. En el anexo 7 se presentan los parámetros utilizados en las ecuaciones contenidas en el EPIC.

3.6.8 Relación producción de sedimentos contra parámetros fisiográficos:

Con la finalidad de verificar la importancia de los factores fisiográficos se realizó un

análisis de Modelos de Regresión Múltiple ya que no siempre la estimación de una variable dependiente es satisfactoria cuando se emplea una sola variable independiente. Con el programa analítico “STATISTIX” (1996), utilizando el menú de la estadística, se escoge en el menú subalterno el procedimiento de los modelos lineales donde existe un procedimiento de regresión del mejor subconjunto (Best Subset Regression model for Y) que realiza comparaciones entre las diferentes combinaciones de las variables involucradas. Luego se seleccionó un modelo y se procedió a realizar la regresión lineal múltiple, obteniéndose los coeficientes de la constante y de las variables de predicción del modelo.

La forma para la interpretación de los resultados, obtenidos de las corridas del programa Statistrix, es la siguiente:

En el caso de los resultados de Regresión del Mejor Subconjunto se puede inferir que los valores del estadístico “Cp” y los valores de R^2 y R^2 ajustado se producen por suma de los cuadrados de los residuos para cada modelo generado. Estos estadísticos son criterios muy importantes para evaluar y comparar modelos de regresión.

El estadístico Cp es útil para la selección del ejemplar. Los Mejores Modelos tienen un valor de “Cp” cercano o menor a “p” siendo éste el número de parámetros contenidos en el modelo. Esta estadística es muy útil para eliminar variables que contribuyen poco al modelo.

Los estadísticos R^2 y R^2 ajustado miden la bondad de ajuste de un modelo de regresión. R^2 mide la proporción de variación en los datos dependientes explicados por la regresión. Se computa como $1 - \text{RSS}/\text{SST}$, donde RSS es la suma residual de cuadrados y SST es la suma total de cuadrados. Un problema potencial con R^2 es que aumenta cuando son incluidas al modelo nuevas variables independientes (RSS siempre disminuye), aun cuando estas no posean ninguna relación con la variable dependiente. El R^2 ajustado se ajusta para el número de variables independientes en el modelo para corregir este problema y por consiguiente será a menudo más interesante que el sin ajustar. Se computa como $1 - (n -$

1) RMS/SST , donde RMS es el residuo del mínimo cuadrado y “n” es el número de casos de la regresión. Los dos estadísticos son útiles para comprobar los modelos, pero se deben usar con cautela.

En otras palabras el Coeficiente de Determinación R^2 explica la proporción de la variación total de la variable dependiente “Y” que es explicada por el modelo obtenido en la regresión. En el anexo 8 se presentan los parámetros para realizar el análisis estadístico.

www.bdigital.ula.ve

4. RESULTADOS

4.1 Resultados de las mediciones de campo.

En el cuadro 5 se muestran todos los resultados obtenidos en campo y calculados mediante las metodologías desarrolladas en el procesamiento de la información.

Cuadro 5: Resumen de los resultados obtenidos para todas las pruebas de campo.

Cuadro 5: RESUMEN DE RESULTADOS DE CAMPO								
Cultivo Manejo	Cobertura	Prueba	Parcela	Intensidad	Erosividad de lluvia Wischmeier y Smith	Caudal pico	Escorrentía acumulada	Sedimentos acumulados
	%	Nº	Nº	i = mm/h	EI = MJ*mm/ha*h	qp = mm/h	Q = mm	Y = t/ha
Z A N A H	0	1	1	10,54	10,04	0,48	0,26	0,02
	0		2	29,13	108,60	19,27	16,79	7,71
	0		3	53,71	435,82	37,29	35,98	17,50
	0		4	36,13	117,65	16,34	14,45	7,22
	0		5	12,59	15,34	2,00	1,37	0,23
O R I A	39	4	1	14,16	20,27	5,89	5,12	0,114
	54		2	30,10	117,07	28,11	27,46	0,476
	44		3	46,66	317,33	44,25	45,12	1,671
	64		4	36,37	180,35	31,55	32,45	0,713
	73		5	12,66	15,54	7,25	6,54	0,163
SP	6	5	1	17,69	34,21	4,93	4,12	0,151
	6		2	33,03	144,78	26,01	24,65	3,341
	5		3	45,26	296,21	38,29	36,96	4,281
	4		4	30,64	121,93	18,07	17,30	3,137
	6		5	7,88	4,98	3,19	2,63	0,177
Z A N A H	0	2	6	9,16	7,16	1,67	0,89	0,05
	0		7	28,47	103,03	15,66	14,20	4,68
	0		8	45,81	304,41	38,83	36,22	10,54
	0		9	28,67	104,70	13,82	14,03	6,50
	0		10	7,85	4,93	0,79	0,43	0,12
O R I A	45	3	6	10,92	10,93	3,55	3,15	0,09
	46		7	25,19	77,74	16,60	15,94	0,231
	48		8	41,54	243,93	38,36	38,56	0,619
	58		9	34,22	156,97	19,02	19,81	0,339
	76		10	15,59	25,43	2,77	2,20	0,045
CN	25	6	6	13,18	17,10	5,43	4,64	0,175
	11		7	28,70	104,95	22,05	20,64	1,315
	28		8	47,13	324,59	36,58	34,51	5,312
	10		9	36,41	180,80	23,68	22,10	2,015
	30		10	13,76	18,94	6,19	5,57	0,253
P A S	100	7	1	38,12	206,50	23,08	21,86	0,07
	100		2	55,83	489,20	50,38	46,46	0,12
	100		3	38,34	209,22	24,94	23,37	0,06
T O	100	8	1	35,06	165,89	21,19	21,20	0,07
	100		2	54,15	443,89	50,32	49,76	0,24

E X I S T E N T E	100		3	41,50	243,40	32,11	30,13	0,09
	75	9	1	39,55	218,21	24,20	24,65	0,12
	75		2	55,12	461,95	53,52	56,40	0,37
	75		3	37,56	194,05	28,52	28,17	0,16
	50	10	1	41,34	361,85	3,97	3,72	0,00
	50		2	54,42	673,27	19,56	24,87	0,00
	50		3	35,71	259,42	6,24	6,68	0,00
	50	11	1	38,00	298,84	10,15	13,25	0,02
	50		2	54,41	672,99	43,10	61,84	0,09
	50		3	40,02	336,16	22,15	32,27	0,06
	25	12	1	43,40	404,01	8,09	8,44	0,17
	25		2	56,36	728,45	23,72	29,71	0,46
	25		3	37,04	281,94	12,25	16,72	0,27
	0	13	1	40,68	348,88	13,67	16,44	0,41
	0		2	56,40	729,61	26,65	34,51	1,28
	0		3	37,36	287,52	17,54	22,99	0,60
	0	14	1	43,58	271,92	6,71	4,62	0,22
	0		2	59,38	546,08	25,09	20,76	0,87
0	3		39,07	212,25	19,32	16,14	0,68	
D E S N U D O	0	15	1	48,71	536,11	42,28	64,07	51,17
	0		2	55,51	719,62	48,22	73,15	59,78
	0		3	33,75	233,14	25,81	38,68	33,13
	0	16	1	49,35	360,13	38,21	38,73	40,75
	0		2	53,39	429,99	41,61	41,84	53,89
	0		3	32,45	139,04	22,13	22,33	24,17

4.2 Resultados de las metodologías de cálculo de producción de sedimentos.

El cuadro 6, presentado a continuación hace referencia al resumen de los resultados obtenidos de la aplicación de las ecuaciones estudiadas.

Cuadro 6: Resumen de los resultados de las ecuaciones para la determinación de la producción de sedimentos.

Cuadro 6			Comparación de metodologías de cálculo para estimación de producción de sedimentos						
Cultivo Manejo	Cobertura	Parcela	Medido	USLE	USLE EPIC	O&F	MUSLE	MUST	MUSS
Z A N A H O R I A	0	1	0,02	0,12	0,18	0,13	0,02	0,08	0,02
	0	2	7,71	1,73	2,19	1,76	2,19	5,14	3,65
	0	3	17,50	5,75	7,09	5,06	4,19	9,04	7,95
	0	4	7,22	1,59	2,98	2,19	1,57	3,76	2,55
	0	5	0,23	0,18	0,26	0,23	0,11	0,36	0,12
R I A	39	1	0,11	0,02	0,03	0,03	0,04	0,12	0,06
	54	2	0,48	0,13	0,17	0,14	0,25	0,56	0,46
	44	3	1,67	0,42	0,52	0,39	0,52	1,10	1,03
	64	4	0,71	0,10	0,13	0,10	0,15	0,33	0,28
	73	5	0,16	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,02

SP	6	1	0,15	0,16	0,21	0,18	0,13	0,37	0,17
	6	2	3,34	0,88	1,09	0,87	1,22	2,75	2,17
	5	3	4,28	1,48	1,86	1,39	1,64	3,53	3,13
	4	4	3,14	0,62	0,79	0,62	0,70	1,64	1,16
	6	5	0,18	0,02	0,04	0,05	0,08	0,24	0,10
Z A N A H O R I A	0	6	0,05	0,06	0,09	0,09	0,06	0,19	0,06
	0	7	4,68	1,07	1,16	0,92	0,99	2,38	1,60
	0	8	10,54	2,62	3,29	2,44	2,81	6,05	5,37
	0	9	6,50	0,92	1,23	0,96	0,96	2,31	1,52
	0	10	0,12	0,04	0,07	0,07	0,03	0,10	0,02
	45	6	0,09	0,01	0,01	0,02	0,02	0,05	0,02
	46	7	0,23	0,08	0,09	0,08	0,11	0,26	0,18
	48	8	0,62	0,30	0,27	0,20	0,29	0,62	0,55
	58	9	0,34	0,10	0,08	0,06	0,06	0,14	0,10
	76	10	0,05	0,006	0,004	0,003	0,002	0,005	0,002
CN	25	6	0,18	0,03	0,04	0,04	0,06	0,16	0,08
	11	7	1,32	0,40	0,45	0,37	0,56	1,29	0,97
	28	8	5,31	1,58	1,40	1,03	1,06	2,29	2,00
	10	9	2,02	1,00	0,78	0,60	0,63	1,44	1,10
	30	10	0,25	0,05	0,04	0,04	0,06	0,15	0,08
P A S T O	100	1	0,07	0,02	0,04	0,03	0,03	0,06	0,05
	100	2	0,12	0,06	0,10	0,07	0,08	0,16	0,15
	100	3	0,06	0,03	0,05	0,03	0,03	0,08	0,06
	100	1	0,07	0,02	0,03	0,02	0,03	0,06	0,05
	100	2	0,24	0,06	0,10	0,07	0,08	0,17	0,16
	100	3	0,09	0,03	0,05	0,04	0,05	0,10	0,09
	75	1	0,12	0,11	0,19	0,14	0,14	0,31	0,24
	75	2	0,37	0,27	0,45	0,33	0,40	0,82	0,82
	75	3	0,16	0,11	0,20	0,15	0,19	0,42	0,34
	E X I S T E N T E	50	1	0,00	0,27	0,31	0,21	0,03	0,07
50		2	0,00	0,60	0,66	0,46	0,22	0,49	0,37
50		3	0,00	0,23	0,26	0,18	0,05	0,14	0,07
50		1	0,02	0,23	0,26	0,19	0,09	0,22	0,14
50		2	0,09	0,60	0,66	0,48	0,56	1,15	1,13
50		3	0,06	0,29	0,34	0,25	0,26	0,59	0,47
25		1	0,17	0,25	0,29	0,20	0,05	0,13	0,07
25		2	0,46	0,53	0,59	0,41	0,22	0,49	0,39
25		3	0,27	0,20	0,23	0,17	0,11	0,26	0,17
0		1	0,41	0,41	0,47	0,33	0,19	0,45	0,30
D E S N U D O	0	2	1,28	1,00	1,10	0,77	0,48	1,05	0,87
	0	3	0,60	0,39	0,45	0,33	0,30	0,69	0,50
	0	1	0,22	0,32	0,54	0,37	0,06	0,17	0,08
	0	2	0,87	0,75	1,23	0,85	0,35	0,79	0,60
	0	3	0,68	0,29	0,49	0,36	0,26	0,60	0,43
	0	1	51,17	9,84	8,22	6,17	8,89	18,38	17,98
	0	2	59,78	12,91	10,67	7,81	10,09	20,54	20,90
	0	3	33,13	4,28	3,61	2,93	4,93	10,83	9,12
	0	1	40,75	6,61	8,45	6,17	6,34	13,59	12,14
	0	2	53,89	7,71	9,81	7,07	6,80	14,43	13,21
0	3	24,17	2,55	3,31	2,62	3,33	7,62	5,77	

4.3 Resultados de la relación de producción de sedimentos contra parámetros fisiográficos.

A continuación se presenta un ejemplo del resultado del análisis de regresión múltiple para el caso del tratamiento 1: cultivo de zanahorias sembrada en sentido de la pendiente principal del terreno con diferentes grados de cobertura, pendientes del terreno y humedad del suelo. El resultado de los tratamientos 2, 3 y 4 pueden ser consultados en el anexo 9.

El cuadro 7, presenta un ejemplo de los resultados del análisis de regresión múltiple, del tratamiento 1, cultivo de zanahoria sembrado en surcos siguiendo el sentido de la pendiente, para la mejor combinación de regresión del modelo para la variable dependiente producción de sedimentos en función de las variables independientes: (A) CV = cobertura vegetal; (B) EI = índice de erosividad de la lluvia; (C) Hs = humedad del suelo; (D) I = intensidad de la lluvia; (E) PEN = pendiente de la parcela; (F) Q = volumen de escorrentía; (G) QP = caudal pico. La salida del programa presenta una lista de los 3 mejores modelos para cada combinación de variable, además presenta los valores de los estadístico CP y R² ajustado y otros factores representativos del análisis.

Cuadro 7: Mejor combinación de regresión del modelo para la producción de sedimentos con los datos de las variables del tratamiento 1

UNFORCED INDEPENDENT VARIABLES: (A)CV (B>EI (C)HS (D)I (E)PEN (F)Q (G)QP
3 "BEST" MODELS FROM EACH SUBSET SIZE LISTED.

P	CP	ADJUSTED R SQUARE	R SQUARE	RESID SS	MODEL VARIABLES
1	579.6	0.0000	0.0000	55.2770	INTERCEPT ONLY
2	162.0	0.6856	0.7081	16.1367	D
2	176.2	0.6599	0.6842	17.4583	B
2	183.4	0.6467	0.6720	18.1331	G
3	33.4	0.9165	0.9284	3.95761	A F
3	36.7	0.9101	0.9229	4.26112	A G
3	115.7	0.7545	0.7896	11.6304	C D
4	5.6	0.9730	0.9788	1.17108	A C F
4	8.1	0.9675	0.9745	1.40959	A C G
4	30.1	0.9202	0.9373	3.46436	A F G
5	2.8	0.9817	0.9869	0.72346	A C D F
5	2.8	0.9815	0.9868	0.73024	A B C F
5	3.6	0.9798	0.9855	0.79886	A B C G
6	4.0	0.9816	0.9882	0.65343	A C D E F
6	4.2	0.9812	0.9879	0.66983	A C D E G
6	4.2	0.9811	0.9878	0.67179	A B C E F
7	6.0	0.9793	0.9882	0.65297	A B C D E F
7	6.0	0.9793	0.9882	0.65332	A C D E F G
7	6.2	0.9788	0.9879	0.66948	A B C D E G
8	8.0	0.9764	0.9882	0.65294	A B C D E F G

El cuadro 8, presenta un ejemplo del análisis de regresión múltiple en el tratamiento 1, para el modelo de producción de sedimentos “Y” como variable dependiente en función de las variables independientes: QP = caudal pico; Q = volumen de escorrentía; PEN = pendiente del terreno; HS = humedad del suelo; CV = cobertura vegetal. Esta salida del programa muestra los valores de los coeficientes para la constante y para cada variable independiente, además se observa los valores de diferentes estadísticos para evaluar el modelo escogido.

Cuadro 8: Análisis de regresión múltiple para el modelo evaluado con todos los valores de las variables seleccionadas generados en el tratamiento 1.

PREDICTOR VARIABLES	COEFFICIENT	STD ERROR	STUDENT'S T	P	VIF
CONSTANT	2.73578	2.34718	1.17	0.2738	
QP	-4.49125	2.72489	-1.65	0.1336	1904.4
Q	5.34003	2.43212	2.20	0.0557	1907.0
PEN	-0.10500	1.43998	-0.07	0.9435	2.3
HS	-1.54703	0.29221	-5.29	0.0005	1.1
CV	-0.25070	0.02884	-8.69	0.0000	2.9
R-SQUARED	0.9848	RESID. MEAN SQUARE (MSE)		0.09307	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9764	STANDARD DEVIATION		0.30508	
SOURCE	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	5	54.4394	10.8879	116.98	0.0000
RESIDUAL	9	0.83765	0.09307		
TOTAL	14	55.2770			

El cuadro 9, presenta un ejemplo del análisis de regresión para el modelo de producción de sedimentos “Y” como variable dependiente en función de la variable independiente: Q = volumen de escorrentía. Esta salida del programa muestra los valores de los coeficientes para la constante y para la variable independiente, además se observa los valores de diferentes estadísticos para evaluar el modelo escogido.

Cuadro 9: Análisis de regresión para las variables producción de sedimentos “Y” en función de el volumen de escorrentía “Q” para la prueba 1 con suelo desnudo, en el cultivo de zanahorias sembrado en sentido de la pendiente.

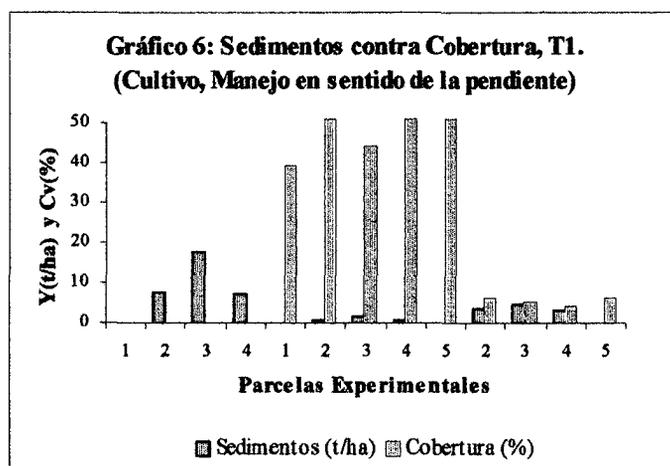
PREDICTOR VARIABLES	COEFFICIENT	STD ERROR	STUDENT'S T	P	
CONSTANT	-2.06161	0.12434	-16.58	0.0005	
Q	1.44039	0.05090	28.30	0.0001	
R-SQUARED	0.9963	RESID. MEAN SQUARE (MSE)		0.04379	
ADJUSTED R-SQUARED	0.9950	STANDARD DEVIATION		0.20927	
SOURCE	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	1	35.0750	35.0750	800.95	0.0001
RESIDUAL	3	0.13138	0.04379		
TOTAL	4	35.2064			

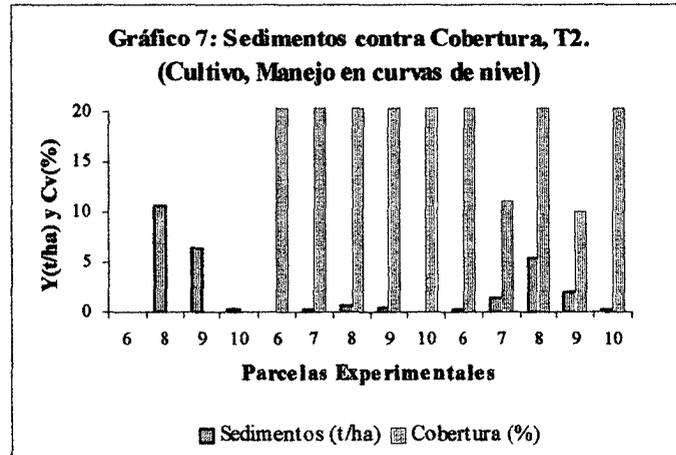
5. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.

5.1 Análisis de resultados de la producción de sedimentos medida en campo:

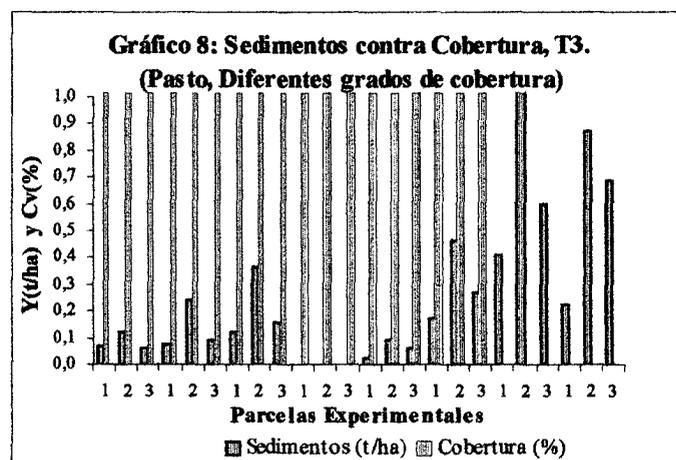
5.1.1 Comparación de la producción de sedimentos para diferentes coberturas y manejos:

El gráfico 6, muestra la relación existente entre la producción de sedimentos y el porcentaje de la cobertura vegetal medidas en campo, para las 3 pruebas efectuadas en el tratamiento 1, cultivo de zanahoria sembrado en suelo preparado en surcos siguiendo el sentido de la pendiente principal del terreno, se puede apreciar que al existir mayor grado de cobertura vegetal la producción de sedimentos disminuye de manera significativa. De igual forma el gráfico 7, muestra ésta misma relación pero para el manejo de suelo preparado en curvas de nivel, tratamiento 2, aquí también se observa la disminución de la producción de sedimentos en función al aumento de la cobertura vegetal. Se debe mencionar que la consolidación del suelo ocurrida antes de la ejecución de las pruebas 4 y 5, también contribuyó a ésta disminución en la producción de sedimentos. Si se hace una comparación entre el gráfico 6 y el gráfico 7, se aprecia que la producción de sedimentos disminuye en el suelo preparado en curvas de nivel en comparación a la producción de sedimentos ocurrida en el suelo preparado en el sentido de la pendiente principal.

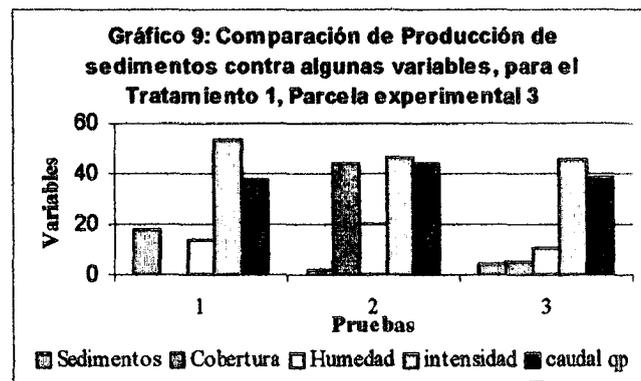




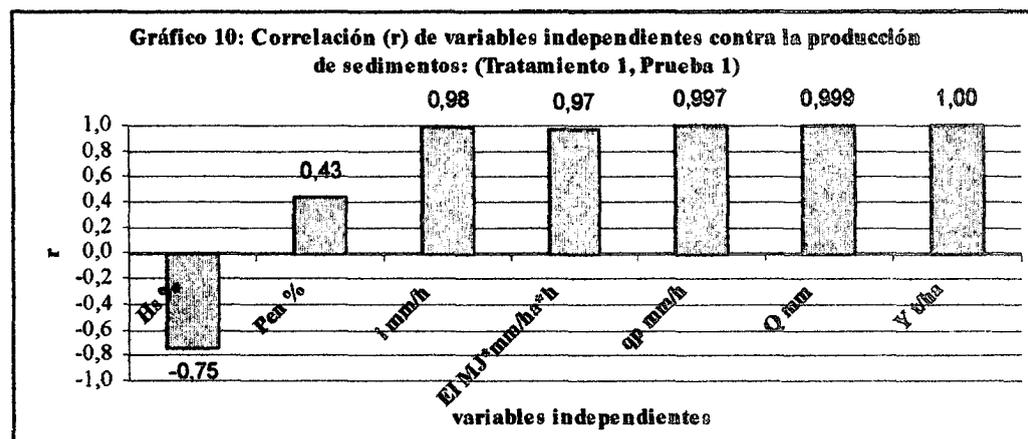
Por otro lado el gráfico 8, muestra la relación entre la producción de sedimentos ocurridas en diferentes grados de coberturas de pasto, tratamiento 3, aquí se puede observar que al ir disminuyendo gradualmente el porcentaje de cobertura vegetal existente en el suelo, aumenta la producción de sedimentos. En este caso se apreció que el alto porcentaje de raíces del pasto existentes en el suelo, contribuyeron a que la producción de sedimentos fuera muy baja, también cuando el suelo se encontraba sin cobertura aérea.



En el gráfico 9, se representa la relación que existe entre las variables independientes: cobertura vegetal, humedad del suelo, intensidad de la lluvia y caudal pico de la escorrentía, contra la variable dependiente: producción de sedimentos, para las 3 pruebas realizadas en el tratamiento 1, cultivo sembrado en surcos conformados siguiendo el sentido de la máxima pendiente. Se aprecia que la variable que tiene mayor influencia es la intensidad de la lluvia que es el factor hídrico que interviene directamente sobre la erosividad de la lluvia y la escorrentía, además se aprecian las influencias de las otras variables sobre la producción de sedimentos.

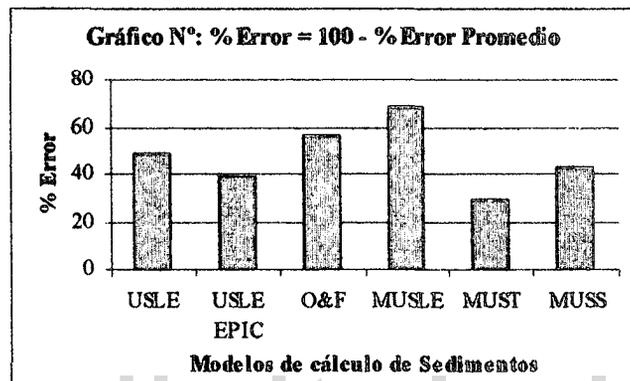


El gráfico 10, representa la correlación existente entre las variables independientes en función de la variable independiente medidas en campo, para la prueba 1, sin cobertura vegetal. Se aprecia que la mejor correlación se obtiene entre la producción de sedimentos y el volumen acumulado de escorrentía.



5.2 Análisis de la comparación de metodologías para estimación de la producción de sedimentos:

El gráfico 9: muestra el error ocurrido al aplicar las diferentes metodologías de cálculo de la producción de sedimentos, para todos los datos recopilados durante el experimento. Se aprecia que la ecuación que produce menos error en comparación a los valores medidos en campo es la ecuación MUST contenida en el EPIC.



www.bdigital.ula.ve

5.3 Análisis de la relación producción de sedimentos contra parámetros fisiográficos:

Para el tratamiento 1, con todas las pruebas efectuadas y las variables independientes involucradas se obtuvo la mejor combinación de regresión del modelo para la producción de sedimentos. Se muestran en el cuadro 7, los 3 mejores modelos para cada combinación de variables, aquí se aprecia cuando se evalúan las variables por separado que la intensidad de la lluvia resulta ser la variable mejor relacionada en la producción de sedimentos. Por otro lado cuando se evalúan dos variables se aprecia que la cobertura vegetal y el volumen de escorrentía son las dos variables que explican mejor la variación de la producción de sedimentos. Cuando se evalúan 3 variables en la mejor combinación de variables se incluye además de las 2 anteriormente mencionadas, la humedad del suelo y estas 3 variables constituyen la mejor combinación de variables para la predicción de la producción de sedimentos. De igual forma cuando se evalúan 4 variables se introduce la variable intensidad nuevamente en combinación con las 3 variables que venían siendo consideradas como la mejor combinación. Al evaluar modelos con 5 variables se introduce la pendiente del terreno obteniéndose una nueva mejor combinación. Cuando se evalúan 6 variables se aprecia que aparecen 2 mejores combinaciones, la primera incluye a la variable erosividad de la lluvia y la segunda incorpora el caudal pico de escorrentía. Finalmente se presenta la mejor combinación donde se relacionan todas las variables independientes involucradas.

Analizando los resultados obtenidos en el cuadro 8, se observa que el valor resultante del coeficiente de determinación R^2 es de 0,98 esto significa que el 98% de la variabilidad de la variable dependiente "Y" es explicada por el modelo creado que es presentado a continuación:

$$Y = e^{2,74} * Qp^{-4,49} * Q^{5,34} * PEN^{-0,11} * Hs^{-1,55} * Cv^{-0,25}$$

$$\text{Con } R^2 = 0,98$$

Donde:

Q_p = Caudal pico de la escorrentía expresada en mm/h

Q = Volumen de escorrentía acumulada expresada en mm

PEN = Pendiente del terreno expresada en porcentaje %

H_s = Humedad del suelo expresada en porcentaje %

C_v = Cobertura vegetal expresada en porcentaje %

R^2 = Coeficiente de determinación adimensional.

Del cuadro 9, se obtiene una ecuación de la producción de sedimentos en función del volumen de escorrentía que se presenta a continuación:

$$y = e^{-2,06 * Q^{1,44}}$$

Con $R^2 = 0,99$

www.bdigital.ula.ve

6 CONCLUSIONES FINALES.

Para todos los casos analizados de los ensayos efectuados durante el desarrollo del experimento, se observa que los gráficos de los hidrogramas y de los sedimentogramas generados por la escorrentía, siguen la misma tendencia, lo que significa la existencia de una relación bastante consistente entre los valores de escorrentía y producción de sedimentos medidos durante la prueba.

También se puede observar en las regresiones realizadas entre los valores acumulados del volumen de escorrentía contra los sedimentos acumulados, se obtuvieron valores del coeficiente de correlación de 0,99 que es muy buen indicador de la relación que existe entre estos dos parámetros medidos, ya que su interpretación nos pone de manifiesto que más del 99 % de la variación de la producción de sedimentos es explicada por la variable independiente de la escorrentía producida por el evento de lluvia.

De los resultados obtenidos de los valores medidos en campo se concluye que se genero menor producción de sedimentos cuando existía mayor cobertura vegetal en las parcelas experimentales, por otro lado se observó una producción de sedimentos más baja cuando se evaluó la práctica del cultivo en contorno en comparación al manejo en sentido de la pendiente. En las pruebas efectuadas en pasto bajo diferentes grados de cobertura vegetal, también se observó que se generaba mayor producción de sedimentos cuando se disminuía el grado de cobertura vegetal, pudiendo observarse durante el ensayo el poder de agregación que imprimen las raíces del pasto al suelo. En las pruebas realizadas en barbecho se comprobó que un aumento en la escorrentía aumento considerablemente la producción de sedimentos.

En el presente trabajo efectuado para pruebas con el simulador de lluvia se pudo comprobar que las variables del escurrimiento introducidas en las modificaciones de la ecuación de perdidas de suelo contenidas en el programa EPIC propuesto por Williams (1995), aumentaron la exactitud de la predicción de la producción de sedimentos, eliminó la necesidad del uso de un factor de entrega usado en la USLE para estimar la producción de

sedimentos, y además permitió a la ecuación estimar la producción de sedimentos en las tormentas específicas o en cada prueba para el caso de este trabajo.

Dentro de los modelos de predicción de la producción de sedimentos que fueron analizados en el presente trabajo, se puede deducir que la ecuación que arrojó los resultados de la producción de sedimentos más aproximados a los medidos en forma experimental fue el modelo de ecuación MUST, que arrojó un menor porcentaje de error en el orden del 28,6%.

La aplicación del Análisis de Regresión Múltiple, con el programa Statistix (1996), fue considerada ya que en algunos casos se aumenta considerablemente la información cuando se toman datos de dos o más variables independientes. Se le dio prioridad a las ecuaciones que involucran las variables del escurrimiento ya que el experimento se basó en analizar la producción de sedimentos en tormentas específicas producidas por el simulador de lluvia.

COMENTARIOS FINALES DEL ESTUDIO.

Una conclusión importante en el presente estudio, se refiere a la gran heterogeneidad del área de trabajo, que se manifiesta principalmente en los suelos y en sus variaciones incluso a corta distancias.

La búsqueda y ejecución de prácticas de manejos sustentables se vuelven necesarias, ya que existe el riesgo de que continuando con manejos inadecuados se afecten las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo de modo tal que la sustentabilidad no solo de las pasturas sino del sistema productivo estén en peligro, por la degradación quizá irreversible del suelo. Las medidas correctivas para este caso se tornarían mucho más costosas y llevarían más tiempo con resultados inciertos. La degradación de las propiedades del suelo, implica la imposibilidad de usos sustentables.

Con este proyecto se demostró que mediante la utilización de un simple simulador

de lluvia de fabricación casera se obtuvieron resultados satisfactorios a bajo costo y de manera rápida en el tiempo. El uso de éste equipo para la realización de las pruebas facilitó la toma de muestras necesarias para el estudio y el análisis de los datos recopilados, ya que utilizando éste equipo se controlaron los factores intervinientes del experimento, en especial el tiempo de duración de cada evento y el momento de su ejecución, no debiendo quedar sujetos a que las condiciones meteorológicas fueran favorables para dar inicio a los ensayos. Contando con el equipo de simulación de lluvia las labores dentro de las parcelas pudieron ser realizadas satisfactoriamente para alcanzar los tratamientos previstos.

Las interrogantes iniciales planteadas al comenzar el trabajo fueron respondidas, así como los objetivos han sido alcanzados de buena manera, si bien han surgidos otras interrogantes.

RECOMENDACIONES.

La variación posible evidenciada entre la erosión superficial y las variaciones en la humedad de los suelos, sugiere la pertinencia de realizar estudios que relacionen erosión y balance hídrico, con cambios en la cobertura vegetal.

Un estudio sobre los efectos del uso de herbicidas y de fertilizantes químicos en los sistemas agrícolas y de pastura de los Andes, debería ser considerado, de modo de obtener mayores elementos en la discusión sobre sustentabilidad ecológica en el mediano y largo plazo.

Se recomienda el programa EPIC de Williams (1995) como una herramienta poderosa para la ejecución de trabajos de investigación siendo uno de los modelos hidrológicos más actualizados donde entran en juego una serie de variables muy relacionadas con los procesos de degradación de los recursos naturales estudiados en este tipo de trabajos.

Además la existencia de una sexta ecuación MUSI para la producción de sedimentos contenida dentro del programa EPIC también desarrollada por Williams (1995), es

recomendada para futuros estudios con la aplicación de este modelo, ya que acepta coeficientes de entrada (si el usuario lo especifica) y que actúa recíprocamente con otros componentes del programa, que aumentarían la exactitud de las predicciones.

www.bdigital.ula.ve

ANEXOS

www.bdigital.ula.ve

Anexo 1: FIGURAS DE EJEMPLOS DE LA DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA
PRECIPITACION Y LEVANTAMIENTOS TOPOGRAFICO POR NIVELACION
GEOMETRICA.

www.bdigital.ula.ve

Figura 7: Distribución espacial de la precipitación prueba 4: (UEP1 - T1)

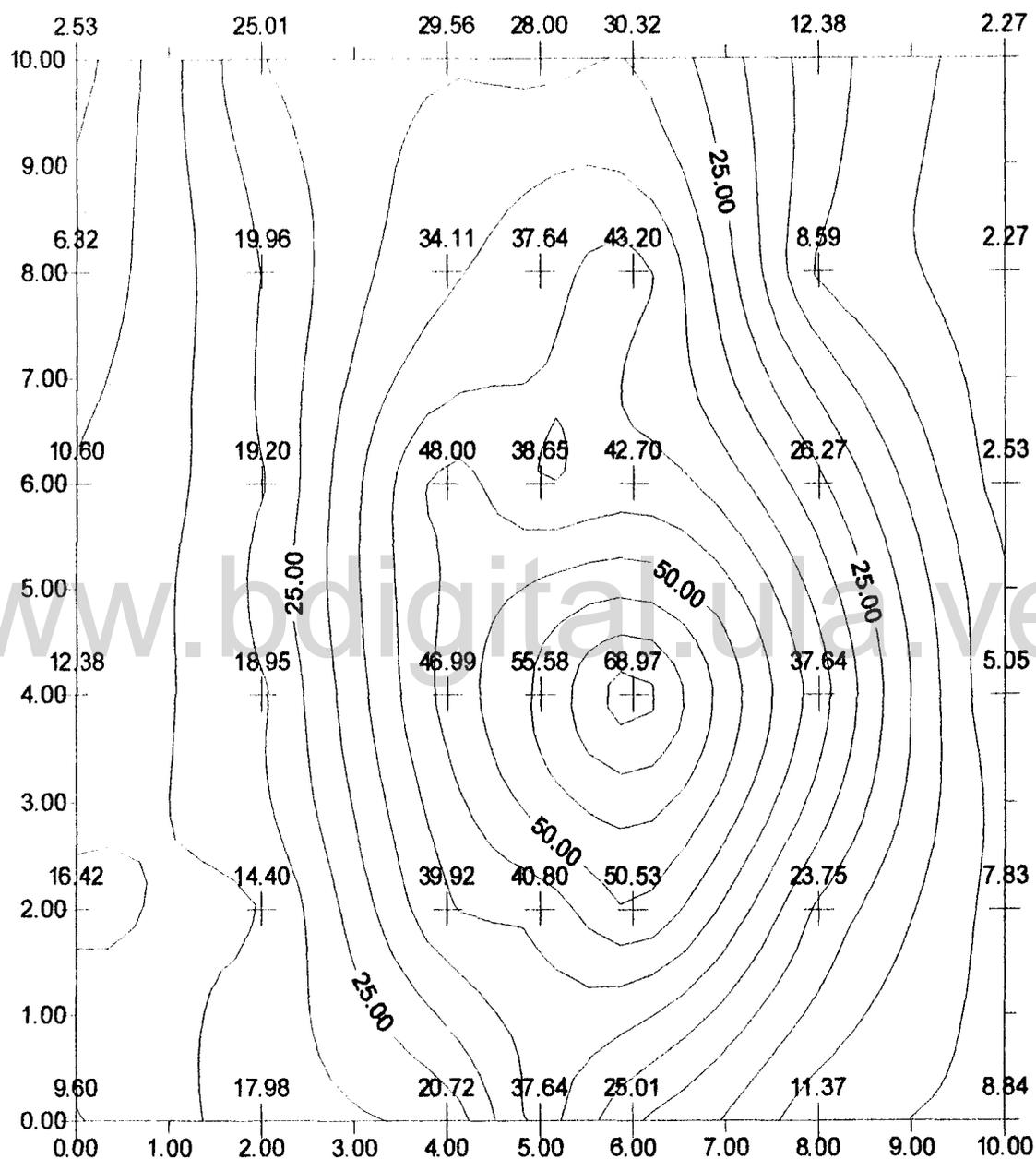


Figura 8: Distribución Tridimensional de la precipitación prueba 4: (UEP1 - T1)

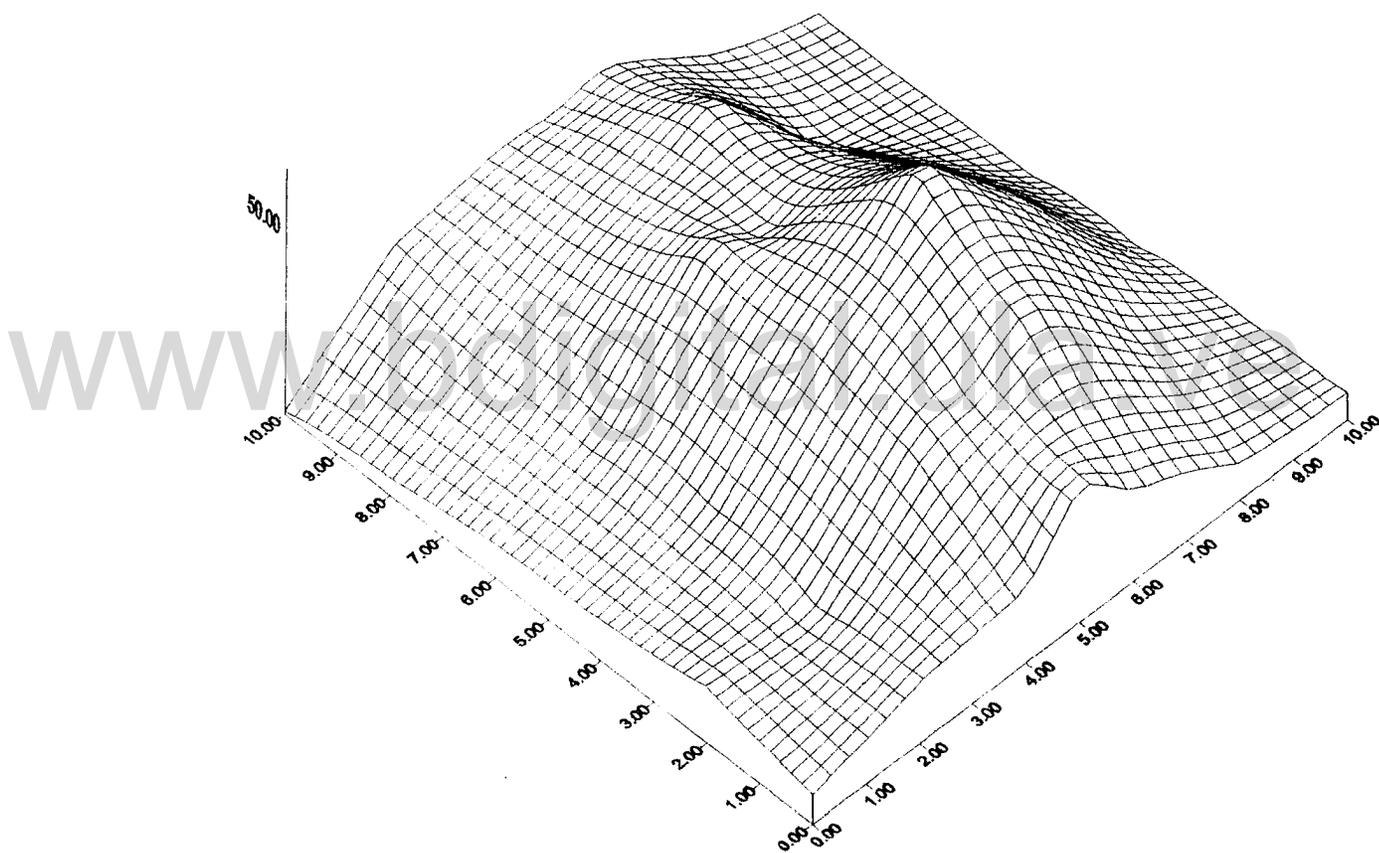


Figura 9: Distribución Espacial de la precipitación prueba 3: (UEP2 - T2)

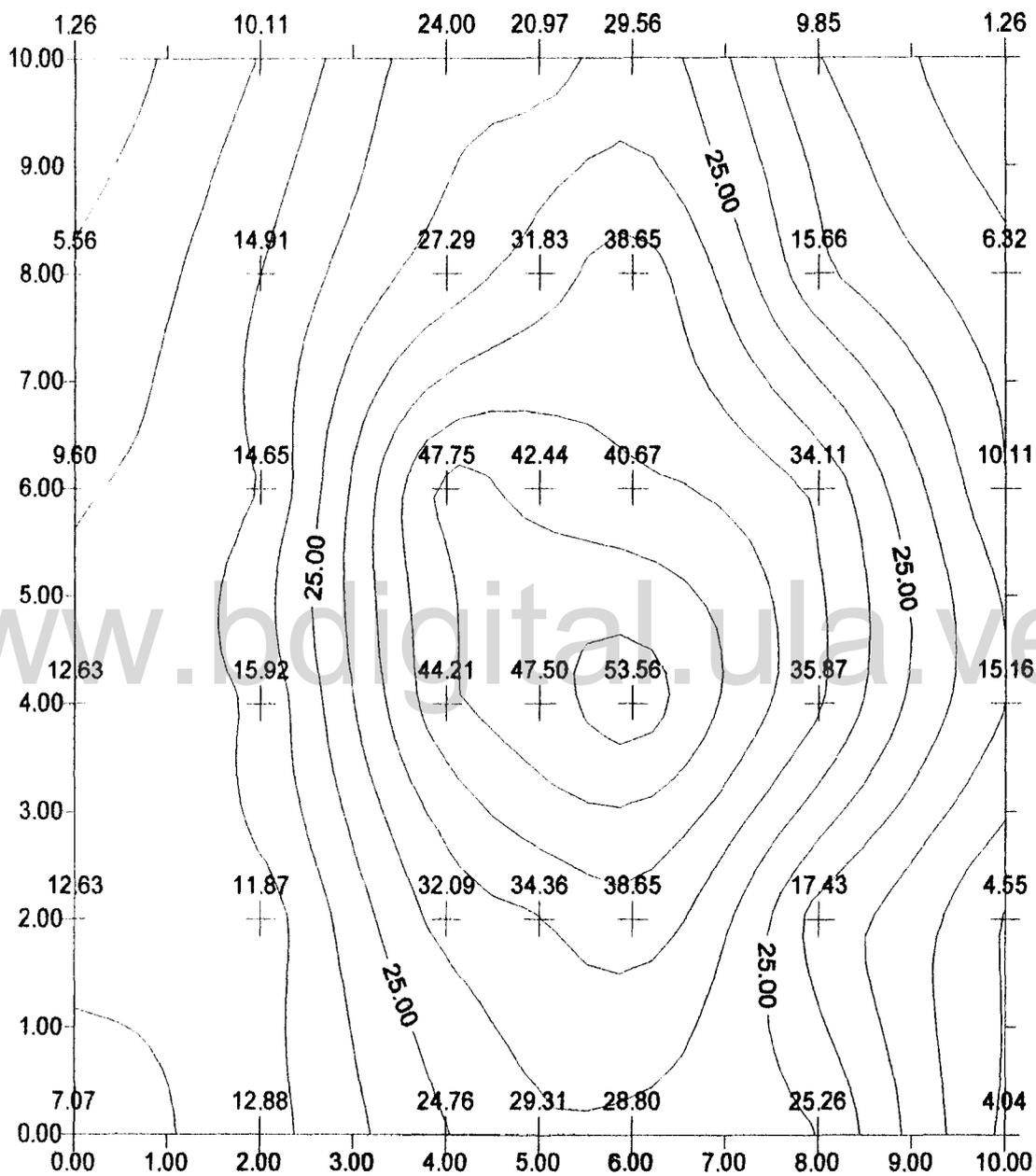


Figura 10: Distribución tridimensional de la precipitación prueba 3: (UEP2 - T2)

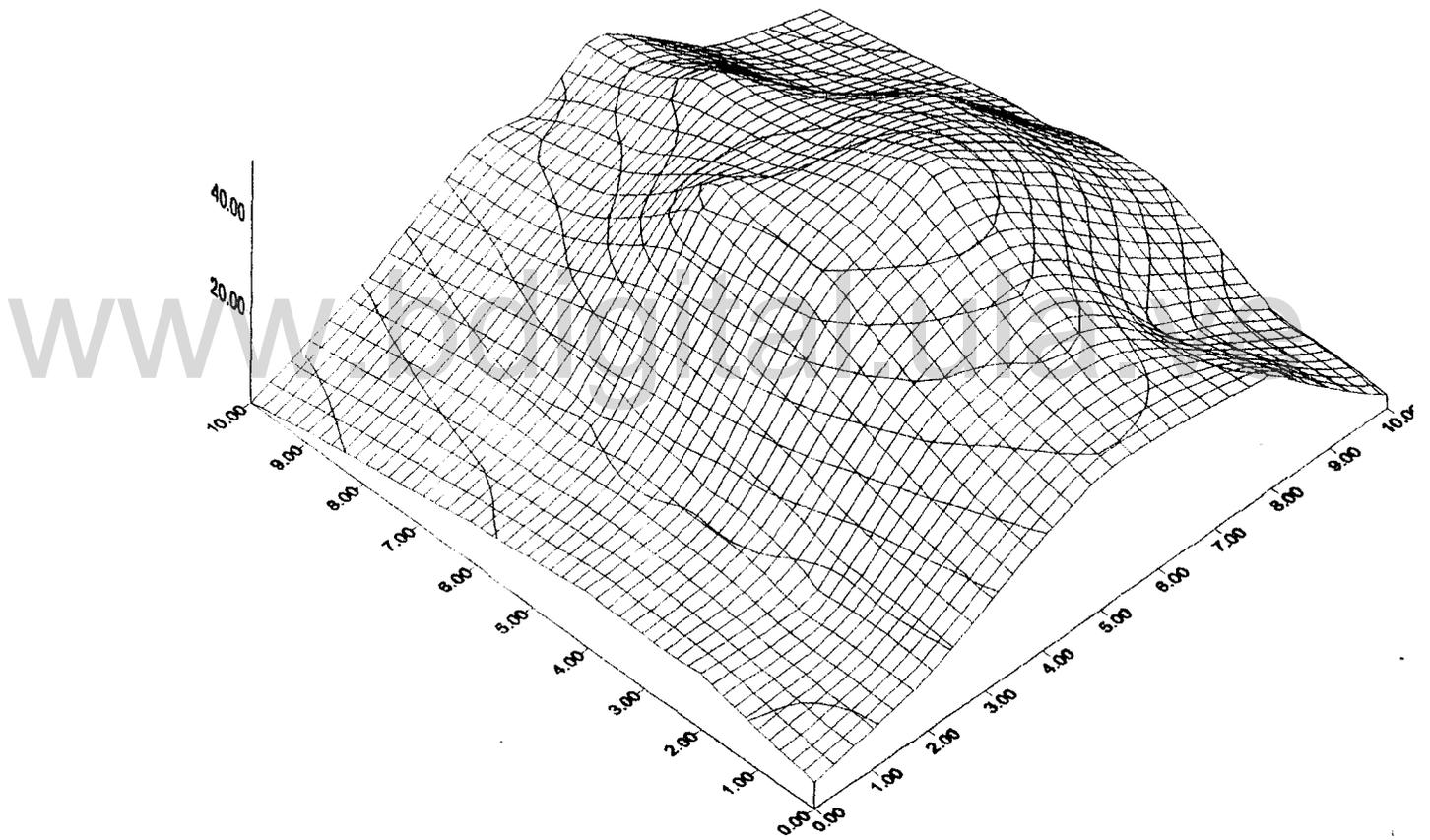


Figura 11: Distribución espacial de la precipitación prueba 12: (UEP3 - T3)

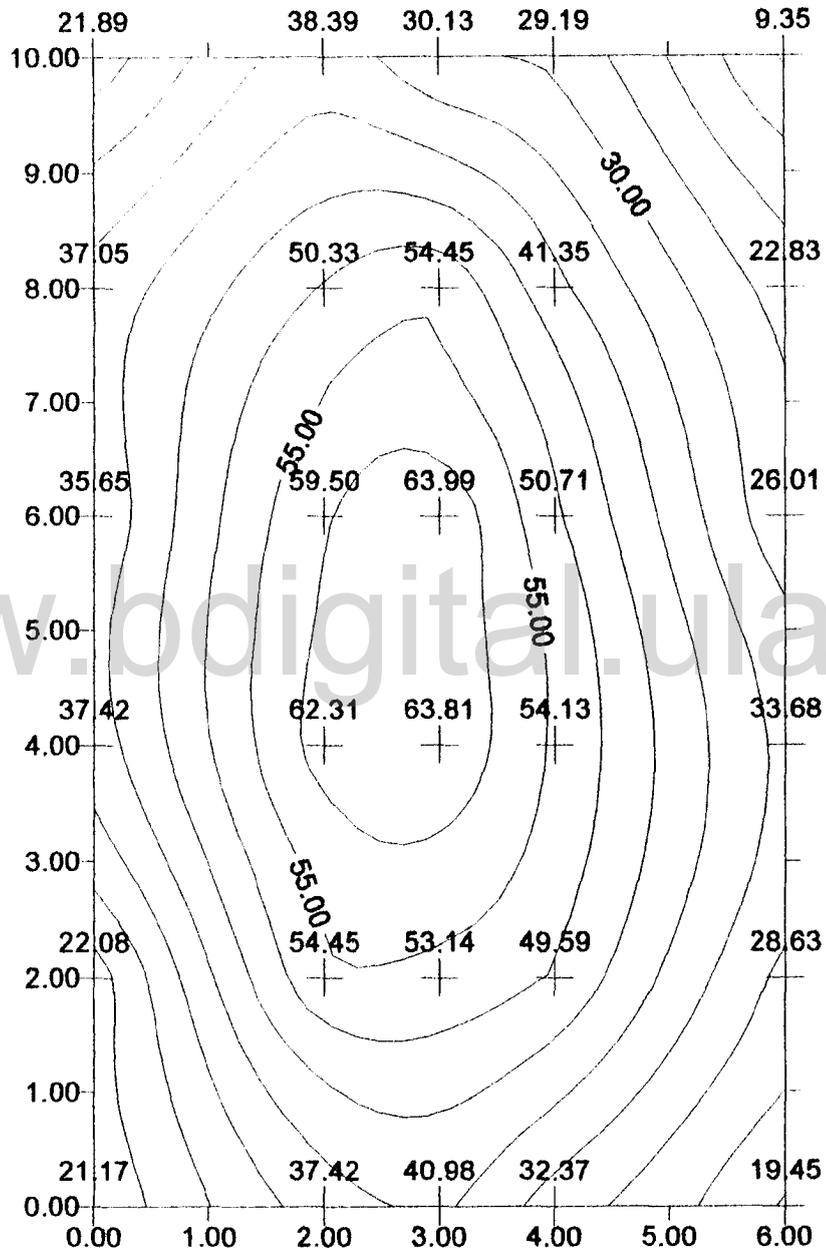


Figura 12: Distribución tridimensional de la precipitación prueba 12: (UEP3 - T3)

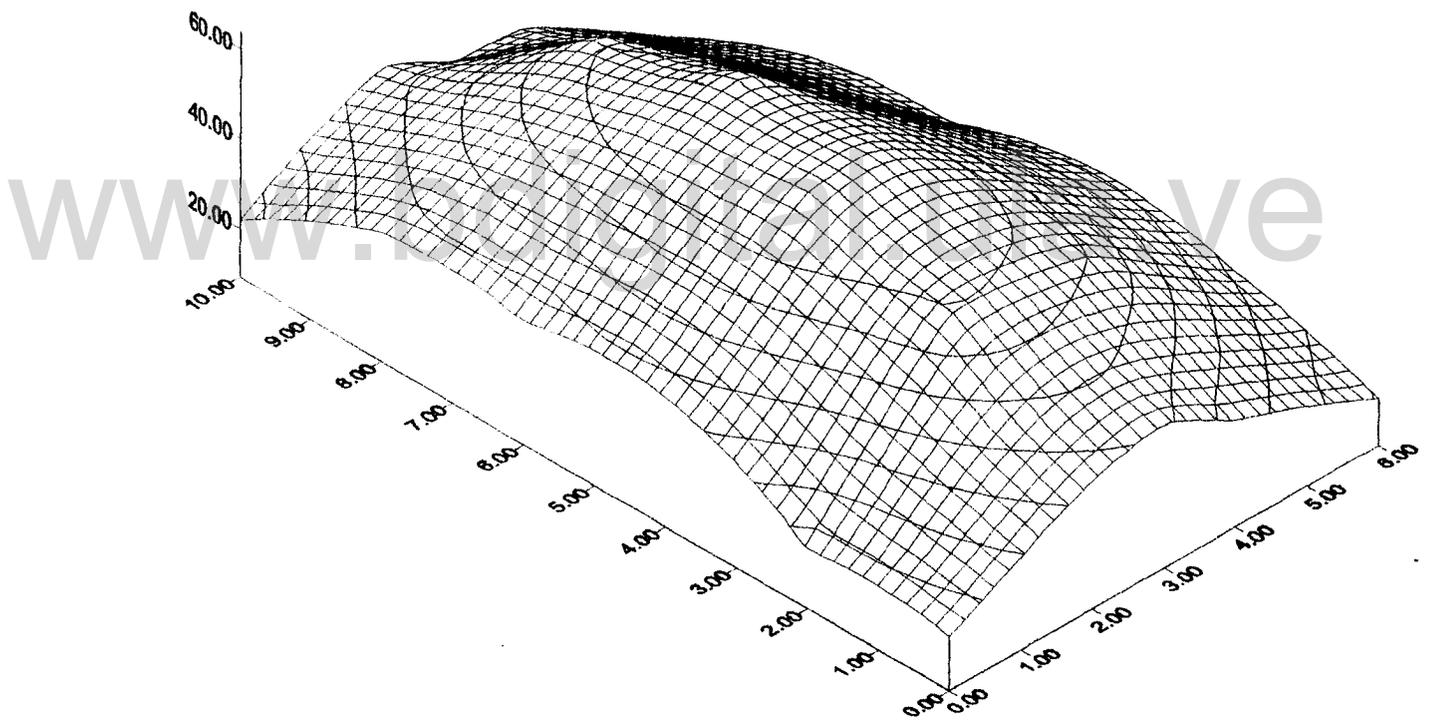


Figura 13: Distribución espacial de la precipitación prueba 16: (UEP4 - T4)

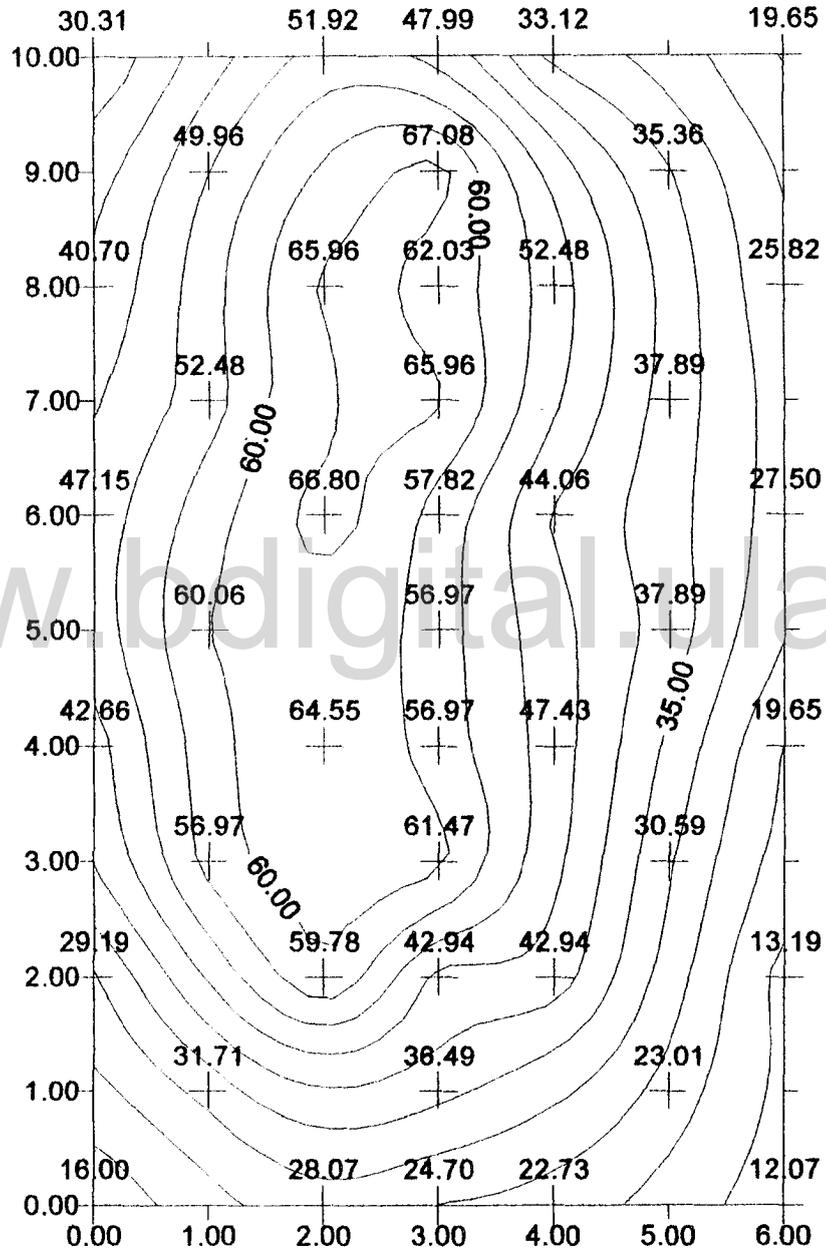


Figura 14: Distribución tridimensional de la precipitación prueba 16: (UEP4 - T4)

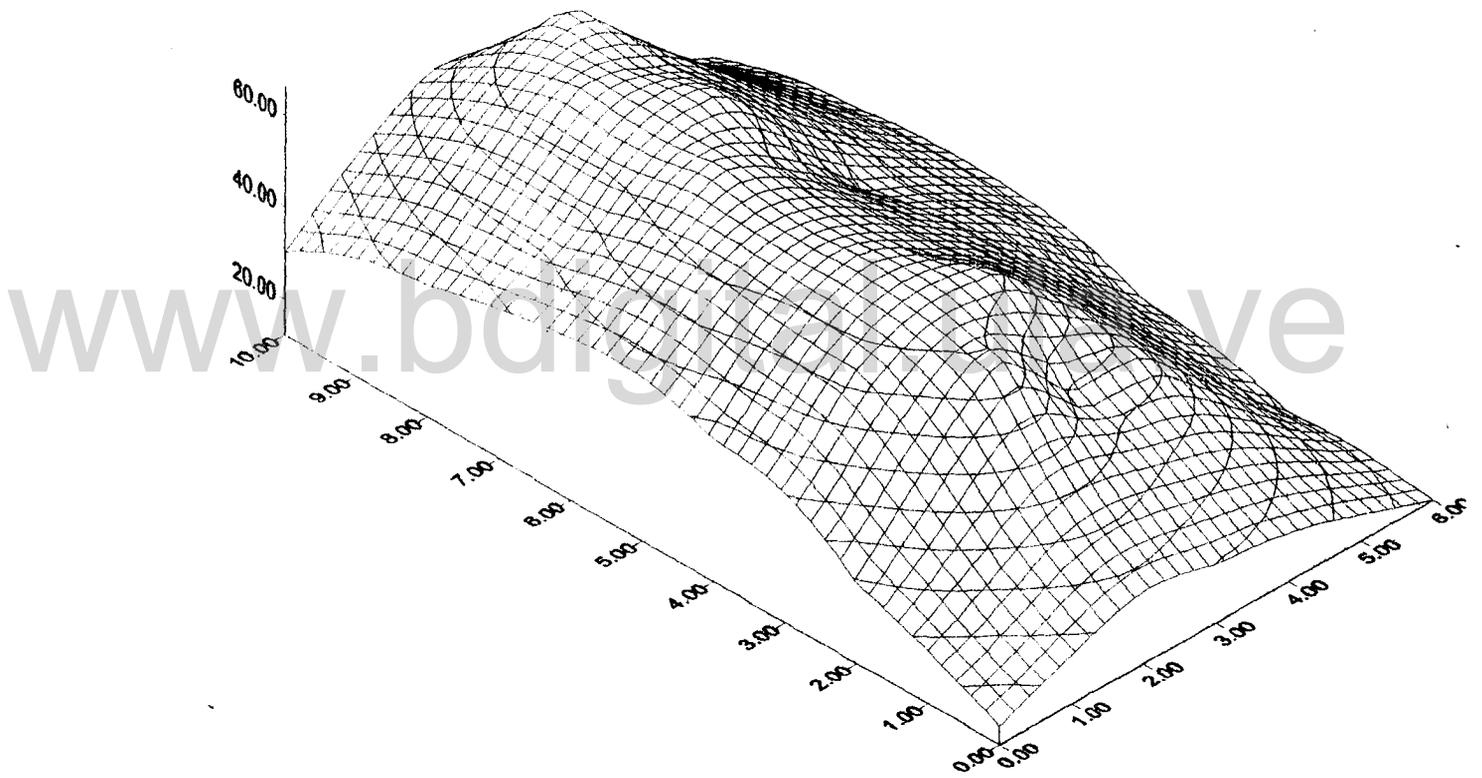


Figura 15: Levantamiento topográfico: Unidad de Experimentación Parcelaria 1

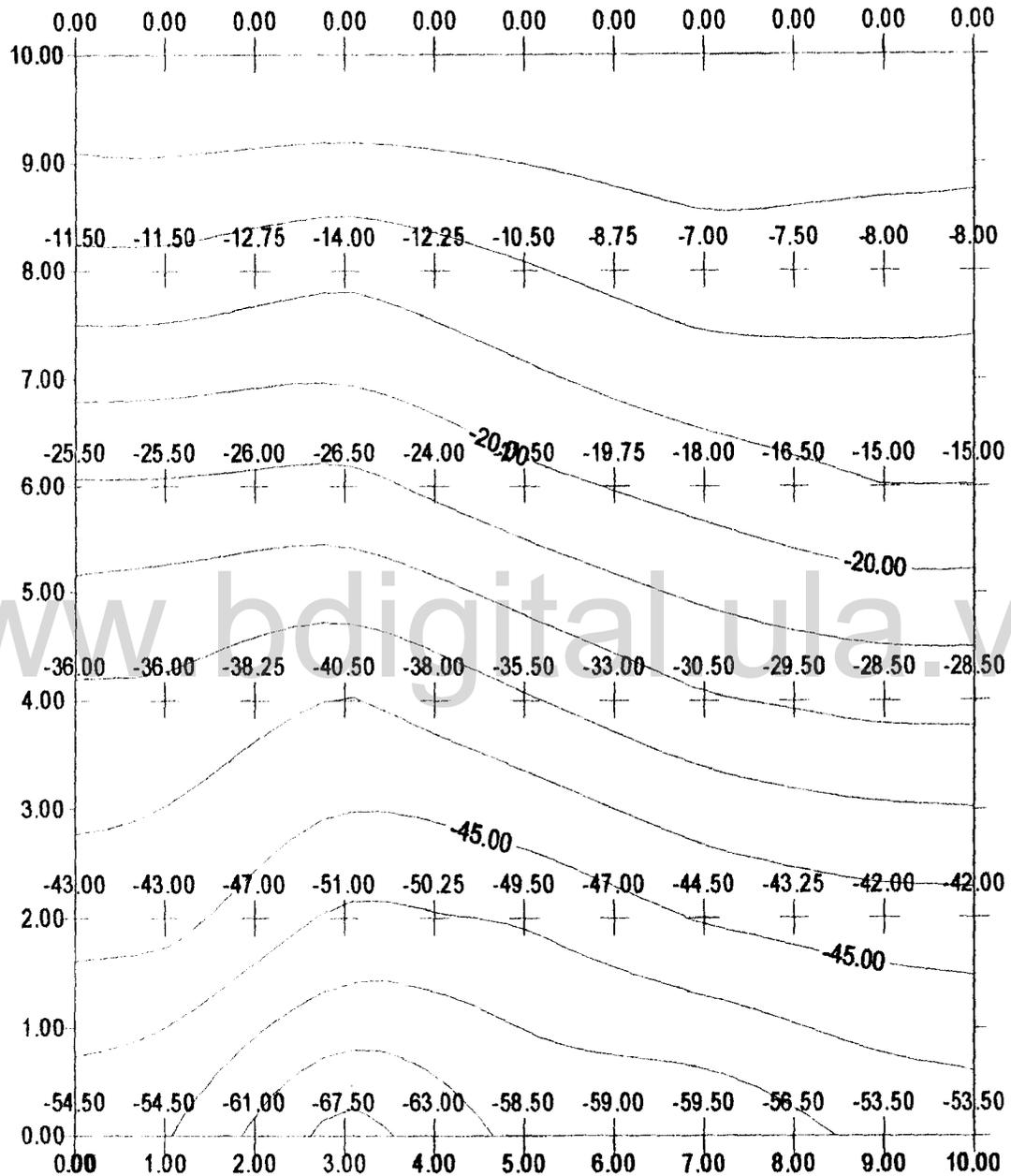


Figura 16: Configuración tridimensional topográfica: Unidad de Experimentación Parcelaria 1

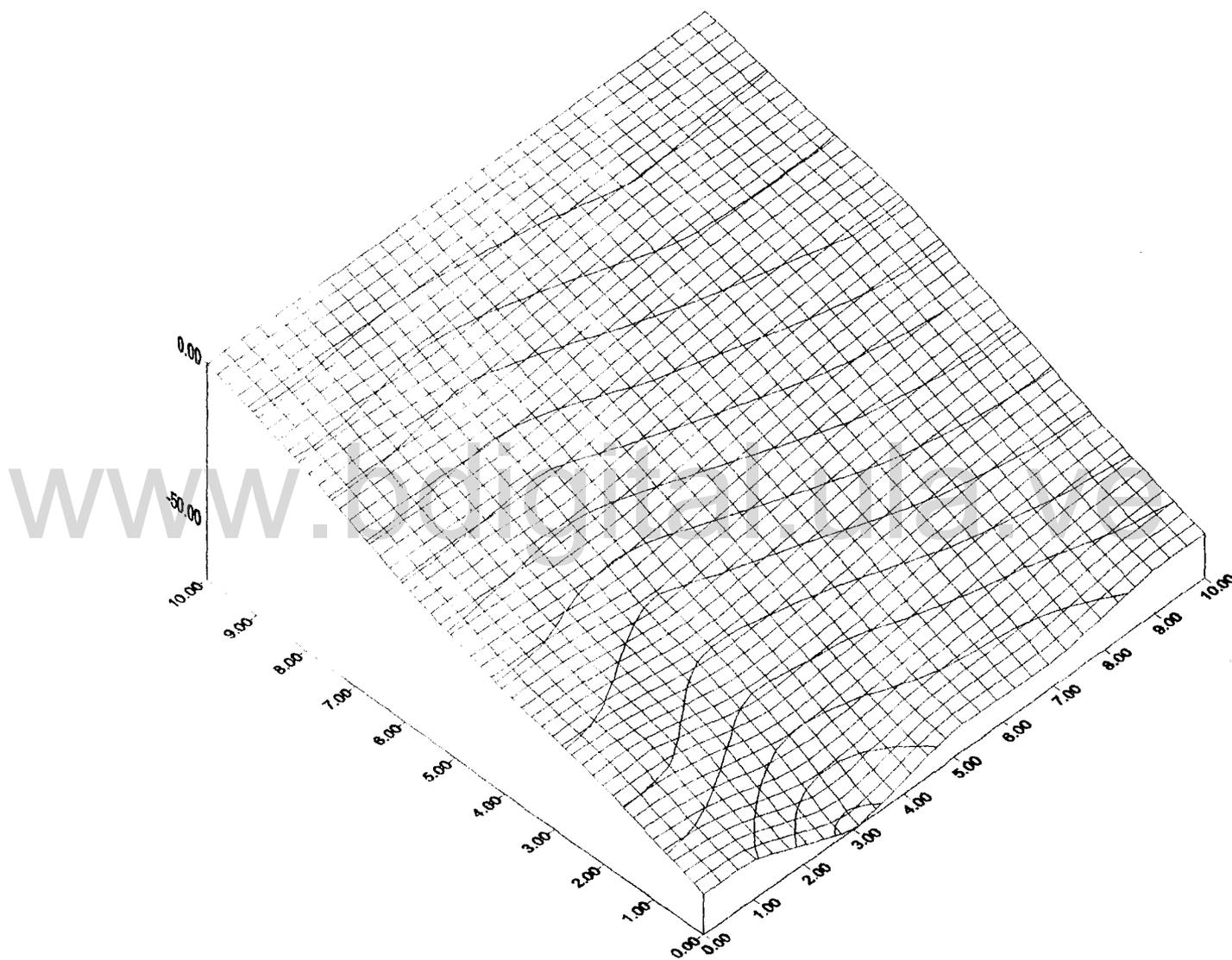


Figura 17: Levantamiento topográfico: Unidad de Experimentación Parcelaria 2

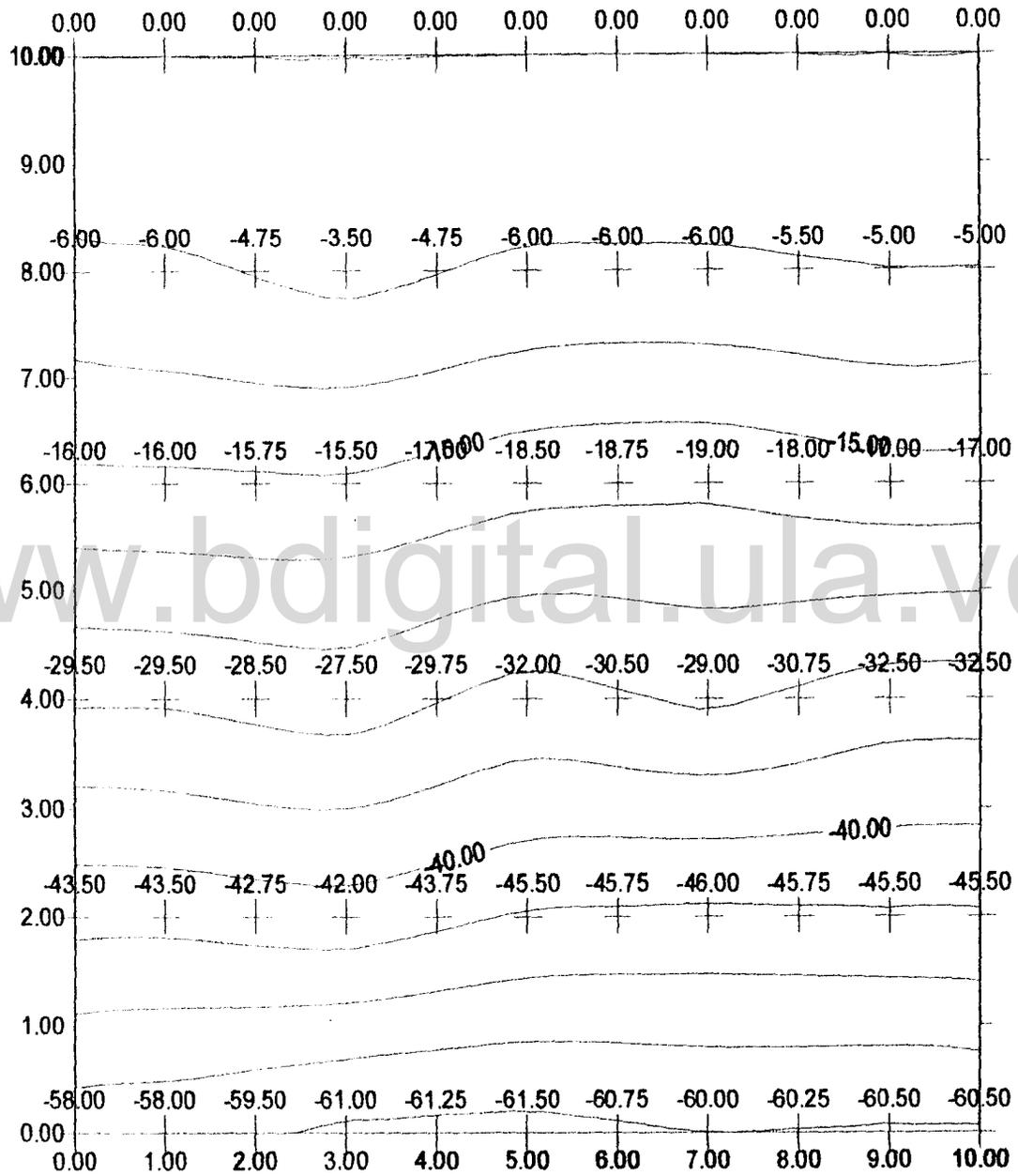


Figura 18: Configuración Tridimensional Topográfica: Unidad de Experimentación Parcelaria 2

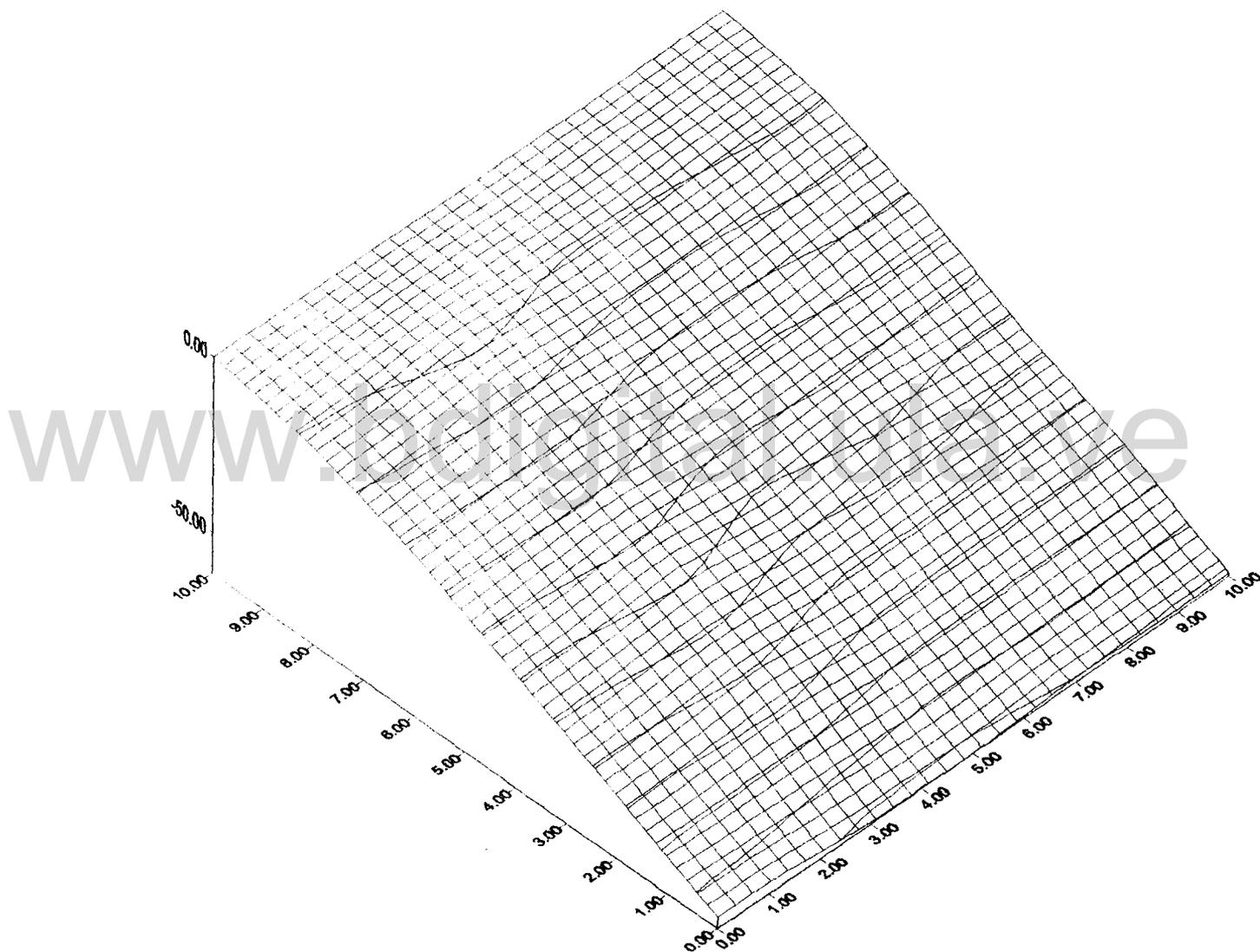


Figura 19: Levantamiento topográfico: Unidad de Experimentación Parcelaria 3

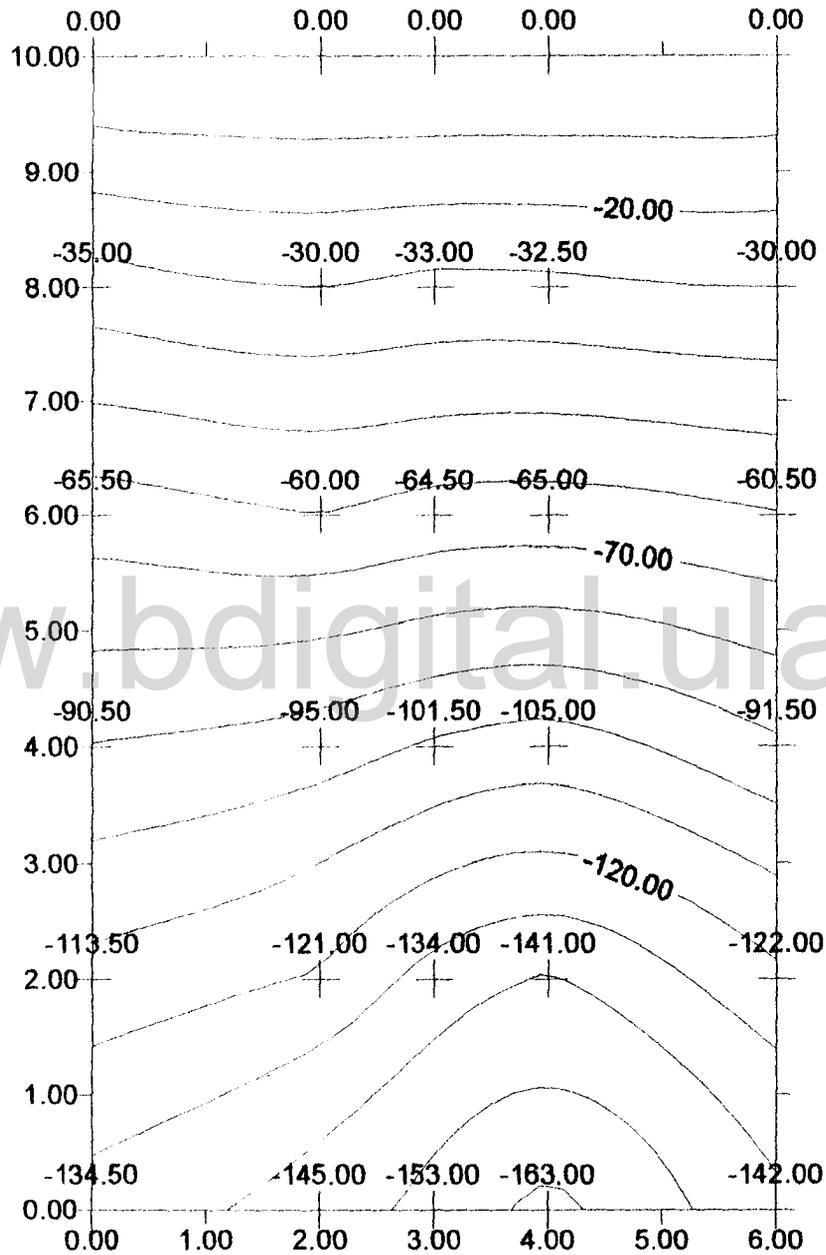


Figura 20: Configuración tridimensional topográfica: Unidad de Experimentación Parcelaria 3

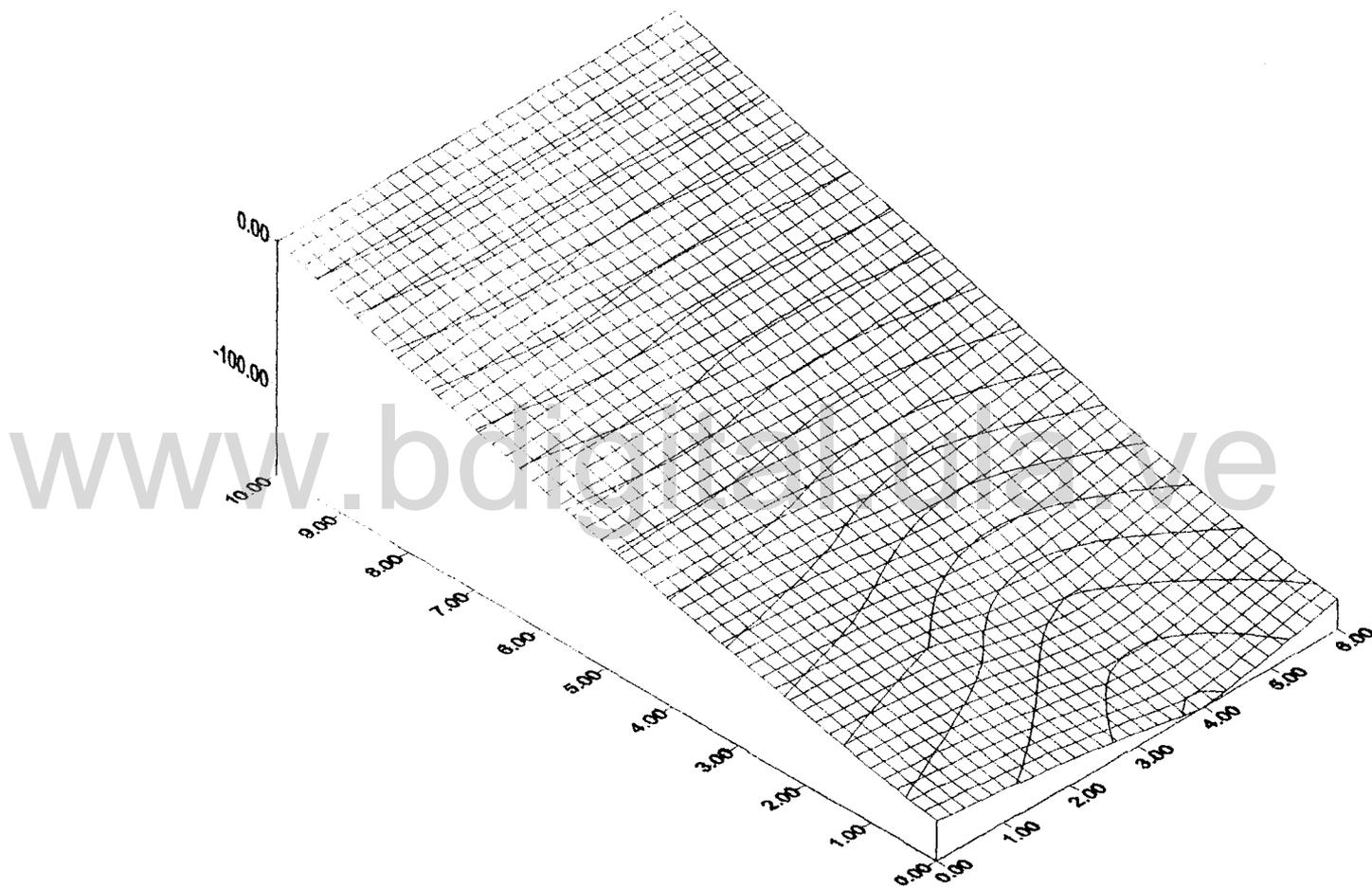


Figura 21: Levantamiento topográfico: Unidad de Experimentación Parcelaria 4

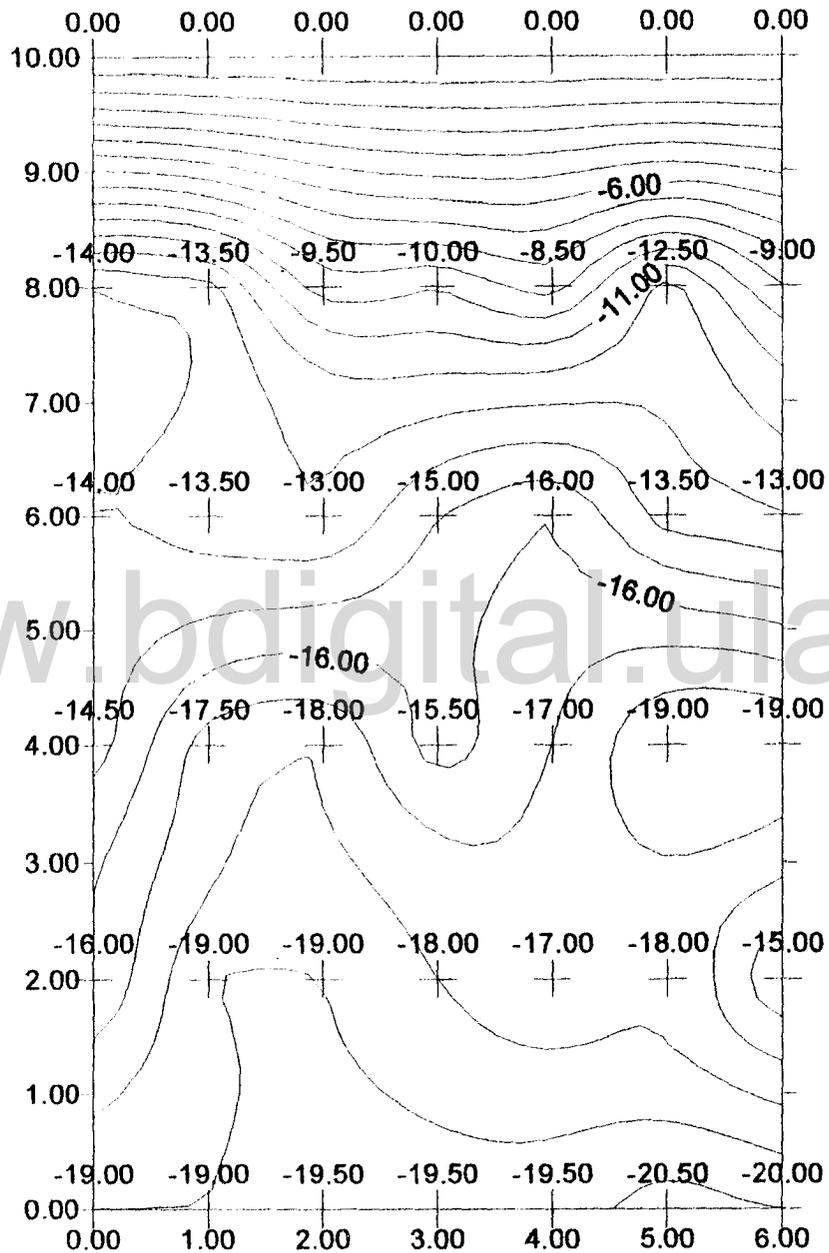
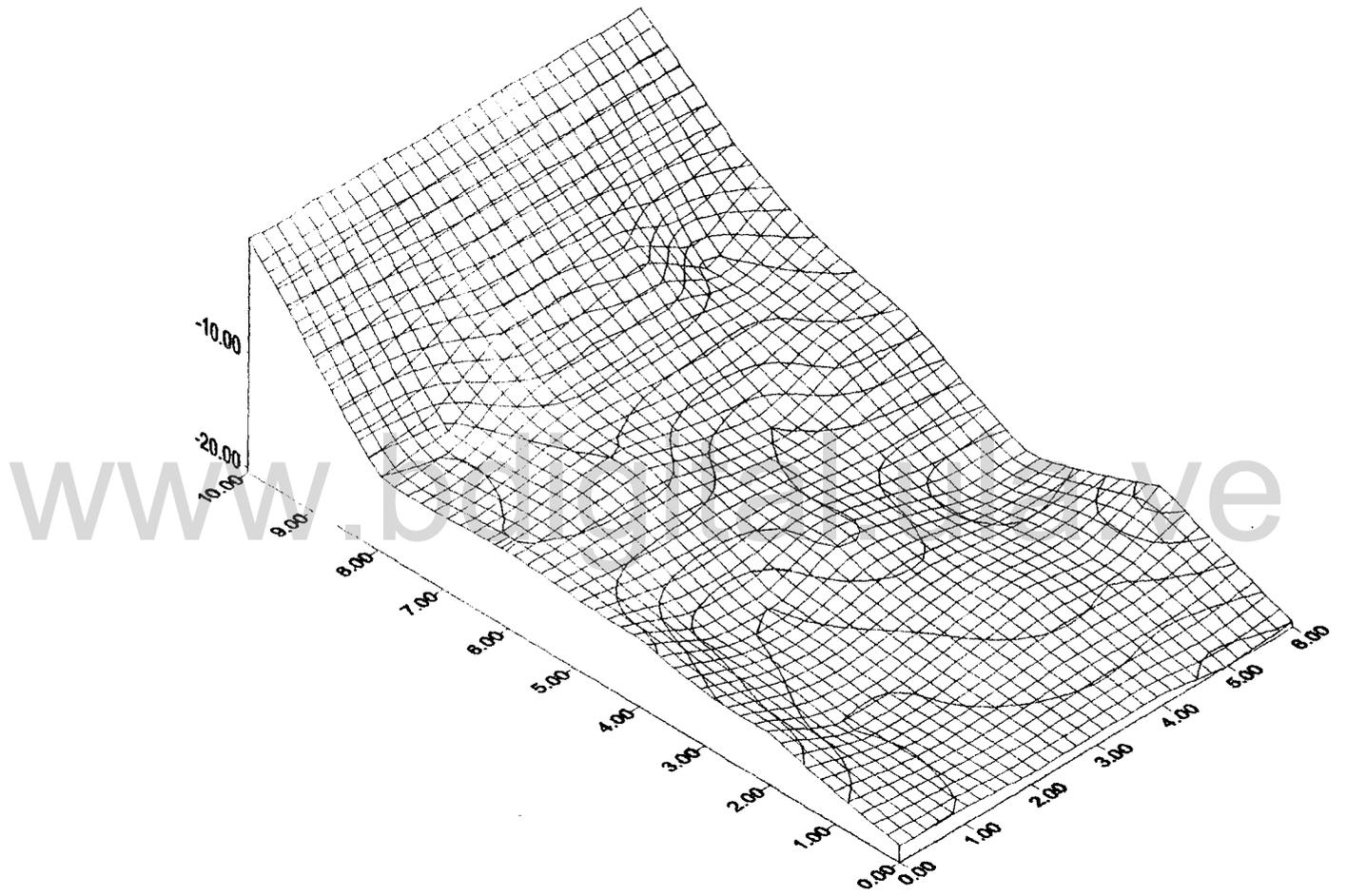


Figura 22: Configuración tridimensional topográfica: Unidad de Experimentación Experimental 4



Anexo 2: DETERMINACIONES EN LABORATORIO Y CAMPO

Mediciones preliminares.

a) Determinación de la humedad del suelo:

De las muestras de suelo recolectadas a diferentes profundidades y sitios de las parcelas en la fase de campo, se procedió a determinar el contenido de humedad del suelo (Hs) en el laboratorio.

Materiales:

- Paleta perforadora.
- Latas para muestras.
- Estufa.
- Balanza.

Procedimiento:

- Se extendieron en la mesa del laboratorio las muestras de suelo para que se secan al aire (peso seco al aire).
- Se pesaron las latas (PL). (1)
- Se introdujeron las muestras en las latas y se pesaron (PL + Ph “peso húmedo”). (2)
- Se introdujeron en la estufa y luego se pesaron (PL + Ps “peso seco”). (3)

Cálculos:

$$\text{Peso húmedo del suelo (Phs)} = (2) - (1)$$

$$\text{Peso seco del suelo (Pss)} = (3) - (1)$$

$$\text{Porcentaje de humedad: } Hs = \frac{Phs - Pss}{Pss} * 100$$

La técnica utilizada para medir la humedad del suelo fue la de recolectar dentro de cada parcela 3 muestras de suelo de los primeros 10 cm de profundidad, estas muestras se mezclaron y de esta mezcla se pesaron 10 gramos y se introdujo a la estufa a una temperatura de 105° C por un tiempo de 24 horas, luego de transcurrido el tiempo se procedió a pesar nuevamente y a efectuar los cálculos de rigor.

b) Medición de la cobertura:

Para medir la cobertura en las unidades de experimentación parcelaria 1 y 2 se dividió de manera imaginaria cada parcela experimental en cuadros y se realizó un sorteo aleatorio de los cuadros para conocer en donde se efectuaría la medición, para ello se utilizó una malla cuadrículada de dimensiones preestablecidas la cual era colocada en la superficie de la parcela experimental y se procedió a contar los cuadros de la malla en donde se observaba el terreno desnudo y los cuadros en donde se observaba cobertura vegetal de esta forma se realizó la relación del porcentaje de área que estaba cubierta por la vegetación.

En la unidad de experimentación parcelaria 3 se aplicó una remoción del pasto de manera manual, con escardilla, machete y rastrillo, para ello también se dividió cada parcela experimental en cuadros y se realizó un sorteo aleatorio de los cuadros para conocer en donde se haría el aclaréo, luego utilizando un marco de madera, con dimensiones preestablecidas, el cual era colocado en la superficie de la parcela experimental donde se procedió a remover la cobertura vegetal para cada prueba, hasta alcanzar el mínimo de 0% de cobertura.

En la unidad de experimentación parcelaria 4 no se midió la cobertura ya que esta era inexistente debido a la labor de limpieza, conformación de las parcelas y al tratamiento aplicado de suelo sin cobertura liso.

c) Verificación del área efectiva de la parcela experimental:

Esta verificación se realizó con cinta métrica y cordel aplicando para ello el *teorema de Pitágoras* para cuadrar a escuadra cada parcela experimental. Esto se realizó al momento de instalar las parcelas, luego antes de cada prueba se procedió a chequear con la cinta métrica las dimensiones requeridas.

d) Pendiente media de cada parcela experimental y a cada 2 metros:

Para ello se utilizó el caballete o nivel tipo “A” el cual fue construido con dimensiones predeterminadas, colocando un nivel de albañil para conocer por triangulación el desnivel del terreno a cada dos metros, luego se procedió a calcular la pendiente media del terreno.

Utilizando el programa “Surfer” (1994), se procedió a realizar el esquema de la topografía en curvas de nivel y aplicando el mismo programa se obtuvo la configuración tridimensional de las distintas unidades de experimentación parcelaria donde se realizaron las pruebas.

e) Longitud de la pendiente principal:

La longitud se midió utilizando la cinta métrica y fue estandarizada en todas las parcelas experimentales a 10 metros.

f) Suelo: (textura, estructura, etc.).

Textura:

Para ello se utilizó el método de Boyucos, para la determinación de los diferentes componentes texturales del suelo, el cual consiste en introducir la mezcla de suelo en un cilindro graduado con agua y un dispersante apropiado, al batir la mezcla con un agitador especial los materiales que componen el suelo se mezclaron y al dejarla en reposo se

asentaron según su granulometría, se tomo el tiempo que tardó este asentamiento y la altura alcanzada del material dentro del cilindro y se determinaron los porcentajes de arena, limo y arcilla.

Los materiales a utilizados fueron los siguientes:

- Agitador especial (batidora).
- Cilindros graduados de 1000 ml
- Densímetro. (Hidrómetro).
- Balanza.
- Termómetros.
- Tamiz de 2 mm.
- Cilindros graduados de 100 ml

Reactivos:

- Agente dispersante: se disolvió 35,7 gramos de metafosfato de sodio y 7,94 gramos de carbonato de sodio en agua desmineralizada y se diluyo a 1 litro.
- Alcohol amílico.

Actividades que se realizaron para este ensayo de laboratorio:

- Se pesó 40 gramos de suelo secado al aire previamente pasado por el tamiz de 2 mm.
- Se colocó este suelo en la copa de agitación, se incorporó aproximadamente 400 ml de agua desmineralizada y 100 ml del agente dispersante.
- Se dejó en reposo por 10 minutos.
- Se agitó por 5 minutos con el agitador especial.
- Se pasó el material a un cilindro graduado de 1000 ml, procurando que no quedaran en la copa vestigios del material.

- Se colocó el Densímetro dentro del cilindro y se enrasó con agua desmineralizada el nivel a 1000 ml
- Colocando la palma de la mano en la boca del cilindro, se agitó este suavemente para mantener todo el material en suspensión.
- Se dejó el cilindro sobre la mesa y se procedió a tomar las lecturas.
- Se introdujo el Densímetro cuidadosamente y se leyó cuidadosamente a los 50 segundos. (Cuando la cantidad excesiva de espuma no permitía leer el Densímetro, se añadían 2 gotas del alcohol amílico a la suspensión). Se anotaron la lectura del hidrómetro y la temperatura de la suspensión. Luego cuidadosamente se retiró el hidrómetro, se lavó su superficie y se secó con una toalla.
- A las dos horas después de haber colocado el cilindro sobre la mesa. Se introdujo el Densímetro y se repitió lo anterior.

Una vez obtenidas las mediciones se procedió a la rectificación por temperaturas. Cuando se introdujo el Densímetro en el cilindro, se colocó también un termómetro para conocer la temperatura de la suspensión y se efectuaron las correcciones apropiadas siguientes: los valores de la corrección fueron sumados a las lecturas del hidrómetro.

°C	Corrección
20,00	0,20
21,00	0,56
22,00	0,92
23,00	1,28
24,00	1,64
25,00	2,00
26,00	2,36
27,00	2,72
28,00	3,08

Cálculos:

$$\%(L + A) = \frac{\text{lectura}(50\text{seg})\text{corregida} * 100}{\text{pesosuelo}}$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{lectura}(2hr)\text{corregida} * 100}{\text{pesosuelo}}$$

$$\% \text{ Limo}(L) = 100 - (\% A + \% a)$$

Una vez conocidos estos porcentajes se procedió a su clasificación, para ello se siguió la forma recomendada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, citada dentro del Manual de Nacional de Ingeniería de Suelos, sección del SCS (1972). Para determinar la clase textural en base de los ensayos mecánicos hechos en el laboratorio se utilizó el triángulo textural (Tomado del Manual N° 18 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 503 paginas ilustradas, 1951), tomado del manual del SCS (1972) y que sirvió para interpretar las clases básicas de textura basándose en las proporciones de arena, limo y arcilla contenidas en las muestras de suelo.

Densidad aparente:

Para determinar la densidad aparente del suelo se procedió por el método de la parafina, en donde se escogió un terrón del suelo sin perturbarlo y se sumergió en parafina caliente en estado líquido, se sacó el terrón y se dejó que la parafina se secará formando una costra protectora alrededor del suelo se sumergió en agua para conocer el volumen de líquido que desplazaba y por diferencia de volumen se conoció el volumen del suelo.

La densidad aparente es la relación ente el peso del suelo y su volumen, y es una de las propiedades físicas más importantes del suelo, ya que su conocimiento da una idea de la manera en que las partículas del suelo se encontraban agrupadas y suministró la información sobre el grado de aireación y el comportamiento de humedad en el suelo.

Otra forma de determinar la densidad aparente fue la del método del hoyo, el cual consistió en introducir un cilindro metálico sin tapas en el suelo utilizando para ello un martillo semipesado, al retirar el cilindro este dejó el agujero en el terreno, ya que el suelo

permaneció dentro del cilindro, este hoyo fue recubierto con un plástico muy fino y se llenó con un volumen de agua que se midió, el suelo que contenía el cilindro fue llevado a estufa y secado, de ésta manera se conoció el volumen y el peso del suelo, por su relación se conoció la densidad aparente.

Contenido de Materia Orgánica y Carbono Orgánico:

Determinación de Retención de Humedad:

Estas ultimas 2 determinaciones fueron realizadas por los miembros del laboratorio de suelos del Instituto de Geografía.

www.bdigital.ula.ve

Anexo 3: DETERMINACION DE LA ESCORRENTIA Y SEDIMENTOS

Procesamiento de la información.

Ejemplo de cálculo para la determinación de la escorrentía y los sedimentos:

Escorrentía:

$$q = \frac{Vol}{t} = \frac{592ml}{7,5s} * \frac{1l}{10^3 ml} * \frac{3600s}{1h} * \frac{1}{20m^2} = 14,21mm/h$$

Sedimentos:

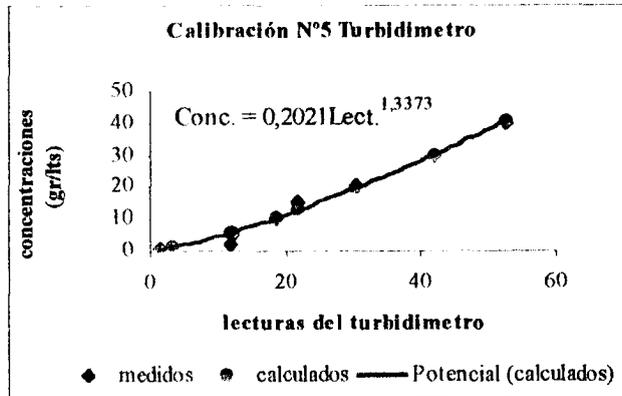
$$Y = \frac{20,60g}{592ml} * \frac{10^3 ml}{1l} * \frac{592ml}{7,5s} * \frac{1l}{10^3 ml} * \frac{3600s}{1h} * \frac{1t}{10^6 g} * \frac{1}{20m^2} * \frac{10^4 m^2}{1ha} = 4,95t/ha * h$$

A partir de la prueba 12 de la unidad de experimentación parcelaria 3, debido a la observación de la baja cantidad de sedimento contenido en las muestras ocasionada por el poder de agregación del suelo por parte de las raíces y la cobertura del pasto, y en la unidad de experimentación parcelaria 4 se utilizó el aparato llamado Turbidímetro en donde se tomó una lícua de la muestra de flujo y se analizó con el aparato al cual se le había aplicado una calibración previa, de este modo se conoció la cantidad y la concentración de sedimento contenido en cada muestra.

Datos de calibración

Lect.	Gr/lts med.	gr/lts calc.
1,33	0,50	0,30
3,33	1,00	1,01
11,83	2,00	5,50
12,17	5,00	5,71
18,50	10,00	10,00
21,83	15,00	12,49
30,33	20,00	19,38
42,00	30,00	29,95
52,67	40,00	40,53

Gráfica de calibración del Turbidímetro.



www.bdigital.ula.ve

Anexo 4: DETERMINACIONES DE LOS VALORES ACUMULADOS DE ESCORRENTIA, SEDIMENTOS Y DEL INDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA

Ejemplo de cálculo:

1) El tiempo de inicio de la escorrentía, es el tiempo cuando comienza a salir el agua en la canal a la salida de la parcela experimental, siguiendo el ejemplo de la prueba 1, parcela experimental 3, del tratamiento 1, tomamos el taces = 0 a los 4,95 minutos del tac de haberse iniciado la aplicación de la lluvia.

2) El t_{prom} es:

$$t_{prom}(i) = \frac{taces(i) + taces(i-1)}{2} = \frac{1,97min + 0min}{2} = 0,98min$$

3) El volumen de escorrentía Q (mm) se calculó como:

$$Q(i) = \frac{\left[\left(\frac{q(i) + q(i-1)}{2} \right) * (tac(i) - tac(i-1)) \right]}{60min/h} + Q(i-1)$$

$$Q(i) = \frac{((14,21mm/hr + 0,00mm/h) / 2) * (6,92min - 4,95min)}{60min/h} + 0mm = 0,23mm$$

La escorrentía total (Q_{mm}), producida durante el evento es el último valor de la serie cuando el (tac) = (tr).

4) Cálculo del sedimento acumulado generado en la serie, Y_{ac} (t/ha):

$$Yac(i) = \frac{\left[\left(\frac{Y(i-1) + Y(i)}{2} \right) * (tac(i) - tac(i-1)) \right]}{60 \text{ min/h}} + Yac(i-1)$$

$$Yac(i) = \frac{((4,95 \text{ t/ha} * \text{h} + 0,00 \text{ t/ha} * \text{h}) / 2) * (6,92 \text{ min} - 4,95 \text{ min})}{60 \text{ min/h}} + 0 \text{ t/ha} = 0,081 \text{ t/ha}$$

El sedimento total Y (t/ha), producido durante el evento es el último valor de la serie cuando el $tac = tr$

5) El caudal instantáneo medio qim en mm/h es:

$$qim(i) = \frac{Qac(i)}{tac(i) - tac(i-1)} * 60 \text{ min/h} = \frac{0,23 \text{ mm}}{6,92 \text{ min} - 4,95 \text{ min}} * 60 \text{ min/h} = 7,10 \text{ mm/h}$$

6) El valor de la erosividad de lluvia para cada punto se calculó por:

$$EI_{30} = 0,119 + 0,0873 * \log(i) * I_{30} * P_i$$

donde:

i = lluvia(intensidad)

P_i = vol.precipitación(intervalo)

I_{30} = maxima(intensidad30min)

7) El índice de la erosividad de la lluvia para el evento y para la PE3 es la sumatoria de los valores anteriores y también se calculó por la misma ecuación, pero con la precipitación total ocurrida en el t_f del evento:

$$EI_{30} = 0,119 + 0,0873 * \log(i) * P_t * I_{30}$$

donde:

i = lluvia(intensidad)

P = Vol.precipitación(total)

I_{30} = maxima(intensidad30min)

Anexo 5: ECUACIONES PARA LA COMPARACION DE METODOLOGIAS DE
CALCULO PARA LA PRODUCCION DE SEDIMENTOS

Las ecuaciones extraídas del programa (EPIC) para este análisis son las siguientes:

Para estimar el valor de la erosividad de la lluvia EI:

$$EI = R * [12,1 + 8,9 * (\log rp - 0,43)] * \frac{(r0,5)}{1.000}$$

Donde:

$R = \text{Prec. (mm)}$

$rp = -2R * \text{Ln}(1 - \alpha 0,5)$

$\alpha = 0,5$

$r0,5 = \text{int}(mm / h)$

El factor topografía LS:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,1} \right)^\xi * (65,41 * S^2 + 4,56 * S + 0,065)$$

Donde:

$S = \text{Pendiente}(m / m)$

$\lambda = \text{long. pendiente}(m)$

$\xi = 0,3 / [S + \exp(-1,47 - 61,09S)] + 0,2$

El factor erosionabilidad del suelo K:

$$K = (0,2 + 0,3 \exp(-0,0256SAN(1 - SIL/100))) \left(\frac{SIL}{CLA + SIL} \right)^{0,3}$$

$$\left(1 - \frac{0,25C}{C + \exp(3,72 - 2,95C)} \right) \left(1 - \frac{0,7SN1}{SN1 + \exp(-5,51 + 22,9SN1)} \right)$$

Donde:

SAN = % de arena.

SIL = % de limo.

CLA = % de arcilla.

SN1 = $1 - SAN/100$

El modelo de erosión utilizados es:

$$Y = X * (K) * (C) * (P) * (LS)$$

Donde:

Y = Producción de Sedimentos. En (t/ha)

X = Componente de energía. En (Mj*cm/ha*h)

K = Factor de erosionabilidad del suelo. (t/ha)/(Mj*cm/ha*h)

C = Factor cobertura y manejo de la vegetación.

P = Factor de prácticas especiales para el control de erosión.

LS = Factor topografía.

El componente de energía para la USLE de Wischmeier y Smith (1978):

$$X = EI$$

El componente de energía para la variación de la USLE por Onstad – Foster (1975):

$$X = 0,646EI + 0,4(Q * q_p)^{0,33}$$

Siendo:

Q = lamina de escorrentía

q_p = el caudal pico de la escorrentía del evento.

El componente de energía para la MUSLE de Williams (1975):

$$X = 1,586 * (Q * q_p)^{0,56} * A^{0,12}$$

Siendo:

A = área de la parcela

El componente de energía para la MUST:

$$X = 2,5(Q * q_p)^{0,5}$$

El componente de energía para la MUSS:

$$X = 0,79(Q * q_p)^{0,65} * A^{0,009}$$

Las ecuaciones de la USLE para este análisis son las siguientes:

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo USLE de Wischmeier y Smith (1978).

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

R = valor anual promedio del índice de Erosividad de la lluvia, que en nuestro caso se redujo a $EI30$ y que fue calculado anteriormente en el procesamiento de la información obtenida en campo.

A = pérdida de suelo en las unidades de K y R, que para un área tan pequeña como fue nuestra parcela se considera igual a la producción de sedimentos ya que el factor de entrega se hace igual a la unidad.

El factor erosionabilidad del suelo K:

$$100K = 2,1M^{1,14} * 10^{-4}(12 - a) + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)$$

Donde:

M = (% limo + % arena) = (100 - % arcilla)

a = % de materia orgánica

b = clase de estructura, que para nuestro caso fue igual a 3

c = clase de permeabilidad, que para nuestro caso fue igual a 3

Factor topografía LS:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,1} \right)^m$$

Donde:

$\lambda = 10m$

m = 0,5 para pendientes mayores del 5%, para cuencas de montaña.

$$S = 65,41(s/100)^2 + 4,56(s/100) + 0,065$$

Donde:

s = pendiente del terreno en %

Factor cobertura C

Los valores fueron tomados directamente de las tablas elaboradas por Wischmeier y Smith (1978) y en los casos donde fue necesario se aplicó una actualización del factor siguiendo la metodología propuesta por Dissmeyer y Foster (1982), citados por Barrios (1995).

Factor de prácticas especiales para el control de erosión P:

Para el cálculo de este factor, en la unidad de experimentación parcelaria 2 que fue donde se aplicó la práctica de cultivo en contorno o curvas de nivel, se procedió como se expone en la teoría del concepto de este factor que dice según Wischmeier y Smith (1978) citado por Barrios (1995): “El factor P de la USLE es la relación de pérdida de suelo entre una parcela donde se han aplicado prácticas especiales de conservación para el control de erosión, y las pérdidas de suelo que se producen en una parcela donde tales prácticas no se utilizan y el laboreo se efectúa en sentido de la pendiente”.

www.bdigital.ula.ve

Anexo 6: PARAMETROS PARA LAS ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO. "USLE"

Anexo 6			Parametros Ecuación de Perdida de Suelo "USLE"						
UEP1	P1	PE	Pend. %	EJ30	K	L	S	P	C
		1	5	10,04	0,035	0,67	0,51	1	1
		2	7	108,60	0,035	0,67	0,67	1	1
		3	6	435,82	0,035	0,67	0,56	1	1
		4	6	117,65	0,035	0,67	0,57	1	1
		5	5	15,34	0,035	0,67	0,50	1	1
	P4	1	5	20,27	0,035	0,67	0,51	1	0,10
		2	7	117,07	0,035	0,67	0,67	1	0,07
		3	6	317,33	0,035	0,67	0,56	1	0,10
		4	6	180,35	0,035	0,67	0,57	1	0,04
		5	5	15,54	0,035	0,67	0,50	1	0,03
	P5	1	5	34,21	0,035	0,67	0,51	1	0,4
		2	7	144,78	0,035	0,67	0,67	1	0,4
		3	6	296,21	0,035	0,67	0,56	1	0,4
		4	6	121,93	0,035	0,67	0,57	1	0,4
		5	5	4,98	0,035	0,67	0,50	1	0,4
UEP2	P2	6	6	7,16	0,035	0,67	0,51	0,7	1
		7	6	103,03	0,035	0,67	0,64	0,7	1
		8	6	304,41	0,035	0,67	0,79	0,7	1
		9	6	104,70	0,035	0,67	0,94	0,7	1
		10	6	4,93	0,035	0,67	1,11	0,7	1
	P3	6	6	10,93	0,035	0,67	0,51	0,7	0,10
		7	6	77,74	0,035	0,67	0,64	0,7	0,10
		8	6	243,93	0,035	0,67	0,79	0,7	0,10
		9	6	156,97	0,035	0,67	0,94	0,7	0,04
		10	6	25,43	0,035	0,67	1,11	0,7	0,01
	P6	6	6	17,10	0,035	0,67	0,51	0,7	0,2
		7	6	104,95	0,035	0,67	0,64	0,7	0,4
		8	6	324,59	0,035	0,67	0,79	0,7	0,4
		9	6	180,80	0,035	0,67	0,94	0,7	0,4
		10	6	18,94	0,035	0,67	1,11	0,7	0,2
UEP3	P7	1	14	206,50	0,029	0,67	1,92	1	0,003
		2	15	489,20	0,029	0,67	2,24	1	0,003
		3	15	209,22	0,029	0,67	2,21	1	0,003
	P8	1	14	165,89	0,029	0,67	1,92	1	0,003
		2	15	443,89	0,029	0,67	2,24	1	0,003
		3	15	243,40	0,029	0,67	2,21	1	0,003
	P9	1	14	218,21	0,029	0,67	1,92	1	0,013
		2	15	461,95	0,029	0,67	2,24	1	0,013
		3	15	194,05	0,029	0,67	2,21	1	0,013
	P10	1	14	361,85	0,029	0,67	1,92	1	0,020
		2	15	673,27	0,029	0,67	2,24	1	0,020
		3	15	259,42	0,029	0,67	2,21	1	0,020
	P11	1	14	298,84	0,029	0,67	1,92	1	0,020
		2	15	672,99	0,029	0,67	2,24	1	0,020
		3	15	336,16	0,029	0,67	2,21	1	0,020
	P12	1	14	404,01	0,029	0,67	1,92	1	0,017
		2	15	728,45	0,029	0,67	2,24	1	0,017
		3	15	281,94	0,029	0,67	2,21	1	0,017
	P13	1	14	348,88	0,029	0,67	1,92	1	0,031
		2	15	729,61	0,029	0,67	2,24	1	0,031

		3	15	287,52	0,029	0,67	2,21	1	0,031
	P14	1	14	271,92	0,029	0,67	1,92	1	0,031
		2	15	546,08	0,029	0,67	2,24	1	0,031
		3	15	212,25	0,029	0,67	2,21	1	0,031
UEP4	P15	1	8	536,11	0,035	0,67	0,77	1	1
		2	8	719,62	0,035	0,67	0,76	1	1
		3	8	233,14	0,035	0,67	0,77	1	1
	P16	1	8	360,13	0,035	0,67	0,77	1	1
		2	8	429,99	0,035	0,67	0,76	1	1
		3	8	139,04	0,035	0,67	0,77	1	1

www.bdigital.ula.ve

Anexo 7: PARAMETROS PARA LAS ECUACIONES CONTENIDAS EN EL PROGRAMA EROSION PRODUCTIVITY IMPACT CALCULATOR. "EPIC"

Anexo 7			Parametros de las ecuaciones del "EPIC"						
UEP1	P1	PE	Pend %	EI30	K	L	S	P	C
		1	5	2,07	0,21	0,82	0,51	1	1
		2	7	19,12	0,21	0,80	0,67	1	1
		3	6	71,82	0,22	0,81	0,56	1	1
		4	6	30,50	0,21	0,81	0,57	1	1
		5	5	3,06	0,21	0,82	0,50	1	1
	P4	1	5	3,96	0,21	0,82	0,51	1	0,10
		2	7	20,53	0,21	0,80	0,67	1	0,07
		3	6	53,02	0,22	0,81	0,56	1	0,10
		4	6	30,94	0,21	0,81	0,57	1	0,04
		5	5	3,10	0,21	0,82	0,50	1	0,03
	P5	1	5	6,45	0,21	0,82	0,51	1	0,4
		2	7	25,11	0,21	0,80	0,67	1	0,4
		3	6	49,65	0,22	0,81	0,56	1	0,4
		4	6	21,34	0,21	0,81	0,57	1	0,4
		5	5	1,09	0,21	0,82	0,50	1	0,4
UEP2	P2	6	6	1,52	0,21	0,81	0,55	0,7	1
		7	6	18,19	0,21	0,81	0,59	0,7	1
		8	6	50,96	0,21	0,81	0,59	0,7	1
		9	6	18,47	0,22	0,81	0,57	0,7	1
		10	6	1,08	0,22	0,81	0,58	0,7	1
	P3	6	6	2,23	0,21	0,81	0,55	0,7	0,10
		7	6	13,94	0,21	0,81	0,59	0,7	0,10
		8	6	41,25	0,21	0,81	0,59	0,7	0,10
		9	6	27,11	0,22	0,81	0,57	0,7	0,04
		10	6	4,89	0,22	0,81	0,58	0,7	0,01
	P6	6	6	3,38	0,21	0,81	0,55	0,7	0,2
		7	6	18,51	0,21	0,81	0,59	0,7	0,4
		8	6	54,18	0,21	0,81	0,59	0,7	0,4
		9	6	31,01	0,22	0,81	0,57	0,7	0,4
		10	6	3,72	0,22	0,81	0,58	0,7	0,2
UEP3	P7	1	14	34,25	0,24	0,79	1,99	1	0,003
		2	15	78,07	0,24	0,79	2,31	1	0,003
		3	15	34,68	0,24	0,79	2,28	1	0,003
	P8	1	14	28,58	0,24	0,79	1,99	1	0,003
		2	15	73,10	0,24	0,79	2,31	1	0,003
		3	15	41,16	0,24	0,79	2,28	1	0,003
	P9	1	14	37,09	0,24	0,79	1,99	1	0,013
		2	15	75,95	0,24	0,79	2,31	1	0,013
		3	15	33,17	0,24	0,79	2,28	1	0,013
	P10	1	14	40,82	0,24	0,79	1,99	1	0,020
		2	15	73,88	0,24	0,79	2,31	1	0,020
		3	15	29,74	0,24	0,79	2,28	1	0,020
	P11	1	14	34,02	0,24	0,79	1,99	1	0,020
		2	15	73,86	0,24	0,79	2,31	1	0,020
		3	15	38,05	0,24	0,79	2,28	1	0,020
	P12	1	14	45,34	0,24	0,79	1,99	1	0,017
		2	15	79,68	0,24	0,79	2,31	1	0,017
		3	15	32,19	0,24	0,79	2,28	1	0,017

	P13	1	14	39,42	0,24	0,79	1,99	1	0,031
		2	15	79,80	0,24	0,79	2,31	1	0,031
		3	15	32,79	0,24	0,79	2,28	1	0,031
	P14	1	14	45,75	0,24	0,79	1,99	1	0,031
		2	15	89,16	0,24	0,79	2,31	1	0,031
		3	15	36,13	0,24	0,79	2,28	1	0,031
UEP4	P15	1	8	58,18	0,21	0,79	0,84	1	1
		2	8	77,11	0,21	0,79	0,82	1	1
		3	8	26,31	0,21	0,79	0,84	1	1
	P16	1	8	59,84	0,21	0,79	0,84	1	1
		2	8	70,90	0,21	0,79	0,82	1	1
		3	8	24,17	0,21	0,79	0,84	1	1

www.bdigital.ula.ve

Anexo 8: PARAMETROS PARA EL ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE CON EL PROGRAMA "STATISTIX"

Anexo 8: PARAMETROS PARA EL ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE									
P	PE	I	EI	qp	Q	CV	HS	PEN	Y
1	1	10,54	10,04	0,48	0,26	0	16,41	5,45	0,02
	2	29,13	108,60	19,27	16,79	0	15,34	6,75	7,71
	3	53,71	435,82	37,29	35,98	0	13,51	5,85	17,50
	4	36,13	117,65	16,34	14,45	0	12,87	5,95	7,22
	5	12,59	15,34	2,00	1,37	0	19,76	5,35	0,23
4	1	14,16	20,27	5,89	5,12	39	22,70	5,45	0,114
	2	30,10	117,07	28,11	27,46	54	20,19	6,75	0,476
	3	46,66	317,33	44,25	45,12	44	19,76	5,85	1,671
	4	36,37	180,35	31,55	32,45	64	19,33	5,95	0,713
	5	12,66	15,54	7,25	6,54	73	19,76	5,35	0,163
5	1	17,69	34,21	4,93	4,12	6	13,76	5,45	0,151
	2	33,03	144,78	26,01	24,65	6	10,38	6,75	3,341
	3	45,26	296,21	38,29	36,96	5	10,62	5,85	4,281
	4	30,64	121,93	18,07	17,30	4	9,17	5,95	3,137
	5	7,88	4,98	3,19	2,63	6	11,13	5,35	0,177
2	6	9,16	7,16	1,67	0,89	0	16,14	5,79	0,05
	7	28,47	103,03	15,66	14,20	0	15,61	6,10	4,68
	8	45,81	304,41	38,83	36,22	0	14,09	6,15	10,54
	9	28,67	104,70	13,82	14,03	0	13,25	6,00	6,50
	10	7,85	4,93	0,79	0,43	0	16,96	6,05	0,12
3	6	10,92	10,93	3,55	3,15	45	23,61	5,79	0,09
	7	25,19	77,74	16,60	15,94	46	19,62	6,10	0,231
	8	41,54	243,93	38,36	38,56	48	20,19	6,15	0,619
	9	34,22	156,97	19,02	19,81	58	22,10	6,00	0,339
	10	15,59	25,43	2,77	2,20	76	20,77	6,05	0,045
6	6	13,18	17,10	5,43	4,64	25	7,99	5,79	0,175
	7	28,70	104,95	22,05	20,64	11	10,13	6,10	1,315
	8	47,13	324,59	36,58	34,51	28	13,77	6,15	5,312
	9	36,41	180,80	23,68	22,10	10	12,87	6,00	2,015
	10	13,76	18,94	6,19	5,57	30	14,16	6,05	0,253
7	1	38,12	206,50	23,08	21,86	100	143,90	14,00	0,07
	2	55,83	489,20	50,38	46,46	100	170,27	15,37	0,12
	3	38,34	209,22	24,94	23,37	100	177,78	15,25	0,06
8	1	35,06	165,89	21,19	21,20	100	113,33	14,00	0,07
	2	54,15	443,89	50,32	49,76	100	179,04	15,37	0,24
	3	41,50	243,40	32,11	30,13	100	186,85	15,25	0,09
9	1	39,55	218,21	24,20	24,65	75	113,33	14,00	0,12
	2	55,12	461,95	53,52	56,40	75	179,04	15,37	0,37
	3	37,56	194,05	28,52	28,17	75	186,85	15,25	0,16
10	1	41,34	361,85	3,97	3,72	50	30,65	14,00	0,00
	2	54,42	673,27	19,56	24,87	50	33,57	15,37	0,00
	3	35,71	259,42	6,24	6,68	50	31,06	15,25	0,00
11	1	38,00	298,84	10,15	13,25	50	51,05	14,00	0,02
	2	54,41	672,99	43,10	61,84	50	56,24	15,37	0,09
	3	40,02	336,16	22,15	32,27	50	54,72	15,25	0,06

12	1	43,40	404,01	8,09	8,44	25	31,58	14,00	0,17
	2	56,36	728,45	23,72	29,71	25	26,74	15,37	0,46
	3	37,04	281,94	12,25	16,72	25	42,05	15,25	0,27
13	1	40,68	348,88	13,67	16,44	0	53,85	14,00	0,41
	2	56,40	729,61	26,65	34,51	0	21,21	15,37	1,28
	3	37,36	287,52	17,54	22,99	0	42,86	15,25	0,60
14	1	43,58	271,92	6,71	4,62	0	8,76	14,00	0,22
	2	59,38	546,08	25,09	20,76	0	6,61	15,37	0,87
	3	39,07	212,25	19,32	16,14	0	8,70	15,25	0,68
15	1	48,71	536,11	42,28	64,07	0	48,71	7,92	51,17
	2	55,51	719,62	48,22	73,15	0	55,71	7,80	59,78
	3	33,75	233,14	25,81	38,68	0	33,75	7,92	33,13
16	1	49,35	360,13	38,21	38,73	0	49,35	7,92	40,75
	2	53,39	429,99	41,61	41,84	0	53,39	7,80	53,89
	3	32,45	139,04	22,13	22,33	0	32,45	7,92	24,17

www.bdigital.ula.ve

ANEXO 9: ANALISIS DE REGRESION MULTIPLE PARA LOS
TRATAMIENTOS 2, 3 Y 4

www.bdigital.ula.ve

Anexo 9.1: Mejor combinación de regresión del modelo para "Y" (T2).

UNFORCED INDEPENDENT VARIABLES: (A)CU (B)EI (C)HS (D)I (E)PEN (F)Q (G)QP
3 "BEST" MODELS FROM EACH SUBSET SIZE LISTED.

P	CP	ADJUSTED R SQUARE	R SQUARE	RESID SS	MODEL VARIABLES
1	126.0	0.0000	0.0000	47.8315	INTERCEPT ONLY
2	38.5	0.6169	0.6443	17.0143	D
2	38.7	0.6149	0.6425	17.1021	B
2	44.0	0.5739	0.6044	18.9239	G
3	9.1	0.8481	0.8698	6.22926	A F
3	10.6	0.8353	0.8588	6.75238	A G
3	14.6	0.8020	0.8303	8.11626	A B
4	7.4	0.8686	0.8967	4.93885	A C F
4	8.5	0.8584	0.8888	5.32024	A B C
4	8.5	0.8582	0.8886	5.32982	A C D
5	7.8	0.8711	0.9079	4.40552	A C E F
5	8.3	0.8665	0.9047	4.56040	A C D F
5	8.3	0.8662	0.9045	4.57000	A B C F
6	7.9	0.8785	0.9219	3.73606	A C D F G
6	8.0	0.8768	0.9208	3.78861	A B C F G
6	8.3	0.8741	0.9191	3.87160	A C E F G
7	7.1	0.8981	0.9418	2.78534	A B C D F G
7	9.0	0.8742	0.9281	3.43852	A C D E F G
7	9.1	0.8727	0.9273	3.47891	A B C E F G
8	8.0	0.8993	0.9496	2.40848	A B C D E F G

Anexo 9.2: Análisis de regresión múltiple para el mejor modelo (T2).

PREDICTOR VARIABLES	COEFFICIENT	STD ERROR	STUDENT'S T	P	VIF
CONSTANT	-24.1140	18.4422	-1.31	0.2234	
Q	3.16134	1.89812	1.67	0.1302	226.4
CU	-0.20247	0.04187	-4.84	0.0009	1.5
HS	-1.34965	0.63586	-2.12	0.0628	1.2
PEN	14.5061	10.7387	1.35	0.2097	1.7
QP	-2.42804	2.17941	-1.11	0.2941	227.9
R-SQUARED	0.9191	RESID. MEAN SQUARE (MSE)	0.43018		
ADJUSTED R-SQUARED	0.8741	STANDARD DEVIATION	0.65588		
SOURCE	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	5	43.9599	8.79198	20.44	0.0001
RESIDUAL	9	3.87160	0.43018		
TOTAL	14	47.8315			

Anexo 9.3: Análisis de regresión para las variables "Y" y "Q" (P2).

PREDICTOR VARIABLES	COEFFICIENT	STD ERROR	STUDENT'S T	P	
CONSTANT	-1.85927	0.48117	-3.86	0.0306	
Q	1.24528	0.20470	6.08	0.0009	
R-SQUARED	0.9250	RESID. MEAN SQUARE (MSE)	0.63157		
ADJUSTED R-SQUARED	0.9000	STANDARD DEVIATION	0.79471		
SOURCE	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	1	23.3735	23.3735	37.01	0.0009
RESIDUAL	3	1.89471	0.63157		
TOTAL	4	25.2682			

Anexo 9.4: Mejor combinación de regresión del modelo para "Y" (T3).

UNFORCED INDEPENDENT VARIABLES: (A)CU (B>EI (C)HS (D)I (E)PEN (F)Q (G)QP
3 "BEST" MODELS FROM EACH SUBSET SIZE LISTED.

P	CP	ADJUSTED R SQUARE	R SQUARE	RESID SS	MODEL VARIABLES
1	37.0	0.0000	0.0000	23.5207	INTERCEPT ONLY
2	10.9	0.4529	0.4767	12.3092	A
2	23.5	0.2306	0.2641	17.3091	C
2	25.6	0.1934	0.2285	18.1469	D
3	2.4	0.6216	0.6545	8.12691	A E
3	3.0	0.6098	0.6437	8.37999	A D
3	4.5	0.5830	0.6193	8.95545	A B
4	0.9	0.6708	0.7137	6.73302	A D E
4	1.4	0.6608	0.7050	6.93841	A B E
4	4.2	0.6072	0.6585	8.03310	A C E
5	2.7	0.6566	0.7163	6.67176	A D E F
5	2.8	0.6555	0.7154	6.69366	A D E F
5	2.9	0.6544	0.7145	6.71575	A B D E
6	4.7	0.6382	0.7169	6.65919	A C D E G
6	4.7	0.6381	0.7168	6.66198	A D E F G
6	4.7	0.6376	0.7164	6.67140	A B D E G
7	6.2	0.6291	0.7259	6.44733	A B D E F G
7	6.7	0.6175	0.7173	6.64978	A C D E F G
7	6.7	0.6170	0.7169	6.65832	A B C D E G
8	8.0	0.6105	0.7290	6.37334	A B C D E F G

Anexo 9.5: Análisis de regresión múltiple para el mejor modelo (T3).

PREDICTOR VARIABLES	COEFFICIENT	STD ERROR	STUDENT'S T	P	VIF
CONSTANT	-27.6983	9.59578	-2.89	0.0098	
Q	0.11226	0.69061	0.16	0.8727	15.7
CU	-0.13484	0.02764	-4.88	0.0001	1.1
PEN	7.45200	3.78174	1.97	0.0643	1.7
QP	-0.21002	0.71781	-0.29	0.7732	14.9
I	1.68281	0.85897	1.96	0.0658	1.5

R-SQUARED	0.7168	RESID. MEAN SQUARE (MSE)	0.37011
ADJUSTED R-SQUARED	0.6381	STANDARD DEVIATION	0.60837

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	5	16.8588	3.37175	9.11	0.0002
RESIDUAL	18	6.66198	0.37011		
TOTAL	23	23.5207			

Anexo 9.6: Análisis de regresión para las variables "Y" y "Q" (P7 y P8).

PREDICTOR VARIABLES	COEFFICIENT	STD ERROR	STUDENT'S T	P
CONSTANT	-6.52263	0.98274	-6.64	0.0027
Q	1.22286	0.28695	4.26	0.0130

R-SQUARED	0.8195	RESID. MEAN SQUARE (MSE)	0.06014
ADJUSTED R-SQUARED	0.7744	STANDARD DEVIATION	0.24524

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	1	1.09232	1.09232	18.16	0.0130
RESIDUAL	4	0.24058	0.06014		
TOTAL	5	1.33289			

Anexo 9.7: Mejor combinación de regresión del modelo para "Y" (T4).

UNFORCED INDEPENDENT VARIABLES: (A)PEN (B)Q (C)QP
3 "BEST" MODELS FROM EACH SUBSET SIZE LISTED.

P	CP	ADJUSTED R SQUARE	R SQUARE	RESID SS	MODEL VARIABLES
1	198729.9	0.0000	0.0000	0.65242	INTERCEPT ONLY
2	10927.5	0.9313	0.9450	0.03588	B
2	16910.2	0.8936	0.9149	0.05552	C
2	145214.1	0.0866	0.2693	0.47673	A
3	179.7	0.9985	0.9991	5.900E-04	B C
3	9300.9	0.9220	0.9532	0.03053	A B
3	15392.6	0.8709	0.9225	0.05053	A C
4	4.0	1.0000	1.0000	6.566E-06	A B C

Anexo 9.8: Análisis de regresión múltiple para el mejor modelo (T4).

PREDICTOR VARIABLES	COEFFICIENT	STD ERROR	STUDENT'S T	P	VIF
CONSTANT	-4.98519	0.28728	-17.35	0.0033	
Q	0.48057	0.00387	124.06	0.0001	4.1
QP	0.57770	0.00599	96.43	0.0001	5.2
PEN	1.80453	0.13536	13.33	0.0056	1.7

R-SQUARED 1.0000 RESID. MEAN SQUARE (MSE) 3.283E-06
ADJUSTED R-SQUARED 1.0000 STANDARD DEVIATION 0.00181

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	3	0.65241	0.21747	66243.95	0.0000
RESIDUAL	2	6.566E-06	3.283E-06		
TOTAL	5	0.65242			

CASES INCLUDED 6 MISSING CASES 0

Anexo 9.9: Análisis de regresión para las variables "Y" y "Q" (P15 y P16).

PREDICTOR VARIABLES	COEFFICIENT	STD ERROR	STUDENT'S T	P
CONSTANT	-0.52459	0.37941	-1.38	0.2389
Q	0.83055	0.10018	8.29	0.0012

R-SQUARED 0.9450 RESID. MEAN SQUARE (MSE) 0.00897
ADJUSTED R-SQUARED 0.9313 STANDARD DEVIATION 0.09471

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
REGRESSION	1	0.61654	0.61654	68.73	0.0012
RESIDUAL	4	0.03588	0.00897		
TOTAL	5	0.65242			

Anexo 10: *CONTROL SEMANTICO*

Abreviatura	Significado
<i>a</i>	porcentaje de materia orgánica
%	Porcentaje de arena
<i>A</i>	Área de la parcela
"A"	Caballote en forma de la letra "A"
<i>A</i>	pérdida de suelo expresada en las unidades de "K" y "LS"
%A	porcentaje de arcilla
<i>b</i>	clase estructural
"buffer"	cilindro amortiguador para pruebas de infiltración
CLA	arcilla
<i>c</i>	clase de permeabilidad
CP-SARH	Colegio de Postgraduados, Chapingo México
CEFAP	Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado
CEP	Centro de Estudios de Postgrado
CIDIAT	Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial
CV	Cobertura vegetal
codo 90°	Accesorio de hierro galvanizado para tubería en ángulo recto expresado en grados
CDCHT	Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico
CN	Curvas de Nivel
"C"	factor cobertura y manejo de la vegetación
°C	Grados centígrados
<i>Cp</i>	Estadístico de Mallows
Δ	delta o diferencial
<i>Da</i>	lamina de detención superficial al cese de la lluvia
et al	y otros
<i>e</i>	energía cinética unitaria
<i>e</i>	Exponencial
<i>E</i>	energía total
EI30	índice de erosividad de la lluvia
EPIC	Programa "Erosión Productivity Impact Calculator"
esco	escorrentía
escu	escurrimiento
Exp	exponencial
Exp.Asc.	ecuación exponencial asociada
Σ	Sumatoria
FAGRO-UCV	Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela
FAO	Fund Agricultural Organization. (Organization of the Agricultural Fund).
<i>F</i>	Infiltración acumulada
<i>f</i>	Infiltración instantánea
<i>Fcal</i>	Infiltración acumulada calculada
<i>fcal</i>	infiltración instantánea calculada
<i>fo</i>	infiltración instantánea inicial

fc	Infiltración instantánea constante
Fmed	Infiltración acumulada medida
Fr	lamina de infiltración durante la recesión
fr	taza de infiltración instantánea durante la recesión
ff	infiltración instantánea al final de la lluvia
g	gramos
h	horas
ha	hectáreas
Hs	Humedad del suelo
Horton	Modelo de Horton
i	intensidad de la lluvia
int	intensidad de la lluvia
Imed	intensidad de la lluvia medida
IIAP	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
J	Unidad de energía "joules"
"K"	factor de erosionabilidad de la USLE que depende del suelo, humedad, cobertura.
λ	Lambda, longitud de la pendiente
l	litros
%L	porcentaje de limo
log	logaritmo sobre la base de 10
"L"	factor longitud de la pendiente de la USLE
"LS"	factor topografía de la USLE
m	metros
m ²	metros cuadrados
min	minutos
mm	milímetros
m.	mililitros
M	porcentaje de limo + porcentaje de arena
Mj	Megajoules
MUSLE	Modificación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo
M.O.	Materia orgánica
MUSI	Modificación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo
MUST	Modificación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo
MUSS	Modificación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo
Ms.C.	Magister Scientae
½"	Media pulgada
n	enésima potencia
NY	New York
# mu	numero de muestra
Obs	Observación
O&F	Ecuación USLE modificada por Ostand y Foster
P	Precipitación
"P"	factor de prácticas especiales para el control de erosión de la USLE
PE	Parcelas Experimentales
PEN	Pendiente
Ph	Peso húmedo

P _{hs}	Peso húmedo del suelo
PI	Peso de lata
power fit	ecuación potencia
P _s	Peso seco
P _{ss}	Peso seco del suelo
%	Porcentaje
q	escorrentía en función del tiempo
q _c	caudal de escorrentía constante
q _f	caudal de escorrentía al final de la lluvia
q _{im}	caudal instantáneo medio
q _p	caudal pico
q _r	caudal de escorrentía durante la recesión
q _{rmed}	caudal de escorrentía medida durante la recesión
Q	volumen de escorrentía
Q _{ac}	Volumen acumulado de escorrentía
Q _{mm}	volumen escorrentía total expresada en milímetros
Q _r	lamina de escurrimiento durante la recesión
R	factor de erosividad de la lluvia de la USLE
R ²	Coefficiente de determinación
ρ	Densidad aparente "ro"
RUSLE	Rectificación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo
s	pendiente del terreno expresada en porcentaje
seg	segundos
S	pendiente del terreno expresada en m/m
"S"	factor pendiente de la USLE
SCS	Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América
SP	Sentido de la Pendiente
SAN	arena
SIL	limo
t	toneladas
t	tiempo
tac	tiempo acumulado
taces	tiempo acumulado desde el inicio de la escorrentía
te	tiempo de encharcamiento
"te"	Accesorio de hierro galvanizado en forma de "T" para tuberías
tesco	tiempo de escorrentía
tescu	tiempo de escurrimiento
tf	tiempo de finalización
to	tiempo de inicio
tprom	tiempo promedio
tr	tiempo de recesión o retardo
T	Tratamiento
3"	tres pulgadas
UEP	Unidad de Experimentación Parcelaria
ULA	Universidad de Los Andes
USA	Estados Unidos de América

USLE	Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo
Vd	Volumen en las depresiones
Vol	volumen
vs	Versus, contra
%W	porcentaje de humedad
W&S	Wischmeier y Smith
Weibull	Modelo de Weibull
X	componente de energía
Y	producción de sedimentos
Yac	Producción de sedimentos acumulado

www.bdigital.ula.ve

LITERATURA CITADA

Alberts, E.; Laflen, J. and Spomer, R. 1986. Temporal Variation in Soil Erodibility Determined by Rainfall Simulation. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Paper N° 86-2040.

Barrios, A. 1995. Erosion y Producción de Sedimentos en Cuencas Hidrográficas. Universidad de Los Andes, Mérida - Venezuela.

CP-SARH. 1977. Manual de Conservación de Suelos y Aguas. Colegio de Postgraduados (CP-SARH), Chapingo México. pp. 8-13.

Curve Expert, 1997. Version 1.34; A curve fitting system for Windows, Double – precision / 16 – bit package. Copyring 1995 – 1997 by Daniel Hyams.

FAO. 1980. Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de Suelos. Roma.

Fernández, N. 1989. Evaluación de Practicas de Conservación de Suelos en Cultivos Hortícolas. Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay. Alcance 37:87-96.

Finker, S.; Gilley, J. and Varvel, G. 1986. Runoff and Erosion as Affected by Sorghum and Soybean Residue. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Paper N° 86-2046.

Horton, R. 1938. The Interpretation and Application of Runoff Resulting Plots Experiments With Reference to Erosion Problems. Soil. Sci. Soc. Proceedings.

Hudson, 1976. Spil Conservation. Bastfort, Ltd. London.

Izzard, C. 1943. Preliminary Report on Analysis of Runoff Resulting From Simulated

Rainfall on a Paced Plot. Transaction American Geophysical Union.

Jennings, G.; Jarrett, A. and Hoover, J. 1986. Effect of Puddling from Simulated Rainfall on soil Water Intake. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Paper N° 86-2010.

Johnson, C. and Gordon, N. 1986. Runoff and Erosion from Rainfall Simulation on Sagebrush Rangeland. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Paper N° 86-2021.

Meyer, L. 1965. Simulation of Rainfall for Soil Erosion Research. Transc. Of ASAE 8(1): 63-75.

Montesdeoca, O. 1989. Evaluación de Algunas Prácticas Culturales Conservacionistas en Tierras Agrícolas de la Región Andina Venezolana. Tesis MS. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela, 174 p.

McIsaac, G., Mitchell, J. Siemens, J. and Hummel, J. 1986. The Effect of Row Cultivation on Runoff, Soil Loss and Corn Grain Yield. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Paper N° 86-2036.

Pérez, U. 1989. Evaluación del efecto de la Cobertura del Cultivo Papa (*Solannum Tuberosum* L) y del Pasto Kikuyo (*Pennisetum Clandestinum* H) Sobre la Erosión de los Suelos bajo Prácticas Agronómicas de Manejo Comúnmente Aplicadas en la Región Andina Venezolana. Tesis MS. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela.

Paéz, M.L.; Pla, I. 1989. Erodabilidad Relativa e índices de Erodabilidad de Suelos Agrícolas en Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay. Alcance 37:59-72.

Robinson, A. 1979. Sediment Yield as a function

Of Upstream erosion. En Peterson, A y J Swan (ed). Universal Soil loss Equation: Past, Present and Future. SSSA Medison, Wisconsin. pp. 7 – 16.

Rodríguez, O.S.; Paéz, M.L. 1986. Efectos de la Labranza y los Residuos en Superficie sobre la. Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay. Alcance 37:73-86.

Rodríguez, O.S.; Rodríguez, O.E. 1989. Adaptación de un Simulador de Lluvia para Investigación en Conservación de Suelos. Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay. Alcance 37:102-112.

Rojas, R. 1976. Simuladores de Lluvia. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT- Mérida), Venezuela. 23 p.

Rojas, R. 1997. Simuladores de Lluvia para el estudio de la erosión Hídrica. (En fase de Publicación).

Serrada, R; Mintegui J; Robredo, J; García, J; Gómez, V; Zazo, J y Navarro, R. 1997. Comportamiento de lluvias torrenciales simuladas sobre parcelas experimentales, con diferentes grados de cubierta vegetal y/o distintas preparaciones del suelo para repoblaciones forestales. XI Congreso Forestal Mundial, 13 a 22 de Octubre de 1997, Antalya, Turquía.

Internet.

[Http://193.43.36.7/WAICENT/FAOINFO/FORESTRY/wForcong/Publi/v2/T9S/5-18.HTM#](http://193.43.36.7/WAICENT/FAOINFO/FORESTRY/wForcong/Publi/v2/T9S/5-18.HTM#)

SCS, 1972. Manual Nacional de Ingeniería de Suelos. Sección 15, Riego; Capítulo 1, Relación Entre Suelo – Agua – Planta. Título original: Irrigation – Section 15 – Chapter 1 – Soil-Plant-Water Relationships. Traductor: Emilio Ávila de la Torre – Derechos reservados por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Copyring c, 1964 – Copyring c, 1972, por editorial Diana, S.A. Roberto Gayol 1219, Esq. Tacoquemécatl, México 12, D.F.

Statistrix, 1996. Software analítico estadístico.

Steichen, J.; Hooker, M. and Powell, D. 1986. Straw Burning Reduces Infiltration for Whet. American Society of Agricultural Engineers (ASAE). California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Paper N° 86-2033.

Surfer, 1994. Version 5.01; Surface Mapping System. Copyright. 1993 – 94, Golden Software, Inc. 809 14 Street; Golden, Colorado 80401.

Urbina, C. y Rodríguez, O. 1995. Efecto de dos abonos Orgánicos en el control de la Erosión y Mejoramiento Físico y Químico del suelo. Revista de la Facultad de Agronomía, Maracay. Alcance 47:63-74.

Williams, J.R. 1995. The EPIC Model. Resources Conservation Act. Chapter 25. pp 909-999.

Wischmeier, W. y Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. Handbook N° 282.

Vázquez, J. 1979. Evaluación en condiciones de laboratorio de los factores que influyen en la producción de sedimentos. Tesis M.Sc. U.L.A. Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. pp 194-195.

Zachar, D. 1982. Soil Erosion. Development in Soil Science 10. Elsevier Scientific Publishing Company, New York, USA. 547 p.