

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN UN INCEPTISOL DE LOS ANDES VENEZOLANOS BAJO USO AGRÍCOLA

Uriel Pérez¹ y Roberto López²

¹Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales de Postgrado, ²Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, Mérida-Venezuela. E-mail: rlopez@cidiat.ing.ula.ve

RESUMEN

Se realizaron estudios a nivel preliminar en parcelas de erosión, fundamentalmente, con la finalidad de caracterizar los factores de la erosión hídrica que afectan a un suelo (Humic Dystrudept) de la cuenca media del río Chama de los Andes venezolanos. Particular atención fue puesta a los efectos de la erosión hídrica en función de la cobertura proporcionada al suelo por dos cultivos comunes de la región andina: papa (*Solanum tuberosum* L., var. granola) y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov). El período de investigación, dividido en cuatro etapas, duró 103 días. Se procesó información meteorológica y de estudios agrológicos, y se hicieron comparaciones entre mediciones en campo y estimaciones de la pérdida de suelo mediante el modelo USLE. En términos generales, los experimentos con parcelas de erosión mostraron que la protección ejercida por la cobertura vegetal depende marcadamente de su tipo, incrementando la eficiencia de la protección con la evolución del cultivo a través de sus etapas de desarrollo. Las pérdidas de materia orgánica y nutrientes por arrastre en los sedimentos dependen marcadamente del grado de protección ofrecido por la cobertura vegetal, perdiendo peso el efecto de la agresividad de la lluvia; factor de mayor importancia cuando se trata de suelo desnudo. Bajo las condiciones de conducción de estos experimentos, los valores medidos en el campo correspondieron muy aproximadamente con los estimados a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Palabras clave: erosión hídrica, parcelas de erosión, conservación del suelo, papa, pasto kikuyo, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, Mérida- Venezuela.

ABSTRACT

Preliminary studies on erosion plots were conducted in order to characterize water erosion factors that affect a soil (Humic Dystrudept) located in the Chama river basin of the Venezuelan Andes. Particular attention was paid to water erosion effects as a function of soil cover provided by two Andean common crops: potatoe (*Solanum tuberosum* L., var. granola) and kikuyo grass (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov). The research period, divided into four stages, lasted 103 days. Climatic and soil information was processed, and comparisons between values of field measurements and estimation of soil loss, using Universal Soil Loss Equation (USLE), were realized. In general terms, the erosion plot experiments showed that protection exerted by vegetative cover markedly depends on its type, increasing, the protection efficiency, with crop evolution through its growth stages. Soil organic matter and nutrient loss, carried on sediments, depend markedly on the vegetative cover; decreasing the importance of the effect of rain erosivity which is the most important factor when the soil is bare. Under this experiment conditions, the field measured values correspond very closely with estimated values using USLE.

Key words: water erosion, erosion plots, soil conservation, potatoe, kikuyo grass, Universal Soil Loss Equation, Mérida-Venezuela.

INTRODUCCIÓN

El manejo irracional de las tierras produce alteraciones desfavorables del régimen hidrológico, problemas de erosión, sedimentación, y general degradación de las cuencas con un consecuente impacto negativo sobre las condiciones socioeconómicas del agricultor, la comunidad y las naciones. En Venezuela, el deterioro de los suelos

avanza rápidamente, haciéndose necesario la realización de investigaciones que contribuyan al establecimiento de medidas de prevención y control, sobre la base de un buen conocimiento de los procesos de degradación y de los recursos afectados.

Desde inicio de los años 1970, se ha reportado la escasez de tierras de aptitud agrícola, con una cobertura de aproximadamente el 12% de la

superficie del país, de la cual sólo el 2% se considera que corresponde a tierras agrícolas de buena calidad (COPLANARH, 1970). Particularmente la región de los Andes representa una importante zona agrícola con la producción de cultivos anuales, semipermanentes y permanentes con significativos aportes en los rubros de hortalizas, papa, café y leche. Es importante determinar las tasas de pérdida de suelo relacionadas con el desarrollo de estos cultivos, en sus diferentes etapas y bajo diferentes manejos; en este particular, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) constituye un método de uso generalizado para la estimación de la degradación causada por la erosión hídrica. En el país se han hecho esfuerzos importantes en investigación a fines de evaluar el modelo USLE y sus potencialidades como herramienta de la planificación conservacionista del uso de las tierras (Páez, 1989; Fernández, 1995). Dichos esfuerzos deben ser apoyados y complementados; sin dejar de tener en cuenta las limitaciones de los modelos empíricos, y las propias del modelo USLE. Tal condición ha impulsado el desarrollo de modelos basados en procesos, que son los más apropiados cuando se trata de investigación; estos, sin embargo, han tenido muy poca o ninguna aplicación en países tropicales en desarrollo (Pla *et al.*, 1996).

Es necesario destacar el hecho de que las causas indirectas de la mayoría de los procesos de degradación por la erosión hídrica en tierras altas son de naturaleza socioeconómica. Sin embargo, la adecuada identificación y entendimiento de las causas directas y de los procesos físicos que se desarrollan o pueden desarrollarse, resulta de fundamental importancia para la selección de sistemas y prácticas adecuadas para la prevención, control o corrección de la degradación.

Considerando tales precedentes, esta investigación tuvo como objetivos fundamentales: (1) caracterizar localmente, a nivel preliminar, los factores de la erosión hídrica y su relación con las pérdidas de suelo, nutrientes y escurrimiento, a través de mediciones en el campo, (2) realizar comparaciones con valores de pérdida de suelo estimados con la USLE, es decir su validación en condiciones locales, (3) muy particularmente, evaluar la eficiencia de la protección ejercida por la cobertura de los dos cultivos considerados; a través de sus diferentes etapas de desarrollo.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en tierras de la Estación Experimental Santa Rosa, IIAP-ULA, Mérida, (8° 38' 21" latitud Norte, 71° 08' 48" latitud Oeste, altura 1900 m.s.n.m., precipitación media anual 2036 mm, temperatura media anual 17° C, zona de vida - Holdridge: bosque húmedo premontano). Son tierras que presentan limitaciones topográficas y de suelos; específicamente pendiente y pedregosidad (IV pr). El suelo fue clasificado como perteneciente a la familia esquelética franca, mixta e isotérmica de los Humic Dystrudepts, de acuerdo con el Sistema de Clasificación de Suelos del USDA (Soil Survey Staff, 1998).

Se estudió la erosión hídrica en función de la cobertura proporcionada al suelo por dos cultivos comunes de la región andina venezolana: papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad granola, y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov). El diseño experimental fue completamente al azar con tres tratamientos: suelo desnudo (testigo), papa y pasto kikuyo (Cuadro 1), y tres repeticiones para un total de nueve parcelas de erosión de 12 m² cada una, de 6 m de largo por 2 m de ancho, con una inclinación de 9%. Luego del establecimiento se procedió a la observación y medición consecuentemente de las características de la precipitación, escurrimiento, pérdida de suelo y pérdida de materia orgánica y nutrientes arrastrados en los sedimentos. El período de investigación, dividido en cuatro etapas, duró 103 días considerando desde la siembra hasta 10 días después de la cosecha de papa, y del segundo corte de pasto (Cuadro 2).

Los registros de precipitación se realizaron mediante un pluviógrafo de la estación meteorológica contigua al campo experimental. La medición de las pérdidas de suelo y escurrimiento se hizo después de la ocurrencia de cada evento de precipitación con registro superior a 10 mm. El volumen de escurrimiento se determinó por medio de lecturas en un tanque graduado, de 210 L, al pie de cada parcela. El total de sedimentos recolectados en el tanque fue determinado por la relación entre la concentración de sedimentos en el volumen de una alícuota de 1 L, tomada luego de cada evento, y el del colector al pie de la parcela. La pérdida de suelo para cada evento se determinó por la suma del peso de los sólidos depositados en la bandeja más el peso de los sólidos en suspensión, recogidos en el tanque.

Cuadro 1. Descripción de tratamientos

Tratamientos	Descripción
Testigo	Suelo mantenido sin vegetación y ligeramente disturbado superficialmente con laboreo en favor de la pendiente.
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> L.)	Sembrado a favor de la pendiente, distancia entre surcos 0,80 m y entre plántulas 0,30 m, densidad de siembra equivalente a 50.000 plantas/ha, deshierbe (herbicida) y aporque 24 días después de la siembra, desfoliación con herbicida 85 días después de la siembra. Cosecha: 93 días después de la siembra.
Pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochst ex Chiov.)	Siembra por rizomas, distancia entre hileras 0,30 m a favor de la pendiente. Corte, a 0,10 m de altura, a los 52 y 93 días después de la siembra.

Cuadro 2. Etapas para la evaluación de la cobertura y del grado de protección de los cultivos.

Etapas	Descripción
Primera (siembra)	Se inicia con la siembra y finaliza 24 días después con la realización del deshierbe, fertilización complementaria y aporque del cultivo de papa.
Segunda (establecimiento)	Incluye 28 días, desde el fin de la primera etapa, hasta el primer corte de pasto.
Tercera (crecimiento y maduración)	Desde el final de la segunda etapa hasta la cosecha de papa y el segundo corte de pasto. Duración: 41 días
Cuarta (postcosecha)	Desde la cosecha de papa hasta el inicio de labores de preparación del terreno para la nueva siembra. No se presentan registros de medición en campo ya que no ocurrieron lluvias de importancia. Duración: 10 días.

La pérdida total de suelo durante el período de investigación, para cada tratamiento, fue igual a la suma de las pérdidas ocurridas en cada uno de los eventos de precipitación considerados. Del volumen de suelo erosionado en cada parcela, correspondiente a cada evento de precipitación, se tomó una muestra representativa, la cual fue sometida a análisis de laboratorio a fin de conocer la concentración de nutrientes N y P y de la materia orgánica (M.O.) arrastrados en los sedimentos colectados. Los métodos utilizados para la determinación fueron: Micro - Kjeldahl para N, Olsen para P y Walkley - Black para la M.O. (Page *et al.*, 1982).

Se realizó una estimación de las pérdidas de suelo y del efecto de la cobertura y manejo de los cultivos a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo ("USLE"), y se contrastó con los valores medidos en el campo.

La USLE (Wischmeier y Smith, 1978) es $A = R.K.L.S.C.P$, donde A es la pérdida de suelo por unidad de superficie, R es el factor erosividad de la lluvia, K es el factor erosionabilidad del suelo, L y S son los factores longitud e inclinación de la pendiente, C es el factor cobertura y manejo, y P es el factor prácticas de soporte para el control de la erosión; sólo A, R y K son dimensionales. En unidades del Sistema Internacional se expresa: A en Mg / ha.año, R en Mj.mm / h.ha.año y K en Mg.ha.h / ha.Mj.mm. El factor R representa el promedio anual del índice de la erosividad de la lluvia (EI) acumulado. Para un ciclo de cultivo, tal como corresponde a esta investigación, se retiene el término EI (Mutchler *et al.*, 1988). Se hizo una estimación de la erosionabilidad del suelo, basada en sus propiedades físicas y químicas, de acuerdo a la

metodología USLE. Los valores del factor C, por período, fueron estimados a partir de la cobertura (Páez, 1992), correspondiente al estado de desarrollo del cultivo. Para tal situación se tendrá que A (ciclo de cultivo) = $(EI) K L S C P$. Correspondiendo, a los factores A y EI , como unidad de tiempo: el período de evaluación de los cultivos.

La Relación de Pérdida de Suelo ($RPS = \text{Pérdida de Suelo, tratamiento} / \text{Pérdida de Suelo, testigo}$) es usada en lugar del factor C para períodos de tiempo diferentes a 1 año (Mutchler *et al.*, 1988). Los valores de RSP fueron contrastados con las estimaciones del factor C basadas en la cobertura proporcionada al suelo por los cultivos en sus diferentes etapas de desarrollo.

Los datos fueron analizados estadísticamente a través de análisis de varianza, pruebas de significación de Duncan y correlación (Gómez y Gómez, 1984).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Erosividad de la lluvia

De acuerdo a estudios realizados por Jégat (1991) se podrían esperar valores alrededor de $2000 \text{ Mj.mm} / \text{ha.h.año}$ para la erosividad de la lluvia en el sector Santa Rosa; Quiñonez y López (1997) reportan valores de agresividad climática moderada para dicho sector. En el presente estudio no se realizó una evaluación de este factor a través del año, debido a la discontinuidad de los registros pluviográficos previo al período de investigación, en buena parte, debido a defectos en el registro, por mal funcionamiento del pluviógrafo. Sin embargo, el cálculo de la erosividad de la lluvia, para 4 meses que duró el experimento, superó las 2000 unidades. En este particular, hay que considerar que se trató de un año muy lluvioso, alejado del comportamiento promedio de las lluvias en esa localidad.

Durante las cuatro etapas en que se dividió el período de investigación se registraron 37 eventos importantes que fueron considerados en el cálculo

del índice de erosividad, distribuidos así: nueve en la primera, nueve en la segunda y diecinueve en la tercera, sin la ocurrencia de ningún evento importante en la cuarta y última etapa (post-cosecha).

La primera y segunda etapas del experimento fueron menos lluviosas; en la tercera etapa, particularmente en el mes de noviembre se produjeron las más altas precipitaciones, lo cual también aplica a las características de erosividad, sin embargo, durante la primera etapa, a comienzos de septiembre ocurrió un aguacero de $51,4 \text{ mm}$, con erosividad calculada de $305,3 \text{ Mj.mm} / \text{ha.h}$. La fuerte acción erosiva de esta tormenta se vio favorecida, dada su ocurrencia al inicio del experimento cuando las condiciones de cobertura en las parcelas eran muy pobres; relativamente en igualdad de condiciones que la parcela desnuda, usada como testigo.

La Figura 1 muestra la distribución, a través del período de investigación, del factor erosividad de la lluvia producto del análisis y procesamiento de los

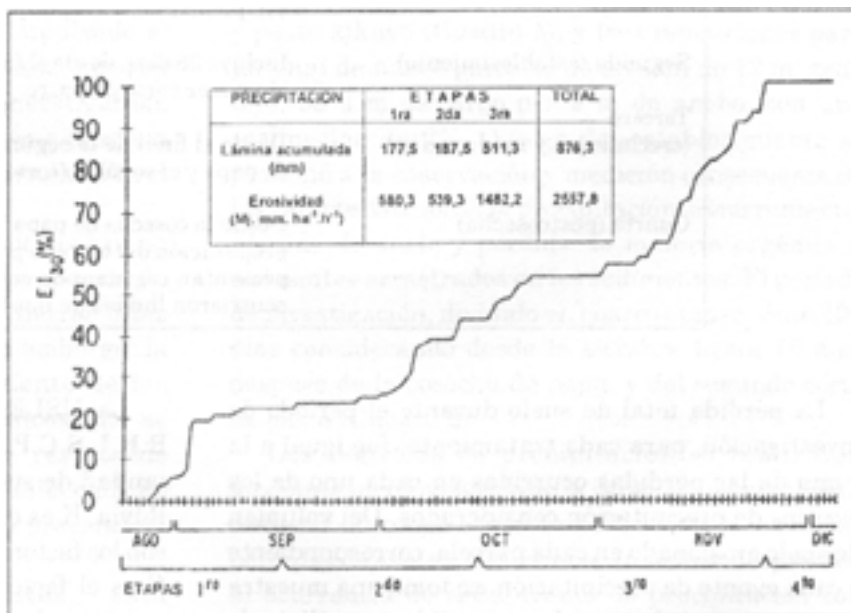


Figura 1. Distribución del índice de erosividad de la precipitación durante el período de investigación.

37 eventos de precipitación importantes, que se manifestaron en dicho período. Del total de erosividad acumulada en el período, un 56% correspondió a la tercera etapa del experimento. En la primera y segunda etapas se concentró el 24 y el 20% respectivamente; en la cuarta etapa no ocurrieron precipitaciones.

Evaluaciones en las parcelas de erosión

En términos generales, la pérdida de suelo, escurrimiento y arrastre de nutrientes en los sedimentos presentó el siguiente comportamiento para las tres condiciones evaluadas: suelo desnudo > cultivo de papa > pasto kikuyo (Cuadro 3).

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas (1% prob.) para todas las variables estudiadas, ante la acción de los tratamientos aplicados. El cultivo de papa no se diferenció del testigo, en cuanto a pérdidas de suelo, para la primera etapa de evaluación. Sin embargo, a partir de la segunda etapa, su comportamiento difiere significativamente de la condición de suelo desnudo, pero sin llegar a igualar a la eficiente protección generada por el pasto kikuyo (Cuadro 4).

La erosionabilidad del suelo, estimada a partir de sus características físicas y químicas, dio un valor de 0,045 Mg.ha.h / ha.Mj.mm. Este valor, junto con la condición de baja estabilidad estructural detectada en este suelo, llevan a catalogarlo como de alta susceptibilidad a la erosión. La relación $K = A / EI$, para el período total de evaluación, tomando los datos de las parcelas testigo, resultó en un valor de 0,05, bastante cercano al valor estimado para K utilizando las ecuaciones de la metodología USLE.

Comentarios con relación al efecto de los tratamientos sobre cada una de las variables asociadas al agua, al suelo y al cultivo se presentan seguidamente.

Escurrecimiento

De la información relativa al escurrecimiento que se presenta en el Cuadro 3, destacan los coeficientes de escurrecimiento, significativamente diferentes, obtenidos para cada uno de los tres tratamientos, resultando la menor cantidad de escurrecimiento asociada a las parcelas con pasto kikuyo, donde globalmente se determinó, con base en la información de campo, que solo el 5,4 % de la lluvia caída en el período de investigación (876,3 mm) produjo escurrecimiento, cuya magnitud fue de 47,96 mm. En el mismo Cuadro 3, al observar el comportamiento del escurrecimiento a través de diferentes etapas, se nota que las mayores cantidades corresponden con la tercera etapa, de mayor duración y pluviosidad, excepto en las parcelas con pasto donde a pesar de la incrementada magnitud de las lluvias se obtuvieron los más bajos volúmenes de escurrecimiento. Es importante hacer notar que la mayor cantidad de escurrecimiento acumulado por etapa, en las parcelas con pasto kikuyo, se obtuvo durante la primera etapa

Cuadro 3. Resultados generales de los experimentos en parcelas de erosión promedio de tres repeticiones. Totales por tratamiento y para cada una de las etapas consideradas.

Tratamiento Etapa		Variables dependientes									
		Agua		Suelo (pérdidas, kg/ha)				Cultivo			
		Escurrecimiento ¹ (mm)	(%)	Sedimento	Materia orgánica	N total	P Aprov.	Cobertura (%) inicio	Final	Altura (m) inicio	Final
Testigo	Primera	51,09	28,78	16.117	1.537,3	43,4	0,87	---	---	---	---
	Segunda	41,79	22,29	14.500	1.098,9	42,5	0,94	---	---	---	---
	Tercera	205,90	40,27	39.267	3.609,5	159,3	1,86	---	---	---	---
	Total	298,78	34,10	69.883	6.245,7	245,2	3,67	---	---	---	---
Papa	Primera	62,53	35,23	15.492	1.171,0	31,6	0,67	0	21	0,00	0,13
	Segunda	32,13	17,14	6.450	434,8	17,1	0,38	21	72	0,13	0,36
	Tercera	130,00	25,43	2.733	234,2	8,4	0,14	72	78	0,36	0,40
	Total	224,66	25,64	24.675	1.840,0	57,1	1,19	(14*)			(0,18*)
Pasto	Primera	26,61	14,99	4.342	377,6	11,3	0,260	5	60	0,00	0,12
	Segunda	5,09	2,71	350	23,9	0,89	0,017	60	100	0,12	0,17
	Tercera	16,25	3,18	125	7,9	0,30	0,007	75**	100	0,10**	0,33
	Total	47,96	5,47	4.817	409,4	12,50	0,284				

¹ coeficiente de escurrecimiento: porcentaje de la lluvia caída, que se transforma en escurrecimiento, en el período considerado.

* cobertura y altura, 8 días después de aplicación de desfoliador, final de la etapa

** cobertura y altura después del corte

Cuadro 4. Pruebas de significación de Duncan para la diferenciación entre tratamientos. Variables escurrimiento, pérdida de suelo y de nutrientes. Resumen para las etapas evaluadas y el período total de investigación.

Etapas	Orden de Tratamientos*				
	Variables				
	Escurrimiento	Pérdida de Suelo	Pérdida de M.O.	Pérdida de N Total	Pérdida de P aprov.
Primera	Pasto Testigo Papa	Pasto (Papa Testigo)	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo	Pasto (Papa Testigo)
Segunda	Pasto Papa Papa	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo
Tercera	Pasto Papa Papa	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo
Total	Pasto Papa Papa	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo	Pasto Papa Testigo

* Ordenados de menor a mayor magnitud de expresión. Agrupación de tratamientos entre paréntesis expresa que no hay diferencias significativas en cuanto a la acción de los mismos sobre la variable en referencia

de evaluación, ello se explica por la pobre cobertura en las parcelas ya que el pasto estaba recién sembrado. Las parcelas con papa, durante esta primera etapa tuvieron un comportamiento a la par con las parcelas sin cobertura ; para entonces la cobertura en las parcelas con papa era inferior al 10%.

Pérdidas de suelo y arrastre de nutrientes en los sedimentos

Analizando los datos que se presentan en el Cuadro 3, puede establecerse la comparación global entre las pérdidas de suelo y de nutrientes arrastrados en los sedimentos; se observan diferencias considerables y estadísticamente significativas entre los tres tratamientos. Las pérdidas totales con el cultivo de papa fueron alrededor de un tercio de las pérdidas en las parcelas testigo, mientras que con el pasto kikuyo se obtuvieron pérdidas de suelo 14 veces menores que en las parcelas testigo y 5 veces menores que en las parcelas con papa; destaca el papel determinante de la cobertura vegetal en la reducción de las pérdidas de suelo por la erosión hídrica.

La pérdida total de nutrientes arrastrados en los sedimentos fue significativamente influenciada por los diferentes tratamientos manteniéndose, en general, proporciones muy similares a lo ocurrido con las pérdidas de suelo (Cuadro 3), con cierta

disminución de dicha proporción para el tratamiento con pasto, relativo a las pérdidas de M.O. y P aprovechable. En el caso del N total, en las parcelas con pasto, las pérdidas fueron 120 veces de menor magnitud que en las parcelas testigo.

La Figura 2 muestra la evolución de las pérdidas de suelo y el escurrimiento acumulados progresivamente, a través del período de investigación, afectados por los diferentes tratamientos aplicados. En el caso de las parcelas testigo, se observa que las pérdidas de suelo incrementan de acuerdo al aumento de la precipitación o, mejor aún, de su erosividad (Figuras 1 y 2). En las parcelas con cultivos, las pérdidas menores ocurrieron en la última etapa, de mayor cantidad de precipitación y erosividad acumuladas, gracias a la mayor cobertura del suelo por la vegetación; mostrando el pasto kikuyo la mayor eficiencia en este sentido.

Cobertura y rendimiento de los cultivos

En el Cuadro 3, se presentan los valores promedio obtenidos de las mediciones de cobertura y altura de plantas de los dos cultivos evaluados, en las etapas a través de las cuales se desarrolló el estudio. Es notoria la mayor densidad y rapidez de desarrollo de cobertura del pasto kikuyo con relación al cultivo de

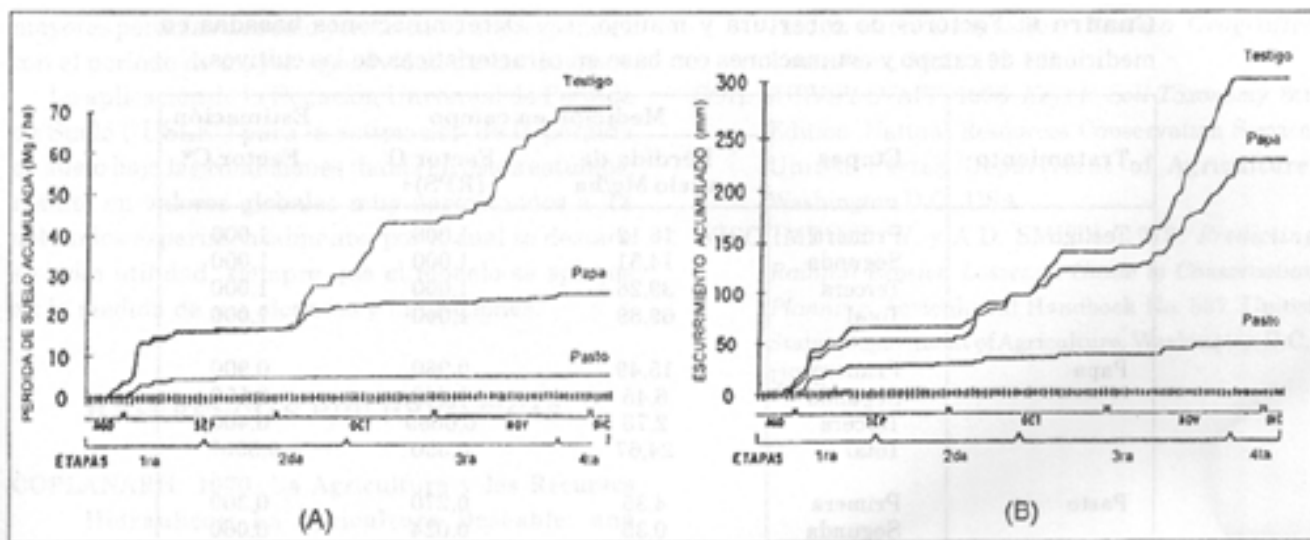


Figura 2. Pérdida de suelo (A) y escurrimiento (B) acumulados para los tratamientos testigo, papa y pasto.

papa; comportamiento que afecta notablemente la pérdida de suelo y el escurrimiento, mermados considerablemente a medida que se logra el establecimiento y cobertura por el pasto. Los rendimientos obtenidos en papa y pasto kikuyo se presentan en el Cuadro 5; los rendimientos promedio reportados para la región son 20 Mg/ha para la papa y 18 Mg/ha de material verde (intervalo de corte 30-40 días) para el pasto kikuyo.

Comparación de valores de pérdida de suelo medidos en campo y valores estimados a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo “USLE”

El Cuadro 6 muestra valores relativos a la eficiencia de la protección al suelo ejercida por los cultivos evaluados.

Del contraste de los valores producto de las mediciones en campo con aquellos estimados, se observan mayores discrepancias en la tercera etapa. Particularmente, en esta etapa, en los tratamientos con cultivos, es cuando se genera un mayor grado de protección al suelo. Los valores estimados de pérdida de suelo, utilizando la USLE, corresponden muy cercanamente con los valores medidos en campo (Cuadro 7).

CONCLUSIONES

El suelo objeto de estudio se caracteriza por presentar una alta erosionabilidad y baja estabilidad estructural, asociada posiblemente al manejo y uso intensivo de la tierra. Ello incrementa el riesgo o erosión potencial, resultante de la combinación de la

Cuadro 5. Rendimiento de papa y pasto (material fresco)

Tratamientos	Producción por parcela (kg)		Rendimiento Promedio Mg ha ⁻¹
	Repetición	Promedio	
Papa	40,0 34,0 35,0	36,33	30,28
Pasto	(a) 16,0 (b) 39,0 17,0 41,0 22,0 40,0	(a) 18,6 (b) 40,0	24,42*

(a) Corte realizado al finalizar la segunda etapa
 (b) Corte realizado al finalizar la tercera etapa
 * Rendimiento promedio de dos cortes

Cuadro 6. Factores de cobertura y manejo “C”. Determinaciones basadas en mediciones de campo y estimaciones con base en características de los cultivos.

Tratamiento	Etapas	Medición en campo		Estimación
		Pérdida de suelo Mg/ha	Factor C (RPS)+	Factor C*
Testigo	Primera	16,12	1,000	1,000
	Segunda	14,51	1,000	1,000
	Tercera	39,26	1,000	1,000
	Total	69,89	1,000	1,000
Papa	Primera	15,49	0,960	0,900
	Segunda	6,45	0,440	0,550
	Tercera	2,73	0,0069	0,400
	Total	24,67	0,350	0,550**
Pasto	Primera	4,35	0,270	0,300
	Segunda	0,35	0,024	0,060
	Tercera	0,12	0,003	0,025
	Total	4,82	0,069	0,096**

+ RPS = Relación de Pérdida de Suelo (para la etapa del cultivo) $RPS = PS \text{ tratamiento} / PS \text{ testigo}$
PS = Pérdida de suelo

* Valores del factor C, por período, estimados a partir de la cobertura correspondiente (Páez, 1992)

** Promedio ponderado con base en la distribución del índice de erosividad de la lluvia (Figura 1).

Cuadro 7. Comparación de los valores de pérdida de suelo estimados a través de la “USLE” y aquellos medidos en el campo.

Etapas	Pérdida de suelo					
	Tratamiento					
	Testigo		Papa		Pasto	
	Estimado	Medido	Estimado	Medido	Estimado	Medido
Primera	13,57	16,12	12,21	15,49	4,07	4,35
Segunda	12,61	14,51	6,94	6,45	0,76	0,35
Tercera	33,65	39,26	13,45	2,73	0,84	0,12
Total	59,83	69,89	32,71	24,67	5,72	4,82

erosividad de la lluvia, la erosionabilidad del suelo y de las condiciones topográficas.

Los resultados obtenidos reafirman el hecho de que la protección al suelo, ejercida por la vegetación cultivada, depende marcadamente de su tipo, incrementando la eficiencia de la protección con la evolución del cultivo a través de sus etapas de desarrollo. Es notoria la eficiente protección ejercida por el pasto kikuyo, aun cuando éste no mostró su mejor comportamiento, ya que las evaluaciones abarcaron solamente un corto período posterior a la siembra.

Destaca la necesidad de la determinación de índices de erosividad y la realización de análisis

frecuencial de la precipitación para determinar las probabilidades y períodos de retorno de los índices de erosividad de la precipitación anuales máximas; información de gran importancia, particularmente, cuando existen altos riesgos de erosión hídrica, como en estas zonas de montaña, de pendientes pronunciadas.

Las pérdidas de materia orgánica y nutrientes por arrastre en los sedimentos, provenientes del suelo desnudo, resultan bastante altas. Tales pérdidas disminuyen de medianas a muy bajas cantidades con el establecimiento del cultivo de papa y pasto kikuyo, respectivamente. Las mayores pérdidas ocurren al inicio del cultivo cuando éste ofrece menor protección,

contrario a la condición de suelo desnudo donde mayores pérdidas de suelo y nutrientes corresponden con el período de mayor agresividad de las lluvias.

La aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo ("USLE") para la estimación de la pérdida de suelo bajo las condiciones dadas en estos estudios, resultó en valores globales muy aproximados a los obtenidos experimentalmente, por lo cual se destaca su gran utilidad, siempre que el modelo se aplique en la medida de sus alcances y limitaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COPLANARH. 1970. La Agricultura y los Recursos Hidráulicos: La Agricultura Deseable, una Prospección del Año 2000. *Publicación No. 19. Ministerio de Obras Públicas.*, Caracas, Venezuela.
- FERNÁNDEZ, N. (ed.). 1995. Estudio de la Erosión Hídrica y Estrategias de Control. *Alcance No. 47. Revista de la Facultad de Agronomía*, UCV, Maracay, Venezuela.
- GÓMEZ, K.A. y A.A. GÓMEZ. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. 2nd. Edition. John Wiley & Sons, New York, USA.
- JEGÁT, H. 1991. *Estimación de la Producción de Sedimentos*. Trabajo de Ascenso a Profesor Titular. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- MUTCHLER, C.K., C.E. MURPHREE y K.C. MC GREGOR. 1988. Laboratory and field plots for soil erosion studies. pp. 9-38. In: R. Lal (ed.) *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa, USA.
- PÁEZ, M.L. (ed.). 1989. La Erosión Hídrica, Diagnóstico y Control. *Alcance No. 37. Revista de la Facultad de Agronomía*, UCV, Maracay, Venezuela.
- PÁEZ, M.L. 1992. *Diseño de Prácticas de Conservación con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo*. Serie SC-64. CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- PAGE, A.L., R.H. MILLER y D.R. KEENEY. 1982. *Methods of Soil Analysis*. Part 2, 2nd. Edition. Agronomy Series No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- PLA, I., R. LÓPEZ y D. LOBO (eds.). 1996. *Soil Erosion Processes on Steeplands, Evaluation and Modelling*. International Society of Soil Science. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo, Maracay, Venezuela.
- QUIÑONEZ, E. y R. LÓPEZ. 1997. Riesgo de degradación de los suelos por la erosión hídrica en el Estado Mérida, Venezuela. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica. *Revista Geográfica Venezolana*, 38(2): 101-121.
- SOIL SURVEY STAFF. 1998. *Keys to Soil Taxonomy*. 8th Edition. Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture, Washington D.C., USA.
- WISCHMEIER, W. y A.D. SMITH. 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning*. Agricultural Handbook No. 537. United States Department of Agriculture, Washington D.C., USA.