

## MODELAJE DE LA EROSIÓN DE SUELOS EN COSTA RICA MEDIANTE EL MODELO WEPP<sup>1</sup>

Gonzalo Hernández R.<sup>2</sup>

Amalia Ruiz H.<sup>3</sup>

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación consiste básicamente en probar la aplicabilidad para las condiciones físico-geográficas características de Costa Rica, del modelo para la predicción de suelos Water Erosion Prediction Project (WEPP), el cual es desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

Los pronósticos efectuados por el WEPP, son comparados con mediciones reales de erosión y escorrentía efectuadas por medio de parcelas tipo USLE (café, pastos y tabaco-maíz-frijol) ubicadas en la localidad de Cerbatana de Puriscal (1990-1995), junto con mediciones de las condiciones climáticas y análisis de las características de los suelos.

1. Investigación desarrollada con el apoyo de Universidad Nacional, MINAE, FAO y CONICIT
2. Programa MADE, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia.
3. Programa MADE, Escuela de Ciencias Geográficas, Universidad Nacional, Heredia.

Los resultados indican que el modelo tiene un aceptable pronóstico en los datos de la erosión y de la escorrentía, sobre todo si se le compara con pronósticos hechos con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. Los parámetros de entrada (input) que requiere el WEPP son muy abundantes en cantidad y muy sensibles en su efecto sobre los pronósticos, por lo tanto el uso y la interpretación de los resultados deben efectuarse con un enfoque muy crítico.

## ABSTRACT

The objective of this investigation basically consists of testing the suitability of the model Water Erosion Prediction Project (WEPP) to predict soil erosion given the physical geographical characteristics of Costa Rica. The model was developed by the Soil Conservation Service of the United States.

The effected predictions of the WEPP are compared with real soil erosion and surface runoff measurements taken at a typical USLE site (coffee, pasture and tobacco-corn-bean), located in the surroundings of Cerbatana of Puriscal (1990-1995). This data was taken in conjunction with measurements of climatic conditions and analysis of soil characteristics.

The results indicate that the model has an acceptable ability to predict soil erosion and surface runoff data, particularly if one compares them with predictions made with the Universal Soil Loss Equation. The input variables that are required by WEPP are quite abundant in quantity and are very sensitive in their effect of the predictions made. For that reason, the uses and interpretation of the results should be put into use with a very critical eye.

## I. INTRODUCCIÓN

La erosión de suelos representa entre otras consecuencias, pérdida de fertilidad en el sitio de ocurrencia, este proceso por lo general es irreversible, también fuera del sitio la erosión produce problemas tales como contaminación de aguas superficiales o sedimentación en represas. En general el poco control sobre la pérdida de suelos significa la "devaluación" de un activo (recurso natural) en la economía nacional, la esterilidad de "la tierra" entre otros problemas obliga a la migración de muchos agricultores, ya sea hacia otras zonas rurales o hacia las ciudades, con negativas influencias socioeconómicas para las regiones afectadas y el país en general.

La predicción de la erosión de suelos es un tema científico relativamente reciente, y de suma importancia en función de poder conocer cuáles son las cantidades de suelo fértil que se puede perder a partir de un uso y manejo de suelo dados. La planificación para un mejor manejo y conservación de los suelos es imposible de efectuar si no se tienen datos con los cuales planear dichas estrategias.

Una alternativa para obtener datos aproximados de la pérdida de suelos para una zona dada, consiste en implementar parcelas o sistemas de medición directa de las escorrentías y concentraciones de sedimentos en dichas escorrentías, y monitorear las condiciones climáticas; sin embargo estos sistemas además de ser sumamente onerosos y laboriosos, tienen un nivel de extrapolación espacial bastante limitado.

El desarrollo y la aplicación de modelos predictivos se ha visto como una alternativa más eficiente, viable y económica en términos de la planificación de conservación de recursos naturales.

La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo ha sido el modelo para erosión más ampliamente aplicado desde fines de los años sesentas (Kirkby y Morgan, 1984). Sin embargo, la aplicación de dicha ecuación a las condiciones tropicales como las de Costa Rica, ha dado resultados poco alentadores, Alfaro y Palacios (1991) han demostrado por medio de un detallado trabajo de campo que dicha ecuación tiende definitivamente a sobrestimar los montos reales de pérdida de suelo.

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, se ha dedicado aproximadamente desde 1985 a desarrollar una nueva generación en la tecnología utilizada en la predicción de la pérdida de suelos; con base en este objetivo se implementó el Water Erosion Prediction Project (WEPP), modelo de ambiente informático que pretende sustituir y mejorar la hasta ahora muy difundida EUPS (Lane et al., 1992).

Nuestro país y otros países de condiciones tropicales semejantes, siguen careciendo de una tecnología adecuada que les permita tener datos más confiables sobre cuánto y dónde se está produciendo el mayor deterioro de su recurso suelo.

Por ser el modelo WEPP una nueva alternativa científica que pretende proponer una versión mejorada en comparación con otros modelos existentes (EUPS, CREAMS, EPIC, OPUS) Foster & Lane (1987), se ha visto la

necesidad de probar su aplicabilidad a nuestras condiciones físico-geográficas. Para esto fue necesario desde un inicio contar con datos o mediciones reales de la pérdida de suelos bajo diferentes tipos de uso, con el objetivo de poder comparar los resultados calculados por el modelo WEPP con respecto de los datos observados en la realidad.

Desde el año 1990 se instalaron parcelas de escorrentía y erosión en la localidad de Cerbatana de Puriscal, bajo cultivos de café, tabaco y pasto, el monitoreo del proceso de erosión y escorrentía se efectuó hasta el año 1995, obteniéndose un registro bastante confiable de la pérdida real de suelos bajo dichos sistemas de explotación.

Con base en los datos registrados en las parcelas, se experimentó en su debido momento con las diferentes versiones disponibles del modelo WEPP, se procuró identificar la sensibilidad de los parámetros requeridos por el modelo y establecer el potencial verdadero de los montos pronosticados.

### **1.1 Objetivo**

Probar la aplicabilidad, para geografías tropicales, del modelo para la predicción de pérdida de suelo WEPP; utilizando para la calibración del mismo, registros reales de pérdida de suelo.

## **II. ANTECEDENTES EN LA APLICACIÓN DEL MODELO WEPP**

Entre 1990 y 1995 en la localidad de Cerbatana de Puriscal, Costa Rica, se monitoreó la escorrentía y erosión de suelos mediante parcelas de tipo EUPS, (22 m por 7 m con trampas de sedimentación) y una estación meteorológica. Ubicadas en laderas con pendiente promedio de 55%, se instaló una en cultivo café con sombra, otra en café sin sombra, una en pastos bien manejados y dos en cultivo de rotación maíz-frijol-tabaco. Además se monitoreó la erosión en tres microcuencas, una con cultivo de rotación maíz-frijol-tabaco (0,255 Ha), una en pastos con cítricos (0,12 Ha) y otra en pastos degradados (0,55 Ha) (Hernández, 1996).

La finca experimental se encuentra en la localidad de Cerbatana en el cantón de Santiago de Puriscal, posee una altitud promedio de 1100 m.s.n.m. De geomorfología sumamente abrupta son abundantes los ejemplos de degradación física de los suelos, tales como terracetos, reptación o movimientos en

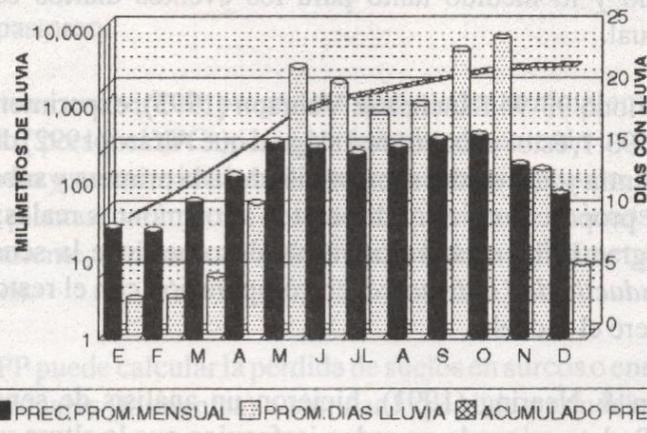
masa. Por mucho tiempo esta zona fue considerada como el granero de Costa Rica por sus buenos niveles de productividad, sin embargo en la actualidad es el mejor ejemplo de las consecuencias negativas que conlleva no aplicar métodos adecuados de conservación de suelos.

Los suelos se clasifican como Udic Haplustalf, de textura arcilla y una estructura granular con bloques subangulares, con un pH de 5.2 (Cervantes y Vahrson 1991).

El clima se clasifica como Tropical Húmedo, con un promedio de 2279 mm al año. Los meses de diciembre, enero y febrero se muestran como los menos húmedos, mientras que de mayo a noviembre se puede considerar la temporada lluviosa principal, con un descenso (veranillo) en el nivel de lluvias que se prolonga por unos 15 a 22 días y se presenta entre los meses de junio y julio Fig. N° 1, principalmente. El clima no muestra condiciones climáticas extremas, las cuales sean indicadoras de efectos determinantes en los procesos de degradación de suelos presentes en la zona, Vahrson (1991), calcula un factor R (USLE) de 255 unidades, el cual en apariencia se muestra moderado.

El objetivo de estas parcelas es tener datos reales sobre la pérdida de suelo que puede ocurrir para diferentes condiciones de manejo, y a partir de estos datos proponer métodos y sistemas de conservación de suelos adecuados para la región estudiada, a la vez dichos registros tienen suma importancia para ser comparados con los pronósticos efectuados a partir de modelos como la

**Figura N° 1. Santiago de Puriscal: Climograma**



AUTOR: GONZALO HERNANDEZ R. 95

Ecuación Universal de Pérdida de Suelos o modelos físicos como el WEPP (Water Erosion Prediction Project) propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (Flanagan et al., 1995).

Se ha experimentado con el modelo WEPP desde el año de 1992, probando las diferentes versiones y opciones que brinda el programa de dicho modelo, midiendo la sensibilidad de los diferentes parámetros de entrada y por supuesto comparando los *outputs* con mediciones reales efectuadas en el campo.

Alfaro (1992), se abocó principalmente a experimentar con la sensibilidad de los "principales" parámetros y detectar su influencia en los resultados, por ejemplo probando con diferentes valores en el contenido inicial de agua, densidad aparente de las diferentes capas de suelo, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, alterando el número de cabezas de ganado por unidad de área y el peso de las mismas; concluyó que estos parámetros no tienen una influencia determinante en las variaciones de los pronósticos.

Por otro lado Alfaro detectó que entre los parámetros más sensibles se encuentran el de *conductividad hidráulica*, rugosidad de la superficie (Random Roughness) y porcentaje de *mulch*.

En cuanto a los resultados, experimentó comparando datos diarios de precipitación, escorrentía y erosión medidos en las parcelas de café y pasto, con los respectivos pronósticos del modelo WEPP en su versión 91.5. Los resultados indicaron que las escorrentías pronosticadas sobrestiman por un margen muy elevado a las escorrentías medidas; además la distribución temporal y la cantidad de eventos causantes de escorrentía fueron totalmente distintas entre lo pronosticado y lo medido tanto para los eventos diarios como para el acumulado anual.

En el período 93-94 Sánchez & Vahrson (1993), experimentaron con la versión WEPP 93.1, éstos encontraron al igual que Alfaro (1992) discordancias entre la escorrentía y la erosión, sobrestimándose la primera y subestimándose la segunda en proporciones muy diferentes a los montos reales; igualmente detectaron la gran influencia en los resultados que tiene la sensibilidad del parámetro *conductividad hidráulica*, en comparación con el resto de parámetros que requiere el modelo.

Flanagan & Nearing (1991), hicieron un análisis de sensibilidad del modelo WEPP, determinando en orden jerárquico que la altura y duración de

la lluvia junto con el promedio de la pendiente son los parámetros más sensibles; posteriormente la erodabilidad, longitud de la pendiente, cobertura *interill*, densidad aparente, intensidad al pico y la conductividad hidráulica saturada son otros parámetros bastante sensibles.

Aunque se ha determinado cuáles son las variables más sensibles, es importante tener en cuenta que algunas de éstas realmente son *intocables* al momento de experimentar con el modelo, ya que son representativas de condiciones reales que han sido medidas con rigor científico tales como las condiciones de precipitación y sus intensidades, características geomorfológicas de las pendientes y tipos de obras de conservación; sin embargo otras variables como las relacionadas con las características físico-químicas de los suelos, o condiciones de manejo de cultivos tienen un rango de variación temporal o incertidumbre de medición más amplio, por lo tanto estos son los parámetros con los cuales se puede experimentar la variación de datos y sus efectos sobre los resultados.

## 2.1 Descripción general del modelo WEPP

El objetivo del *Water Erosion Prediction Project* es el de desarrollar una nueva generación de tecnología para la predicción de la erosión hídrica aplicado principalmente por el *USDA-Soil Conservation Service* y otras instituciones norteamericanas relacionadas con la conservación de los recursos naturales, (Foster & Lane, 1987).

El WEPP puede ser aplicado en la predicción de suelos tanto para laderas (hillslope) como para pequeñas subcuencas, igualmente se aplica para pronósticos de erosión en cultivos de rotación, cultivos permanentes o para tierras dedicadas a pastoreo.

Consiste en una serie de programas que pueden ser implementados desde un computador personal (PCs). Los parámetros de entrada que requiere son: montos de lluvia y su intensidad, cualidades texturales del suelo, parámetros del desarrollo de plantas, parámetros de descomposición de residuos, efectos de la labranza, pendiente, forma y orientación de la ladera y parámetros de erodabilidad de suelos.

El WEPP puede calcular la pérdida de suelos en surcos o entre surcos para eventos individuales (tormentas) o simular la pérdida promedio para eventos continuos (uno o varios años).

Los resultados se despliegan en forma resumida como promedio anual, o detallada en forma diaria para el período analizado, estos consisten principalmente en pronosticar efectos en el sitio (on site) y efectos fuera del sitio (off site). Predice la escurrentía en milímetros y la erosión en Kg/m<sup>2</sup>/año, estima la distribución espacial y temporal de la pérdida de suelo y/o sedimentación del mismo para el perfil entero o para cada punto de la pendiente, en forma diaria, mensual o anual.

Proporciona un sumario de las lluvias, escurrentía, desprendimiento, liberación de depositación, tasa de fertilización de sedimentos para cada evento. A la vez genera balances hídricos diarios.

### III. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tal y como en su momento Alfaro (1992), Sánchez y Vahrson (1993) lo indicaron, uno de los principales limitantes detectados en el modelo WEPP, es que los datos de escurrentía y erosión no son congruentes o consecuentes entre sí. Si los datos de escurrentía se acercan a los datos de escurrentías reales, los correspondientes datos de erosión son muy diferentes a los reales y viceversa.

Conocidos los resultados y experimentos realizados por los investigadores antes mencionados, efectuados para las versiones 91.5 y 93.1, nos dedicamos a experimentar con las versiones 94.1 y 95.1, consideradas como versiones corregidas en relación con las anteriores Flanagan et al. (1995), además de que para el año 1996 se dispone de un mayor registro de datos medidos en las parcelas de erosión y escurrentía. Con la intención de ponderar la sensibilidad del archivo climático se procedió a establecer *corridos* del modelo según los archivos climáticos correspondientes:

- a) Intensidades máximas en 5 minutos (registro de 5 años).
- b) Intensidades máximas en 15 minutos (registro de 3 años).
- c) Intensidades máximas en 30 minutos (registro de 3 años).

De igual manera se probó la sensibilidad del parámetro *conductividad hidráulica*, para lo cual se utilizaron valores comprendidos dentro del rango de conductividad hidráulica medido en los suelos de la finca experimental, según tipo de cultivo.

Las *corridas* correspondientes a cultivos fueron efectuadas para el escenario de "cultivos con contorno" (como obra física de conservación), y para el escenario "sin contorno".

### 3.1 Parcela café con sombra

Esta parcela está instalada en un cafetal en el cual se utilizan como sombra, árboles de poro (*Erythrina poeppigiana*) principalmente, ubicados a distancias irregulares de unos 7 m a 10 m, durante el primer año se tuvo cultivado zacate de limón como barrera viva, posteriormente éste fue eliminado. El cultivo de café se aplica en contorno sobre terrazas, con taludes de unos 0.75 m de altura y distancias de 1.75 m entre filas. Al instalarse el experimento el café tenía unos 2 años de desarrollo.

La pendiente es cóncava, con un máximo de 54% en la parte superior (13.3 m) y un mínimo de 47% en la inferior (8.70 m).

Los resultados obtenidos como producto del monitoreo y análisis de suelos en esta parcela, se muestran en el Cuadro N° 1.

#### 3.1.1 Escenario cultivo con contorno

En el Cuadro N° 2 se muestran los resultados correspondientes a las corridas del modelo hechas para la parcela Café con sombra y Escenario de

**CUADRO N° 1.**  
**PARCELA CAFÉ CON SOMBRA**  
**EROSIÓN, ESCORRENTÍA Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA**  
**PERÍODO 1990-1995**

Registro	Erosión Kg/m <sup>2</sup>	Escorrentía mm	Conductividad hidráulica* mm / hora
Máximo	0,3247	72,5	12,5
Mínimo	0,0390	19	2083,33
Promedio	0,1487	36	208,33

\* Según Vahrson & Cervantes (1991).

cultivo con contorno. Se puede apreciar como las corridas N° 2, 9 y 16, que poseen la conductividad hidráulica más baja (12,5 mm/h), generan una escorrentía demasiado alta comparada con los datos observados, aunque la pérdida de suelo pronosticada es la que mejor encaja dentro de los rangos de erosión real (Cuadro N° 1); el resultado de la escorrentía hace que esta *corrida* sea descartada desde un inicio.

Las *corridas* que mejor pronostican tanto la escorrentía como la pérdida de suelo, son las N° 1, 6, 7, 8, 13, 14, 15, 20 y 21; en éstas existe un mejor equilibrio entre ambos parámetros y su relación con respecto a los datos medidos en las parcelas. Sin embargo la erosión pronosticada apenas se acerca a los datos mínimos medidos, y ninguna de ellas alcanza pronosticar el valor promedio real de pérdida de suelo que ocurre en el cultivo de café con sombra.

El tratar de aumentar los montos de erosión pronosticada, significaría reducir la conductividad hidráulica, lo que nos va a llevar a un aumento de la escorrentía a montos que se alejan de la realidad. Por lo tanto las *corridas* antes mencionadas son en definitiva las que tienen un mejor balance escorrentía-erosión y su acercamiento a los montos reales.

En cuanto a las diferencias entre los archivos climáticos (5, 15 y 30 minutos), el archivo de 5 minutos tiene ligeramente un mejor ajuste a los datos reales, sin embargo la diferencia con respecto a los archivos de 15 minutos y 30 minutos no parece ser significativa.

### 3.1.2 Escenario cultivo sin contorno

Correr el modelo para la opción *sin contorno* (Cuadro N° 3), significó experimentar con valores de *conductividad hidráulica* mayores en comparación con los aplicados a las corridas de la opción cultivo con contorno. Esto se debe a que en teoría se está eliminando la obra física (terrazas-contorno) que aminora la escorrentía y estimula la infiltración, y se está modelando la superficie del terreno con una geomorfología condicionada solamente por la pendiente de la ladera en la cual está la parcela modelada.

Las corridas 1, 2 y 3, que corresponden con los valores de conductividad hidráulica promedio, mínimo y máximo, resultan en datos de escorrentía y erosión totalmente fuera del rango real, sea sobrestimándolos o subestimándolos.

El experimento con datos intermedios de conductividad hidráulica, permitió predecir montos de escorrentía comprendidos dentro del rango real

**CUADRO Nº 2**  
**MODELO WEPP. PRONÓSTICO DE EROSIÓN (ON SITE) Y**  
**ESCORRENTÍA**  
**CULTIVO CAFÉ CON SOMBRA**  
**ESCENARIO CULTIVO CON CONTORNO**

Tiempo de corrida	Nº	Conduc. Hidra. (mm/h)	Escorr. (mm)	Erosión (Kg/m <sup>2</sup> ) (on site)		
				Promedio	Máxima	Mínima
Archivo climático con inten. cada cinco minutos y corrida para cinco años	1	208.33	36.11	0.027	-	-
	2	12.5	205.37	0.126	-	-
	3	416.67	20.01	0.012	0.012	0.012
	4	312.50	25.86	0.019	0.019	-
	5	260.41	24.03	0.019	0.019	-
	6	110.41	54.23	0.037	-	-
	7	159.37	37.15	0.028	-	-
Archivo climático con inten. cada quince minutos y corrida para tres años	8	208.33	42.49	0.026	0.029	0.029
	9	12.5	210.62	0.141	0.141	0.141
	10	416.67	21.07	0.008	-	-
	11	312.50	31.58	0.016	-	-
	12	260.41	27.16	0.014	-	-
	13	110.41	57.27	0.033	-	-
	14	159.37	40.09	0.022	-	-
Archivo climático con inten. cada treinta minutos y corrida para tres años	15	208.33	45.54	0.029	0.029	0.029
	16	12.5	201.95	0.135	0.135	0.135
	17	416.67	21.06	0.007	0.007	-
	18	312.5	34.63	0.018	0.018	-
	19	260.41	30.21	0.017	-	-
	20	110.41	55.41	0.032	-	-
	21	159.37	43.13	0.025	-	-

(corridas Nº 4, 5, 7, 11, 12, 18, 19), sin embargo los montos de erosión pronosticada, sobrestiman a los máximos reales entre 6 y 22 Ton/Ha/año.

Como se puede apreciar en el Cuadro Nº 3, en la opción de cultivo sin contorno, el modelo predice el mínimo, máximo y promedio de la cantidad de suelo que se puede perder. El rango entre los mínimos y los máximos es demasiado amplio, oscilando entre un mínimo demasiado bajo y máximo

**CUADRO Nº 3**  
**MODELO WEPP. PRONÓSTICO DE EROSIÓN (ON SITE) Y**  
**ESCORRENTÍA**  
**CULTIVO CAFÉ CON SOMBRA**  
**ESCENARIO CULTIVO SIN CONTORNO**

Tiempo de corrida	Nº	Conduc. Hidra. (mm/h)	Escorr. (mm)	Erosión (Kg/m <sup>2</sup> ) (on site)		
				Promedio	Máxima	Mínima
Archivo climático con inten. cada cinco minutos y corrida para cinco años	1	208.33	113.45	4.193	10.473	0.027
	2	12.5	625.16	26.132	59.106	0.124
	3	2083.33	1.34	-	-	-
	4	416.67	62.87	2.225	5.644	0.012
	5	832	26.22	0.939	2.257	0.005
	6	1250	9.03	0.002	0.044	0.001
	7	1041	20.83	0.720	1.747	0.003
Archivo climático con inten. cada quince minutos y corrida para tres años	8	208.33	133.52	5.630	12.453	0.025
	9	12.5	661.93	25.260	59.966	0.138
	10	2088.33	2.18	-	-	-
	11	416.67	66.20	2.500	5.938	0.008
	12	832	31.77	1.189	2.782	0.004
	13	1250	13.54	0.358	0.937	0.002
	14	1041	13.54	0.358	0.937	0.002
Archivo climático con inten. cada treinta minutos y corrida para tres años	15	208.33	143.09	5.776	13.475	0.028
	16	12.5	633.91	22.123	54.217	0.133
	17	2088.33	2.18	-	-	-
	18	416.67	66.16	1.997	5.446	0.007
	19	832	31.77	1.093	2.702	0.004
	20	1250	13.31	0.237	0.760	0.001
	21	1041	13.31	0.237	0.760	0.001

demasiado alto, lo cual hace que los montos carezcan de un adecuado valor predictivo.

Obviamente en este caso la opción *cultivo sin contorno*, está modelando una situación que no corresponde con las características reales de la parcela a partir de la cual se han extraído los datos con los que se confronta. Sin embargo el objetivo ha sido el de cotejar cuál de las dos opciones *con contorno* o *sin contorno*, es la que mejor se ajusta a la realidad.

### 3.2 Parcela café sin sombra

#### 3.2.1 Escenario cultivo con contorno

Los datos reales monitoreados para la parcela de café sin sombra, se muestran en el Cuadro N° 4, mientras que los datos pronosticados por el modelo, se muestran en los Cuadros N° 5 y 6.

Se describen a continuación las características principales de dicha parcela:

La parcela de café sin sombra a excepción de que no posee árboles para sombra, el resto de sus características son parecidas a las de café con sombra. La pendiente es ligeramente cóncava con un promedio de 62%.

**CUADRO N° 4.**  
**PARCELA CAFÉ SIN SOMBRA**  
**EROSIÓN, ESCORRENTÍA Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA**  
**PERÍODO 1990-1995**

Registro	Erosión Kg/m <sup>2</sup>	Escorrentía mm	Conductividad hidráulica* mm / hora
Mínimo	0,0108	13	270,85
Promedio	0,0919	31,5	333,33

\* Según Vahrson & Cervantes (1991).

A excepción de las corridas N° 3, 10 y 17, que atañen con el valor de mayor conductividad hidráulica y que resultan en las escorrentías más bajas de la serie, el resto de corridas predicen valores de escorrentías que se localizan dentro del rango de escorrentías monitoreadas en la realidad para esta parcela.

La erosión calculada se encuentra dentro del rango de los datos reales, aunque siempre tienden a ser bajos y subestiman el promedio real entre unos 750 y 600 Kg/Ha.

**CUADRO Nº 5**  
**MODELO WEPP. PRONÓSTICO DE EROSIÓN (ON SITE) Y**  
**ESCORRENTÍA**  
**CULTIVO CAFÉ SIN SOMBRA**  
**ESCENARIO CULTIVO CON CONTORNO**

Tiempo de corrida	Nº	Conduc. Hidra. (mm/h)	Escorr. (mm)	Erosión (Kg/m <sup>2</sup> ) (on site)		
				Promedio	Máxima	Mínima
Archivo climático con inten. cada cinco minutos y corrida para cinco años	1	333.33	19.67	1.016	0.016	0.016
	2	270.85	21.92	0.017	0.017	0.017
	3	625	6.73	0.003	0.003	0.003
	4	250	22.26	0.017	0.017	0.017
	5	200	25.86	0.019	0.019	0.019
	6	150	38.47	0.029	0.029	0.029
	7	175	30.09	0.023	0.023	0.023
Archivo climático con inten. cada quince minutos y corrida para tres años	8	333.33	20.47	0.008	0.008	0.008
	9	270.85	21.07	0.008	0.008	0.008
	10	625	10.10	0.004	0.004	0.004
	11	250	21.07	0.008	0.008	0.008
	12	200	31.57	0.016	0.016	0.016
	13	150	42.49	0.026	0.026	0.026
	14	175	27.16	0.014	0.014	0.014
Archivo climático con inten. cada treinta minutos y corrida para tres años	15	333.33	23.53	0.011	0.011	0.011
	16	270.85	24.12	0.011	0.011	0.011
	17	625	10.10	0.004	0.004	0.004
	18	250	24	0.011	0.011	0.011
	19	200	34.63	0.018	0.018	0.018
	20	150	45.54	0.029	0.029	0.029
	21	175	30.21	0.017	0.017	0.017

En cuanto a los archivos climáticos parece ser que el archivo de intensidades para 5 minutos es el que mejor responde, mientras que el archivo para 15 minutos es el que tiende en mayor medida a subestimar los datos reales. A la vez los datos de escorrentía muestran una tendencia a aumentar conforme aumenta el tiempo de la intensidad.

**CUADRO N° 6**  
**MODELO WEPP. PRONÓSTICO DE EROSIÓN (ON SITE) Y**  
**ESCORRENTÍA**  
**CULTIVO CAFÉ SIN SOMBRA**  
**ESCENARIO CULTIVO SIN CONTORNO**

Tiempo de corrida	N°	Conduc. Hidra. (mm/h)	Escorr. (mm)	Erosión (Kg/m <sup>2</sup> ) (on site)		
				Promedio	Máxima	Mínima
Archivo climático con inten. cada cinco minutos y corrida para cinco años	1	333.33	58.51	2.725	6.936	0.012
	2	270.85	68.87	3.270	8.112	0.017
	3	625	21.13	0.925	2.217	0.003
	4	479.16	39.52	1.775	4.782	0.006
	5	552	31.77	1.421	3.511	0.004
	6	589	31.77	1.421	3.511	0.004
	7	650	21.13	0.925	2.217	0.003
Archivo climático con inten. cada quince minutos y corrida para tres años	8	333.33	64.33	3.212	7.544	0.008
	9	270.85	66.19	3.213	7.596	0.008
	10	625	31.75	1.526	3.525	0.004
	11	479.16	54.66	2.897	6.823	0.007
	12	552	31.77	1.528	1.201	0.004
	13	589	31.77	1.528	1.201	0.004
	14	650	23.10	1.088	2.408	0.003
Archivo climático con inten. cada treinta minutos y corrida para tres años	15	333.33	73.93	3.147	8.554	0.011
	16	270.85	75.79	3.147	8.554	0.011
	17	625	31.75	1.416	3.507	0.004
	18	479.16	54.66	2.353	6.593	0.006
	19	552	31.77	1.421	3.511	0.004
	20	589	31.77	1.421	3.511	0.004
	21	650	23.10	1.018	2.404	0.003

### 3.2.2 Cultivo sin contorno

Igualmente al caso de la parcela café con sombra, aquí se está modelando una situación que no existe en la realidad (café sin obras físicas de conservación). Las escorrentías tienden a ser bastante altas en comparación con las de la opción *con contorno*, sin embargo tienden a mantenerse dentro del rango real; por otra parte los datos de la erosión pronosticada sobrestiman significativamente los montos reales.

En las corridas hechas tanto para la parcela de café con sombra, como para la parcela de café sin sombra, las conductividades hidráulicas no son las mismas para las opciones *con contorno* y *sin contorno*, aunque el rango sí es el mismo. Esto se debe a que el modelo “trabaja” prediciendo datos de erosión y escorrentía según cierto rango de valores de conductividad, o sea que cambios en el monto de la conductividad no necesariamente significan cambios en los montos de erosión y escorrentía. Los montos de conductividad hidráulica que aparecen en los cuadros respectivos (correspondientes a cada corrida), son los datos a partir de los cuales el modelo registra un cambio significativo en sus pronósticos.

### 3.3 Parcela rotación maíz-frijol-tabaco

Esta parcela está dedicada al cultivo de rotación tabaco-maíz-frijol, cultivo en limpio, con sistema de cultivo en contorno sobre terrazas, los taludes son de 0.40 m aproximadamente con 1 m entre hileras. Se siembra el maíz y el frijol durante el mes de abril y se cosechan en julio; posteriormente se realizan obras de palea y restablecimiento de taludes para cultivar el tabaco en el mes de agosto, la cosecha se efectúa en el mes de enero.

Tiene una pendiente uniforme, con un promedio de 53,2%. En el Cuadro Nº 7 se exponen los resultados del monitoreo durante el período 1991-1994.

**CUADRO Nº 7**  
**PARCELA CULTIVO TABACO**  
**EROSIÓN, ESCORRENTÍA Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA**  
**PERÍODO 1991-1995**

<i>Registro</i>	<i>Erosión Kg/m<sup>2</sup></i>	<i>Escorrentía mm</i>	<i>Conductividad hidráulica* mm / hora</i>
Máximo	1,280	43	2083,33
Mínimo	0,1170	5	12,5
Promedio	0,6269	27	208,33

\* Según Vahrson & Cervantes 1991.

### 3.3.1 Escenario cultivo con contorno

Para el modelaje de la erosión en el cultivo de rotación maíz-frijol-tabaco, se creó el archivo de manejo de tal manera que representara la rotación durante tres años para los cultivos maíz-frijol con tabaco. Para el primer período de cultivo que es el de maíz-frijol se introdujo el valor de 0,25 m como altura del talud del contorno durante el primer año, para el segundo y tercer año el contorno se modeló con una altura de 0,35 m. Para la temporada en que se cultiva el tabaco, el talud tuvo una altura de 0,25 en el primer año y 0,40 para el segundo y tercer año. De igual manera se creó un archivo con una sola altura de talud (0,35 m) para ambas temporadas de cultivo y para los tres años.

Los resultados no fueron sensibles a las variaciones en la altura del talud, pronosticando el modelo datos de erosión y escorrentía exactamente igual a una *corrida* efectuada para un archivo de manejo sin variaciones en la altura del talud Cuadro N° 8.

Fue necesario probar las *corridas* con conductividades hidráulicas entre 500 y 1000 mm/h, ya que conductividades inferiores elevarían las escorrentías a montos muy diferentes a los máximos registrados. Mientras que conductividades superiores a 1000 mm/h, bajarían la erosión pronosticada a datos bastante inferiores al mínimo registrado.

Por lo tanto este es el rango de conductividad hidráulica que mejores pronósticos de erosión y escorrentía ofrece; como se puede apreciar los resultados encajan dentro del rango de erosión medido, sin embargo tiende a mantenerse cerca o por debajo del promedio medido y nunca por encima de éste.

Mientras que los datos de escorrentía, por el contrario tienden a estar más próximos a los máximos medidos y siempre superiores al promedio.

No parece existir una diferencia significativa, entre los pronósticos según archivo climático; el archivo para 30 minutos tiene un mejor *balance* entre escorrentía y erosión.

Es importante mencionar que los máximos registrados en las parcelas, corresponden a condiciones extraordinarias ya sea de tipo climático como el año de 1995 (12 Ton/Ha/año), el cual fue de transición entre un prolongado período del niño y el fin de éste, con precipitaciones que excedieron al promedio en un 34%. O a condiciones deficientes en las características de las obras físicas de conservación (10 Ton/Ha/año).

**CUADRO N° 8**  
**MODELO WEPP. PRONÓSTICO DE EROSIÓN (ON SITE) Y**  
**ESCORRENTÍA**  
**CULTIVO TABACO**  
**ESCENARIO CULTIVO CON CONTORNO**

<i>Tiempo de corrida</i>	<i>N°</i>	<i>Conductividad hidráulica mm/h</i>	<i>Escorrentía (mm)</i>	<i>Pérdida de suelo</i>
Archivo climático con inten. cada cinco minutos y corrida para cinco años	1	500	60.34	0.506
	2	600	45.15	0.219
	3	1000	33.19	0.157
	4	1500	6	0.021
Archivo climático con inten. cada quince minutos y corrida para tres años	5	500	55.16	0.361
	6	600	47.48	0.317
	7	1000	33.15	0.254
	8	1500	6.10	0.018
Archivo climático con inten. cada quince minutos y corrida para tres años	9	500	60.34	0.506
	10	600	45.15	0.219
	11	1000	33.19	0.157
	12	1500	6	0.021

### 3.3.2 Escenario cultivo sin contorno

La opción cultivo sin contorno (Cuadro N° 9), al igual que ha ocurrido con las *corridas* para café, requirió aumentar los datos de conductividad hidráulica en comparación con los de la opción *con contorno*, ya que de lo contrario las escorrentías y la erosión generadas son muy elevadas en comparación con lo medido (corridas 1, 5 y 9).

El resto de corridas presentan datos de escorrentía bastante aceptables dentro del rango medido, sin embargo los pronósticos de erosión sobrestiman por mucho las erosiones reales.

**CUADRO Nº 9**  
**MODELO WEPP. PRONÓSTICO DE EROSIÓN (ON SITE) Y**  
**ESCORRENTÍA**  
**CULTIVO TABACO**  
**ESCENARIO CULTIVO SIN CONTORNO**

Tiempo de corrida	Nº	Conduc. Hidra. (mm/h)	Escorr. (mm)	Erosión (Kg/m <sup>2</sup> )		
				(on site)		
				Promedio	Máxima	Mínima
Archivo climático con inten. cada cinco minutos y corrida para cinco años	1	1000	104	28.736	80.930	0.153
	2	2000	12.96	5.580	15.554	0.017
	3	1500	18.87	6.045	17.360	0.020
	4	1750	17,19	5.868	88.624	0.020
Archivo climático con inten. cada quince minutos y corrida para tres años	5	1000	104.18	32.064	3.230	0.227
	6	2000	3.58	0.835	15.448	0.002
	7	1500	19.17	4.625	15.404	0.017
	8	1750	18.46	4.625	15.404	0.017
Archivo climático con inten. cada treinta minutos y corrida para tres años	9	1000	118.40	36.406	105.299	0.286
	10	2000	3.58	0.750	3.214	0.002
	11	1500	34.71	9.137	29.084	0.079
	12	1750	34.71	9.137	29.084	0.079

### 3.4 PARCELA DE PASTO

Esta parcela está dedicada al pastoreo, se muestra ligeramente degradada principalmente por terracetas, soporta carga animal tanto caballos como ganado vacuno de engorde. La forma de su pendiente es ligeramente convexa, con 50% en los primeros 16 m de la parte superior, y 53.5% en los siguientes 6 metros.

El archivo de pastos ha sido *corrido* con la versión 94.1, ya que presenta algunas dificultades el correrlo con la versión 95.1, los registros monitoreados en la parcela correspondiente se muestran en el Cuadro Nº 10.

**CUADRO N° 10.**  
**PARCELA PASTO CON CÍTRICOS**  
**EROSIÓN, ESCORRENTÍA Y CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA**  
**PERÍODO 1990-1995**

<i>Registro</i>	<i>Erosión Kg/m<sup>2</sup></i>	<i>Escorrentía mm</i>	<i>Conductividad hidráulica* mm / hora</i>
Máximo	0,1694	185	83,33
Mínimo	0,0270	25	0,33
Promedio	0,0673	76,4	6,25

\* Según Vahrson & Cervantes (1991).

En el Cuadro N° 11 se exponen los pronósticos efectuados por el modelo, se puede notar como el rango de escorrentías oscila entre 20 mm y 147 mm (lo cual es bastante semejante al rango real).

Para el archivo climático de cinco minutos la corrida N° 4, con 20 mm de escorrentía resulta en un monto de erosión de 0 Kg/m<sup>2</sup>, al cambiar la conductividad hidráulica de 90 a 83,33 mm/h, se registra el primer resultado que indica pérdida de suelo (0,375 Kg/m<sup>2</sup>). Las corridas para conductividades hidráulicas de 55, 60 y 70 mm/h muestran resultados de erosión con poca variación entre sí. Lo anterior deja ver que el modelo abarca para escorrentías semejantes a las reales un rango de pérdida de suelos que va desde 0 Kg/m<sup>2</sup>, hasta 0,374 Kg/m<sup>2</sup>; esto es un rango de pronóstico que se aproxima a los *máximos* medidos en la parcela de pasto (una sobrestimación de 2 Ton/Ha/año), más la sobrestimación en cuanto al promedio medido es de 5,5 veces.

Los archivos climáticos de 15 y 30 minutos se muestran con pronósticos bastante contradictorios. El de 15 minutos no presenta variación alguna en los datos de escorrentía y erosión, aunque se cambien los datos de conductividad hidráulica, a la vez el dato de erosión pronosticada es muy alto en comparación con los datos medidos. El archivo de 30 minutos muestra una erosión nula (0 Kg/m<sup>2</sup>) y una mínima variación en las escorrentías al variar la conductividad hidráulica. Aunque se trató de identificar las causas de estos resultados, principalmente experimentando con variaciones en los parámetros más sensibles, no fue posible encontrar una explicación de los mismos.

**CUADRO Nº 11**  
**MODELO WEPP. PRONÓSTICO DE EROSIÓN (ON SITE) Y**  
**ESCORRENTÍA**  
**CULTIVO PASTO**

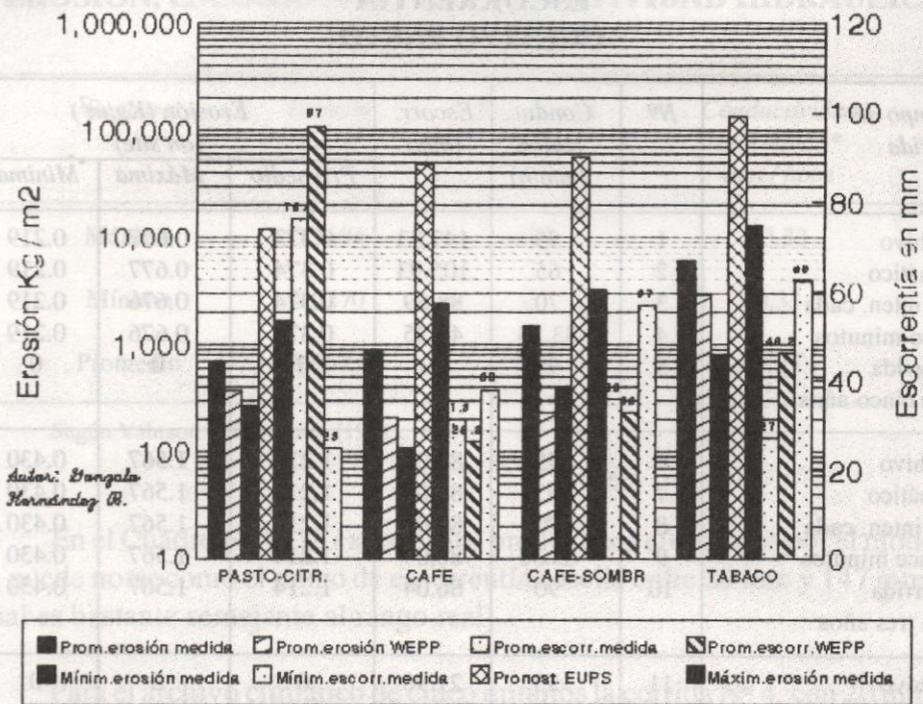
Tiempo de corrida	Nº	Conduc. Hidra. (mm/h)	Escorr. (mm)	Erosión (Kg/m <sup>2</sup> ) (on site)		
				Promedio	Máxima	Mínima
Archivo climático con inten. cada cinco minutos y corrida para cinco años	1	55	147.83	0.373	0.677	0.219
	2	65	105.93	0.374	0.677	0.219
	3	70	88.69	0.374	0.676	0.219
	4	83.33	45.25	0.375	0.676	0.219
	5	90	20	0	0	0
Archivo climático con inten. cada quince minutos y corrida para tres años	6	55	86.04	1.214	1.567	0.430
	7	65	86.04	1.214	1.567	0.430
	8	70	86.04	1.214	1.567	0.430
	9	83.33	86.04	1.214	1.567	0.430
	10	90	86.04	1.214	1.567	0.430
Archivo climático con inten. cada treinta minutos y corrida para tres años	11	55	21.90	0	0	0
	12	65	10.07	0	0	0
	13	70	10.07	0	0	0
	14	83.33	10.02	0	0	0
	15	90	9.97	0	0	0

#### IV. ANÁLISIS GENERAL

Se ha *corrido* el modelo para tres sistemas diferentes de uso del suelo, a saber cultivos permanentes representados por el cultivo de café, cultivos de rotación representados por el cultivo maíz-frijol-tabaco, y suelos bajo uso de pastizales.

En la Fig. Nº 2, se exponen comparativamente los resultados obtenidos como producto del monitoreo de erosión y escorrentía en las parcelas, los pronósticos de la pérdida de suelos según el modelo WEPP, y los pronósticos de la pérdida de suelo según la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Figura N° 2. Erosión vs. erosión pronosticada por WEPP y EUPS.



Los pronósticos de WEPP, corresponden a los generados según el archivo climático de intensidades en cinco minutos, que fue el archivo cuyas *corridas* fueron más constantes y consecuentes con respecto de los registros efectuados en las parcelas.

Se puede apreciar que para los tres tipos de uso: pasto, café y tabaco, los pronósticos de WEPP tienden a mantenerse dentro del rango comprendido entre el máximo y el mínimo medidos. La tendencia de los pronósticos es ser ligeramente superior a los mínimos y a no sobrepasar los promedios; tiende por lo tanto a subestimar en buena medida los máximos medidos.

Esta tendencia general en los pronósticos con WEPP, podemos considerarla bastante confiable en términos de predecir la pérdida de suelo por erosión hídrica; ya que los registros de erosión observados en las parcelas tienen una alta variabilidad, condicionados por la interacción individual o combinada de muchos factores, desde variaciones extremas en las condiciones climáticas,

ingreso de recolectores de café o tabaco (que desagregan el suelo más de lo que produce el impacto de las gotas de lluvia), actividad biológica por hormigas, etc. Estos factores influyen en el registro de la erosión producida, y principalmente tienden a aumentar dichos montos sin que estos resultados sean representativos realmente de las condiciones promedio de pérdida de suelo.

Por lo tanto el hecho de que los pronósticos de WEPP, subestimen los datos máximos medidos, no representa una limitante significativa en cuanto a la validez de su aplicación.

Totalmente contrario a lo pronosticado por el modelo WEPP, es la tendencia general de la EUPS, la cual sobrestima en gran proporción los registros reales obtenidos en las parcelas, lo que hace de esta opción la menos confiable en comparación con el modelo WEPP.

En cuanto a las escorrentías pronosticadas por WEPP, el promedio de éstas (según el archivo climático de intensidades en cinco minutos) se mantiene dentro del rango de valores observados en las parcelas; aunque la tendencia es a sobrestimar los valores medidos.

## V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos con las versiones 94.1 y 95.1 del modelo WEPP, son mucho más aproximados a los datos medidos en las parcelas de escorrentía y erosión, en comparación con los resultados obtenidos por Alfaro (1992), Sánchez & Vahrson (1993) con las versiones preliminares del modelo.

Principalmente se ha logrado un mejor resultado en cuanto a obtener pronósticos más consecuentes entre la escorrentía y la erosión; aunque en términos generales la escorrentía pronosticada sigue manteniendo un nivel de sobrestimación y la erosión un nivel de subestimación con respecto de los datos medidos, podemos decir que éstos son más *acertados* que los pronósticos efectuados con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. Esto representa un gran avance en términos de tener a disposición una mejor tecnología para la planificación del manejo y conservación del recurso suelo.

Excluyendo los archivos relacionados con el clima, la pendiente, la forma de la pendiente, la textura del suelo y otros que tienen valores *absolutos* e inmodificables en términos de estar experimentando con diferentes opciones, se procedió a experimentar con diferentes valores para la conductividad

hidráulica, siempre manteniendo los mismos dentro de un rango lógico de valores medidos en el laboratorio para los suelos de las parcelas estudiadas.

Por ser los rangos de conductividad hidráulica muy amplios, igualmente el rango de resultados de erosión y escorrentía es muy amplio, por lo tanto la *estrategia* para obtener resultados confiables consiste en tratar de obtener escorrentías que se encuentren dentro de un rango *lógico* en cuanto a las condiciones climáticas y de uso del suelo de la zona que se desee *modelar*.

Conocer cuáles pueden ser las escorrentías *lógicas* para una zona dada y uso del suelo dado, puede ser difícil y oneroso si las mismas se pretenden conocer a través de trabajo de campo. Por lo tanto la opción puede ser acudir a fuentes secundarias que refieran características semejantes a las zonas y cultivos de interés; o a la instalación de pequeñas parcelas de escorrentía para monitorear dicha variable por lo menos por un período lluvioso.

Por ser una variable muy sensible, la toma de muestras y análisis de laboratorio para determinar la conductividad hidráulica, debe de hacerse con el mayor rigor científico posible.

Un limitante en apariencia insalvable, es el de los datos de precipitación y sus intensidades, ya que la red de estaciones en las cuales existen pluviógrafos, tiene una cobertura poco densa y poco extensa para el caso de Costa Rica. Esto es sumamente importante, ya que como se citó al inicio, el parámetro climático es uno de los más sensibles en cuanto a su influencia en los resultados.

En cuanto a la sensibilidad de los archivos climáticos según las intensidades para cinco, quince y treinta minutos, el que ha mostrado un comportamiento más consistente con respecto a los datos medidos y con respecto a los diferentes usos de suelo modelado, es el archivo de cinco minutos. Por lo tanto es recomendable y suficiente con que se utilice solamente este tipo de intensidad para las aplicaciones del modelo.

Los pronósticos del modelo han sido categóricamente consecuentes en cuanto a las opciones de *correr* el modelo con la opción *cultivo con contorno* y *cultivo sin contorno*; ya que evidentemente la primera alternativa que se ajusta a las condiciones reales de las parcelas monitoreadas, arrojó resultados mucho más acertados a la realidad monitoreada en comparación con la alternativa de *manejo sin contorno* que no representa condiciones reales y que dio resultados sobrestimados de erosión.

Los resultados obtenidos a partir del escenario *manejo sin contorno*, son útiles en términos de “conocer” cuáles podrían ser las consecuencias negativas de no utilizar obras de conservación según las características climáticas y de uso para un sitio dado; por lo tanto permitiría planificar mejor las posibles obras de conservación aplicables a dichos lugares.

Los resultados obtenidos para los escenarios de pastos (rangeland), no son del todo satisfactorios ya que muestran incongruencias en cuanto a los pronósticos efectuados entre los archivos climáticos para 5, 15 y 30 minutos, por lo tanto es necesario en este caso interpretar cuidadosamente los resultados y experimentar más detalladamente con la sensibilidad de los parámetros requeridos para dicho escenario.

La aplicación del modelo WEPP resulta difícil a partir de la cantidad de parámetros de entrada requeridos para efectuar el modelaje, dichos parámetros requieren datos o medidas que no están disponibles o son inexistentes para los cultivos, suelos o condiciones climáticas propias del país.

Igualmente la interpretación de los resultados debe hacerse con suma precaución ya que la sensibilidad de algunos parámetros hace que los pronósticos caigan en situaciones extremas poco ajustadas con las condiciones reales. En esta investigación ha sido necesario interpretar los pronósticos de WEPP a partir de sólo los rangos “lógicos” de escorrentía y promediar las correspondientes “erosiones promedio pronosticadas” para obtener datos comparables con los registros reales.

Se recomienda que para los casos en que se modele la erosión en zonas y usos de suelo para las cuales no existan registros reales de la erosión y escorrentía, se considere un rango de escorrentía lógico y que se indique como erosión potencial para la zona y el cultivo en particular, el rango de erosión correspondiente a dichas escorrentías “lógicas”.

1. School of Development Studies, University of East Anglia, Norwich, Norfolk, NR4 7TA, Reino Unido.  
Tel: +44 (0)1603-593625 Fax: +44 (0)1603-451999 e-mail: j.c.barton@uea.ac.uk

## BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, M. 1992. El Modelo WEPP de predicción de Erosión Hídrica. Informe interno Programa MADE, mimeografiado. Escuela Geografía, Universidad Nacional Heredia. 45 págs.
- Alfaro, M.; Palacios, G. 1991. "Aplicación de la EUPS a nivel de microcuenca, el caso de Quebrada Pital, Puriscal". In Vahrson, G. 1991, Memoria Taller de Erosión de suelos. Universidad Nacional Heredia. Págs. 144-163.
- Flanagan, D.; Livingston, S. 1995. WEPP user summary. NSERL. W. Lafayette, EU.
- Foster, G. Lane, L. 1987. User requirements USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). NSERL, W. Lafayette, EU.
- Hernández, G. Barrantes, G. 1996. Erosión de suelos en Cerbatana de Puriscal, 1990-1995. En prensa, Universidad Nacional Heredia.
- Hernández, G. Ruiz, A. 1996. Aplicaciones del modelo físico WEPP versiones 94.1, 95.1. Mimeografiado, informe interno Programa MADE. Universidad Nacional Heredia.
- Kirkby, M., Morgan, R. 1984. Erosión de suelos. LIMUSA, México.
- Lane, L., Renard, K. 1992. "Development and Application of Modern Soil Erosion Prediction Technology-The USDA Experience". In Aust. J. Soil Res. 30, 893-912.
- Sánchez, S., Vahrson, G. 1993. Aplicabilidad y aplicaciones del WEPP bajo diferentes condiciones tropicales. Mimeografiado, informe interno Programa MADE. Universidad Nacional Heredia. 36 págs.
- Vahrson, G., Cervantes, C. 1991. "Escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal, Costa Rica". In Vahrson, G. et al. 1991, Memoria Taller de Erosión de Suelos. Universidad Nacional Heredia. 116-130.

Los pronósticos del modelo han sido categóricamente consecuentes en cuanto a las opciones de *correr el modelo con la opción cultivo con contorno y cultivo sin contorno*: ya que evidentemente la primera alternativa que se ajusta a las condiciones reales de las parcelas monitoreadas, arrojó resultados mucho más acertados a la realidad monitoreada en comparación con la alternativa de *manejo sin contorno* que no representa condiciones reales y que dio resultados sobrestimados de erosión.