



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE GRANMA  
Facultad de Ciencias Agrícolas**

**TÍTULO: *Agresividad de las lluvias en cuatro localidades  
y estimación de pérdidas de suelo en la finca  
“La Fortuna”, Bayamo - Cuba.***

**TRABAJO DE DIPLOMA  
En opción al título de Ingeniero Agrónomo**

**AUTOR: Víctor Alfonso Lema Shucad**

**TUTOR: Msc. Ernesto Gómez Buzón**

**COTUTOR: Ing. Addegunde González Rivas**

**BAYAMO, M.N**

**Año 53 de la Revolución  
2011 – 2012**

## **PENSAMIENTO**

***“El bosque vuelve al hombre a la razón y a la fe y es la juventud perpetua. El bosque alegra, como una buena acción. La naturaleza inspira, cura, consuela, fortalece y prepara para la virtud al hombre”.***

***José Martí***

# DEDICATORIA

*Esta fase de mi vida y la más importante se la dedico:*

- *A quienes les debo todo lo bello y bueno que hay en mi vida.*

**Jesús mi fiel amigo.**

- *A mi padre. No existen palabras justas para describir el amor que en innumerables formas de ti recibo: porque a ti me debo, te dedico este trabajo, Padre.*

**Segundo Hernando Siza.**

- *A mi madre. Por su confianza y sus consejos, aquella que se desveló junto a mi lado en las noches más sombrías, gracias por todas las cosas buenas que me enseñaste.*

**María Lorenza Santiago.**

- *A mi esposa, quien me brindó su amor, su cariño, su estímulo y su apoyo constante, comprensión y paciente espera para que pudiera terminar el grado, son evidencias de su gran amor. ¡Gracias!*

**Piedad Barbarita Vélez.**

- *A mis adoradas hijas, que fueron mi fuente de inspiración para seguir adelante y construir un buen porvenir para su futuro ¡Gracias, mis amores!*

**Mariuxi J Lema V.**

**Jennifer A Lema V.**

**ESTE TRABAJO ES PARA USTEDES.**

# AGRADECIMIENTOS

*Siempre resulta difícil agradecer a aquellas personas que han colaborado con un proceso, con un trabajo, porque nunca alcanza el tiempo, ni el papel o la memoria para mencionar o dar justicia y todos los créditos y méritos a quienes se lo merecen.*

*Por esta razón existen muchas razones de satisfacción personal, después de recorrer un largo camino para formarme como profesional.*

- *Gracias a ti Dios, por darme día a día la fuerza necesaria para esta lucha, lucha que sé bien que apenas comienza.*
- *A mi Madre que con su amor y dedicación se entregó por completo a mis estudios, apoyándome en todo momento; por ser esa mano tierna que siempre me brindó su ayuda.*
- *Padre, qué diría, siempre has estado, en las buenas y en las malas, no habrá jamás cosa alguna que pueda hacer por ustedes a la cual diga no, porque así me han enseñado.*
- *A mi esposa por brindarme su amor, su fuerza, su constancia y apoyo; por enseñarme lo bello de amar y ser amado.*
- *A mis hermosas hijas, por ser mi energía de superación.*
- *Gracias al apoyo constante de las siguientes Instituciones de la provincia de Granma: Laboratorio Provincial de Suelos en la persona de su director, de los Ingenieros Roberto Roblejo, Juan Luis Pérez y Augusto Zamora. La dirección Provincial de Recursos Hidráulicos en la persona de su director y el Ing.*

*Hipólito Torres. La dirección de la cooperativa tabacalera “Horno Arriba”.*

- *Agradezco también la colaboración del Ingeniero Ramón Ramírez por su aporte en el manejo de los mapas y al Lic. Ricardo Fonseca por su contribución en el procesamiento estadístico de los resultados.*
- *A la Dirección de la Facultad de Ciencias Agrícolas y del departamento de Biología Agrícola especialmente a su decano Dr. Juan José Silva y a la Dra. Yoania Pupo por haber confiado en la importancia y utilidad de este trabajo.*
- *Por último a los profesores que me atendieron como tutores, al M.Sc y Profesor Auxiliar Ernesto Gómez Buzón y al Profesor Titular Addegunde González Rivas.*
- *Al colega, que son muchos en quien siempre encontré un consejo útil. A todos, un abrazo fuerte de eterno agradecimiento.*
- *A la Revolución Cubana, por brindarme la posibilidad de formarme como profesional.*
- *En general a todas las personas que ayudaron en mi formación profesional. He aquí, el resultado de un largo recorrido y duro trabajo que cada vez me alienta a buscar mi propia superación y me reta a ser mejor cada día.*

**GRACIAS ETERNAMENTE.**

## **RESUMEN**

Para determinar valores de erosividad y concentración de las lluvias en cuatro localidades de Granma y evaluar efectividad de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) en una finca del Polígono de Conservación, Bayamo, se procesaron estadísticamente datos pluviométricos mensuales y anuales para determinar Índice de Agresividad de las Precipitaciones (IMF) e Índice de Concentración de Precipitaciones (ICP). En la finca, a 7,5 km de distancia de Presa Guisa, se estimaron pérdidas potenciales de suelo por erosión hídrica utilizando la EUPS. Para estimar el valor R se utilizó el IMF corregido con la ecuación  $R = 2,56 * IMF^{1,065}$ . Mediante reconocimiento del terreno, calicateo y análisis de suelos en el laboratorio se determinaron los factores K, Ls, C. Se encontró que la agresividad de las lluvias fue muy alta en tres localidades y alta en la Presa Guisa; el ICP mostró distribución uniforme de lluvias en todo el año en los sitios estudiados con alto riesgo de erosión potencial. Pérdidas de suelo estimadas por la EUPS, sin considerar medidas de conservación, fueron de  $45,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  pero si se aplicaran fajas al contorno las pérdidas pudieran reducirse hasta  $11,3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ . Considerando el buen estado de conservación del perfil, la EUPS sobreestima las pérdidas reales en el área cuando se ignoran las prácticas de conservación, pero si para la estimación se incluyen el microembalse y canal de drenaje que desvían las aguas de escorrentía, las pérdidas estimadas serían de  $4,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ , coincidentes con el estado actual del perfil del suelo.

## **ABSTRACT**

With the objective to determine the erosivity values and concentration of the rains in four locations of Granma and to evaluate the effectiveness of the EUPS to predict erosion in Polygon Field of the Soil Conservation of Bayamo. They were processed monthly and annual rains to determine the Index of Aggressiveness of the Precipitations (IMF) and the Index of Concentration of the Precipitations (ICP). In a field located 7, 5 km away from Presa Guisa the potential loss of soil was estimated by erosion using the Universal Equation of Soil Loss (EUPS). As alternative way of R value estimation of the EUPS, IMF was used and its correction by means of the equation  $R = 2,56 \cdot IMF^{1,065}$ , through the land recognition in the field, the profile characteristic and the soil analysis in the laboratory, the EUPS factors K, Ls, C. and P were determined to predict the potential erosion.

It was found that the aggressiveness of the rains was very high in all the locations except in the Presa Guisa it's highly qualified, the ICP showed that the rains were distributed more or less evenly in the year, indicating that the four studied locations have a high risk of potential erosion during every month of the year. The soil loss estimated by the EUPS were of  $45,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^1$ , because of this it intends to develop cultivations in contour strips to reduce the loss until up to  $11,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^1$ . Taking into account the good state of conservation of the soil profile, the EUPS overestimates the real soil losses that could happen in the area of the Property when they are not considered the conservation practices, but if we take into account for the estimate the micro dams and drainage channel that deviates the watershed and it prevents that these affect the studied area, the soil losses estimated by the EUPS would be of  $4,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^1$ . Coinciding the estimate with the current state of the soil profile.

## ÍNDICE

CONTENIDO	Página
I. <b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
II. <b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
II.1. Problemas ambientales actuales .....	4
II.2. Características de las lluvias erosivas .....	5
II.3. Propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos relacionadas con la erosión .....	6
II.3.1. La textura .....	7
II.3.2. Estructura .....	7
II.3.3. Porosidad o espacio poroso .....	8
II.3.4. Capacidad de campo.....	9
II.3.5. Velocidad de infiltración .....	9
II.3.6. Capacidad máxima de retención de humedad.....	9
II.4. La escorrentía superficial .....	10
II.5. Las plantas y sus efectos antierosivos .....	11
II.6. El relieve del terreno y la erosión .....	12
II.7. Medidas antierosivas agronómicas y culturales más empleadas.....	12
II.8. Medidas mecánicas antierosivas .....	13
III. <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	15
III.1. Localización de los pluviómetros .....	15



<b>CONTENIDO</b>	<b>Página</b>
III.2. Índice de Agresividad Climática .....	15
III.3. Índice de Concentración de las Precipitaciones.....	16
III.4. Estimación de valores “R” .....	16
III.5. Procedimiento para la estimación de las pérdidas de suelos anuales en la finca “La Fortuna”, Horno Arriba .....	17
III.6. Caracterización de la finca en la que se estimó la erosión potencial ..	18
III.7. Procedimiento para la descripción del perfil del suelo .....	19
III.8. Diseño experimental y procesamiento estadístico de los resultados ...	19
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>20</b>
IV. 1. Índice Modificado de Fournier.....	20
IV. 2. Índice de Concentración de las Precipitaciones.....	22
IV. 3. Erosividad de las lluvias, coeficiente “R” de la EUPS.....	23
IV. 4. Estimación de pérdida potencial de suelo en la Finca mediante la EUPS .....	25
IV.5. Comparación entre la estimación de pérdida de suelo empleando la EUPS con el estado actual del perfil de suelo.....	28
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>32</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>33</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>42</b>

## **I. INTRODUCCIÓN**

La erosión hídrica recibe la atención de todas las personas interesadas en la conservación del medio ambiente en los momentos actuales y futuros (Nearing 2001), ya que se ha demostrado que es un factor de presión en la sostenibilidad agroambiental debido a la alta agresividad de las precipitaciones que potencialmente pudieran degradar los suelos por erosión (Marina Vega y Febles 2008); lo cual incide directamente en el rendimiento de los cultivos reduciéndose hasta en un 51 % y más (González, et al. 2007), con la consiguiente influencia negativa en la sostenibilidad económica y social; ello se debe esencialmente a que por causa de la erosión se puede perder todo el horizonte A y si es muy severa hasta el horizonte B en los cuales se encuentra el humus, la mayor actividad biológica y dereserva de nutrientes para las plantas.

La provincia de Granma comprende un territorio que abarca terrenos llanos a depresionales, pre montañosos y la zona de montaña más alta y extensa del país las que se destacan por el escurrimiento superficial y por su régimen de lluvias que en la Cuenca del Cauto pudieran ser de 300 a 450 mm y más, para el 1% de probabilidad lo cual significa que en 24 horas puede precipitar el 30% o más del promedio anual histórico para esta cuenca (Sánchez y Batista, 2005); estas condiciones geoclimáticas hacen al territorio muy vulnerable al proceso de pérdida de suelo por erosión hídrica.

Para apreciar la erosión de los suelos se han empleado diferentes alternativas como por ejemplo, la medición de la pérdida de los horizontes A y B del suelo, método conocido como del perfil patrón; la medición de cárcavas y surquillos, el método de los pedestales y otros que expresan la erosión actual. Marina Vega y Febles (2005), encontraron que existe una amplia variedad de métodos e índices para evaluar la erosión, y consideran que los investigadores teniendo en cuenta sus objetivos de trabajo y la disponibilidad de datos pueden seleccionar entre todos, los más apropiados.

Otro método que se ha empleado mucho internacionalmente ha sido la estimación de pérdida de suelo utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS)

propuesta por Wischmeier y Smith (1978). Mediante la EUPS se pueden predecir los valores de pérdida de suelos por erosión hídrica. Wischmeier y Smith (1978), estudiaron la erosión y sus causas en decenas de miles de parcelas de estudio del territorio de los Estados Unidos y Puerto Rico y cuantificaron los factores que influyen en la erosión hídrica y de los que dependen las toneladas por hectárea de suelo que pudieran perderse cada año y son: R (precipitaciones), K (erodabilidad del suelo), Ls (longitud y largo de la pendiente del terreno), C (cubierta vegetal), P (prácticas de conservación). El empleo de esta metodología constituye un modo organizado e integral de estimar las pérdidas de suelo y diseñar prácticas de manejo y conservación de los suelos incluso antes del establecimiento del sistema de producción.

La EUPS emplea el índice de erosividad de las lluvias conocido por factor R que se calcula a partir de datos pluviográficos confiables que no siempre están disponibles. Por esta razón, es que Arnoldus (1978), propone el Índice Modificado de Fournier (IMF) que toma en cuenta las lluvias mensuales y anuales, y expresa la agresividad de las lluvias al incidir sobre el suelo y por tanto permite evaluar el riesgo de erosión de una localidad determinada; a partir del IMF y mediante ecuaciones, en muchos lugares del mundo se estima el valor de R (erosividad de las lluvias) de la EUPS pronosticándose así, las toneladas de suelo que pudieran perderse en un año (Mancilla 2008).

La erosividad de las lluvias se complementa con la concentración de las precipitaciones que expresa su variación anual, estacional y en la duración de la estación lluviosa de un año cualquiera, pudiéndose conocer así, si las precipitaciones se concentran o no en un número de meses en el año. La distribución desbalanceada de la lluvia provoca períodos de exceso de lluvia, con una influencia importante en la erosión, y períodos de seca que crean dificultades al crecimiento de los cultivos, por eso es necesario considerar la concentración de las lluvias en la valoración y predicción de las pérdidas de suelo y de agua por la erosión (Michiels et al. 1992). Para estimar la agresividad de las lluvias a partir de la variabilidad temporal de las precipitaciones mensuales, Oliver (1980), propuso el Índice de Concentración de las Precipitaciones (ICP).

Marina Vega y Febles (2005), encontraron que en Cuba, la evaluación de la erosividad de la lluvia (Factor "R") se realiza sin considerar algunos de los índices de agresividad climática ampliamente reconocidos en la literatura mundial, siendo este componente de la EUPS imprescindible para la estimación de las pérdidas de suelo.

**Problema:** Pérdidas importantes de suelo fértil debido a la erosión hídrica constituyen un problema ambiental actual, existiendo desconocimiento de los valores de algunos de los índices de agresividad climática causantes de la misma, y no se pronostican las posibles pérdidas de suelos por erosión.

**Hipótesis:** Con la utilización de la EUPS, y conociendo la agresividad y concentración de las lluvias se podrán estimar las pérdidas potenciales de suelo por erosión hídrica.

**OBJETIVO GENERAL:** Evaluar los valores de erosividad y concentración de las lluvias en cuatro localidades de la provincia Granma y la efectividad de la EUPS para diagnosticar las pérdidas de suelo en una finca del Polígono de Conservación de Suelos de Bayamo.

**OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Evaluar la agresividad y concentración de las precipitaciones en cuatro localidades de la provincia de Granma.
- Estimar las pérdidas potenciales de suelo empleando la EUPS.
- Valorar si las pérdidas estimadas de suelo mediante el procedimiento de la EUPS se corresponden con el diagnóstico del grado de la erosión del suelo mediante la medición de los horizontes A y B del perfil.

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **II.1. Problemas ambientales actuales.**

El clima puede definirse como los momentáneos estados de la atmósfera, a él pertenecen además de la atmósfera, el océano, la superficie terrestre con diferentes altitudes por encima del nivel del mar, la biosfera y la zona helada (Hartmut 2001). La circulación del agua en la naturaleza es un fenómeno estrechamente relacionado con la erosión de los suelos y la sostenibilidad del ambiente, sus cambios ocupan a los científicos de todo el mundo. Daniela Jacob (2001), manifiesta que todos los modelos predictivos indican un aumento de las precipitaciones medias en dependencia de la región, incrementándose el ciclo hidrológico en áreas con altas precipitaciones (trópicos internos) y altas latitudes, sin embargo en algunas áreas continentales (partes de la zona subtropical seca) las precipitaciones se han reducido; Julia Gaspari et al. (2008), encontró en estudios de cuarenta a setenta años que en la provincia de Buenos Aires algunas localidades han tenido un incremento de las precipitaciones mientras en otras se ha reducido, ello demuestra que el clima está cambiando.

Según Echarri (1998), entre los problemas ambientales que hoy más preocupan a la humanidad se encuentra la desertización agravada por actividades humanas que debilitan el suelo y lo hacen más propenso a la erosión; el sobrepastoreo; mal uso del suelo y el agua; la tala de árboles; la minería a cielo abierto y la compactación del suelo.

Cuando la superficie del suelo se desprotege, la acción erosiva del agua de lluvia alcanza su máxima expresión.

El proceso erosivo, además de retirar la capa de suelo más fértil con el consiguiente daño económico y ambiental, traslada los sedimentos hasta ríos, lagunas, presas y mares, provocando la contaminación de las aguas; Khosrowpanah (2001), consideró que en las islas Micronesias dedicadas al turismo de playa y a la pesca, la deposición de sedimentos redujo la actividad económica e incluso provocó enfermedades, mientras Sharpley et al. (1999), han encontrado que en las lagunas y presas cuando a consecuencia de la erosión

llegan porciones de suelo arrastradas por el agua de escorrentía, aumenta la concentración del fósforo en el agua y éste deja de ser limitante para las plantas acuáticas provocando su crecimiento intenso, lo cual eleva la demanda biológica de oxígeno y con ello los peces mueren por falta de oxígeno, conocido este fenómeno como eutrofización.

De acuerdo a lo anteriormente señalado, el fenómeno erosivo no tiene fronteras y produce daños en todos los medios.

## II.2. Características de las lluvias erosivas.

De acuerdo con Haile et al. (2010), las propiedades de las lluvias son: cantidad de lluvia, duración del evento, intensidad media y máxima de la lluvia y el tiempo transcurrido entre dos eventos de lluvia consecutivos.

Las gotas de lluvia impactan sobre la superficie del terreno con una determinada energía en dependencia del grosor y la velocidad con que caen, rompiendo los agregados los cuales se exponen al agua de escorrentía superficial cuando la intensidad de la lluvia supera la velocidad de infiltración del suelo. Debido a que las lluvias son el principal agente responsable de la erosión es que los modelos de predicción de la erosión hídrica incluyen la energía de impacto y la intensidad máxima de las lluvias como una de las variables a evaluar (Yelaine Almoza et al., 2007).

La erosividad de las lluvias fue utilizada por Wischmeier y Smith (1978) como uno de los indicadores que forman parte de la EUPS y se simboliza con la letra "R" y se define como la suma del producto de la energía cinética total y la intensidad máxima de la lluvia en treinta minutos por evento. Este producto también se le conoce como índice de Wischmeier, y se expresa como:

$$EI_{30} = (Ec) (I_{30})$$

Donde:

$EI_{30}$  índice de erosividad para un evento en MJ .mm / ha .h

$Ec$  energía cinética total de la lluvia en MJ / ha

$I_{30}$  intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos en mm /h

En Cuba, el factor “R” fue estimado por Planas (1993), usando datos pluviográficos que aplicó a la metodología original para estos casos procesando 40 307 aguaceros de láminas superiores a los 13 mm (pues láminas menores no producen erosión), de esta manera estableció las isoerosivas a escala poco detallada encontrando por ejemplo, en el central azucarero “Loynaz Echevarría” en la Provincia de Holguín, que las isoerosivas tuvieron un valor de 650 MJ .mm / ha .h y 765 y 800 MJ .mm / ha .h para Jimaguayú, Camaguey (Zoe Acosta et al. 2003).

Debido a que los datos pluviográficos detallados y confiables no están siempre disponibles es que se han usado datos mensuales y anuales de lluvias para estimar la energía de impacto de las lluvias sobre el suelo, uno de los primeros intentos en esta dirección permitió establecer el Índice de Fournier (IF) que posteriormente fue corregido y de ese modo comenzó a utilizarse ampliamente el Índice Modificado de Fournier (IMF) para determinar la erosividad de las precipitaciones tomando en cuenta los acumulados de lluvias mensuales y anuales, correlacionándose muy bien con la erosividad de las lluvias determinada con el procedimiento original a partir de las lecturas pluviográficas tal y como propusieron Wischmeier y Smith (1978); a este criterio se unen Mancilla (2008) y María Kouli et al. (2008), entre otros. A partir de los valores del IMF se han aplicado varias ecuaciones para encontrar el valor del coeficiente R de la EUPS, entre las cuales se encuentran las ecuaciones presentadas por Banasik y Gorski 1994; Renard y Freimund 1994; Yu and Rosewell 1996 citados por María Kouli et al. (2008); y la ecuación de Rodríguez et al. 2004, citado por Mancilla (2008).

### **II.3. Propiedades físicas e hidrofísicas de los suelos relacionadas con la erosión.**

El suelo es quien recibe el primer impacto de las gotas de lluvia, sus propiedades físicas e hidrofísicas amortiguarán en mayor o menor medida el efecto de bombardeo, e influye en la escorrentía. La capacidad del suelo a mantener su estructura (estabilidad estructural) es un factor importante que reduce la dispersión de las partículas del suelo cuando las gotas de lluvias inciden sobre él y esta propiedad depende mucho del contenido de materia orgánica del suelo y

de la textura, del tipo de estructura dependerá también la capacidad de infiltración del suelo y su resistencia a que se produzca agua de escorrentía superficial (Cairo y Fundora, 1994 y Bronzoni, 1996). Es por ello que Wischmeier y Smith (1978), introducen estas variables para la estimación del factor K o erodabilidad que dependerá de los factores de suelo que lo afectan y siempre será menor que la unidad pues el suelo siempre ofrecerá resistencia a su desintegración.

El valor del coeficiente K puede ser modificado; Senra (2009), demostró que el sobre pastoreo producía compactación del suelo y reducción de su permeabilidad así como, aumento de la escorrentía y la erosión; González et al. (2007), encontraron reducción de la porosidad de drenaje cuando el suelo era sometido a presión por equipos agrícolas. Cuando por efecto de la compactación se reduce la porosidad de drenaje, se reduce también la infiltración del agua en el suelo y aumenta considerablemente el agua de escorrentía favoreciéndose la erosión hídrica.

### **II.3.1. La textura.**

Montenegro et al (1990), consideran que la textura es la propiedad del suelo que establece las proporciones relativas en que se encuentran las partículas de diámetro menor a 2 mm, es decir, la tierra fina. La textura del suelo tiene especial significado en el proceso erosivo por ello Díaz (2007), apunta que cuando el porcentaje de arcilla supera el 30 % aumenta la cohesión del suelo, y se mejora la estabilidad estructural por lo que el suelo aumenta su resistencia a los impactos de las gotas de lluvia, reduciéndose la erosión. Los suelos francos son los más resistentes a la erosión pues tienen proporciones medias de arena, limo y arcilla y como resultado absorben bien la humedad, drenan bien y tienen adecuada estabilidad estructural debido a la proporción de arcilla que poseen la cual une las partículas del suelo impidiendo que el agua las disperse.

### **II.3.2. Estructura.**

De acuerdo con Pacheco et al. (1995), el término estructura enmarca la característica de conjunto que se obtiene por la disposición que toman los elementos estructurales entre sí. Al observar un suelo laborado se distinguen



agregados de partículas que toman distintas formas (esféricas, laminar, prismáticas), las que se denominan elementos estructurales.

La estructura granular es la que permite la mayor resistencia al suelo a la erosión pues entre los agregados hay abundantes macro poros a través de los cuales se produce el drenaje, lo contrario sucede con la estructura en bloques o prismática en la cual la presencia de poros grandes es muy pequeña debido a lo cual el drenaje está muchas veces impedido y como resultado se origina abundante agua de escorrentía; según Rosa Orellana (2010), la aplicación de paja al suelo incrementa el humus del suelo e incorpora sustancias agregantes de las partículas, aumentándose de ese modo la estabilidad estructural de los agregados y en consecuencia, los suelos resisten mejor la erosión.

### **II.3.3. Porosidad o espacio poroso.**

La distribución del espacio poroso depende de la composición y arreglo de la fracción sólida, es decir, de la textura, del contenido de materia orgánica y de la estructura, definiéndose dos tipos de espacios porosos:

- Microporosidad o porosidad textural, que está compuesta por el volumen de los poros más finos que tiene el suelo.
- Macroporosidad o porosidad estructural, es el volumen de poros grandes del suelo y es la encargada del drenaje del agua del suelo.

En los poros pequeños, se almacena el agua que llega al suelo y a través de los poros más grandes circula el aire y el agua del suelo que se infiltra a través del perfil del suelo (González et al. 2007). Las raíces de las plantas realizan un destacado papel en la estabilidad estructural y de los poros mayores, aumentando la resistencia a la ruptura de los agregados cuando son atacados por el agua (Birgitte Neergaard 2001). Según Cairo (1982), la materia orgánica gobierna la distribución de los poros y especialmente sobre los macroporos y hace resistentes a los agregados al efecto del agua debido a dos causas, una de ellas es por el poder cementante del humus y la otra debido a que disminuye la mojabilidad de los agregados pues crea una película sobre el agregado que los protege de la acción del agua; estos efectos combinados de la materia orgánica aumentan la

cohesión de los agregados y disminuyen el efecto de estallido, y de esta manera, se aumenta la porosidad de aireación, la permeabilidad y por último el efecto dañino de la erosión.

#### **II.3.4. Capacidad de campo.**

La capacidad de campo es la cantidad de agua que posee el suelo en los poros pequeños, es una de sus características más específicas y está determinada, fundamentalmente, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones minerales y orgánicas y el arreglo que presente el medio físico edáfico.

La capacidad del suelo de almacenar agua disponible para las plantas puede aumentarse mediante la aplicación de materia orgánica, no sólo materiales humificados como el humus de lombriz, compost o estiércoles, sino también, por abonos verdes a partir de leguminosas forrajeras y gramíneas (Rosa Orellana 2010).

#### **II.3.5. Velocidad de infiltración.**

Según Vélez et al. (2002), la infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del suelo hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan la infiltración, gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo y su distribución durante y después de la infiltración.

Ruíz et al. (2004), consideran que la velocidad de infiltración depende de factores tales como: el espesor de agua empleado para el riego o lluvia, la temperatura del agua y el suelo, la estructura y la compactación, textura, estratificación, contenido de humedad, agregación y actividades microbianas. Los diferentes manejos que se le imponen al suelo modifican estos factores y por ello las labranzas modifican la velocidad de entrada de agua al perfil de suelo.

#### **II.3.6. Capacidad máxima de retención de humedad.**

Cuando un suelo tiene todos los poros, pequeños y grandes, llenos de agua se ha alcanzado la capacidad máxima de retención de humedad, después de este

momento aparece el agua de escorrentía. Un suelo arenoso, por ejemplo, con espacios porales grandes, durante una lluvia leve absorbe toda el agua que recibe sin originar escorrentía y por lo tanto, sin sufrir erosión; pero en compensación, como posee baja proporción de partículas arcillosas que actúan ligando y manteniendo unidas las partículas gruesas, al fluir cualquier corriente de agua superficial se arrastrarán grandes cantidades de suelo (Febles y Durán 1988).

#### **II.4. La escorrentía superficial.**

La escorrentía superficial es el agua que no se infiltra, se origina cuando el suelo está saturado de humedad y generalmente cuando la intensidad de las precipitaciones supera la velocidad de infiltración del suelo. Crespo et al. (2010), obtuvieron una estrecha relación ( $R^2 = 0,98$ ) entre la escorrentía y las pérdidas de suelo. Mientras mayor masa de agua se mueva y mayor velocidad adquiera dicha masa en su movimiento, el efecto erosivo del agua de escorrentía será mayor, pudiendo producir surquillos y hasta cárcavas. Pérez y López (2000), encontraron en un suelo Inceptisol de Venezuela, que cuando el terreno está cubierto con plantas, la escorrentía se reduce aproximadamente en un 10 %, debido a que aumenta la capacidad de retención y de infiltración del agua en el suelo.

La escorrentía es responsable de la segunda parte del mecanismo de ataque del suelo por el agua en la superficie; la fase de arrastre de las partículas, lo que provoca pérdida de materia orgánica de los horizontes superiores del suelo (Casas 2003), y los sedimentos trasladados, son depositados en las zonas bajas, reduciendo la capacidad de embalse de las presas y la conducción de agua de los ríos (Basile, 2005).

Debido al importante efecto de las propiedades del suelo en la resistencia a la erosión hídrica es que Wischmeier y Smith (1978) la introducen como segundo factor de la EUPS (K) y que según Alejandrina Montes et al. (2011), alcanzan en Querétaro, México, entre 0,007 y 0,026, el valor inferior se aplica a suelos bien estructurados, porosos y con buena capacidad de infiltración.

## II.5. Las plantas y sus efectos antierosivos.

La energía cinética que desarrollan las gotas de lluvia depende de su masa y la velocidad de caída; partiendo de este principio puede entenderse que el follaje constituye un obstáculo para la lluvia, éste reduce su velocidad de caída y con ello su efecto erosivo sobre el suelo; las plantas además reducen la velocidad de traslación de la escorrentía y con ello la energía para erosionar el suelo; al morir las raíces de las plantas dejan galerías por las cuales drena el agua, las plantas incrementan la presencia de hojarasca en la superficie del suelo y lo protegen; además, aumentan el humus del suelo con lo cual se eleva la capacidad de absorción de agua y la estabilidad estructural. Mientras mayor cantidad de residuos dejen las plantas sobre el suelo, mayor será su efecto antierosivo, con efectos diferentes entre especies y así Llanes et al. (2010) encontraron que la asociación de maíz (*Zea mays Lin*) con frijol de terciopelo (*Stizolobium deeringianum, Bort*) redujo la compactación, aumentó el contenido de materia orgánica y la porosidad de drenaje, y el cambio de las propiedades del suelo generado por el uso de la asociación beneficia la resistencia del suelo a la erosión hídrica.

Para expresar el efecto de las plantas en la erosión, la EUPS presenta el coeficiente C, siendo 1 el valor de este coeficiente cuando los suelos están desnudos y se reduce con la presencia de diferentes especies y acorde al porcentaje de cobertura del suelo que ellas realizan; por esa razón, María Kouli et al. (2008), encontraron diferencias marcadas entre las especies de plantas en Grecia, donde los bosques de hojas anchas mostraron alto grado de resistencia a la erosión con valores C de 0,13; los bosques de coníferas, 0,33; la tierra cultivable no irrigada, 0,496; los pastos, 0,54 y las áreas con escasa vegetación 0,64. Zuzel Leal et al. (2010), en la cuenca del río Cuyaguaje encontraron que el barbecho más tabaco (*Nicotiana tabacum Lin*) presentó el menor coeficiente C con 0,13 en tanto que, cuando el terreno siempre estuvo sembrado de yuca (*Manihotesculenta Lin*) su valor fue de 0,41.

Muchas veces se aplican valores de coeficientes C en dependencia del estado de desarrollo del cultivo, de la abundancia de su follaje y la cobertura que hace del suelo (Edesco et al 1997).

## **II.6. El relieve del terreno y la erosión.**

Según Márquez (2001), el relieve de la superficie terrestre constituye un complejo conjunto de formas especiales que se diferencian unas de otras por sus dimensiones, altura y forma exterior. El relieve y más concretamente la longitud y grado de la pendiente tienen un efecto destacado en el proceso erosivo pues mientras más larga sea la pendiente y mayor el grado de la pendiente, el proceso erosivo se incrementará; ello se debe a que en pendientes largas y acentuadas, la escorrentía superficial aumenta su velocidad y puede incrementar también su masa con el consiguiente efecto erosivo sobre la superficie del suelo y a veces ocurren movimientos en masa de suelos con desprendimientos importantes de las capas más fértiles del perfil (Febles y Durán, 1988).

## **II.7. Medidas antierosivas agronómicas y culturales más empleadas.**

Las medidas antierosivas se aplican preferentemente para evitar el proceso erosivo del suelo. Prever la erosión significa diagnosticar sobre la base de la erosividad de las lluvias, las condiciones del suelo y la pendiente del terreno, si es preferible mantener el suelo con la vegetación natural o qué cultivos pudieran establecerse en el terreno en cuestión así como qué prácticas agronómicas, culturales o mecánicas pudieran establecerse para proteger el suelo de la erosión hídrica (FAO 1978, Mancilla 2008 y María Kouli et al. 2008).

Las medidas agronómicas y culturales de conservación a adoptar tienen como objetivo en primer lugar evitar el impacto directo de las gotas de lluvia sobre el terreno, aumentar la resistencia del suelo al efecto dispersante del agua, a reducir la velocidad de la escorrentía y por tanto, la presencia de plantas, las rotaciones de cultivos, los cultivos múltiples, la cobertura muerta, la incorporación de materia orgánica al suelo, el subsoleo, el laboreo mínimo, las barreras vivas y muertas, el laboreo y siembra en curvas de nivel, los cultivos en fajas, entre otras, son las más empleadas (Bronzoni 1996).

Las características botánicas y fisiológicas de las plantas son aprovechadas para, mediante un manejo adecuado, combatir la erosión, y sus efectos se deben fundamentalmente a la incorporación de materia orgánica al suelo con lo cual se mejora la absorción de agua por éste, mejoran la estabilidad de los agregados del suelo y la infiltración del agua de lluvia y con ello se reduce el volumen del agua de escorrentía, y también constituyen una barrera al agua de escorrentía reduciendo la velocidad de la misma.

### **II.8. Medidas mecánicas contra la erosión.**

El objetivo esencial que deben cumplir las medidas mecánicas, llamadas también hidrotécnicas, es cortar el agua de escorrentía que se conduce por la superficie a favor de la pendiente del terreno y conducirla organizadamente hacia lugares en donde no produzca daños. De esta forma se impide que el agua de escorrentía alcance velocidades y masa erosivas. Para ello se emplean los canales que según su diseño y dimensiones se denominan terrazas, acequias de ladera y canales de desviación. Según Bronzoni et al. (1996), para la ejecución de estas obras físicas y definir sus dimensiones es preciso tener información sobre la topografía, características del suelo, el cultivo, y muy importante es conocer las características del clima, especialmente lo relacionado con la intensidad de las lluvias.

Las medidas mecánicas se aplican en casos extremos, cuando las restantes medidas, agronómicas y culturales, no son capaces de proteger el suelo. Jane Siqueira (2010), encontró en cuencas hidrográficas de Río Grande Do Sul en Brasil, reducción hasta del 82 % en los sedimentos debido a la escorrentía sólo por la aplicación del plantío directo. Se trata entonces de utilizar los suelos según su aptitud agrícola, en primer lugar mantenerlo cubierto con plantas y en segundo lugar manejar las plantaciones según la pendiente para que se minimice la erosión (Fernanda Gaspari 2003), y de este modo la necesidad de aplicar medidas hidrotécnicas serían mínimas. La aplicación integral de medidas conservacionistas agronómicas y culturales e hidrotécnicas cuando ha sido necesario, ha dado muy buenos resultados en Cuba. Consuelo Hernández et al. (2010), encontró en suelos pardos grisáceos y pardos sin carbonatos con

pendientes del 5 al 10 % que el empleo combinado de labranza mínima, siembra en contorno y vetiver (*Vetiveria zizanioides*, L) en el borde de las terrazas redujo las pérdidas de suelos a niveles tolerables. El coeficiente P para las terrazas como medida mecánica varía desde 0,10 en terrenos con pendientes del 2 % hasta 0,18 en terrenos con pendientes del 18 % (Planas 1993).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### III.1. Localización de los pluviómetros.

Se procesaron datos de lluvias mensuales y anuales de veinticinco años de los siguientes pluviómetros:

Localidad	Coordenadas		Altura sobre el nivel del mar (m)
	N	E	
Presa Guisa	176,2	527,0	95
Rihito Guisa	167,3	544,4	600
El Podrío, Masó	166,9	496,6	160
Las Llanadas, Manzanillo	172,7	465,1	10

#### III.2. Índice de Agresividad Climática.

Se empleó el Índice Modificado de Fournier (IMF) que se expresa:

$$IMF = \sum_{1}^{12} \left( \frac{p_i^2}{P} \right)$$

En donde  $p_i$  es la precipitación mensual del mes "i", el cual va de enero a diciembre del correspondiente año y  $P$  es el total anual de precipitaciones en mm.

Para la evaluación del IMF se emplearon los rangos presentados por la *Commission of the European Communities* (CEC) citado por Echeverri y Obando (2010).

**Tabla I. Calificación del IMF.**

CLASE	RANGO	DESCRIPCIÓN
1	< 60	Muy bajo
2	60 – 90	Bajo
3	90 - 120	Moderado
4	120 - 160	Alto
5	> 160	Muy alto



### III.3. Índice de Concentración de las Precipitaciones.

Se empleó el método propuesto por Oliver (1980), según la expresión:

$$ICP = 100 \left( \sum_{i=1}^{12} p_i^2 \right) / P^2$$

Donde:

ICP = Índice de concentración de las precipitaciones (%)

P<sub>i</sub> = Precipitación media mensual (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

i = Mes

Para la evaluación del ICP se utilizó la propuesta hecha por Michels y Gabriels citados por Echeverri y Obando (2010), que es:

**Tabla II. Evaluación del ICP**

<b>RANGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
8,3 – 10	Uniforme
11 – 15	Estacional moderada
16 – 20	Estacional
21 – 50	Fuertemente estacional
51 - 100	Aislada

### III.4. Estimación de valores “R”.

A partir de los valores del IMF anuales, se estimó el valor “R” aplicando la ecuación de Rodríguez (2004):  $R = 2,56 * IMF^{1,065}$  según Mancilla (2008), en esta ecuación “R” es el coeficiente de erosividad de las lluvias y el IMF es el Índice Modificado de Fournier. Para seleccionar esta ecuación predictiva de las pérdidas de suelos, se tuvo en cuenta que los valores de “R” estimados por ella se acercan a los reportados por Planas (1993), y a los encontrados en la zona sur-este continental de los Estados Unidos muy cercana a Cuba (FAO 1978), así como que los valores de “R” anuales manifestaran una buena correlación con el IMF y los valores acumulados anuales de las precipitaciones (María Kouli et al. 2008).

### III.5. Procedimiento para la estimación de las pérdidas de suelos anuales en la finca “La Fortuna”, Horno Arriba.

La estimación de las pérdidas de suelo se realizó utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) según FAO (1978), que se expresa:

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

Donde: A es la pérdida de suelo en  $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ ; R el factor de erosividad de las lluvias y la escorrentía ( $Mj \text{ mm}/ha \text{ h año}^{-1}$ ); K es el factor de erodabilidad del suelo ( $t \text{ ha h}/(ha \text{ MJ mm})$ ); siendo el producto de los factores R y K equivalente a  $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$  de suelo perdido; L y S son el largo y grado de la pendiente dominante respectivamente, C es la cubierta vegetal del terreno y P son las prácticas de conservación de suelo que se aplican. Los factores L, S, C y P no tienen dimensiones, sino que son coeficientes determinados mediante la comparación de parcelas patrones, por ejemplo con o sin vegetación, con o sin prácticas de conservación; estos coeficientes afectan al valor del producto de R y K y el resultado de pérdida de suelo se expresa en  $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ .

El coeficiente R, erosividad, se encontró mediante la aplicación de la ecuación de Rodríguez (2004) citado por Mancilla (2008), que toma en cuenta el IMF, utilizándose para calcular el IMF los valores de precipitaciones del pluviómetro de la Presa Guisa, el más cercano a la Finca evaluada (unos 7,5 km de distancia en línea recta).

El coeficiente K se determinó mediante la ecuación:

$$K = 1,313 * [2,1 * 10^{-4} * (12 - M.O) * M^{1,14} + 3,25 * (s - 2) + 2,5 * (p - 3)] / 100$$

Donde: M.O es el % de materia orgánica del suelo, s es el código de la estructura del suelo (Anexo 1), p es el código de la permeabilidad (Anexo 2), M corresponde a:  $(\% \text{ de limo} + \text{arena muy fina}) * (100 - \% \text{ de arcilla})$ .

El coeficiente  $L_s$  se calculó sobre la base de la siguiente ecuación:

$$L_s = (L/22,1)^{0,6} * (S/9)^{1,4}$$

El coeficiente C se obtuvo mediante tablas (Anexo 3).

El coeficiente P se encontró en tablas (Anexo 4). En caso de no realizarse prácticas de conservación se adopta como valor 1.

### III.6. Caracterización de la finca en la que se evaluó la erosión potencial.

Para definir los factores K, Ls, C y P se seleccionó la finca “La Fortuna” en Horno Arriba, Bayamo, situada en el “Polígono de Conservación de Suelos” en las coordenadas 528,7 E y 183,25 N, Hoja Guisa 4876-1-b. 1:25 000. (Fig. I).



**Fig. 1.** Porción de la hoja cartográfica 4876-1-b 1:25 000 en donde se localiza la finca en la cual se evaluó las pérdidas de suelo.

El material depositado en la Finca pertenece a la formación geológica del período cuaternario.

La Finca, ocupa el espacio de un valle que ha recibido materiales de suelos a partir de elevaciones de 158,2 m de altura situadas a 200 m de distancia hacia el sureste, la curva de nivel indica que las aguas de escorrentía se mueven hacia el noroeste. En su cabecera ya unos 10 metros fuera de sus límites, en una cota superior a la que se describió el perfil del suelo, hay un micro embalse con un canal de drenaje que recibe las aguas de escorrentía de zonas más altas y las desvía a límites fuera de la Finca.

### III.7. Procedimiento para la descripción del perfil del suelo.

La descripción del perfil se realizó mediante calicateo en la parte media de la pendiente con dos objetivos: Caracterizar el perfil y medir el espesor de los horizontes A y B para diagnosticar si ha habido pérdida de suelo por erosión.

Por las características morfológicas del perfil y de acuerdo a los análisis del suelo el perfil pertenece al agrupamiento Fersialítico, tipo Pardo rojizo, subtipo Típico, género sobre caliza suave carbonatada, especie medianamente profundo, medianamente humificado, poca erosión, carbonatado. Variedad arcilla (mezcla de arcilla 2:1 y 1:1, aunque predomina la primera), muy poca graviliosidad, profundidad efectiva de 45 cm, su relieve es llano con pendiente de 3,1 %, siendode 130 m el largo de la pendiente. La vegetación natural predominante está compuesta por: gramíneas, Júpiter (*Gliricidia sepium Jacq*) y algarrobo (*Ceratonia siliqua L*), actualmente el terreno se cultiva de maíz intercalado con maní (*Arachis hypogaea Lin*) y se rota con yuca, boniato (*Ipomoea batatas Lin*) y maní.

### III.8. Diseño experimental y procesamiento estadístico de los resultados.

Se aplicó un modelo de clasificación simple completamente aleatorizado controlando el efecto de las cuatro localidades; la comparación entre medias se realizó mediante la Prueba de Rango Múltiple de Duncan a las localidades objeto de estudio (Cochran y Cox, 1965; Lerch, 1987;). Las hipótesis de base fueron probadas mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Ji cuadrado (Ostle, 1981; Snedecor y Cochran, 1982); teniendo en cuenta que los datos no cumplían la hipótesis de base se hicieron las transformaciones siguientes:  $\ln(\text{IMF})$ , y  $\ln(\text{R})$ . En el caso de la variable ICP se le realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (Bielinski et al. 2009). Se emplearon los paquetes estadísticos SPSS (2003).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### IV. 1. Índice Modificado de Fournier.

De acuerdo con la Tabla III, los mayores valores de IMF se encontraron en Rihito, municipio de Guisa, zona montañosa situada a 600 msnm, lo que parece está relacionado con la presencia de lluvias orográficas de mayores volúmenes e intensidades. Los valores de IMF se califican según Tabla I, como muy altos en Rihito, Las Llanadas y El Podrío y altos en la Presa Guisa, lo que indica que la agresividad pluvial es muy elevada en Rihito, Las Llanadas y El Podrío y elevada en Presa Guisa; lo que indica que los procesos erosivos en los sitios estudiados pueden ser potencialmente fuertes a muy fuertes, a ello hay que añadir el escurrimiento intenso que debe presentarse debido a lluvias abundantes e intensas y a la topografía montañosa a lomada en todos los sitios excepto en Las Llanadas. Ambos efectos de la lluvia: Impacto sobre la superficie del terreno y escorrentía superficial pueden provocar que elevadas masas de suelo fértil sean arrastradas hacia otras zonas de la superficie terrestre si el terreno no se protege adecuadamente.

**Tabla III. Valores del IMF en cuatro localidades de la Provincia de Granma.**

Localidad	IMF (Medidas Originales)	Descripción de la clase	Significación	Medias Transformadas
RIHITO	248,73	Muy alto	a	5,46
LAS LLANADAS	170,62	Muy alto	b	5,11
EL PODRIO	169,82	Muy alto	b	5,06
PRESA GUISA	156,09	Alto	b	5,04
Media general real= 186,31. Error Estándar=0,05879; Desviación Típica= 0,336448. Coeficiente de variación= 5,69 %.				

Los resultados obtenidos en el presente trabajo se diferencian en cuanto a valores a los encontrados por otros investigadores, pero en cuanto a los factores

geográficos y climáticos que lo afectan no hay diferencias notables; ya que Haile et al. (2010) encontraron una alta correlación entre la intensidad del evento lluvia y el tiempo entre eventos con la elevación de las localidades, las intensidades de los eventos de lluvia fueron mayores y más frecuentes a mayor altura. En Manizales, Colombia, Echeberri y Obando (2010), en localidades situadas a alturas de más de 1 000 msnm y con acumulados de precipitaciones mínimas anuales de 1 750 mm y máximas de 2 732 mm obtuvieron valores de IMF en todos los casos muy altos. Estudiando el comportamiento de la agresividad de las precipitaciones en la región noroccidental de Venezuela, Adriana Cortéz et al., (2011), encontraron que en la zona sur, donde las precipitaciones son mayores, se encontró una alta agresividad de las lluvias con valores de IMF calificados de altos y muy altos y advierten sobre la alta vulnerabilidad de los suelos de esta región debido a la acción de las precipitaciones. Le Roux y Roos (1991), hallaron que en condiciones semiáridas con terrenos con pastos naturales la humedad del suelo influyó muy poco en las pérdidas de suelo por erosión en tanto que, el producto de la cantidad de lluvia y su intensidad fue un buen indicador para estimar las pérdidas de suelo por erosión; lo que indica la importancia de considerar no solo la energía de impacto de las gotas de lluvia sobre el terreno sino también la lámina de agua que se precipita en un evento en condiciones semiáridas.

Los altos riesgos de erosión en las cuatro localidades estudiadas se podrían acentuar si se toma en cuenta que la cantidad de precipitaciones máximas diarias en la Cuenca Hidrográfica del Río Cauto pueden variar entre 300 a 450 mm para el 1% de probabilidad, lo que significa que en 24 horas puede precipitar el 30% o más del promedio anual histórico para esta cuenca (Sánchez y Batista 2005), con lluvias particularmente intensas, caracterizadas por una alta energía cinética para impactar sobre los agregados del suelo, romperlos y trasladarlos a través del agua de escorrentía al superar la cantidad de lluvia por hora a la velocidad de infiltración del suelo, todo esto hace muy vulnerable al territorio a la erosión.

#### IV. 2. Índice de concentración de las precipitaciones.

En todas las localidades estudiadas, el ICP se evalúa de moderadamente estacional (Tabla IV), lo cual significa que las precipitaciones se distribuyen casi uniformemente en todo el año debido a lo cual, el riesgo de erosión se presenta durante todos los meses del año. Si relacionamos el IMF y el ICP, puede decirse que en las cuatro localidades la erosividad potencial de las precipitaciones es muy alta durante todos los meses del año; por eso en ningún momento del año el terreno debería estar descubierto de plantas, o en caso excepcional, sólo estar en esas condiciones por muy breve tiempo.

**Tabla IV. Valores de ICP en cuatro localidades de la Provincia de Granma.**

Localidad	ICP Media	Desviación estándar	Evaluación	Significación
RIHITO	14,24	3.8806	Moderadamente estacional	a
LAS LLANADAS	14,57	3.3057	Moderadamente estacional	a
EL PODRIO	14,23	3.8254	Moderadamente estacional	a
PRESA GUISA	12,71	1.3217	Moderadamente estacional	a
Media general real: 13.9; Error Estándar= 0.3286; Desviación Típica= 3.2864				

Aunque durante los 25 años de registro pluviométrico en todas las localidades el ICP fue calificado de moderadamente estacional, se encontraron algunos años cuyo comportamiento fue estacional y en algunos casos fuertemente estacional. La localidad de mayor número de años en esta condición fue Las Llanadas con 4 años, seguida de Rihito con tres y la que menos cambio tuvo en los diferentes años fue Presa Guisa con solo un año con ICP de 17 (estacional). El valor más alto de ICP se presentó en el año 2002 en Rihito con 27 (fuertemente estacional), en el año 1999 en Las Llanadas con ICP de 26,6 (fuertemente estacional) y en El Podrío en el 2010 con ICP de 26,4 (fuertemente estacional). Se aprecia que la distribución mensual de las lluvias parece depender más de

condiciones locales que de los años, lo cual requiere de estudios futuros más precisos.

Marina Vega y Febles. (2008), consideran que la concentración de las precipitaciones es un aspecto importante del clima ya que un desbalance en la distribución de las lluvias provoca períodos excesivos de lluvia y períodos secos, afectando los cultivos, por lo que es preciso que en las investigaciones sobre pérdidas de suelos por erosión hídrica, se tome en cuenta el ICP.

Julia Gaspari (2008), encontró en dos localidades de la Provincia de Buenos Aires reducción de las precipitaciones aunque aumentó la erosión debido posiblemente al aumento del ICP que pasó de 11 en el año 1908 a 27 en el 1987 cambiando por tanto de moderadamente estacional a altamente estacional lo que significa que actualmente las precipitaciones se distribuyen sólo en algunos meses del año haciendo un efecto mayor sobre el terreno e incrementando la erosión, ello es otra muestra de los cambios climáticos que actualmente se están produciendo y que sugieren que las determinaciones de los parámetros de la lluvia se verifiquen cada cinco años para su actualización.

En efecto, cuando el comportamiento de las precipitaciones es uniforme o moderadamente estacional, es de esperar que la vegetación silvestre permanezca con vida, siendo una forma de protección del suelo contra la erosión, lo cual ocurre en la Presa Guisa, pero cuando hay años con distribución estacional o fuertemente estacional, habrá algunos meses sin lluvias lo que provocará la muerte de muchas plantas, el terreno se desprotegerá y al producirse las primeras precipitaciones el efecto de la erosión será particularmente muy fuerte, lo cual ocurre especialmente en Rihito y Las Llanadas.

#### **IV. 3. Erosividad de las lluvias, coeficiente “R” de la EUPS.**

Los valores encontrados del coeficiente “R” de la EUPS (Tabla V), se encuentran dentro del rango de valores reportados por la FAO (1978), que al determinar las curvas isoerosivas en el sudeste de los Estados Unidos encontraron valores de R entre 500 a 600  $Mj\ mm/ha\ h\ año^{-1}$  en los estados ribereños del Golfo de México, muy cerca de la zona occidental de Cuba. Planas (1993) utilizando datos pluviográficos calculó la energía cinética de los aguaceros



y el valor de “R” encontrando en las cercanías del Central Azucarero “Loynaz Echeverría” en la Provincia de Holguín valores de 650Mj mm/ha h año<sup>-1</sup>.

**Tabla V. Comportamiento del coeficiente R de la EUPS en cuatro localidades de la Provincia de Granma.**

Localidad	R (Medidas Originales) (Mj mm/ha h año <sup>-1</sup> )	Significación	Medidas Transformadas
RIHITO	914,70	a	6,76
LAS LLANADAS	610,96	b	6,39
EL PODRIO	609,85	b	6,33
PRESA GUISA	555,21	b	6,31
Media general real= 672,68. Desviación Típica= 0,3581. Error estándar= 0,04. Coeficiente de variación= 4,86 %.			

En Jimaguayú (Provincia de Camagüey) Zoe Acosta et al. (2003) empleando las líneas isoerosivas de Planas, reportan valores de 765,38 y 800 Mj mm/ha h año<sup>-1</sup>, si se comparan estos valores de “R” obtenidos en los Estados Unidos y Cuba empleando la metodología original de los creadores de la EUPS con los resultados expuestos en la Tabla V puede concluirse que se acercan bastante en el caso de Las Llanadas y El Podrío, mientras que son un poco menores en el caso de la Presa Guisa y superiores en el caso de Rihito, en esta última localidad debido posiblemente a las lluvias orográficas. Comportamientos similares se han encontrado también en las islas de las Micronesias con valores de “R” de 970 y 2 354 Mj mm/ha h año<sup>-1</sup> a alturas de 44 y 120 msnm respectivamente Khosrowpanah (2001).

La estimación del valor “R” a partir de ecuaciones que toman como base el IMF ha sido utilizado en muchas partes del mundo con buenos resultados como una alternativa cuando no se cuenta con registros pluviográficos, pues correlaciona bien con las precipitaciones y su erosividad (María Kouli et al. (2008). Estos investigadores encontraron en Grecia, valores de “R” mínimo de 383 y máximo de

3 723 Mj mm/ha h año<sup>-1</sup> en las áreas de mayor altitud, explicado por el efecto de la orografía del terreno, comportamiento que es similar al caso de Rihito.

#### **IV.4. Estimación de pérdida potencial de suelo en la Finca mediante la EUPS.**

Una vez obtenidos los datos primarios de lluvia, campo y de laboratorio se realizaron cálculos para determinar los valores de los coeficientes de la EUPS para estimar las pérdidas potenciales de suelo.

##### **Factor R:**

El valor de R usado para la estimación de la pérdida de suelo fue el de la Presa Guisa situado a 7,5 km en línea recta de la Finca con valor de 555,21 (Mj mm/(ha h año<sup>-1</sup>)).

##### **Factor K:**

Para definir el valor del factor K o de erodabilidad del suelo, se hizo una descripción del perfil del suelo, utilizándose además, la información disponible en los archivos del Laboratorio Provincial de Suelos (2011). Se encontró que en el horizonte A la estructura es del tipo granular fina, fragmentaria y friable (Figura II) que se corresponde con el código 2 (Anexo 1); la permeabilidad del suelo se evaluó de moderada (30 mm por hora) y posee poros entre 2 a 5 mm de diámetro, y se seleccionó el código 3; los análisis físicos del suelo arrojaron los siguientes resultados: 36,5% de arcilla; 27,6 % de limo y 20,2 % de arena muy fina y el contenido de materia orgánica es de 3,5 % (Laboratorio Provincial de Suelos, 2011). La elevación capilar por horizontes es: A<sub>1</sub> de 144 mm, A<sub>3</sub> de 182 mm y B<sub>2</sub> de 185 mm, mientras el límite superior de plasticidad mostró los resultados siguientes: A<sub>1</sub> 60,99 %, A<sub>3</sub> 62,58 % y B<sub>2</sub> 71,92; la elevación capilar refleja que se trata de un suelo que aunque presenta arcilla del tipo 1:1 tiene abundancia de arcilla 2:1, mientras que el límite superior de plasticidad en los horizontes A<sub>1</sub> y A<sub>3</sub> refleja que el suelo es poco plástico y en el horizonte B<sub>2</sub> es plástico (Mesa y Naranjo, 1984).

$$\text{Factor K} = 1,313 * [2,1 * 10^{-4} * (12 - \text{M.O.}) * M^{1,14} + 3,25 * (S - 2) + 2,5 * (p - 3)] / 100$$

$$\text{Factor K} = 1,313 * [2,1 * 10^{-4} * (12 - 3,5) * M^{1,14} + 3,25 * (2 - 2) + 2,5 * (3 - 3)] / 100$$

$$\text{Factor K} = 0,21 \text{ t ha h} / (\text{ha MJ mm})$$



**Figura II.** Imagen en donde se observan algunas características del suelo.

El valor del factor K es de mediano a alto. Según FAO (1993) puede variar entre 0,7 en los suelos más frágiles hasta 0,01 en los suelos más estables; la estabilidad de los agregados del suelo se incrementa con el aumento de la materia orgánica y de arcilla así como con la permeabilidad; valores de K entre 0,34 y 0,48 encontraron Zoe Acosta et al. (2003), mayores que los encontrados en el presente trabajo.

#### **Factor Ls:**

$$\text{Ls} = (L/22,1)^{0,6} * (S/9)^{1,4} = (130/22,1)^{0,6} * (3,1/9)^{1,4} = 0,6512$$

Factor Ls= 0,6512

El valor encontrado de Ls puede considerarse de bajo ya que por lo general los valores son superiores a la unidad (FAO 1993), y en ello ha influido el hecho de que el grado de pendiente es baja (3,1%).

#### **Factor C:**

Debido a que la finca se dedica fundamentalmente al cultivo maíz con dos cosechas por año, el coeficiente que corresponde está entre 0,4 - 0,9 con un valor medio de 0,7 rotándose el maíz con yuca, maní (cultivos limpios) y boniato (cultivo

protector) el coeficiente C para la yuca 0,2 a 0,8 con valor medio de 0,5 (Anexo 3), entonces seleccionamos 0,6 como valor medio.

Teniendo en cuenta que el valor 1 corresponde a suelos desnudos, consideramos que el valor hallado es relativamente alto ya que el terreno estudiado se dedica esencialmente a cultivos limpios y semilimpios. Yulaidis Aguilar et al. (2010), encontraron que el cultivo del maíz se desarrolló precisamente en el período más lluvioso y en la etapa de su desarrollo en que solo cubría el 30 % de la superficie del terreno por lo que se considera un mal protector, además el maíz tiene una distribución desfavorable de sus hojas, se le atribuye el llamado *stemflow* (flujo de agua que corre rápidamente por el tallo y las hojas en forma de chorrillo al concentrar el agua de lluvia) y que obviamente tiene determinado efecto erosivo. El efecto protector de la cubierta vegetal depende mucho del manejo que se ejecute y al tipo de plantación. Rosalía Castelán et al. (2010) hallaron que los pastizales y cultivos de café con sombra presentaron los valores más bajos de porosidad en los primeros 20 cm (55.9% y 54.3%, respectivamente), lo que indica mayor compactación del suelo debido al mal uso y manejo de los suelos.

El daño esperado por esta causa no se destaca en el perfil (Figura III) ya que cuando se calculó el IMF, el ICP y R, las precipitaciones en Presa Guisa, aunque con alta agresividad, se distribuyen más o menos uniformemente en el año por lo que no existen períodos concentrados de lluvia en algunos meses.

#### **Factor P:**

Aunque en la cabecera de la finca objeto de estudio existe un micro-embalse y un canal que drena el agua fuera de sus límites y hay presencia de algunos cultivos intercalados estructurados indebidamente por el productor no lo consideramos y por ello definimos el coeficiente del factor P como 1, y sustituyendo los coeficientes de la EUPS tenemos:

$$A = R * K * L_s * C * P = 555,21 * 0,21 * 0,6512 * 0,6 * 1 = 45,5 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$$

Las pérdidas estimadas de suelo ( $45,5 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) se evalúan de alta (Anexo 5) que ligeramente sobrepasan las pérdidas máximas aceptadas ( $10 \text{ t.ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) por

lo que es preciso adoptar medidas culturales, agronómicas y si fuera necesario hidrotécnicas, y/o dedicar la finca a potrero o bosques para evitar su degradación y sembrar cultivos limpios en otras tierras cuya pendiente, la erosividad de las precipitaciones y la erodabilidad del suelo no permitan su degradación. La influencia positiva de las medidas agronómicas contra la erosión han sido demostradas por diferentes investigadores entre ellos Pérez y López (2000), quienes en un suelo inceptisol húmico encontraron que la mayor protección la ejerció el pasto y luego la papa (*Solanum tuberosum* Lin) con valores del coeficiente "C" medidos en el campo de 0,069 y 0,35 respectivamente comparados con la parcela sin vegetación, estos valores fueron muy cercanos al coeficiente "C" de la EUPS.

La EUPS brinda la posibilidad de estimar las pérdidas de suelo cuando se adoptan medidas de conservación, aprovechando esta alternativa y para reducir las altas pérdidas de suelo que se estiman ( $45,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ), decidimos estimar las pérdidas que pudieran ocasionarse en caso de aplicar cultivos en fajas al contorno cuyo coeficiente es 0,25 y da el siguiente resultado:

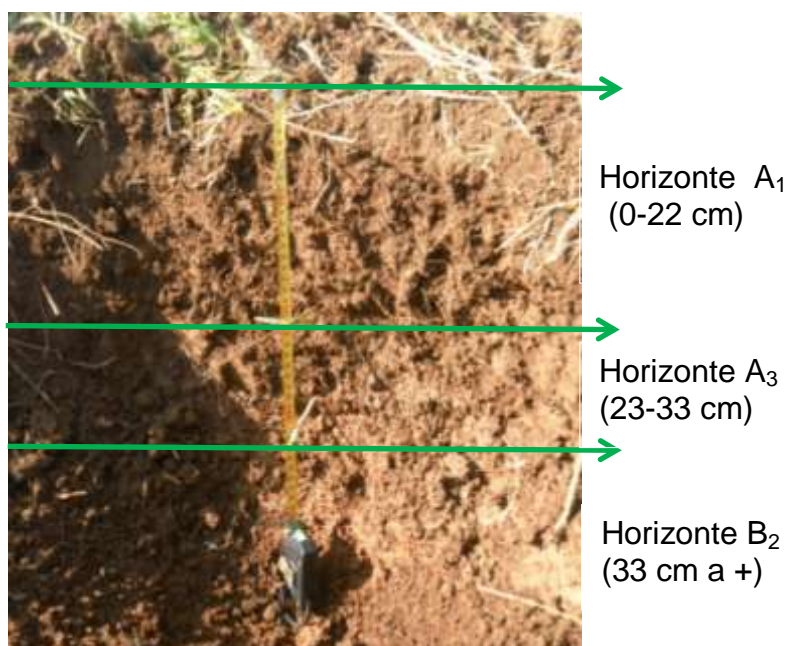
$$A = R * K * L_s * C * P = 555,21 * 0,21 * 0,6512 * 0,6 * 0,25 = 11,3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}.$$

Con esta medida se reducen las pérdidas a valores muy cercanos a los permisibles. Recep, et al. (2008), en Turquía, donde las precipitaciones anuales variaron desde 500 mm (en las zonas llanas) a 1200 mm (en las zonas montañosas) hallaron que la estimación de la erosividad de las lluvias "R" mediante el IMF empleando una ecuación propia de la región de estudio reflejó adecuadamente el proceso erosivo comprobándose que la aplicación de la EUPS fue exitosa para predecir la erosión.

#### **IV.5. Comparación entre la estimación de pérdida de suelo empleando la EUPS con el estado actual del perfil de suelo.**

El estudio de la composición del perfil del suelo, el espesor de los horizontes y el comportamiento de sus propiedades tales como contenido de materia orgánica, porosidad, estructura, textura y color, muestran que el perfil consta de tres horizontes: A<sub>1</sub> (0-22 cm), A<sub>3</sub> (22-33 cm) y B<sub>2</sub> (33 cm +), su estructura es granular y

fragmentaria. Su buena porosidad, drenaje interno y contenido de materia orgánica reflejan que este suelo posee buen estado de conservación (Figura II); al poseer 33 cm de espesor sólo en el horizonte A, lo cual indica que han sido muy pocas las pérdidas de suelo. Bennet y Allison (1966), en suelos similares estudiados a principios del siglo XX donde la cubierta vegetal del terreno en Cuba había tenido muy poca alteración, encontraron perfiles con horizonte A entre 0 - 25 y 0 - 35 cm de espesor (Figura III); de este modo, si no se consideran medidas de conservación del suelo estudiado, puede inferirse que la EUPS estimada sobrevalora las pérdidas de suelo que pudieran ocurrir. Sin embargo, si se toma en cuenta para la estimación de pérdida de suelo de la EUPS el microembalse situado cerca de la cabecera de la Finca y el canal que drena el agua fuera de sus límites, unido a la presencia de algunos cultivos intercalados como medidas de conservación y se le asigna el correspondiente coeficiente (0,1), las pérdidas de suelo estimadas por la EUPS serían de  $4,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$  coincidiendo la predicción de pérdida de suelo de la EUPS con el estado actual del perfil, lo que evidencia la eficiencia de esta medida en la conservación del suelo y una incorrecta omisión en el primer análisis.



**Figura III. Características del perfil del suelo de la finca “La Fortuna”.**

En el Taller sobre la Utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la Evaluación de la Erosión Actual de Suelos y la Predicción del Riesgo de

Erosión Potencial realizado en Chile y auspiciado por la FAO (1993), se recomendó que los modelos matemáticos predictivos constituyen la herramienta del presente y futuro, siendo importante su utilización inmediata, de acuerdo a la información existente en cada país, entre ellos la EUPS y que la validación de los modelos es de vital importancia para la correcta selección de los mismos.

## V.CONCLUSIONES

1. La agresividad de las lluvias (IMF) fue alta a muy alta en todas las localidades y el ICP arrojó que las lluvias se distribuyen en el año uniformemente, indicando que las cuatro localidades estudiadas tienen alto riesgo de erosión potencial durante todos los meses del año y se corresponden con la estimación de pérdidas de suelos realizada por la EUPS.
2. En la finca “La Fortuna”, las pérdidas de suelo estimadas por la EUPS sin tomar en cuenta las prácticas de conservación implementadas son de 45,5 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> que sobrepasan los valores tolerables, pero con la aplicación de fajas al contorno, las pérdidas pudieran reducirse hasta 11,3 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>.
3. Al comparar el estado de conservación del perfil del suelo con la EUPS, ésta sobreestima las pérdidas reales de suelo que pudieran ocurrir en la Finca, pero si se toma en cuenta para la estimación el microembalse y canal de drenaje que en la cabecera de la Finca, desvían las aguas de escorrentía e impide que éstas afecten el área estudiada, las pérdidas de suelo estimadas por la EUPS serían de 4,5 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, que coinciden con el estado actual del perfil del suelo.



## **VI. RECOMENDACIONES**

- 1.** Ampliar el espectro de localidades y el número de años para la estimación del IMF, R, ICP, y pérdidas de suelo estimadas por medio de la EUPS al ser herramientas adecuadas para pronosticar la erosión y adoptar medidas de conservación antes de que se produzca la degradación del suelo.
- 2.** En la finca estudiada deben aplicarse medidas integrales de conservación que incluyan cultivos en fajas y un adecuado programa que permita conservar el suelo en los límites interiores de la Finca.
- 3.** Proteger el microembalse y el canal de desagüe existente pues constituyen garantía contra grandes escorrentías que según los indicadores de lluvia (IMF y R) deben ocurrir en la localidad.
- 4.** Mediante la EUPS realizar estimaciones en las tres restantes localidades comparándolas con el estado de los perfiles que permita confirmar la factibilidad de la misma.

## VII.- BIBLIOGRAFÍA

**Adriana Cortéz et al. (2011).** Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. II. Región Noroccidental. *Bioagro* 23 (1): 13-18.

**Alejandrina Montes, Domínguez M., y Ventura E. (2011).** Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando un SIG. Maestría en Hidráulica. Facultad de Ingeniería-División del Posgrado, Universidad Autónoma de Querétaro. Recuperado en marzo 22, 2011.

Disponible en:

<http://www.google.com.cu/serach?q=mar%C3%ADa+Alejandrina+L.+Montes&hl=es>

**Arnoldus H. (1978).** An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. De Boodst, M. Y Gabriels, D. Eds. Assessment of erosion. 127-132. John Wile y Sons, Inc. Chichester-Gran Bretaña.

**Basile P.(2005).** Modelación de la producción de sedimentos a escala de cuenca en el sistema del A<sup>0</sup>Ludueña, Santa Fe, Argentina. XX Congreso Nacional del agua-Mendoza. 11p.

**Bennet H., y Allison R. (1966).** Los Suelos de Cuba y Algunos Nuevos Suelos de Cuba. Ed. Revolucionaria. La Habana. 500 pp.

**Bielinski M. et al. (2009).** La Estadística no Paramétrica para el Análisis e Interpretación de Estudios de Plagas. Alternativas al Análisis de Varianza. Informe Anual. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Santo Domingo, República Dominicana. pp 13.

**Birgitte N.(2001).**Influence of arbuscularmycorrhizal fungi on soil structure and soil water characteristics of vertisols. *Plant and Soil.* (229): 245 – 258.

**Bronzoni G., Coghi A., Cubero D., Dandois J., Dercksen P. (1996).** Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. Universidad Estatal a Distancia San José, Costa Rica. Ed. EUNED, p. 14- 23.

**Casas, R. (2003)** Sustentabilidad de la agricultura en la región pampeana. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA-Castelar. p. Disponible en: [http://www.google.com.cu/basile\\_erosionluduenia.pdf](http://www.google.com.cu/basile_erosionluduenia.pdf). Recuperado en octubre 15, 2011

**Cairo, P. (1982).** Relaciones entre la materia orgánica y las propiedades estructurales de los suelos. *Centro Agrícola*. 9. (2): 73-79.

**Cairo P y Fundora O.(1994).** Edafología. Ed. Pueblo y Educación. La Habana. 475 pp.

**Cochran, W. G y Cox, Gertrude M. (1965).**Diseños Experimentales. Editorial F.Trillas, S. A., 661 pp.

**Consuelo Hernández, Muñoz P., Bernal Y., León G., y Milián A.. (2010).** Experiencias en la protección del suelo en la provincia Cienfuegos. Ponencia. Congreso Internacional de Ciencias del Suelo. C-IV-88. La Habana.

**Crespo R., Sfeir A., Ufeir A., Usunoff E., Ares G., Wingeyer A. (2010).**Efecto de la labranza y la cobertura vegetal sobre el escurrimiento y la pérdida de suelo en la región central de la provincia de Buenos Aires. Rev. FCAUNCuyo. Tomo 42.N° 1. 93 – 100

**Daniela Jacob (2001).**En : Climate of the 21 st Century : Changes and Risks. WissenschaftlicheAuswertungen. Hamburg, Germany. ISBN 3-00-002925-7. P. 180-181.

**Díaz J. (2007).** Metodologías para la evaluación de la erosión hídrica en cuencas vertientes. Recuperado en octubre 11, 2011. Disponible en:[http://www.google.com.cu/Evaluaci%F3n%en20Erosi%F3n%20Cuencas\\_Ucauca\\_feb07.pdf](http://www.google.com.cu/Evaluaci%F3n%en20Erosi%F3n%20Cuencas_Ucauca_feb07.pdf)

**Echeverri L. y Obando F. (2010).** Erosividad de las Lluvias en la Región Centro-Sur del Departamento de Caldas, Colombia. *Revista. Fac. Nal. Agr. Medellín*, 63.(1) : 5307-5318.

**Echarri L, (1998).** Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Ed. Teide. Libro electrónico. 200 pp. España.

**Edesco, J. Marauri, A. Merino, A. Gonzales, M. (1997).** Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del río Santa Lucía. Gipuzkoa. P. 79. **Pág. Electrónica:**  
[www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur20/20edeso/edeso/20.PDF](http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur20/20edeso/edeso/20.PDF) recuperado: 26 de octubre del 2011. Hora: 15:00

**FAO (1978).** La Ecuación para predecir las pérdidas de suelo. En: La erosión del suelo por el agua. Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. No. 81. (160-178). Roma.

**FAO (1993).** Erosión de suelos en América Latina. Apoyo para una Agricultura Sostenible Mediante Conservación y Rehabilitación de Tierras en América Latina. Proyecto GCP/RLA/107/JPN. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Recuperado en octubre 14, 2011. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm#Contents>.

**Fernanda Gaspari (2003).** Diagnóstico de degradación ambiental por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napostá Grande. *Ecología Austral* 13: 109-120. Argentina.

**Febles J., Durán J., (1988).** Manual de erosión y conservación de suelos. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de La Habana. Ed.ISCAH.La Habana. 15 - 446 pp.

**González R., Volke V., González J., Ocampo M., Ortíz C., (2007).** Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. *Terra Latino Americana*. 25, (4): 399-408. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo.México.

**Hartmut G. (2001).**Climate and itsvariability. En : Climate of the 21 st Century : Changes and Risks. WissenschaftlicheAuswertungen. Hamburg, Germany. ISBN 3-00-002925-7. P. 15-21.

**HaileA., Rientjes T., Habib E., y Jetten V. (2010).** Rain event properties and dimensionless rain event hyetographs at the source of the Blue Nile River.Hydrology and Earth System Sciences Discussions.7, 5805–5849. [www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/7/5805](http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/7/5805).

**Jane Siqueira (2010).** Evolução do sistema do plantio direto e produção de sedimento no Rio Grande do Sul. Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Solos e nutrição de plantas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. Brasil. CDD 631.45, 118 p.

**Julia Gaspari, Rodríguez V., Martín A., Sanisterra G., Delgado M. (2008).** Determinación espacio-temporal del índice de agresividad de precipitaciones en el sistema serrano de Ventania. Provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*.49. (1):57-66.

**Khosrowpanah S. (2001).** Rainfall erosivity factors (r-factors) for selected Islands in the Federated States of Micronesia.Water and Environmental Research Institute of the Western Pacific.University of Guam.TechnicalReport No. 92. May p. 1-28.

**Laboratorio Provincial de Suelos, (2011).** Resultados del análisis de suelos en los trabajos de mapeo escala 1:50 000 y 1:25 000. Archivos. Dirección Provincial de Suelos. Minagri. Granma, Cuba.

**Lerch G. (1987):***La Experimentación en las Ciencias Biológicas y Agrícolas*, Editorial Academia, ACC. Tomo I. 227 pp.

**Le Roux and Roos Z. (1991).**The effect of rainfall factors and antecedent soil moisture on soil loss on a low-angled slope in a semi-arid climate.*Water South Africa*. 17. (3). 179-182.

**Llanes J., Cabrera E., Otero A., Fernández M., Rivera J. (2010).** Efecto de la tecnología de la asociación maíz - frijol terciopelo en el mejoramiento del suelo y en el rendimiento y calidad del cultivo del tabaco. Ponencia. Congreso Internacional de Ciencias del Suelo. La Habana

**Mancilla G. (2008).** Uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en el campo forestal. Apuntes docentes. Universidad de Chile. 7-13.

**Márquez, A. (2001).** El relieve del terreno y su representación, Universidad de Granma Facultad de Ciencias Agrícolas. Bayamo, M.N. 3p

**María Kouli, Soupios P., Vallianatos F. (2008).** Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece.*Environmental Geology*. DOI 10.1007/s00254-008-1318-9. Springer-Verlag 2008. 14p.

**Marina Vega y Febles J. (2005).** La investigación de suelos erosionados: Métodos e índices de diagnóstico. *Minería y Geología*. V.21. No.2. ISSN 0258 5979. 18 p.

**Marina Vega y Febles J. (2008).** La agresividad de la lluvia en áreas rurales de la provincia la habana como factor de presión en la sostenibilidad agroambiental. II Seminario Internacional de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos. Sostenibilidad e indicadores. Almeria, 14-16 julio, 2008.

**Mesa A. y Naranjo M. (1984).** Manual de Interpretación de los Índices Físico-Químicos y Morfológicos de los Suelos Cubanos. Ed. Científico-Técnica. Ciudad de La Habana. p.47.

**Michiels P., Gabriels D., and Hartmann R. (1992).** Using the seasonal and temporal Precipitation concentration index for characterizing the monthly rainfall distribution in Spain. *CATENA*, 19, Issue 1, February 1992, Pages 43-58. Copyright © 1992 Published by Elsevier B.V.

**Montenegro, H. y Malagón, D. (1990).** Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Bogotá. P. 813

**Nearing, M.(2001).** Potencial change in rainfalls erosivity in the U.S. with climate change during the 21<sup>st</sup> century. *Journal of Soil and Water Conservation*. 56. (3): 229-232.

**Oliver J. (1980).** Monthly precipitation distribution: a comparative index. *Professional Geographer*, 32, (3): 300 – 309.

**Ostle B. (1981).** Estadística Aplicada. Editorial Científico-Técnica, Ciudad de La Habana, 629 pp.

**Pacheco J., Alonso N., Pujol P., Camejo E. (1995)** Propiedades hidrofísicas de los suelos relacionadas con el riego y el drenaje. En riego y drenaje. Ed. pueblo y educación. La habana. P. 5-7

**Pérez U., y López R., (2000).** Estudio preliminar de la erosión hídrica en un Inceptisol de los Andes venezolanos bajo uso agrícola. *Rev. Forest. Venez.* 44. (2):11-19.

**Planas G. (1993).** Ejemplo de aplicación de la Ecuación Universal. En: Pérdidas por erosión hídrica de los suelos de Cuba. Ed. Científico-Técnica. La Habana. P.30.

**Recep, E., Ekinci D., y Isa Cuveral. (2008).** Erosion Analysis of Sahin Creek Watershed (NW of Turkey) Using GIS Based on RUSLE (3d) Method. *Journal of Appliedsciences* 8 (1): 49-58. ISSN 1812-5654.

**Rosa Orellana (2010).** ¿Cómo mejorar las propiedades físicas de los suelos?. *Agricultura Orgánica* No.1: 28-31.

**Rosalía Castelán, Tamaríz V., Ruiz J., y Virginia Sánchez. (2010).** Efecto de las prácticas agrícolas insustentables sobre los suelos montañosos del Estado de Puebla, México. VII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. Ponencia C-IV-37. La Habana

**Ruiz E., Fernando V., Crispín A., Gutiérrez N., Ingaramo O., Briend M. (2004).** Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el departamento 9 de julio (Chaco). *Comunicaciones Científicas y técnicas de la UNNE. Resumen:* A-070

**Sánchez M. y Batista J. (2005).** Evaluación del peligro y vulnerabilidad ante la ocurrencia de inundaciones. Cuenca del Cauto. Cuba. Mapping Interactivo. *Revista Internacional de Ciencias de la Tierra.* Febrero-marzo. ISSN: 1.131-9.100.



- Senra, A. (2009).** Impacto del manejo del ecosistema del pastizal en la fertilidad natural y sostenibilidad del suelo. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 13. (2):3-16. Universidad de Colima. México.
- Sharpley, A., Gburek, W., Folmar, G., Pionke H. (1999).** Sources of phosphorus exported from an agricultural watershed in Pensilvania. *Agricultural Water Management*. Ed. Elsevier. 41: pp. 77-89. USA.
- Snedecor, G. W. y W. G. Cochran (1982).** *Métodos Estadísticos*. Cia. Editorial Continental, S. A. de C. V., México, D. F., 703 pp.
- SPSS (2003).** SPSS for Windows. Programs. Lead Technologies Inc. Versión en Español 11.5.2.1. Chicago, USA. ([www.spss.com](http://www.spss.com)).
- Vélez, M., Vélez., J. (2002).** Capítulo 8: Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica. P. 1
- Wischmeier W.y Smith D. (1978).** Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No.537*, United State Department of Agriculture. Washington 58 pp.
- YelaineAlmoza, Schiettecate W., Medida H., Alonso G. (2007).** Metodología para la Determinación del Factor Erosividad de las Precipitaciones en el Modelo (RUSLE). *Zonas Áridas*. 11. (1): 150-158 pp.
- Yulaidis Aguilar, Riverol M., PonceD., Cabrera E. (2010).** El manejo eficiente de las coberturas para el control de la erosión hídrica en suelos alíticos de baja actividad arcillosa. VII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo. Ponencia C-IV-2. La Habana.

**Zoe Acosta, Grisel Reyes y Montejo J. (2003).** Pérdida de suelo y propuesta de recuperación en áreas críticas a través de sistemas silvopastoriles en la región de Jimaguayú, Camaguey, Cuba. *Ibugana. Boletín del Instituto de Botánica*. 11.(1): CUCBA. Universidad de Guadalajara. ISSN 0187-7054.

**Zuzell Leal, Díaz J, María Ruíz, Lau A. (2010).** Estimación del efecto de cultivos y sus manejos en el proceso de erosión de los suelos en la cuenca del río Cuyaguateteje. Ponencia. Congreso Internacional de Ciencias del Suelo. C-IV-101. La Habana

## VIII. - ANEXOS

### Anexo 1. Código de Estructura.

<b>Código EUPS</b>	<b>Tipo de estructura</b>
1	Granular muy fina
2	Granular fina
3	Granular media a gruesa
4	Bloques
	Laminar
	Masiva

### Anexo 2. Código de Permeabilidad.

<b>Código EUPS</b>	<b>Categoría de permeabilidad</b>
1	Rápida (más de 12,7 cm por hora)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 cm por hora)
3	Moderada (entre 2 a 6,3 cm por hora)
4	Lenta a moderada (entre 0,5 a 2 cm por hora)
5	Lenta (entre 0,13 a 0,5 cm por hora)
6	Muy lenta (menor de 0,13 cm por hora)

**Anexo 3.**

<b>Condiciones de cubierta del terreno</b>	<b>FACTOR“C”</b>
Suelo desnudo	1
Área forestal espesa y bien atendida	0,001
Sabana y pradera en buen estado.	0,01
Sabana y pradera descuidadas	0,1
Plantas de cobertura de crecimiento lento o primer año de plantaciones tardías.	0,3 – 0,8
Plantas de cobertura de desarrollo o plantaciones tardías. Décimo año.	0,01 – 0,1
Maíz, millo, sorgo (en función del rendimiento).	0,4 – 0,9
Arroz en cultivo intensivo.	0,1 – 0,2
Algodón y tabaco en ciclo décimo.	0,5 – 0,7
Yuca primer año.	0,2 – 0,8
Café, cacao con plantaciones de cobertura y piña según pendiente.	0,001 – 0,003

**Anexo 4.**

**Coefficiente P**

<b>Pendiente%</b>	<b>Contorno</b>	<b>Fajas en contorno</b>	<b>Terrazas</b>	
			<b>(a)</b>	<b>(b)</b>
1,1 – 2,0	0,60	0,30	-	
2,1 – 7,0	0,50	0,25	0,50	0,10
7,1 – 12,0	0,60	0,30	0,60	0,12
12,1 – 18,0	0,80	0,40	0,80	0,16
18,1 – 24,0	0,90	0,45	0,90	0,18

- a) Para planeamiento de control de la erosión dentro del terreno.
- b) Para predecir la contribución a la carga de sedimentos fuera del terreno.

**Anexo 5.**

**La FAO propone la siguiente escala para valorar la erosión.**

<b>Clasificación para zonas montañosas</b>	<b>A en t/ha</b>	<b>Clasificación FAO</b>
Catastrófica	>200	Muy alta
Extrema	200 - 100	
Muy alta	100 - 50	Alta
Alta	50 - 30	
Media	30- 10	Moderada
Baja	10 - 5	
Aceptable	< 5	Ninguna o Ligera