

25. Medio Ambiente

Estimación de la producción de sedimentos en la cuenca Capiibary en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo

Arzamendia, Adriano; alonsoarzamendia@gmail.com

Facultad de Ciencias y Tecnología

Universidad Nacional de Itapúa

Resumen

En el presente trabajo se evaluó la producción de sedimentos producto de la erosión hídrica de los suelos en la Cuenca Hidrográfica del Arroyo Capiibary-Itapúa, con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (USLE), la cual permite calcular los niveles de pérdidas en $\text{Ton.Ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$.

Se definieron tres escenarios edafológicos teniendo en cuenta el tipo de suelo de las sub-cuencas objeto de estudio. Los factores considerados fueron la erosividad de la lluvia (factor R), la erodabilidad del suelo (factor K), la longitud y grado de la pendiente (factor LS), la cobertura de suelo (factor C) y una estimativa de las prácticas de conservación de suelo. Se utilizó el programa gvSIG 1.10 como herramienta para el análisis biofísico. Se evidenciaron pérdidas promedio de suelo igual a **18.5 $\text{ton.km}^{-2}\text{año}^{-1}$** en las zonas seleccionadas. Este resultado refleja que el grado de erosión hídrica de la cuenca se encuentra en un rango de pérdida moderada esto según la clasificación propuesta por la FAO (1989)

Palabras clave: Erosión, USLE, Escenarios edafológicos, Cuenca Capiibary

Introducción

La generación de sedimentos en una cuenca hidrográfica tiene incidencia en la vida útil de los cursos de agua y embalses debido a que estas condiciones infieren en la batimetría de la cuenca reduciendo la utilidad del reservorio.

El aporte adicional de sedimentos a un cuerpo de agua aumenta la cantidad de partículas y sólidos totales disueltos

modificando su calidad debido al elevado grado de turbidez, esto impide el paso de la luz con lo cual se alteran los procesos naturales, como la fotosíntesis, dentro del ecosistema acuático.

Por otra parte es de importancia mencionar que debido a propiedades como la capacidad de intercambio catiónico, los sedimentos generados en cuencas hidrográficas retienen partículas

contaminantes, razón por la cual las vías de drenaje y zonas de acumulación actúan como reservorio de suelos contaminados lo que conduce a una degradación ambiental disminuyendo la productividad y comprometiendo la óptima conservación de los recursos naturales.

Las estimaciones de las pérdidas de suelos por erosión hídrica podrían aportar una guía para la selección de prácticas de conservación de suelo en general, con el objetivo de prevenir efectos adversos posteriores. Existen varios modelos disponibles para la predicción de la erosión de suelo, como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), desarrollada por Walter H. Wischmeier y Dwghtt D. Smith (1978), el cual agrupa seis parámetros que permite predecir la generación promedio anual de pérdida de suelo, en una determinada área de estudio. Esta ecuación evalúa el potencial de erosión o riesgo de erosión a la que está expuesto un terreno bajo determinadas condiciones, tales como la pendiente, la intensidad de la lluvia, las prácticas de uso y manejo de suelo.

La cuenca hidrográfica del A⁰ Capiibary es considerada un área de importancia desde el punto de vista ambiental debido a que es zona de recarga del acuífero guaraní, además dentro de su área de influencia se desarrollan procesos de productivos como la agricultura y la producción pecuaria. El desarrollo de las actividades

anteriormente citadas sin prácticas de manejo y conservación de suelos acentúan el riesgo de erosión, lo que se traduce en una generación de sedimentos que se depositan en los causes hídricos afectando su morfología y alterando los ecosistemas.

Es por ello que el presente estudio tiene como objetivo Evaluar la generación de sedimentos en la cuenca hidrográfica Capiibary con base en la ecuación universal de pérdida de suelo para obtener una visión general del grado de erosión que soporta la cuenca, además de cuáles son las zonas más susceptibles a sufrir las pérdidas de suelo y a partir de esto orientar la toma de decisiones para la conservación y el desarrollo sustentable de los recursos.

Objetivos

Objetivo General

- Evaluar la producción de sedimentos, en tres escenarios, en la cuenca hidrográfica Capiibary con base en la ecuación universal de pérdida de suelo.

Objetivos Específicos

- Zonificar la cuenca hidrográfica Capiibary con base en unidades de paisaje, con el fin de determinar un marco de referencia apropiado para la implementación de la USLE.
- Identificar los usos y cobertura de los suelos de la cuenca.

- Establecer los escenarios edafológicos para la cuenca del A° Capiibary a partir de los tipos de suelos característicos del área de estudio.
- Estimar la producción de sedimentos en la cuenca para cada uno de los escenarios.

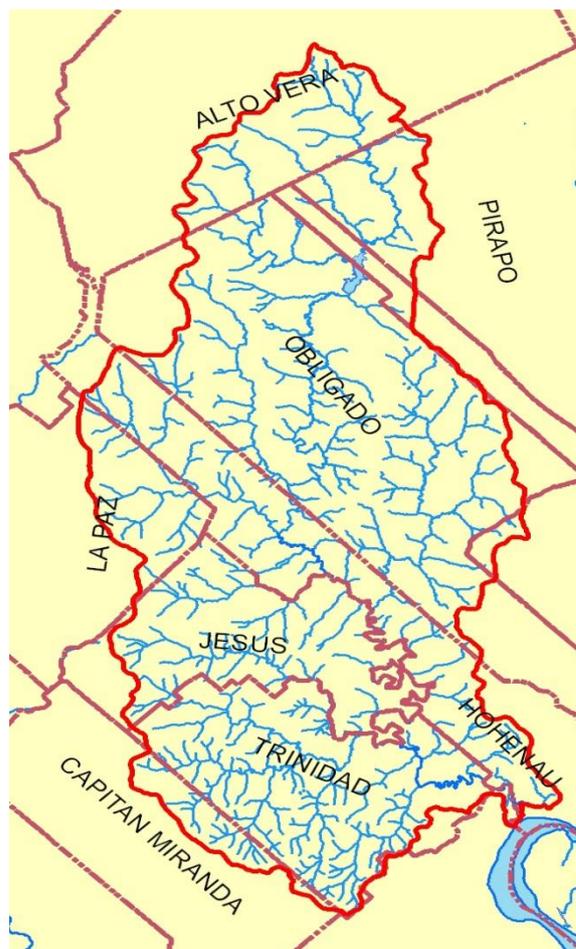
Materiales y Métodos

Ubicación geográfica

La cuenca del Arroyo Capiibary está ubicada en la Región Oriental del Paraguay, específicamente dentro del departamento de Itapúa y en su extensión ocupa 10 distritos de este departamento: Alto Verá, Pirapó, Obligado, Bella vita, Hohenau, Jesús, La Paz, Trinidad, Capitán Miranda y una pequeña fracción del distrito de Nueva Alborada.

La cuenca abarca una superficie de 99343,67 Ha y fue delimitada con base en los mapas digitales de red hidrográfica y de curvas de nivel utilizando el programa ArcView 3.2 y las superficies fueron calculadas a través de extensiones del mismo programa. (PRADAM, 2005).

Figura 1. Distribución distrital sobre la cuenca.



Fuente: Dose, 2009

Evaluación de los factores de la USLE

Factor de erosividad de la lluvia

El modelo original propuesto por Walter H. Wischmeier y Dwight D. Smith (1978), comprende la evaluación de este factor a partir de la ecuación:

$$ET = \sum_{j=1}^n ((210.3 + 89 \log I_j) \Delta P_j)$$

Dónde:

ET: Energía de la tormenta

I_j: Intensidad de la tormenta durante el intervalo *j*, e igual a $\frac{60\Delta P_j}{\Delta t}$

ΔP_j: Incremento de la precipitación en el *j*-ésimo intervalo

n: Número total de intervalos de cada evento de precipitación

Δt: Intervalo de tiempo en minutos, utilizado en la lectura de cartas pluviográficas.

Esta ecuación requiere información de la energía cinética de los eventos de lluvia con intensidades de 30 minutos y un registro de precipitaciones de por lo menos 20 años del sector donde se lleva a cabo el estudio.

Debido a la escasez de registros pluviográficos en algunos países el análisis de los diagramas pluviográficos para la energía cinética son extremadamente difíciles, por ello diversos autores intentan correlacionar el índice de erosión con factores climáticos, factores de fácil medición y que no requieren registros de intensidad de la precipitación.

La cuenca hidrográfica del A° Capiibary no cuenta con estaciones pluviográficas que permitan extraer los datos de intensidad a intervalos de 30 minutos. En contraparte se optó por evaluar el factor mediante la ecuación propuesta por Lombardi Neto y Moldenhauer (1980).

Ecuación 2. Factor de erosividad

$$EI = 67,355 \left(\frac{R^2}{P}\right)^{0,85}$$

Dónde:

EI Índice medio de erosividad anual

r Precipitación media mensual

P Precipitación media anual

El componente fundamental para la evaluación del índice de agresividad climática son las estaciones meteorológicas presentes en el área de estudio, de donde se obtienen los datos de precipitación para posteriormente calcular el factor de erosividad. Para la cuenca del A° Capiibary los datos de precipitación se obtuvieron del Ministerio de Agricultura y Ganadería, a través de su Programa de Agrometeorología.

Factor de erodabilidad del suelo

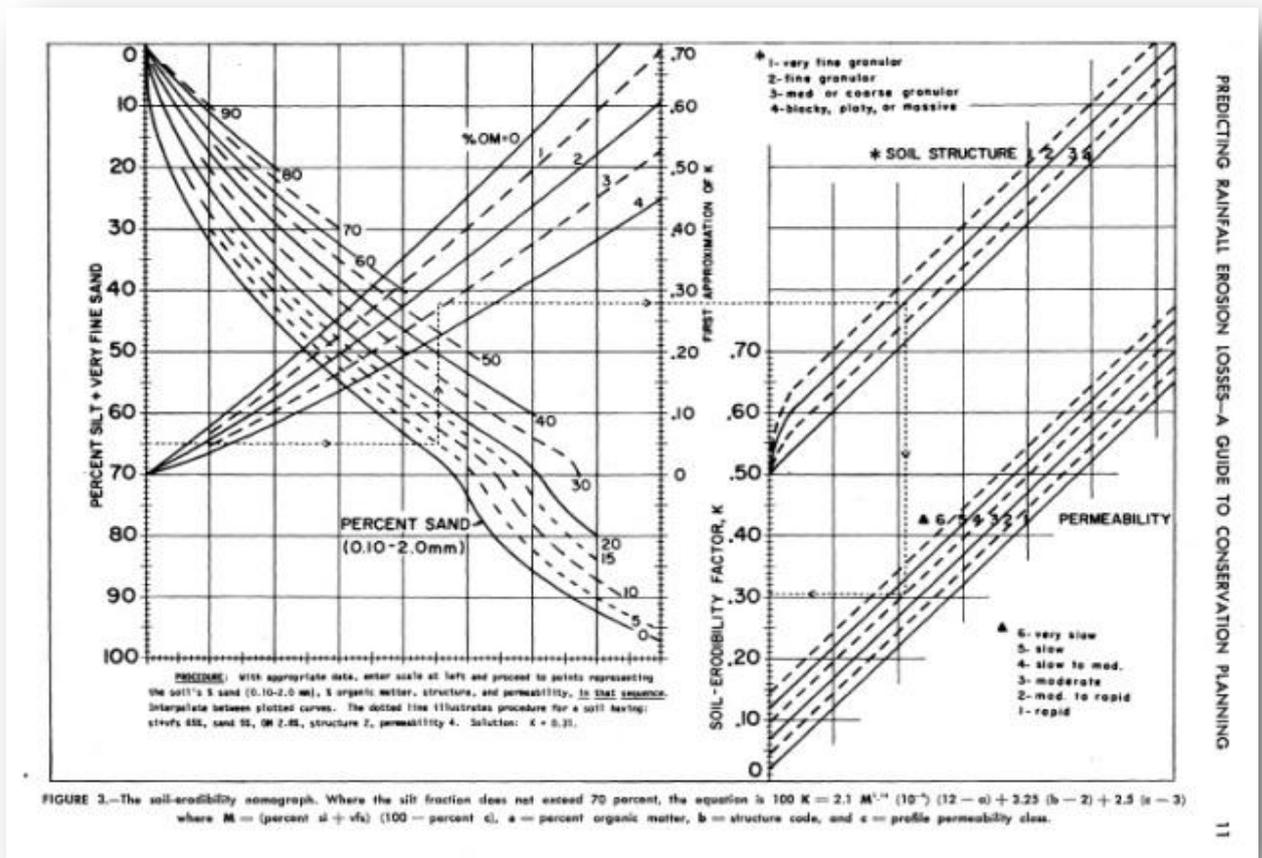
Este factor está estrechamente relacionado con el factor de erosividad de la lluvia y se define como la pérdida media anual de suelo por unidad en la que esté expresado R. su valor depende del contenido de materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad. Este puede ser evaluado mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 3. Factor k

$$100k = 2.1M^{1.14}(10^{-1})(12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$$

Otra metodología utilizada para determinar el factor k es utilizando el nomograma de la figura 2. Los valores propuestos en la versión original de Wischmeier, varían de 0.05 a 0.60 (ton/acre-Elu). Para expresar los valores de K en el sistema internacional es necesario multiplicar el valor en unidades inglesas por 0.1317.

Figura 2. Nomograma de erodabilidad



Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978).

Para el presente estudio se evaluó el factor utilizando el nomograma de erodabilidad y una vez determinados los valores de k se procedió a la formulación de los escenarios edafológicos para cada tipo de suelo.

Factor topográfico

Para la estimación de este factor se empleó el método tradicional presentado por Wischmeier y Smith, el cual emplea como información base los datos del mapa de pendiente de la cuenca obtenidos a partir del PRUT 1995.

Los parámetros del relieve considerados en la USLE son la pendiente media de la ladera y su longitud.

El factor viene definido por:

$$Ls = \left(\frac{x}{2213}\right)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Donde x es la longitud de la ladera o distancia en pendiente, m es la constante adimensional y s es la pendiente en porcentaje. El valor de m puede ser obtenido según la pendiente del terreno mediante las siguientes expresiones:

Pendientes < 1%, $m = 0.2$

Pendientes < 3%, $m = 0.3$

Pendientes < 5%, $m = 0.4$

Pendientes > 5%, $m = 0.5$

De manera similar el valor de x puede obtenerse según el valor de la pendiente, mediante las siguientes expresiones:

Pendientes < 1%, $x = 200m$

Pendientes < 7%, $x = 160m$

Pendientes > 7%, $x = 60m$

Factor de cobertura vegetal

El factor de cobertura C resume la influencia de la cobertura vegetal y de las prácticas de manejo del mismo sobre la erosión y ha sido muy empleado para comparar los efectos que tienen las diferentes opciones de manejo en los planes de conservación, indicando el modo en que afectará un determinado plan de conservación en la pérdida de suelo media anual o cómo se distribuirá a lo largo del tiempo la pérdida de suelo

potencial con determinadas rotaciones de cultivo u otras actividades.

El factor C se determinó a partir de los datos obtenidos por Ogawa et al (1997), quienes definieron los valores a partir de clases de vegetación obtenidas de una imagen Landsat.

Tabla 1. Valores de C por uso de suelo.

Uso de suelo	Factor C
Infraestructura	0.000
Bosque	0.002
Rastrojo alto	0.006
Rastrojo bajo	0.014
Pasto	0.110
Cultivos	0.394
Suelo desnudo	0.500

Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978)

Factor de prácticas de conservación

El factor de prácticas de conservación P , estima la reducción de pérdida de suelo que se puede conseguir al aplicar alguna medida de protección en zonas de cultivo.

En el presente estudio para determinar el factor P se tomó como referencia los valores de la tabla 2.

Tabla 2. Valores para el factor P

Longitud de la pendiente (%)	Valor de P	Longitud máxima de cultivo (ft)
1 – 2	0.60	400
3 – 5	0.50	300
6 – 8	0.50	200
9 – 12	0.60	120
13 – 16	0.70	80
17 – 20	0.80	60
21 – 25	0.90	50

Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978).

Adaptada por autor.

Resultados y Discusión

La determinación de cada uno de los factores que componen la ecuación universal de pérdida de suelo se realizó siguiendo los pasos descritos en la metodología.

Posteriormente se aplicó el modelo para predecir la erosión hídrica en el área objeto de estudio.

Resultado para el factor de erosividad de la lluvia

Se utilizó la ecuación propuesta por Lombardi Neto y Moldenhauer (1980).

$$EI = 67,355 \left(\frac{R^2}{P} \right)^{0,85}$$

Dónde:

EI Índice medio de erosividad anual

r Precipitación media mensual

P Precipitación media anual

Los datos de precipitación se obtuvieron del Ministerio de Agricultura y Ganadería, a través de su Programa de Agrometeorología, y se presentan como sigue:

Precipitación media mensual: 153,8

Precipitación media anual: 1845,7

Reemplazando en la ecuación tenemos que:

$$EI = 67,355 \left(\frac{153,8^2}{1845,7} \right)^{0,85} = 589$$

Resultados para el factor de erodabilidad del suelo (k)

Este factor se evaluó utilizando el nomograma propuesto por (Wischmeier & Smith, 1978) y se obtuvieron los resultados siguientes:

Tabla 3. Factor de erodabilidad del suelo

Sub-cuencas	Tipo de suelo	Factor K
2 (Cambay)	Arena	0.03951
6 (Tacuaruzú)	Arcilla	0.02634
9 (Poromocó)	Arcilloso arenoso	0.032925

El factor k es diferente para cada tipo debido a las características en su estructura y composición, a partir de estos resultados se obtuvieron los escenarios edafológicos propuestos para el presente estudio.

Resultados para el factor LS

Para la estimación de este factor se empleó la siguiente ecuación:

$$Ls = \left(\frac{x}{2213}\right)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Donde x es la longitud (metros) de la ladera o distancia en pendiente, m es la constante adimensional y s es la pendiente en porcentaje.

Los datos obtenidos a partir de los mapas de pendiente y Morfometría de la cuenca son los siguientes:

$$X: 20km \quad m: 0.5 \quad s: 5.79\%$$

Reemplazando en la ecuación tenemos:

$$Ls = \left(\frac{20}{2213}\right)^{0.5} (0.065 + 0.045(5.79) + 0.0065(5.79)^2) = 1,64$$

Factor de cobertura vegetal C

Como se ha mencionado anteriormente, el factor C comprende la relación entre la protección que genera la cobertura

vegetal al suelo al interceptar las gotas de lluvia y amortiguar su energía de impacto y de la escorrentía, disminuyendo el efecto erosivo.

El factor C se determinó a partir de los datos obtenidos por Ogawa et al (1997). Considerando que en la zona de estudio predominan los cultivos se adoptó por utilizar el valor $C = 0.394$.

Factor de prácticas de conservación P

Para la evaluación de este factor se tomó una única condición de manejo, ya que no se contaba con información de las prácticas de laboreo para cada una de las unidades de uso del suelo identificadas en la cuenca.

(Wischmeier & Smith, 1978) En su estudio adoptaron unos valores de referencia teniendo en cuenta la pendiente del terreno, a partir de este concepto se optó por un valor de $P = 0.50$.

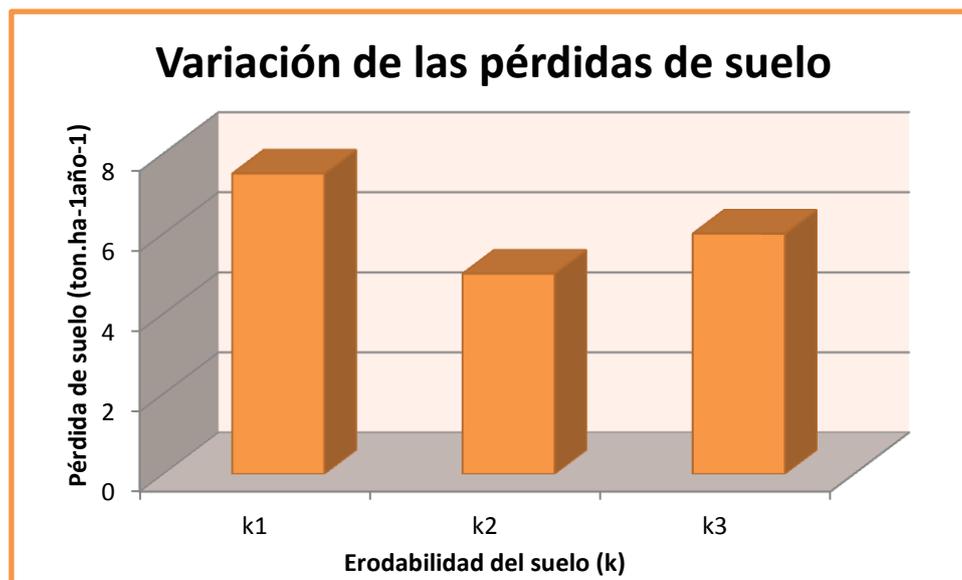
Pérdidas de suelo para la cuenca

Una vez obtenidas cada uno de los datos, correspondientes a los factores para la USLE, se calcularon los valores de la erosión promedio mediante la ecuación:

$$A\left(\frac{ton}{km^2.año}\right) = R * K * L * S * C * P$$

Factor Escenario	R	K	LS	C	P	Sub-total
Sub-cuenca 2	589	0.03951	1.64	0.394	0.50	7.5 ton.km ⁻² año ⁻¹
Sub-cuenca 9	589	0.02634	1.64	0.394	0.50	5 ton.km ⁻² año ⁻¹
Sub-cuenca 6	589	0.032925	1.64	0.394	0.50	6 ton.km ⁻² año ⁻¹
Total						18.5 ton.km⁻²año⁻¹

Figura 3. Pérdidas de suelo por escenario



Los resultados permiten obtener una visión general del grado de erosión que soportan las sub-cuencas del A⁰ Capiibary y además de cuáles son las zonas más susceptibles a sufrir las pérdidas de suelo, a partir de esto orientar la toma de decisiones para la conservación y el desarrollo sustentable del recurso suelo.

Como es de notar la tasa de sedimentos aportados a la cuenca del A⁰ Capiibary varía según el tipo de suelo característico de cada escenario (sub-cuencas). El valor promedio de sedimentación que soporta el cuerpo de agua es de **18.5 ton.km⁻²año⁻¹** según este estudio, del análisis de cada

sub-cuenca se obtiene la información siguiente:

Sub-cuenca Poromocó: El valor mínimo de erosión es de 5 ton.km⁻²año⁻¹.

Esta cantidad de sedimento producido se corresponde con la predominancia de suelos con textura arcillosa característico de las zonas más elevadas y estables de la cuenca representadas por la clase de capacidad de suelos II. La fertilidad es de moderada a media lo cual determina que la estabilidad de agregados produzca mayor cohesión.

El aporte probable de otros sedimentos al sistema estaría dado por el inadecuado

manejo de caminos rurales y prácticas intensivas de cultivos.

Sub-cuenca Tacuaruzú: El valor medio de erosión es de 6 ton.km-2año-1.

Esta zona se caracteriza por suelos de textura arcillosa arenosa donde predominan los suelos de clase II, la pendiente media varía entre 3-8%, el drenaje es moderadamente rápido lo que disminuye el riesgo de erosión por escurrimiento.

Sub-cuenca Cambay: El valor de erosión para esta sub-cuenca es de 7.5 ton.km-2año-1 y es el máximo valor estimado para las tres zonas de estudio.

Esta zona se caracteriza por suelos arenosos, la clase de suelo predominante en esta área corresponde a la clase IV los cuales tienen muy severas limitaciones que reducen la posibilidad de selección de cultivos o requieren un manejo muy cuidadoso.

La pendiente media ronda entre 15-30% lo que favorece la erosión por escurrimiento.

Teniendo en cuenta los parámetros de pérdidas de suelo tolerables mencionadas por la FAO-UNESCO-PNUMA (tabla 4) se puede decir que en las sub-cuencas existe una pérdida nula, la sumatoria total deja en evidencia que la cuenca se encuentra en un grado de erosión moderada.

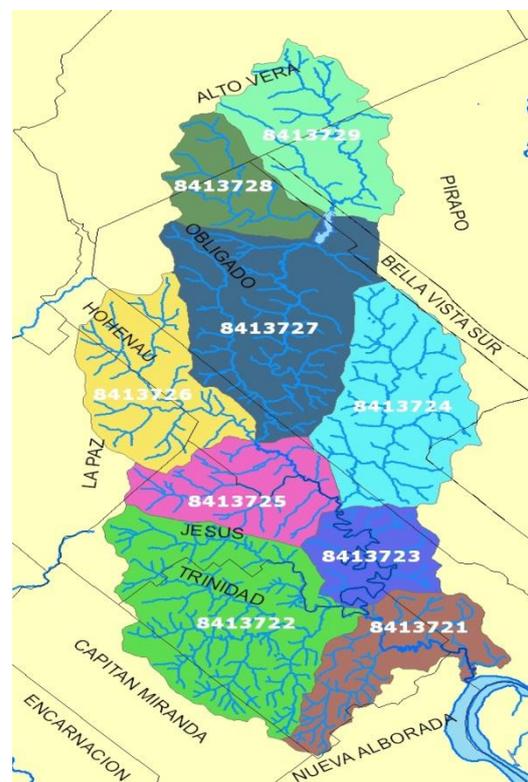
Tabla 4. Pérdidas de suelo tolerables

Pérdidas de suelo tolerables (FAO-UNESCO-PNUMA)	
Erosión $\text{ton.km}^{-2}\text{año}^{-1}$	Grado de erosión hídrica
<10	Nula
10-50	Moderada
50-200	Alta
>200	Muy alta

Fuente: FAO, 1989. Adaptada por autor

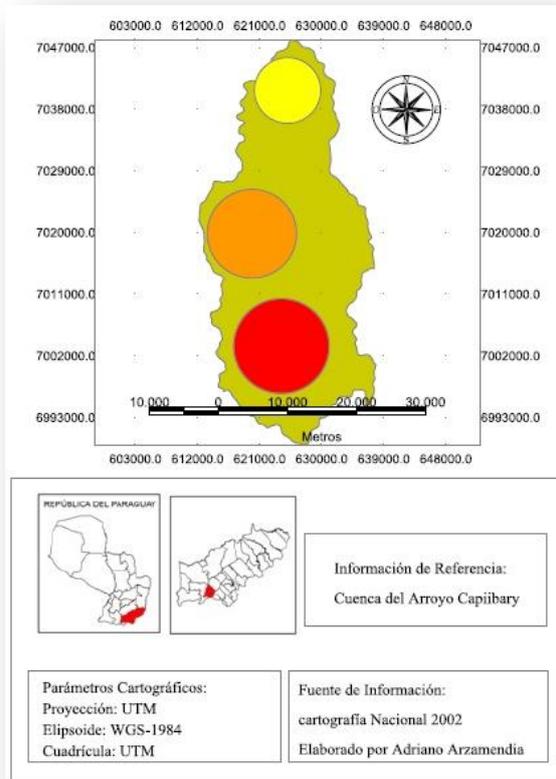
A continuación se presentan las áreas de estudio y la zona con mayor riesgo de erosión correspondiente a la sub-cuenca 2 del arroyo Cambay.

Figura 4. Sub-cuencas del Capiibary



Fuente: Dose, 2009.

Figura 5. Áreas susceptibles a la erosión



Fuente: Autor

Conclusiones

De acuerdo con el estudio realizado la tasa media de erosión, estimada en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, en la cuenca hidrográfica del Arroyo Capiibary es de $18.5 \text{ ton.km}^{-2}\text{año}^{-1}$ siendo el área más susceptible a la erosión la sub-cuenca Cambay con un valor de $7.5 \text{ ton.km}^{-2}\text{año}^{-1}$ esto se debe al tipo de suelo característico de esa zona como también a la topografía del lugar.

El uso de unidades de paisajes, obtenidos a partir de sistemas de información geográfica, es apropiado debido a que proporcionan información relacionada con la forma del relieve, suelos, escorrentía y cobertura y uso del suelo, los cuales, a su vez, constituyen los factores tenidos en cuenta para la formulación de la ecuación.

Los valores de la erosión de suelo varían para cada tipo de suelo debido al factor de erodabilidad, no obstante es importante destacar que otro factor que juega un papel importante en el fenómeno de erosión es la precipitación. Si bien el factor de erodabilidad no es controlable, porque depende del tipo de suelo, el efecto del factor de precipitación puede verse disminuido adoptando las prácticas adecuadas de manejo de suelo (siembra directa, curvas de nivel, manejo de caminos rurales, etc).

Bibliografía

Bueno do Prado, J., & Nóbrega, M. T. (2005). *determinacao de perdades de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha (PN) com aplicacao da USLE*. Recuperado el Julio de 2016, de

- file:///C:/Users/happy/Downloads/1496-3893-1-PB.pdf
- Environmental Protection Agency. :
<https://www3.epa.gov/>
- DelValls, A., Forja, J., & Gómez, A. (1998). El uso del análisis multivariante en la unión de datos de toxicidad y contaminación para establecer guías de calidad de sedimentos. *Ciencias Marinas*, 127-154.
- Diagnóstico respecto al agua y su gestión en la república del Paraguay.* (2002). Obtenido de http://www.foroagua.org.py/docs/200910231610340.Paraguay_InfoRRHH.PDF?docs_id=56
- Dose, E. (2009). Caracterización, evaluación y diagnóstico de los recursos naturales como base para proponer un Plan de Manejo de los recursos hídricos en la cuenca del Aº CAPIIBARY. Hohenau, Paraguay.
- EPA. (19 de Julio de 2016). *United States Environmental Protection Agency.* Obtenido de United States
- FAO. (1994). Recuperado el Junio de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>
- FAO. (1997). Recuperado el Junio de 2016, de <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lw8s.pdf>
- FAO. (2009). *Por qué invertir en Ordenación de las Cuencas Hidrográficas.* Recuperado el Junio de 2016, de 5) <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s00.pdf>
- FAO. (2016). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos.* Recuperado el 27 de Julio de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s04.htm>
- Frutuoso, J., Da Silva, I., leitao, M., & Pereira, S. (2009). *Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de Acacia*

- mangium em Roraima.*
Recuperado el Julio de 2016, de
<http://revista.ufrr.br/index.php/agroambiente/article/viewFile/253/212>
- Gaus, D. (2009). Valoración preliminar de pérdidas por efecto de la erosión hídrica en caminos rurales en el área de influencia del Arroyo Capiíbary. Hohenau, Itapúa, Paraguay.
- Gobierno Nacional. (29 de Julio de 2016). *Instituto Forestal Nacional.*
Obtenido de Instituto Forestal Nacional: <http://www.infona.gov.py>
- Gobierno Nacional. (01 de Agosto de 2016). *Secretaría del Ambiente.*
Obtenido de Secretaría del Ambiente: <http://www.seam.gov.py/>
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, Viceministerio de Minas y Energías. (2013). *Producción y Consumo de Biomasa en el Paraguay.* Alamo S.A.
- Rodríguez, A. (2010). Efecto de la restauración agro-hidrológica sobre el escurrimiento superficial en la Sierra de Pillahuinco. La Plata, Argentina .
- Sabóia, C., Beserra, J., & Linhares, M. (2006). *Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí.* Recuperado el Julio de 2016, de
<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/162/156>
- Vieira, S., & Lombardi Neto, F. (1994). *Variabilidade espacial do potencial de erosao das chuvas so estado de Sao Paulo.* Recuperado el Julio de 2016, de
<http://www.scielo.br/pdf/brag/v54n2/19.pdf>
- Vitte, A., & Vilela, L. (2006). *Estimativa de perdas de solos em uma bacia hidrográfica sob o cultivo de frutífera, no municipio de Valinhos (SP).* Recuperado el Julio de 2016, de
http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geosp/Geosp20/Artigo_Vitte.pdf

Wischmeier, W., & Smith, D. (1978).

*Predicting rainfall erosion losses, A
guide to conservation planning .*



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

