



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Análisis de la sedimentación de los embalses  
del río Grijalva, propuestas de mitigación**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Alvaro Romano Morales López

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Alejandro Mendoza Reséndiz



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este trabajo a toda mi familia y mis amigos, en especial a mi padre Alvaro Emiliano Morales Cruz y a mi madre Inocencia López Sánchez, que sin ellos no hubiera sido posible llegar a mi meta y han sido el apoyo incondicional en todo momento de mi vida. También a aquellos que desgraciadamente ya no están presentes y extraño mucho.

A todos mis profesores que desde preescolar hasta la licenciatura me enseñaron todo lo que saben con mucho esmero.

A mis mascotas que siempre llevo presente, en especial a mi gata Copo de nieve que me acompañaba en la realización de mis tareas y a mi perro Quizi que de niño amé.

A mi asesor de tesis el Doctor Alejandro Mendoza Reséndiz que gracias a su conocimiento he podido realizar este trabajo de investigación para titularme.

Al Instituto de Ingeniería por permitir ejercer mi tema y la oportunidad de titularme.

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) por darme un lugar en sus aulas para aprender lo que quise desde mi infancia y poder desarrollarme como un buen ciudadano y profesionalista.

En especial a Dios y al universo por ponerme a mi alrededor personas que me han brindado amor y comprensión.

## INDICE

INDICE.....	3
Introducción .....	4
El fenómeno de erosión de suelos. ....	4
Remoción de partículas del suelo.....	4
Objetivo.....	6
Metas .....	6
I.    Metodología .....	6
I.1. Formulación universal de pérdida de suelos.....	6
I.1.1 Edafología.....	8
I.2 Sistema de presas en el río Grijalva.....	11
I.2.1 Datos de las presas.....	13
II.    Aplicación .....	14
II.1 Preparación de los datos.....	14
II.2 Aplicación de la fórmula universal de pérdida de suelos .....	22
III.    Resultados .....	27
III.1 Erosión en las cuencas de las presas .....	27
III.2 Estimación de la vida útil de presas .....	31
III.3 Propuestas para reducir la sedimentación.....	34
III.3.1 Perfil 1 .....	35
III.3.2 Perfil 2 .....	37
III.3.3 Perfil 3 .....	39
III.4 Gaviones.....	40
Bibliografía .....	43

## Introducción

Uno de los principales problemas que suelen afectar los embalses es la pérdida de capacidad de almacenamiento debido a la sedimentación interna. En el diseño de las presas se considera el volumen de azolves, pero en muchas ocasiones el cálculo realizado para su consideración es rebasado por la sedimentación producida. Esto debido al imprevisto cambio de uso de suelo en la cuenca.

Existen casos en los que la erosión del suelo aumenta dentro de las cuencas, por lo que esto llega a ser un indicativo de que poco a poco la capacidad de los embalses será afectada antes de lo previsto, y de esa manera la disponibilidad de almacenamiento de agua se reducirá.

En algunos casos extremos, la capacidad de almacenamiento se pierde plenamente. Además, si se asume que el costo de evitar la erosión de las cuencas es alto y de largo plazo, y que el costo de extraer el material depositado también es alto, en muchos casos es mejor construir un nuevo embalse. Esto no siempre es posible, porque además de una alta inversión económica, cada vez hay menos lugares alternativos para construir nuevas cortinas. (Sánchez, Sedimentación en embalses, 1999)

Cuando se construye una presa, ésta funciona como un obstáculo en el cauce. Cuando se genera el arrastre de sedimentos debido a la corriente y el cual lleva consigo material grueso y fino, éste llega al embalse y se irá depositando debido a la disminución en la velocidad de la corriente.

El proceso de los sedimentos que viajan en suspensión es un tanto complejo, porque depende de factores como las propiedades fisicoquímicas del suelo, características topográficas del terreno, el mismo diseño del embalse, la intensidad de lluvia de la región, entre otros.

### El fenómeno de erosión de suelos.

#### Remoción de partículas del suelo

La remoción o erosión de las partículas del suelo se puede clasificar de la siguiente manera: erosión laminar, de canalillos, en cárcavas y en canales, y finalmente erosión eólica.

- a) **Erosión laminar:** Se produce cuando la capa superior del suelo es arrastrada por el agua proveniente de la lluvia y el viento, por lo cual el suelo se degrada. Suele ocurrir cuando la vegetación se ha eliminado o se ha reducido por lo que el suelo queda expuesto. Solo se considera que se arrastran las partículas más finas y que dependerá de las características físico-químicas del suelo.
- b) **Erosión de canalillos:** Es un proceso que ocurre cuando la lluvia intensa o el flujo de agua en una pendiente crea canales pequeños y estrechos en el suelo. A medida que el agua fluye por los pequeños canales, la fuerza de la corriente puede aumentar, haciendo que los canales se vuelvan más profundos y anchos.

- c) **Erosión de cárcavas:** Son producidos cuando no se controla la erosión en los canalillos, o sea que se crean cárcavas profundas y extensas. Las lluvias intensas, la acción del viento y la falta de prácticas de la conservación del suelo son los principales factores que forman las cárcavas.
- d) **Erosión de canales:** Es un proceso natural que se produce en ríos o arroyos que se genera por la energía que lleva el flujo de agua y provoca el movimiento de rocas y diversos materiales que se encuentren a lo largo de su trayecto.
- e) **Erosión eólica:** Es un proceso natural de desgaste y transporte de materiales causadas por el viento. Es común en regiones áridas y semiáridas ya que en esos lugares existe poca vegetación y suelos poco consolidados.

De acuerdo con (Sánchez, Pérdida de Suelos en Cuencas, 1999), los principales factores que influyen en la pérdida de suelo, son los siguientes:

- a) **Hidrología:** Los dos factores que influyen es la lluvia y el escurrimiento. La lluvia puede tener la suficiente energía para poder desprender partículas del suelo y el escurrimiento puede transportar grandes cantidades de sedimento y rocas a lo largo de su trayecto.
- b) **Topografía:** La pendiente del terreno es muy importante en el proceso de la erosión, ya que a mayor pendiente el agua y el viento pueden transportar los sedimentos con mayor facilidad. La forma del terreno es otro factor importante, las cuencas y valles pueden retener el agua y el sedimento.
- c) **Erosionabilidad del suelo:** Dependiendo de las propiedades físico-químicas, los suelos con partículas más pequeñas son más susceptibles a erosionarse a comparación de los que contienen una granulometría mayor, por ejemplo, los suelos arcillosos son más erosionables que los suelos rocosos.
- d) **Cobertura vegetal:** La vegetación ayuda a que exista una menor erosión a comparación de un suelo desnudo, las raíces de las plantas y la cantidad de materia orgánica evitan que el agua y el viento arrastren sedimentos. También la vegetación reduce la velocidad del agua, disminuyendo la energía del flujo. Las plantas interceptan la lluvia, provocando que no exista un contacto directo con el suelo y se puedan desprender partículas del suelo.

## Objetivo

Calcular el aporte de sedimentos que se generan en las cuencas de las presas Peñitas, Malpaso, Chicoasén y La Angostura. Proponer posibles medidas de mitigación. Estas presas se ubican en el río Grijalva, en Chiapas.

## Metas

- a) Calcular la erosión de las cuencas de cada presa aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. El resultado es el volumen promedio anual de sedimentos que puede llegar potencialmente a cada presa.
- b) Proponer medidas de mitigación que ayuden a controlar el proceso de sedimentación en las presas y así poder alargar su periodo útil.

## I. Metodología

### I.1. Formulación universal de pérdida de suelos

En 1978 se desarrolló la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo o mejor conocido como el método USLE (The Universal Soil Loss Equation), por sus siglas en inglés. Los autores de dicha ecuación son Wicksmeier y Smith, las variables que componen la ecuación son los siguientes:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Donde:

R es el factor de erosividad de la lluvia en Mj/h/año

K es el factor de erabilidad del suelo en Mj/h/año

LS es el factor de longitud y grado de la pendiente (adimensional)

C es el factor de manejo de vegetación (adimensional)

P es el factor de práctica de manejo (adimensional)

A es la pérdida de suelo en Mg/ha/año

#### **Factor R**

La variable R es de los valores más importantes que percuten en la ecuación, es un valor que se da para un área determinada y es la energía potencial que tienen las gotas de lluvia que ocasiona el desgaste del suelo y por ende el potencial erosivo de la lluvia.

#### **Factor K**

El factor K está afectado directamente por la variable R, o sea que se puede decir que este valor es la susceptibilidad que tiene el suelo para ser erosionado. Dicha variable representa la tasa de pérdida de suelo por unidad de fuerza o energía aplicada.

### **Factor LS**

Esta variable está relacionada directamente con el relieve topográfico, o sea que mientras más largo sea el terreno y más escarpado sea el trayecto, la erosión del suelo será mayor. Estos valores se pueden manejar juntos, pero en este trabajo, se calculan por separado, obteniendo un valor de L (longitud) y S (pendiente), y posteriormente se realiza el producto de ambas para obtener LS.

Los datos se obtendrán por separado para visualizar con más detalle los valores donde la pendiente tenga valores altos y de tal manera ubicar las áreas donde se requiera analizar y proponer alguna solución.

### **Factor C**

Es un parámetro que se utiliza para estimar la tasa de erosión del suelo, o sea que mide la relación entre las pérdidas de suelo en un terreno cultivado y las pérdidas de suelo en un terreno desnudo y sin cultivo, todo esto bajo unas mismas condiciones de tipo de suelo, pendiente y lluvia. El factor C varía entre 0 que corresponde a un terreno totalmente protegido y 1 para terrenos que no tienen ninguna protección.

### **Factor P**

Es un factor que se utiliza para representar si existen prácticas de conservación del suelo que ayuden a evitar la erosión del suelo, como terrazas, barreras de vegetación, rotación de cultivos, etc. Este parámetro se representa con un valor de 1 si no existen prácticas de conservación del suelo.

### I.1.1 Edafología

Las cuencas a estudiar tienen una gran extensión territorial y como tal se encuentran varios tipos de unidades edafológicas, así como se muestra la Figura 1.1.

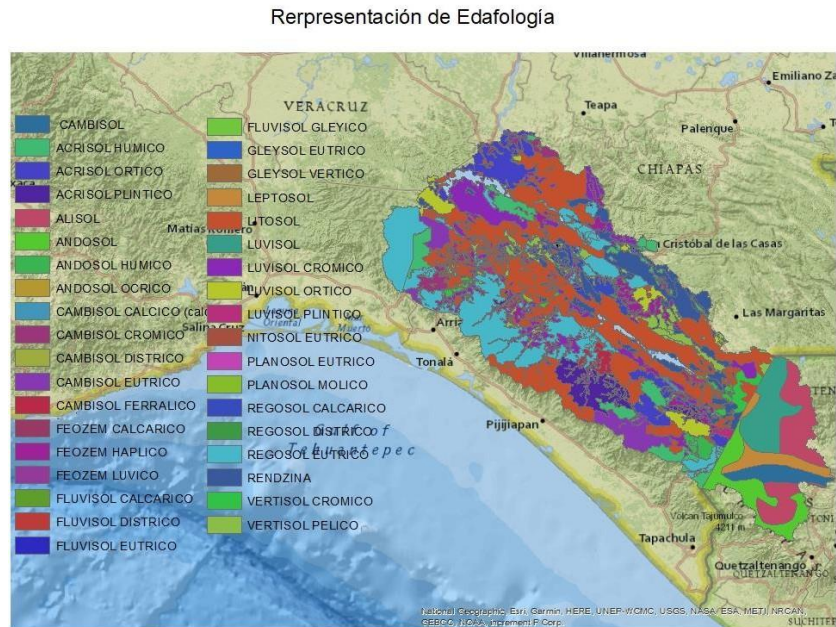


Figura 1.1 Mapa de Edafología en las Cuencas: Peñitas, Malpaso, Chicoasén y La Angostura. Fuente: creación propia con Datos del INEGI

Las características de estas son las siguientes:

**Acrisol:** Se encuentra en regiones tropicales y subtropicales, tienen un gran grado de acidez y baja fertilidad. Tienen bajo contenido de materia orgánica y nutrientes.

**Alisol:** Son un tipo de suelo que se encuentran principalmente en zonas tropicales y subtropicales. Son ricos en materia orgánica y nutrientes. Tienen una textura arcillo-limosa.

**Andosol:** Son suelos que se encuentran en zonas volcánicas, son granulares y contienen materia orgánica. Están compuestos principalmente por materiales volcánicos, como ceniza y lava.

**Anthrosol:** Comprende suelos que han sido modificados profundamente por actividades humanas, tales como la adición de materia orgánica o mineral, carbón vegetal o residuos domésticos, o el riego y la labranza.

**Arenosol:** Comprende suelos arenosos profundos. Esto incluye suelos de arenas residuales después de una meteorización in situ de sedimentos o rocas generalmente ricos en cuarzo. Estos suelos se encuentran en áreas con bajos niveles de precipitación, como desiertos y zonas costeras.



**Calsisol:** Son suelos ricos en calcio y tienen una textura variable, que puede ser arcillosa, limosa o arenosa. Son origen de rocas sedimentarias y metamórficas. Se localizan en zonas mediterráneas y algunas regiones tropicales.

**Cambisol:** Es un suelo rico en materia orgánica. Son comunes en las zonas templadas y tropicales. Se forman por la erosión de rocas y de minerales.

**Cryosol:** Se caracterizan por formarse en suelos fríos y polares. Debido a sus condiciones de temperatura, tienen una actividad biológica limitada y baja cantidad de materia orgánica. Se encuentran en regiones como el Ártico, la Antártida, Siberia y otras zonas periglaciares.

**Chernozem:** Se forma a partir de la acumulación de materia orgánica y minerales, en condiciones de clima templado y suficiente precipitación. Es un suelo muy fértil compuesto principalmente por arcilla, limo y arena.

**Durisol:** Están asociados principalmente con superficies antiguas en ambientes áridos y semiáridos e incluyen a los suelos someros a moderadamente profundos, moderadamente bien drenados que contienen sílice ( $\text{SiO}_2$ ) secundaria cementada dentro de los 100 cm superficie del suelo.

**Ferrasol:** Se forman en las regiones tropicales y subtropicales que se forman a partir de la meteorización de rocas basálticas y otro tipo de rocas ígneas. Se caracterizan por tener capas ricas en materia orgánica y minerales.

**Fluvisol:** Son suelos formados a partir de la disposición de sedimentos fluviales o aluviales, se encuentran en áreas de ríos y otros cuerpos de agua. Suelen ser ricos en nutrientes y materia orgánica.

**Gleysol:** Contienen un contenido bajo de materia orgánica y alto contenido de minerales y nutrientes. Se encuentran en climas templados y de alta precipitación. Se forman a partir de rocas sedimentarias y metamórficas.

**Gypsisol:** Son suelos formados por la acumulación de yeso que proviene de la descomposición de rocas sedimentarias ricas en sulfato. Se encuentran en áreas áridas y semiáridas.

**Histosol:** Contienen materia orgánica que se ha acumulado en la superficie del suelo en forma de turba o de humus. Son ricos en materia orgánica. Se encuentran en áreas húmedas y pantanosas donde existe poco oxígeno.

**Kastanozem:** Se caracterizan por tener un alto contenido de calcio y magnesio en su capa superficial. Se forman a partir de la acumulación de materia orgánica y minerales a través de la acción de los microorganismos del suelo y las raíces de las plantas. Se ubican en regiones templadas y áridas de Eurasia y América del Norte.

**Leptosol:** Comprende suelos muy delgados sobre roca continua y suelos que son extremadamente ricos en fragmentos gruesos. Son particularmente comunes en regiones montañosas. Tienen bajo contenido de materia orgánica y nutrientes.

**Lixisol:** Son suelos ricos en materia orgánica pero pobre en nutrientes. Suelen ser suelos muy ácidos. Se encuentran en regiones con estaciones secas y húmedas muy definidas.

**Luvisol:** Son ricos en arcilla y hierro. Suelen estar presentes en regiones templadas y subtropicales, en áreas donde hay lluvia recurrente y un tipo de estación bien definida.

**Nitisol:** Son ricos en arcilla y hierro. Suelen estar presentes en regiones templadas y subtropicales, en áreas donde hay lluvia recurrente y un tipo de estación bien definida. Son comunes en África, América del Sur, Asia y Australia.

**Phaeozems:** Este grupo integra suelos de praderas relativamente húmedos y regiones de bosque en climas moderadamente continentales. Los Phaeozems son muy parecidos a los Chernozems y Kastanozems pero están lixiviados de manera más intensa.

**Planosol:** Se encuentran en un clima cálido y húmedo, donde la descomposición de la materia orgánica es rápida y se produce una alta acumulación de arcilla.

**Plinthosol:** Son ricos en nutrientes y se localizan en regiones tropicales y subtropicales con estaciones húmedas y secas.

**Podzol:** Es un suelo de ácido que se encuentra en regiones de clima frío y húmedo, como los bosques boreales y subárticos. Son bajos en nutrientes y materia orgánica.

**Regosol:** Son suelos ácidos y de bajos nutrientes debido a que se desarrollan en áreas con actividad erosiva, como laderas de montañas, dunas, glaciares y ríos.

**Retisol:** Tienen una baja fertilidad natural debido a la falta de materia orgánica y nutrientes. Son suelos poco desarrollados que se encuentran en áreas con escasa precipitación y/o alta evaporación, como en desiertos y zonas áridas.

**Solonchask:** Tienen una alta concentración de sales solubles en algún momento del año. Estos suelos se encuentran esencialmente en las zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas.

**Solonet:** Son suelos típicamente áridos y no aptos para la agricultura. Se encuentran en un clima árido o semiárido. Contienen alta concentración de sales.

**Umbrisol:** Contienen mucha materia orgánica, que le da un color oscuro. Son comunes en áreas boscosas o de pastizales húmedos, con un clima moderado y una alta precipitación.

**Vertisol:** Se caracterizan por ser muy fértil y productivo debido a su alto contenido de materia orgánica y nutrientes. Se encuentran en regiones de clima moderado y de una alta precipitación; son suelos de arcillas pesadas con una alta proporción de arcillas expandibles. Estos suelos forman profundas y anchas grietas desde la superficie hacia abajo cuando se secan, lo cual sucede en la mayoría de los años. El nombre Vertisoles (del latín vertere, dar vuelta) se refiere a los constantes movimientos internos del material del suelo.

La información recabada para presentar la descripción de unidades Edafológicas se obtuvo del informe (WRB, 2014).

## I.2 Sistema de presas en el río Grijalva

El río Grijalva es uno de los ríos más importantes de México y es el segundo más largo después del río Bravo, teniendo el río Grijalva alrededor de 480 kilómetros y el río Bravo 3,034 kilómetros. Durante las últimas décadas se han construido varias presas con el objetivo de generar energía eléctrica y controlar las inundaciones de la región. En la Figura 1.2 se muestra la presa Peñitas, en la Figura 1.3 está la presa Malpaso, en la Figura 1.4 la presa Chicoasén y por último en la Figura 1.5 se encuentra la presa La Angostura.



Figura 1.2 Foto aérea de la Presa Peñitas. Fuente: (López, Presa Peñitas, 2022).



Figura 1.3 Foto aérea de la Presa Malpaso. Fuente: (Martínez A. , 2021)



*Figura 1.4 Foto de la presa Chicoasén. Fuente: (Suárez, 2016)*



*Figura 1.5 Foto de la presa La Angostura. Fuente: (López, La Angostura, 2021)*

### I.2.1 Datos de las presas

La tabla 1 sintetiza las características de las presas consideradas en esta tesis, los puntos más importantes son su capacidad de almacenamiento y niveles de operación.

Tabla 1. Datos de construcción y almacenamiento de las presas en el río Grijalva. Fuente: (SINA, 2019):

Presa	Entidad Federativa	Municipio	Corriente de ubicación	Inicio de Operación	Elevación m.s.n.m	Almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )	Nivel de aguas máximas (NAMO) Hm <sup>3</sup>	Nivel de aguas máximas extraordinarias (NAME) Hm <sup>3</sup>
Ángel Albino Corzo (Peñitas)	Chiapas	Ostuacán	Río Grijalva	1986	85.55	172.475	292.88	578.63
Nezahualcóyotl (Malpasó)	Chiapas	Mezcapala	Río Grijalva o Mezcapala	1964	173.3	6668.73	12373.12	14056.32
Manuel Moreno Torres (Chicoasén)	Chiapas	Osumacinta	Río Grijalva	1980	392.5	205.98	1265.02	1318.6
Doctor Belisario Domínguez (La Angostura)	Chiapas	Acala	Río Grijalva	1976	525.48	8997.78	15549.132	19736.4





### DELIMITACIÓN DE LA CUENCA "MAL PASO"



Figura 2.1.2 Cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

### DELIMITACIÓN DE LA CUENCA "CHICOASÉN"



Figura 2.1.3 Cuenca Chicoasén. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

### DELIMITACIÓN DE LA CUENCA "LA ANGOSTURA"



Figura 2.1.4 Cuenca La Angostura. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

Para calcular los coeficientes de la ecuación USLE se hicieron las siguientes operaciones:

#### **Coefficiente K:**

Para determinar este factor, se utilizó la información Edafológica del INEGI. Este archivo tiene valores que están determinados por la clasificación de suelos WRB (World Reference Base for Soil Resources), publicado por la Sociedad Internacional de la Ciencias del Suelo (SICS).

En el programa ArcGIS asignó el tipo de suelo y la textura que corresponden.



Tabla 2. Clasificación de suelo desarrollado por WBR, información utilizada para el Factor “K”. Fuente: (Montes León, Uribe Alcántara, & García Celis, 2011).

Clasificación WRB		Clasificación WRB	
Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
<b>Acrisol</b>	AC	<b>Histosol</b>	HS
<b>Albeluvisol</b>	AB	<b>Kastanozem</b>	KS
<b>Alisol</b>	AL	<b>Leptosol</b>	LP
<b>Andosol</b>	AN	<b>Lixisol</b>	LX
<b>Anthrosol</b>	AT	<b>Luvisol</b>	LV
<b>Arenosol</b>	AR	<b>Nitisol</b>	NT
<b>Calcisol</b>	CL	<b>Phaeozem</b>	PH
<b>Cambisol</b>	CM	<b>Planosol</b>	PL
<b>Chernozem</b>	CH	<b>Plinthosol</b>	PT
<b>Cryosol</b>	CR	<b>Podzol</b>	PZ
<b>Durisol</b>	DU	<b>Regosol</b>	RG
<b>Ferralsol</b>	FR	<b>Solonchak</b>	SC
<b>Fluvisol</b>	FL	<b>Solonetz</b>	SN
<b>Gleysol</b>	GL	<b>Umbrisol</b>	UM
<b>Gypsisol</b>	GY	<b>Vertisol</b>	VR

Tabla 3. Textura de la clasificación de suelo desarrollado por WBR, información utilizada para el Factor “K”. Fuente: (Montes León, Uribe Alcántara, & García Celis, 2011).

Orden	G	M	F	Orden	G	M	F
<b>AC</b>	0.026	0.04	0.013	<b>LP</b>	0.013	0.02	0.007
<b>AL</b>	0.026	0.04	0.013	<b>LV</b>	0.026	0.04	0.013
<b>AN</b>	0.026	0.04	0.013	<b>LX</b>	0.013	0.02	0.007
<b>AR</b>	0.013	0.02	0.007	<b>NT</b>	0.013	0.02	0.007
<b>CH</b>	0.013	0.02	0.007	<b>PH</b>	0.013	0.02	0.007
<b>CL</b>	0.053	0.079	0.026	<b>PL</b>	0.053	0.079	0.026
<b>CM</b>	0.026	0.04	0.013	<b>PT</b>	0.026	0.04	0.013
<b>DU</b>	0.053	0.079	0.026	<b>RG</b>	0.026	0.04	0.013
<b>FL</b>	0.026	0.04	0.013	<b>SC</b>	0.026	0.04	0.013
<b>FR</b>	0.013	0.02	0.007	<b>SN</b>	0.053	0.079	0.026
<b>GL</b>	0.026	0.04	0.013	<b>UM</b>	0.026	0.04	0.013
<b>GY</b>	0.053	0.079	0.026	<b>VR</b>	0.053	0.079	0.026
<b>HS</b>	0.053	0.02	0.007				
<b>KS</b>	0.026	0.04	0.013				

### **Coficiente C:**

Este factor se obtuvo asociado con la información del INEGI de uso de suelo y vegetación. El valor de C tiene un rango de 0 a 1, donde el 0 corresponde a un terreno totalmente protegido, o sea que la cobertura vegetal sea mayor, y el valor de 1 representa las condiciones más desfavorables.

Tabla 4. Factor "C". Factor para vegetación y/o uso de suelo. Fuente: (Montes León, Uribe Alcántara, & García Celis, 2011).

<b>Vegetación y/o uso de suelo</b>	<b>C</b>
Bosque de ayarín	0.01
Bosque de cedro	0.01
Bosque de encino	0.1
Bosque de encino-pino	0.01
Bosque de galería	0.1
Bosque de oyamel	0.01
Bosque de pino	0.01
Bosque de pino-encino	0.01
Bosque de tascate	0.01
Bosque de mesofilo de montaña	0.01
Chaparral	0.65
Manglar	0.1
Matorral crasicaule	0.65
Matorral de coníferas	0.2
Matorral desértico microfilo	0.25
Matorral desértico roetofilo	0.25
Matorral espinoso tamaulipeco	0.45
Matorral rosetofilo costero	0.25
Matorral sarcocaule	0.25
Matorral sarco-crasicaule	0.25
Matorral sarco-crasicaule de neblina	0.25
Matorral submontano	0.35
Matorral subtropical	0.12
Mezquital	0.65
Palmar inducido	0.75
Palmar natural	0.75

Continuación de la Tabla 4. Factor “C”. Factor para vegetación y/o uso de suelo. Fuente: (Montes León, Uribe Alcántara, & García Celis, 2011).

<b>Vegetación y/o uso de suelo</b>	<b>C</b>
Pastizal gipsofilo	0.25
Pastizal halofilo	0.25
Pastizal inducido	0.02
Pastizal natural	0.07
Popal	0.85
Pradera de alta montaña	0.05
Sabana	0.54
Sabanoide	0.54
Selva alta perennifolia	0.45
Selva alta subperennifolia	0.45
Selva baja caducifolia	0.5
Selva baja espinosa caducifolia	0.5
Selva baja espinosa subperennifolia	0.5
Selva mediana caducifolia	0.45
Selva mediana perennifolia	0.45
Selva mediana subcaducifolia	0.45
Tular	0.1
Vegetación de desiertos arenosos	0.85
Vegetación de dunas costeras	0.85
Vegetación de galería	0.85
Vegetación halófila	0.85
Zona urbana	0.005
Cuerpos de agua	1
Agricultura en riego	0.55
Agricultura de temporal	0.75
Agricultura de humedad	0.25

Al igual como la edafología, es importante identificar el uso del suelo que se encuentra en el área de estudio, ya que el suelo tiene diferentes niveles de exposición a la erosión, en la Figura 2.1.5 se muestra los tipos de uso de suelo.

Representación del uso de suelo

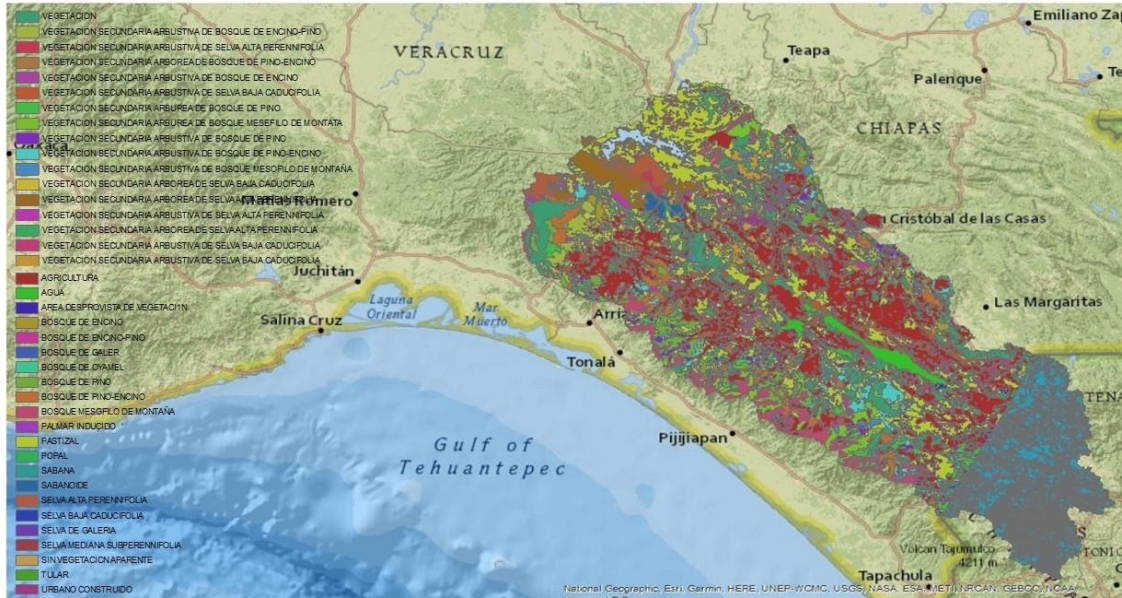


Figura 2.1.5 Mapa de uso de suelo en las cuencas: Peñitas, Malpaso, Chicoasén y La Angostura. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

### Coefficiente R:

Para calcular este factor se tomaron registros pluviométricos de las estaciones que se encuentran dentro de las cuencas. Toda la información recabada se procesó para elegir los datos más recientes en un rango de diez años que contengan los 365 días registrados (o 366 días, según el año). La estimación del factor R en México está en función de la precipitación media anual (Pp, en mm).

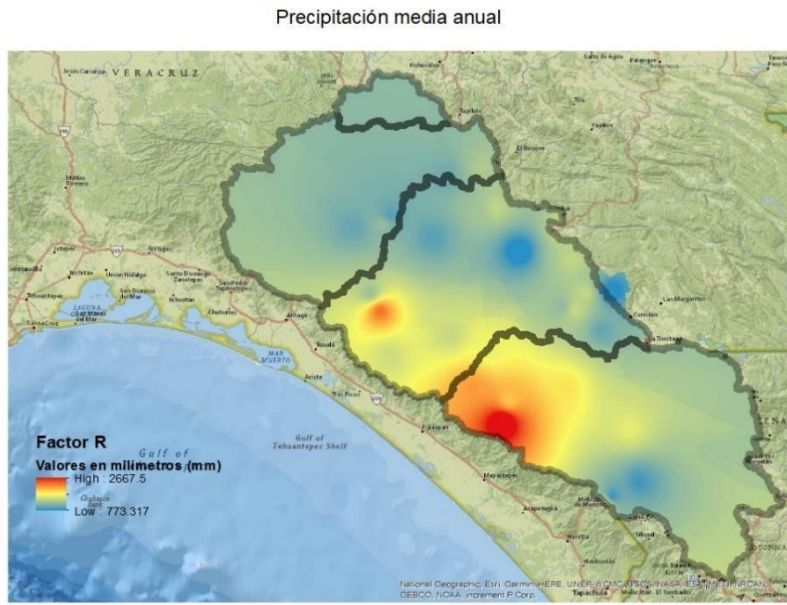


Figura 2.1.6 Coeficiente "R" en las cuencas Peñitas, Malpaso, Chicoasén y La Angostura. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

### Coefficiente L:

Para realizar el cálculo se utilizó la siguiente ecuación (Fuente: Sánchez, 1999):

$$L = \left( \frac{X}{22.13} \right)^m$$

Donde X es el valor de la longitud de la pendiente de la cuenca, en este caso es el tamaño de celda en el programa de ArcGIS, el cual resultó ser 118 metros. El valor de "m" es una constante que depende del terreno, y se determinó teniendo en cuenta la pendiente en porcentaje (S), si es mayor o igual a 5%, el valor tomado es de 0.5, si (S) es mayor al 5% y menor al 3% m es igual a 0.4, si (S) es igual o mayor al 3% y menor o igual al 1% "m" toma el valor de 0.3 y S es menor a 1% el valor de "m" es igual a 0.2.

## Coefficiente S:

Se calculó con la siguiente ecuación (Fuente: Sánchez, 1999):

$$S=0.065+0.045s+0.0065s^2$$

Del cual se hizo el tratamiento adecuado para encontrar el valor de la pendiente de la cuenca en porcentaje por medio del software.

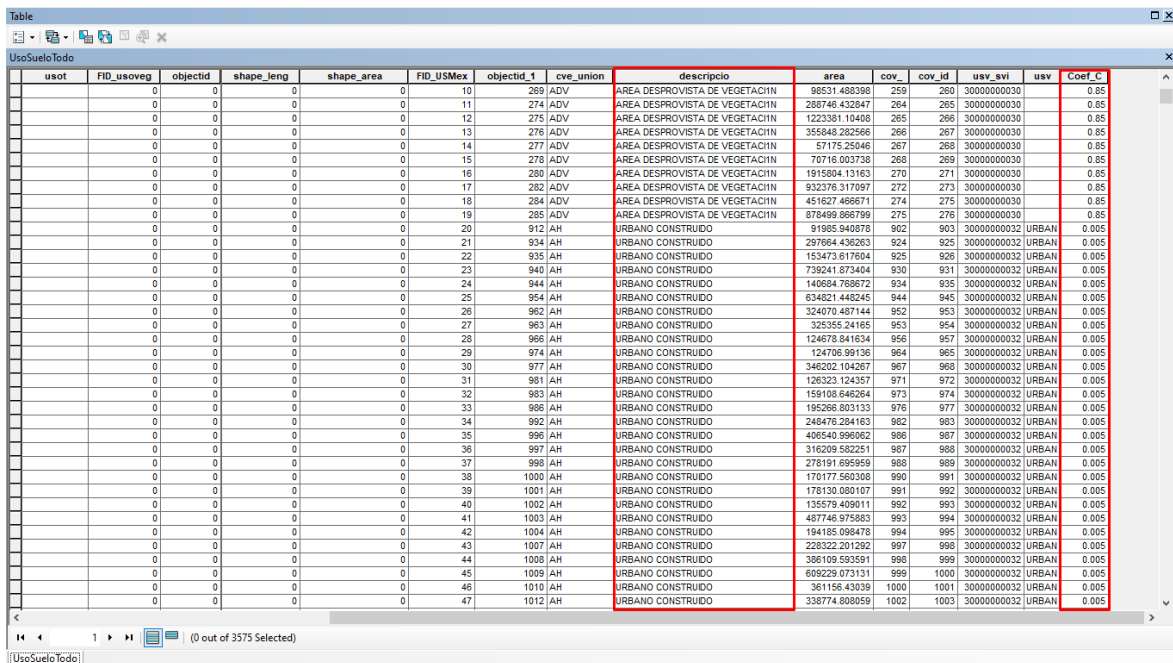
## Factor P

Una revisión de la información no presentó áreas significativas para una determinada práctica de conservación, por lo que el factor P se consideró igual a uno.

Al haber obtenido todos los coeficientes, se calculó la erosión de cada cuenca y la cantidad de material que potencialmente puede llegar a cada Presa.

## II.2 Aplicación de la fórmula universal de pérdida de suelos

En la capa del archivo de "Uso de suelo" se añadió la descripción de cada unidad y su factor correspondiente para poder crear el mapa del factor C en las cuencas por estudiar.



usot	FID_usoveg	objectid	shape_leng	shape_area	FID_USMex	objectid_1	cve_union	descripcio	area	cov	cov_id	usv_svi	usv	Coef_C
	0	0	0	0	10	289	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	98531.488398	259	260	30000000030		0.85
	0	0	0	0	11	274	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	288746.432847	264	265	30000000030		0.85
	0	0	0	0	12	275	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	1223381.10406	265	266	30000000030		0.85
	0	0	0	0	13	276	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	358848.282566	266	267	30000000030		0.85
	0	0	0	0	14	277	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	57175.25046	267	268	30000000030		0.85
	0	0	0	0	15	278	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	70716.003738	268	269	30000000030		0.85
	0	0	0	0	16	280	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	1915804.13163	270	271	30000000030		0.85
	0	0	0	0	17	282	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	932376.317097	272	273	30000000030		0.85
	0	0	0	0	18	284	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	451627.466671	274	275	30000000030		0.85
	0	0	0	0	19	285	ADV	AREA DESPROVISTA DE VEGETACION	878499.966799	275	276	30000000030		0.85
	0	0	0	0	20	912	AH	URBANO CONSTRUIDO	81985.940878	902	903	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	21	934	AH	URBANO CONSTRUIDO	297684.436283	924	925	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	22	935	AH	URBANO CONSTRUIDO	153473.617804	925	926	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	23	940	AH	URBANO CONSTRUIDO	739241.873404	930	931	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	24	944	AH	URBANO CONSTRUIDO	140684.768672	934	935	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	25	954	AH	URBANO CONSTRUIDO	634821.448245	944	945	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	26	962	AH	URBANO CONSTRUIDO	324070.487144	952	953	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	27	963	AH	URBANO CONSTRUIDO	325355.24165	953	954	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	28	966	AH	URBANO CONSTRUIDO	124678.241634	956	957	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	29	974	AH	URBANO CONSTRUIDO	124706.99136	964	965	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	30	977	AH	URBANO CONSTRUIDO	346202.104267	967	968	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	31	981	AH	URBANO CONSTRUIDO	126323.124357	971	972	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	32	983	AH	URBANO CONSTRUIDO	159108.646264	973	974	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	33	986	AH	URBANO CONSTRUIDO	195266.803133	976	977	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	34	992	AH	URBANO CONSTRUIDO	248476.284163	982	983	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	35	996	AH	URBANO CONSTRUIDO	406540.996062	986	987	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	36	997	AH	URBANO CONSTRUIDO	316209.80251	987	988	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	37	998	AH	URBANO CONSTRUIDO	278191.695959	988	989	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	38	1000	AH	URBANO CONSTRUIDO	170177.560308	990	991	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	39	1001	AH	URBANO CONSTRUIDO	178130.080107	991	992	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	40	1002	AH	URBANO CONSTRUIDO	135579.409011	992	993	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	41	1003	AH	URBANO CONSTRUIDO	487746.975883	993	994	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	42	1004	AH	URBANO CONSTRUIDO	194185.98478	994	995	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	43	1007	AH	URBANO CONSTRUIDO	228322.201292	997	998	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	44	1008	AH	URBANO CONSTRUIDO	386109.593591	996	999	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	45	1009	AH	URBANO CONSTRUIDO	689229.073131	999	1000	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	46	1010	AH	URBANO CONSTRUIDO	361156.43039	1000	1001	30000000032	URBAN	0.005
	0	0	0	0	47	1012	AH	URBANO CONSTRUIDO	338774.808059	1002	1003	30000000032	URBAN	0.005

Figura 2.2.1. Introducción de valores del factor "C" en ArcGIS.



Factor de vegetación y cultivo

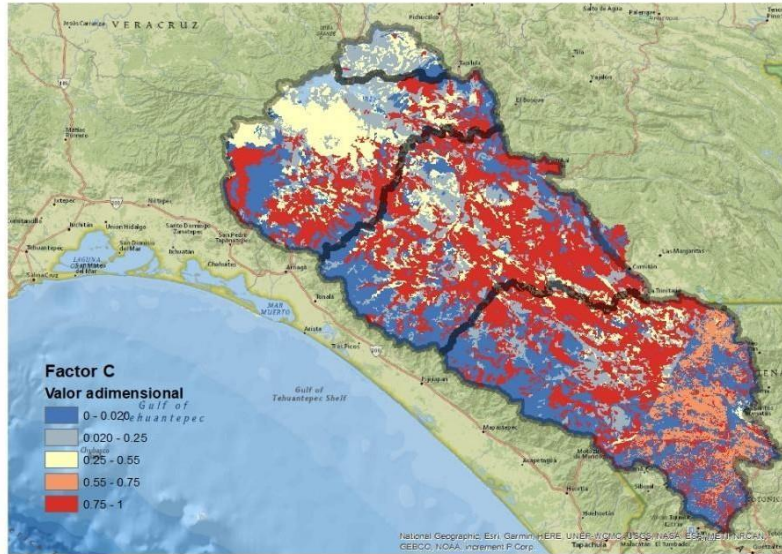


Figura 2.2.2 Mapa del factor “C” en las cuencas: Peñitas, Malpaso, Chicoasén y La Angostura. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

En la capa del archivo de “Edafología” se añadió la descripción de cada unidad y su factor correspondiente para poder crear el mapa del factor K en las cuencas a estudiar.

FID	Shape *	FID_sueloW	AREA	PERIMETER	COV_	COV_ID	SUE1	TEX	FASFSI	FASQUIM	OBSERVACIO	DESCRIPCIO	DESC_TEX	DESC_FASFI	DESC_FAQUI	FACTOR_K	FID_edafol	Suelo	Area
0	Polygon	0	0.093079	5.23506	21627	790	Ah	3	0	0		ACRISOL HUMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
1	Polygon	1	0.078583	4.040181	21944	972	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
2	Polygon	2	0.102548	6.438316	21995	1004	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
3	Polygon	3	0.05563	1.261393	22224	1117	Be	3	0	0		CAMBISOL EUTRICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
4	Polygon	4	0.060455	0.270935	22231	1123	Jg	1	0	0		FLUVISOL GLEYICO	GRUESA	ND	ND	0.026	-1		
5	Polygon	5	0.009674	0.096162	22250	1133	Bc	3	0	0		CAMBISOL CROMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
6	Polygon	6	0.003697	0.520802	22257	1135	Ao	2	0	0		ACRISOL ORTICO	MEDIA	ND	ND	0.04	-1		
7	Polygon	7	0.105083	5.772267	22261	2749	Lo	3	6	0		LUVISOL ORTICO	FNA	LTICA	ND	0.013	-1		
8	Polygon	8	0.000079	0.042196	22282	1143	Ge	3	0	0		SLEYSOL EUTRICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
9	Polygon	9	0.000535	0.113572	22289	1147	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
10	Polygon	10	0.004652	0.472101	22291	1149	Lc	3	0	0		LUVISOL CROMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
11	Polygon	11	0.000411	0.091224	22298	1152	Ge	3	0	0		SLEYSOL EUTRICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
12	Polygon	12	0.007641	1.139365	22309	1156	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
13	Polygon	13	0.000095	0.058781	22311	1158	Je	2	0	0		FLUVISOL EUTRICO	MEDIA	ND	ND	0.04	-1		
14	Polygon	14	0.012551	0.941507	22316	1161	Bc	2	0	0		CAMBISOL CROMICO	MEDIA	ND	ND	0.04	-1		
15	Polygon	15	0.131432	5.947351	22327	41		2	0	0		LTOSOL	MEDIA	ND	ND	0.02	-1		
16	Polygon	16	0.000031	0.024376	22340	1174	Bc	3	0	0		CAMBISOL CROMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
17	Polygon	17	0.002748	0.555875	22344	1176	Bc	3	0	0		CAMBISOL CROMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
18	Polygon	18	0.005927	0.387866	22350	1178	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
19	Polygon	19	0.000125	0.062259	22358	1182	Je	2	0	0		FLUVISOL EUTRICO	MEDIA	ND	ND	0.04	-1		
20	Polygon	20	0.016759	1.083816	22359	1183	Lc	3	0	0		LUVISOL CROMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
21	Polygon	21	0.688509	23.817892	22366	1187		2	0	0		LTOSOL	MEDIA	ND	ND	0.02	-1		
22	Polygon	22	0.000028	0.02985	22367	1188	Ge	3	0	0		SLEYSOL EUTRICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
23	Polygon	23	0.00064	0.305248	22368	1189	Je	1	0	0		FLUVISOL EUTRICO	GRUESA	ND	ND	0.026	-1		
24	Polygon	24	0.000233	0.104239	22376	1193	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
25	Polygon	25	0.000089	0.042988	22377	1194	Bc	3	0	0		CAMBISOL CROMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
26	Polygon	26	0.001792	0.433064	22378	1195	To	1	0	0		ANDOSOL OCRICO	GRUESA	ND	ND	0.026	-1		
27	Polygon	27	0.001334	0.181392	22379	1196	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
28	Polygon	28	0.000657	0.23721	22397	1205	Bc	3	0	0		CAMBISOL CROMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
29	Polygon	29	0.000425	0.194912	22416	1216	Je	2	0	0		FLUVISOL EUTRICO	MEDIA	ND	ND	0.04	-1		
30	Polygon	30	0.000317	0.088769	22418	1217	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
31	Polygon	31	0.000424	0.052618	22424	1222		1	0	0		LTOSOL	GRUESA	ND	ND	0.013	-1		
32	Polygon	32	0.00163	0.416104	22429	1225		2	0	0		LTOSOL	MEDIA	ND	ND	0.02	-1		
33	Polygon	33	0.000554	0.198979	22444	1231	Re	3	0	0		REGOSOL EUTRICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
34	Polygon	34	0.001037	0.151314	22449	1235	Bc	3	0	0		CAMBISOL CROMICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		
35	Polygon	35	0.000171	0.06401	22452	1237	To	1	0	0		ANDOSOL OCRICO	GRUESA	ND	ND	0.026	-1		
36	Polygon	36	0.061622	3.068347	22474	1247	Lc	2	0	0		LUVISOL CROMICO	MEDIA	ND	ND	0.04	-1		
37	Polygon	37	0.000077	0.03903	22490	1254	Ao	3	0	0		ACRISOL ORTICO	FNA	ND	ND	0.013	-1		

Figura 2.2.3 Introducción de valores del factor “K” en ArcGIS

### Factor de erodabilidad del suelo



Figura 2.2.4 Mapa del factor “K” en las cuencas: Peñitas, Malpaso, Chicoasén y La Angostura.  
Fuente: creación propia con datos del INEGI.

### Coefficiente L

En la calculadora se introdujeron los datos que conforman la ecuación para el cálculo del coeficiente “L” y de tal manera obtener el mapa de dicho factor en las cuencas a estudiar.

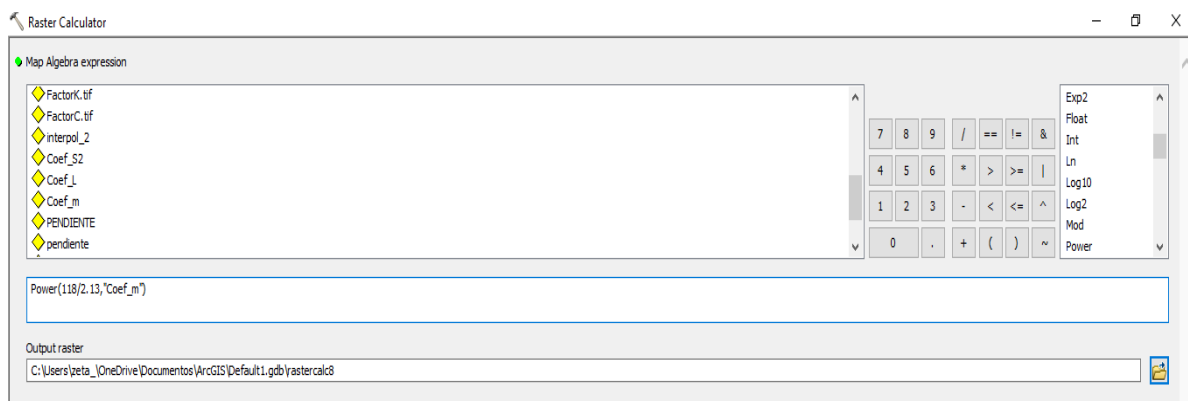


Figura 2.2.5 Cálculo del coeficiente “L” en la calculadora de ArcGIS



### Factor de longitud topográfico

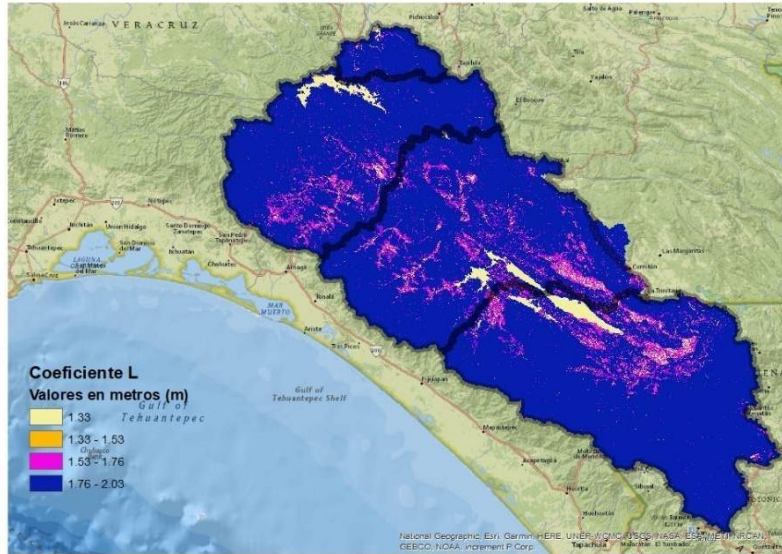


Figura 2.2.6 Coeficiente L en las cuencas de las presas: Peñitas, Malpaso, Chicoasén y La Angostura. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

### Coefficiente S

En la calculadora se introdujeron los datos que conforman la ecuación para el cálculo del coeficiente “S” y de tal manera obtener el mapa de dicho factor en las cuencas a estudiar.

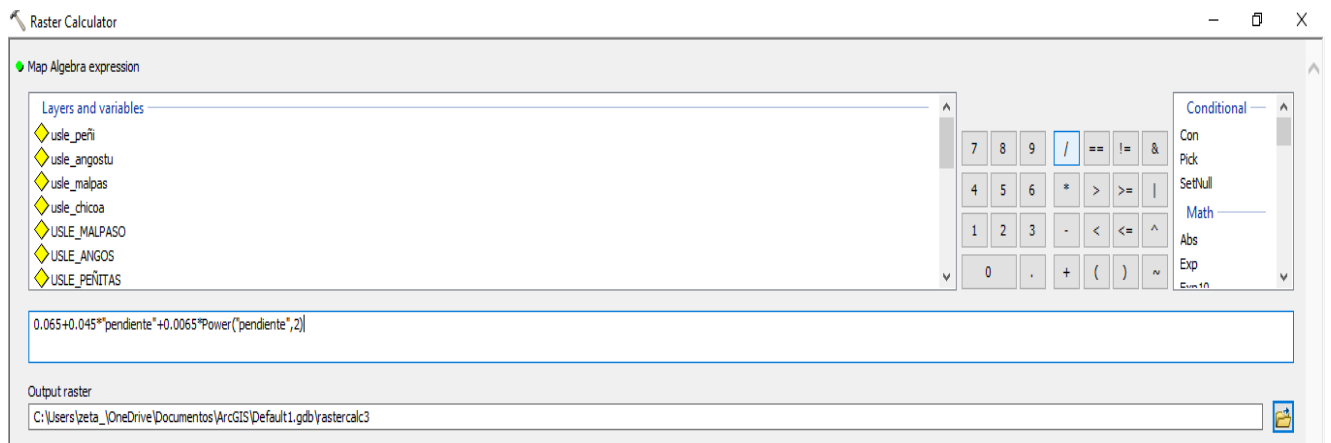


Figura 2.2.7 Cálculo del coeficiente “S” en la calculadora de ArcGIS

Factor de la pendiente topográfica

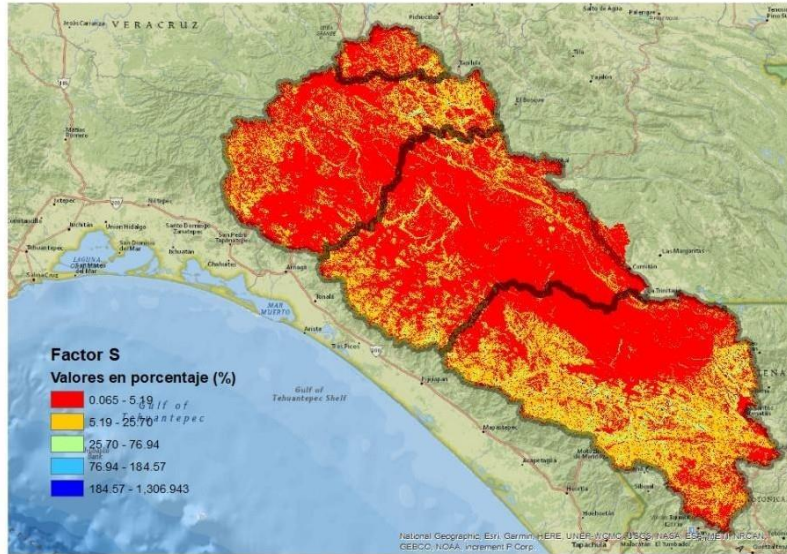


Figura 2.2.8 Factor “S” en las cuencas de las presas: Peñitas, Malpaso, Chicoasén y La Angostura. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

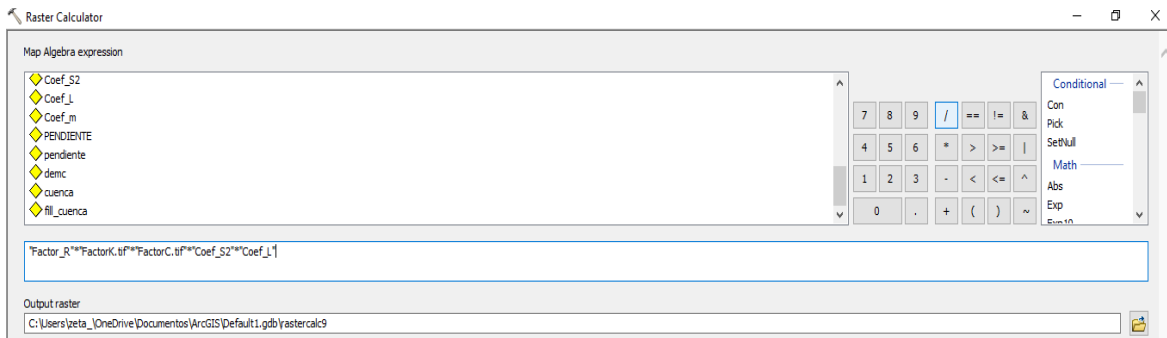


Figura 2.2.9 Cálculo del coeficiente “S” en la calculadora de ArcGIS.

### III. Resultados

#### III.1 Erosión en las cuencas de las presas

Al haber hecho el mapa de erosión de la Cuenca Peñitas, podemos observar que las zonas en donde existe la mayor parte de arrastre de sedimentos es en la parte Noroeste de la cuenca y también en la parte Sureste. Al oeste podemos encontrar de igual manera zonas donde ocurre gran arrastre de sedimentos.

Al analizar los datos obtenidos, podemos detectar que la variable que afecta más las zonas donde el arrastre de sedimentos es muy grande, es el factor "S", o sea, la pendiente es muy pronunciada en esas zonas, por lo que la erosión es mucho mayor en esas áreas.

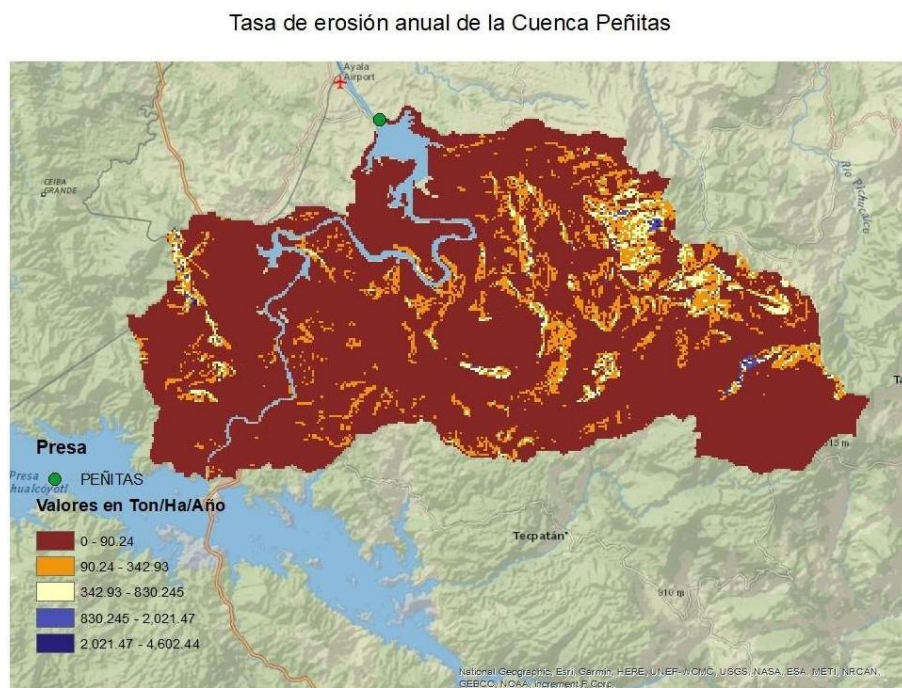


Figura 3.1.1 Valores de erosión de la cuenca Peñitas. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

Para la Cuenca Malpaso la mayor parte de erosión de suelo ocurre en casi toda la parte noroeste de la cuenca y en la parte oeste. El factor que influye directamente en este proceso es la pendiente, o sea el factor "S". En el mapa general de la pendiente nos podemos percatar que, en esas zonas, la pendiente es muy pronunciada.

Tasa de erosión anual de la Cuenca Malpaso

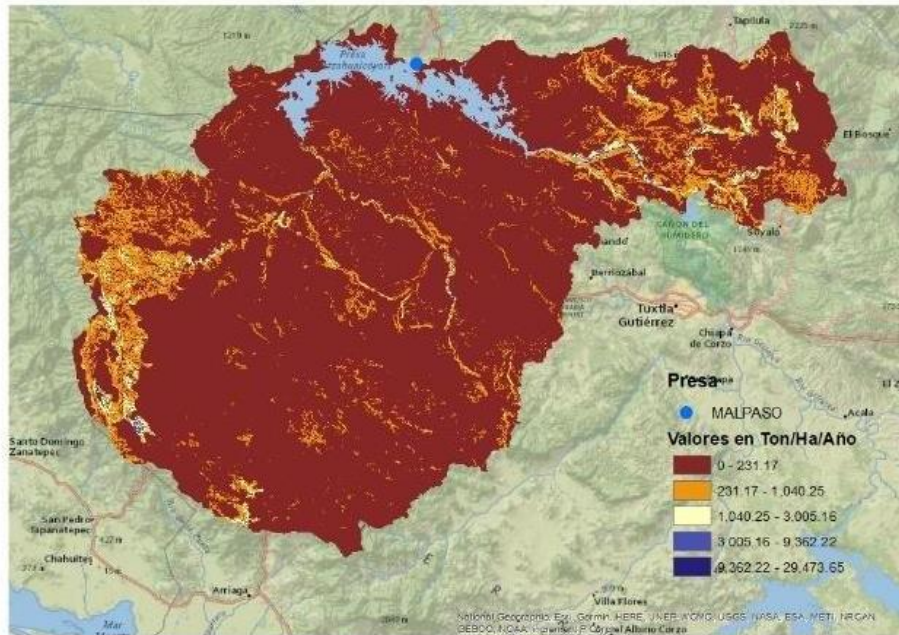


Figura 3.1.2 Valores de erosión de la cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI.



En la Cuenca Chicoasén se distribuyen varias zonas en las que se pueden identificar como grandes áreas propensas a la erosión, en su mayoría están por la parte Noroeste y Suroeste. De igual manera la pendiente es el factor que más influye en este comportamiento.

Tasa de erosión anual de la Cuenca Chicoasén



Figura 3.1.3 Valores de erosión de la cuenca Chicoasén. Fuente: creación propia con datos del INEGI

En el análisis de la cuenca La Angostura, se puede observar que gran parte de la erosión se desarrolla en la parte central y se extiende hasta el sur de la misma. Al analizar el motivo de dicho proceso, se puede observar que las pendientes tan pronunciadas en esas zonas son la causa de la elevada erosión.

Tasa de erosión anual de la Cuenca La Angostura

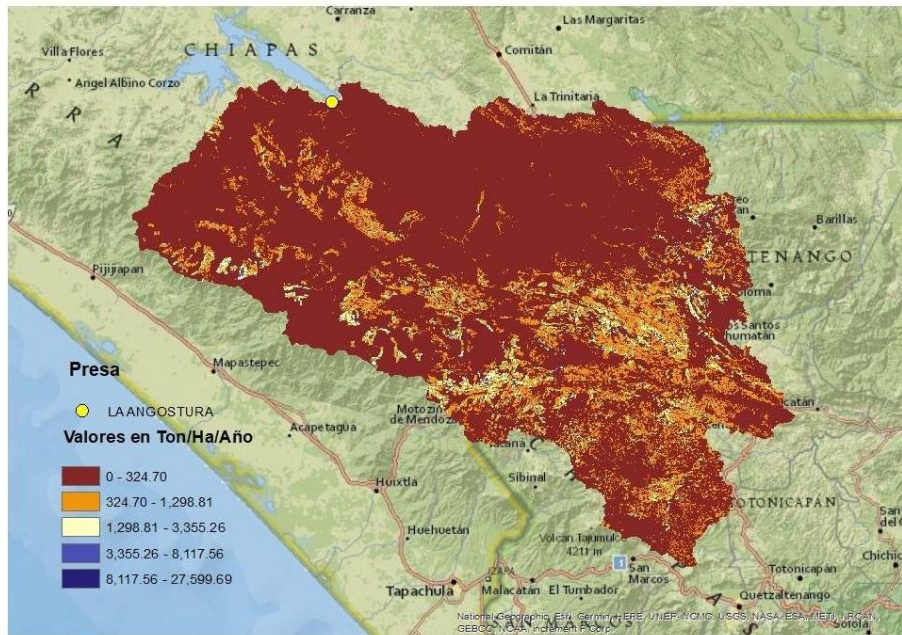


Figura 3.1.4 Valores de erosión de la cuenca La Angostura. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

### III.2 Estimación de la vida útil de presas

En la Figura 3.2.1 Se representa gráficamente el volumen de capacidad respecto al NAMO de los cuatro embalses.

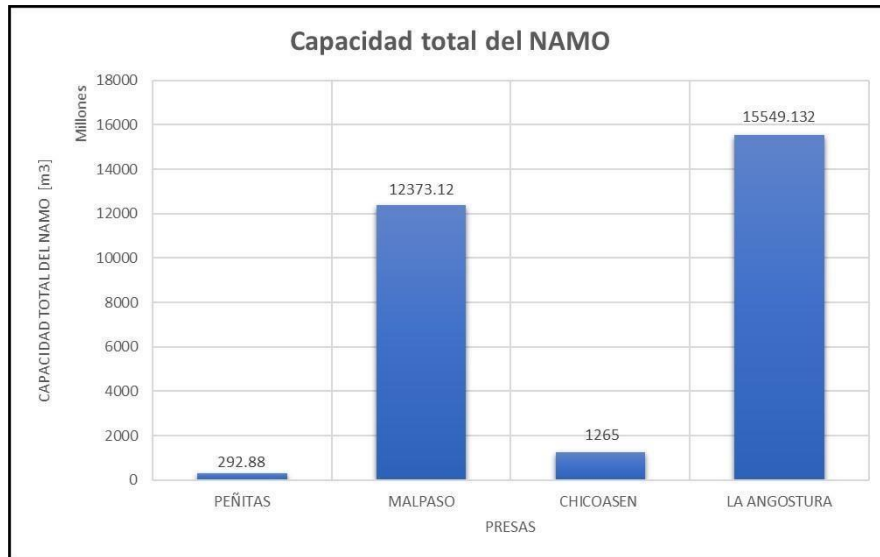


Figura 3.2.1 Gráfica de la capacidad de las presas respecto al NAMO. Fuente: creación propia con datos de CONAGUA.

En la Figura 3.2.2 se indica el volumen de sedimentos erosionados en la cuenca expresados en volumen. Mediante el cálculo realizado en el programa de ArcGIS, se obtuvo el área de todas las cuencas y posteriormente se multiplicó por la erosión promedio anual obtenida.

Tabla 5: Datos obtenidos mediante el proceso de información en ArcGIS.

Nombre de la presa	Área de la cuenca (Ha)	Erosión promedio (Ton/Ha/año)	Erosión anual (Ton/año)
Ángel Albino Corzo (Peñitas)	127416.41	59.452	7575160.407
Nezahualcóyotl (Malpaso)	906874.1973	129.27	117231627.5
Manuel Torres Moreno (Chicoasén)	1186799.525	100.572	119358801.8
Doctor Belisario Dominguez (Angostura)	1369178.771	130.1	178130158.1

Ejemplo:

Para Peñitas se obtuvo un área de 127,416.41 [Ha] y la erosión promedio es de 59.452 [Ton/Ha/Año], al multiplicarlo obtenemos 7,575,160.407 [Ton/Año] (Erosión Anual). La densidad del suelo es de 2.6 [Ton/m<sup>3</sup>] y para obtener el volumen sedimentado se divide la Erosión Anual y la densidad del suelo.

Para Peñitas el volumen de sedimentación anual es de 2,913,523.23 [m<sup>3</sup>/año].

Para todas las demás cuencas se realizaron las mismas operaciones y de tal manera se pudo obtener la gráfica de sedimentación anual.

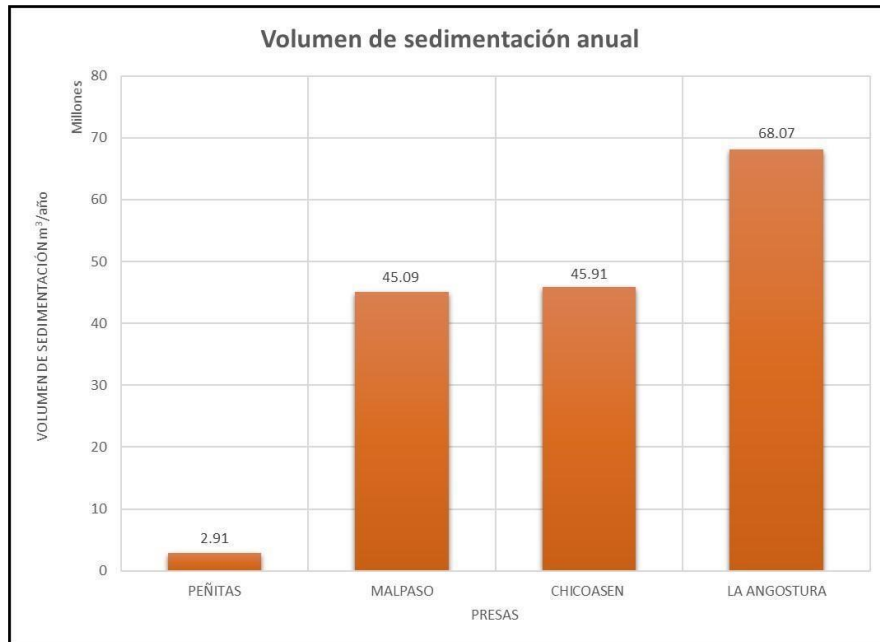


Figura 3.2.2 Gráfica del volumen de sedimentación de cada presa. Fuente: creación propia con datos del INEGI



En la Figura 3.2.3 la gráfica representa el porcentaje de sedimentación anual de cada presa. Se obtuvo mediante la relación del Volumen sedimentado y el NAMO (Nivel de Aguas Máximas Ordinarias).

Ejemplo:

En la presa Peñitas existe un volumen de sedimentación anual de 2,913,523.23 [m<sup>3</sup>/año] y el NAMO es de 292,880,000 m<sup>3</sup>. El resultado es de 1%.

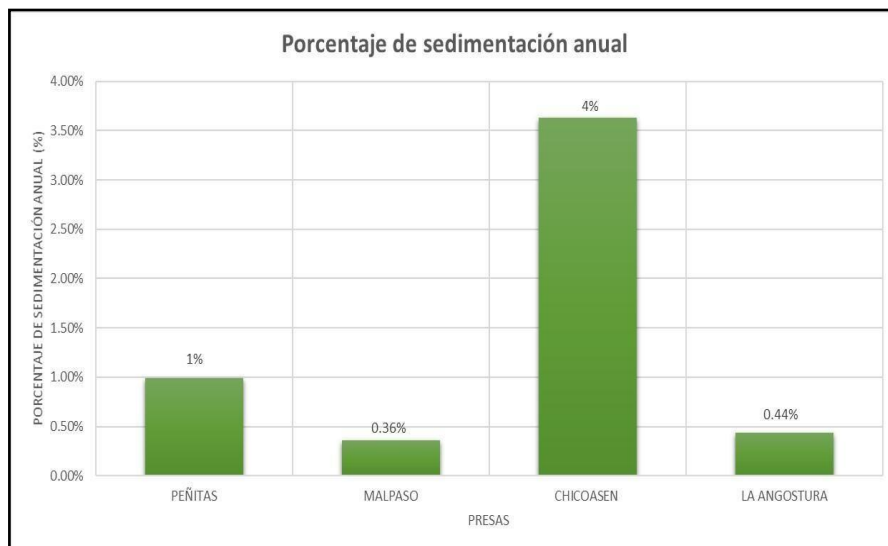


Figura 3.2.3 Gráfica del porcentaje de sedimentación anual de cada presa. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

Podemos observar que de la Figura 3.2.3, la presa que más problemas tiene con la sedimentación anual es la presa Chicoasén. El resultado obtenido es de 4%. De seguir así la presa Chicoasén puede rebasar la capacidad del NAMO en 25 años, por lo que hay que tener en consideración una solución para mitigar el problema.

### III.3 Propuestas para reducir la sedimentación

Se toma como caso de análisis a la presa Malpaso para realizar el estudio de mitigación en el arrastre de sedimentos. Se identificaron tres perfiles de río que aportan sedimentación al embalse de la presa Malpaso debido a que los perfiles cruzan zonas con alta tasa de erosión (Figura 3.3.1). En los tres tramos se propone colocar represas cuya distancia se calcula a partir de la pendiente.

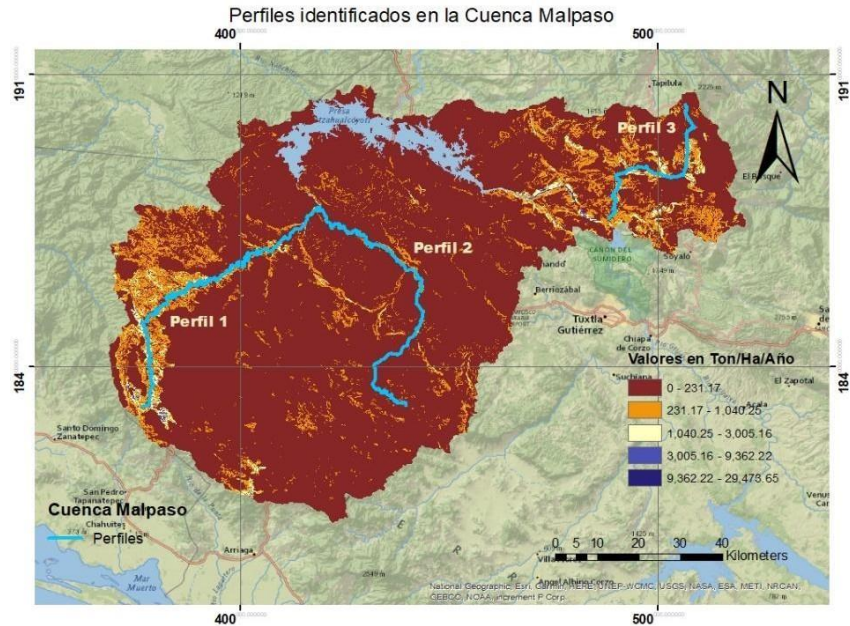


Figura 3.3.1 Imagen de perfiles en la Cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI

En el programa ArcGIS realizó una figura para cada perfil, para poder identificarlos paso a paso. En cada figura se señala los valores de sedimentación, el perfil, la escala y la orientación.

### III.3.1 Perfil 1

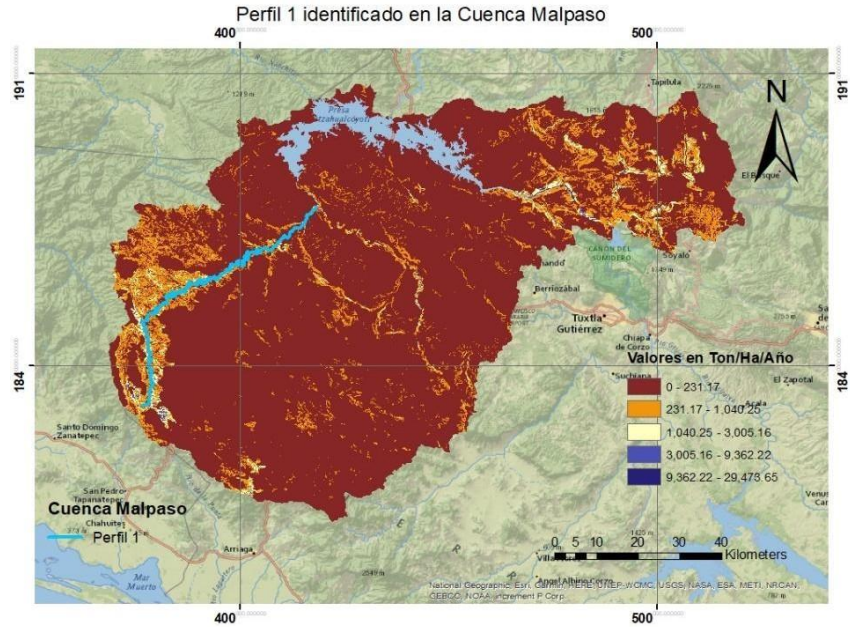


Figura 3.3.2 Imagen del perfil 1 en la Cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

El perfil del tramo 1 se indica en la Figura 3.3.2, y se subdivide en 8 tramos con diferentes pendientes.

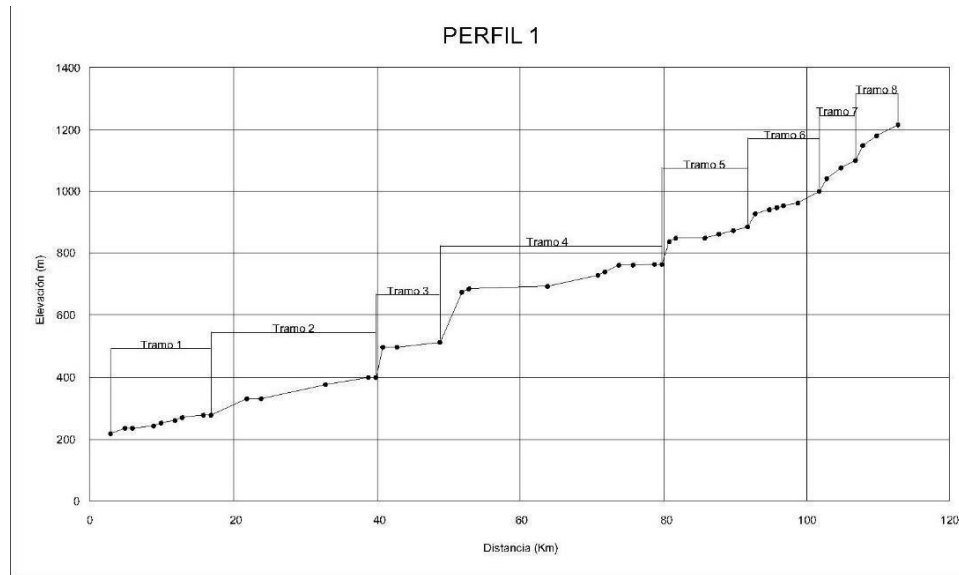


Figura 3.3.3 Gráfica del perfil 1 en la Cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

En la tabla 6 se realizó un resumen de los tramos generados en cada perfil con su respectiva longitud. El trabajo que se realizó tomó en cuenta los datos de la gráfica del respectivo perfil.

De cada tramo se generó una pendiente "S" y de igual manera se obtuvo la longitud "L".

La ecuación que se utilizó fue la siguiente (Mijares, 1992):

$$S = \frac{L}{\left[ \frac{l_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{l_2}{\sqrt{S_2}} + \dots + \frac{l_m}{\sqrt{S_m}} \right]}$$

Donde  $l_i$  es la longitud del tramo  $i$  y  $S_i$  es la longitud del tramo  $i$

Para calcular la pendiente se realizó la siguiente operación:

$$S_i = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Donde:

- $y_1$  y  $y_2$  son los valores de elevación y

- $x_2$  y  $x_1$  son los valores de distancia horizontal entre cada punto.

Para calcular la longitud del tramo se realizó la siguiente operación:

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = l_i$$

-  $y_1$  y  $y_2$  son los valores de elevación;

- $x_2$ ,  $x_1$  son los valores de distancia horizontal entre cada punto y

$l_i$  es la longitud del tramo.

Para calcular el valor "S" se tomaron en cuenta solo los valores de  $S_i$  mayores o iguales a 0.01.

Se está proponiendo que las represas tengan una altura de 3 metros, es decir, que a partir del pendiente multiplicado por la distancia se obtenga un tirante de 3 metros de sedimentación. De tal manera que así se obtuvieron las distancias entre cada represa. Y el número total de represas es la distancia que hay entre cada una de ellas para generar el tirante de sedimentación de tres metros entre la distancia de cada tramo.

Por ejemplo:

Para el Tramo 1 del perfil 1, hay 900 m de distancia en cada represa, entre 14,000.20 m de longitud, obtenemos un valor de 16 represas.

Tabla 6. Distancia entre represas y número de represas en los tramos del perfil 1.

Tramo	Distancia Total [m]	Altura represas [m]	Distancia entre represas [m]	Número de represas calculadas	Número de represas propuestas
1	14000.20	3	900	16	16
2	22000.40	3	700	31	31
3	7004.91	3	900	8	8
4	16004.62	3	460	35	32
5	8002.68	3	410	20	16
6	10001.06	3	370	27	20
7	5001.42	3	185	27	10
8	6001.60428	3	190	32	12

Debido a que en los tramos 5,6,7 y 8 la distancia entre represas es muy corta, se propone colocar las represas a una distancia mínima de 500 metros. De tal manera que se propone colocar 145 represas en el perfil 1.

Todas las operaciones anteriores se realizaron para los perfiles 2 y 3.

### III.3.2 Perfil 2

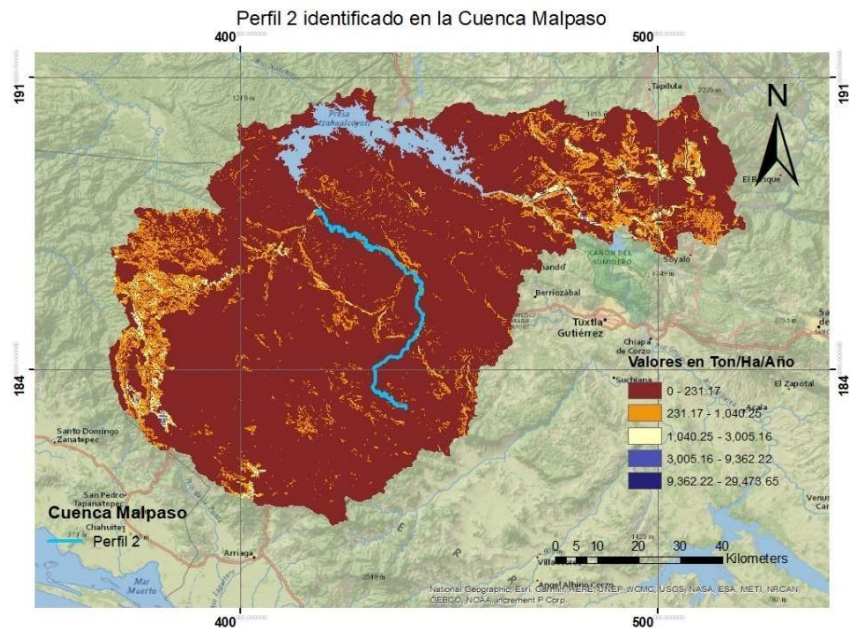


Figura 3.3.4 Imagen del perfil 2 en la Cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

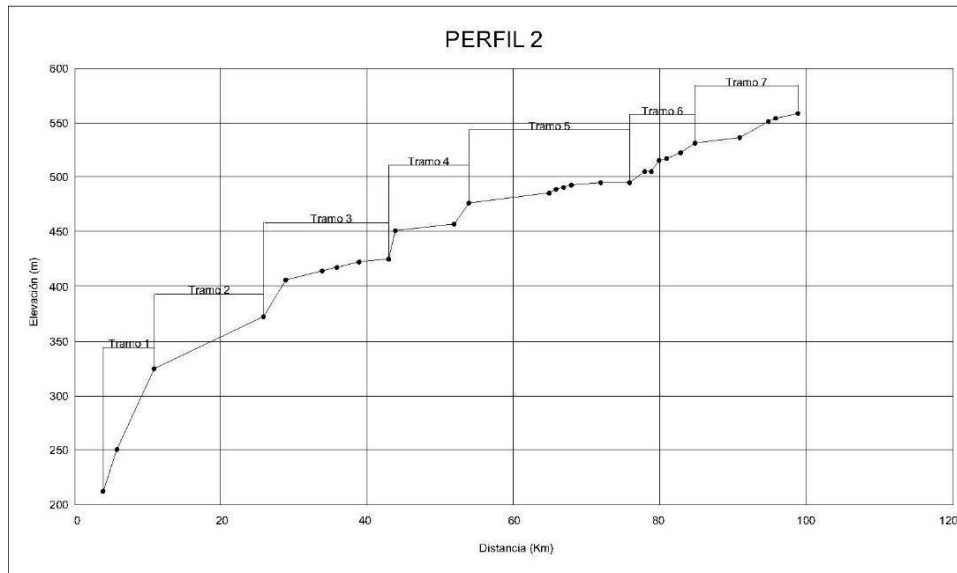


Figura 3.3.5 Gráfica del perfil 2 en la Cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

Tabla 7. Distancia entre represas y número de represas en los tramos del perfil 2.

Tramo	Distancia Total [m]	Altura represas [m]	Distancia entre represas [m]	Número de represas calculadas	Número de represas propuestas
1	2000.38	3	155	13	4
2	20000.62	3	720	28	28
3	13000.21	3	1400	9	9
4	3000.43	3	240	13	6
5	2000.01	3	880	2	2
6	8000.10	3	820	10	10
7	8000.04	3	1300	6	6

El tramo 1 tiene una distancia muy corta entre represas, por lo que se hace un ajuste con la distancia mínima propuesta de 500 metros. En el perfil se colocarán un total de 65 represas.



### III.3.3 Perfil 3

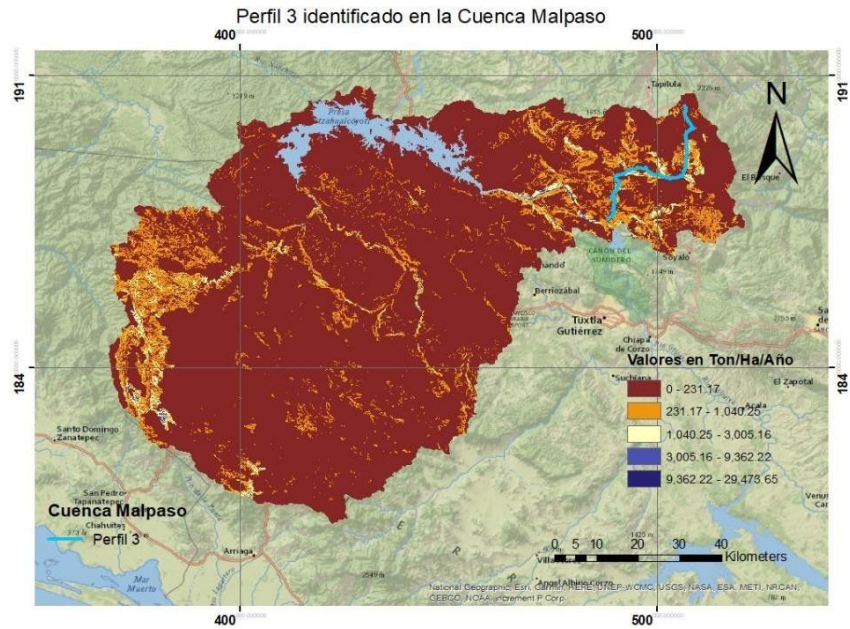


Figura 3.3.6 Imagen del perfil 3 en la Cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

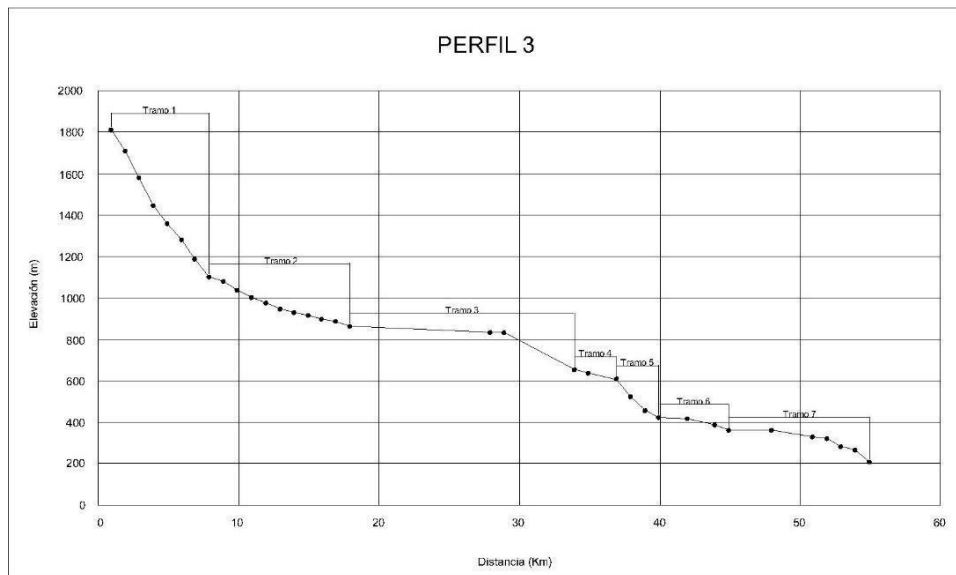


Figura 3.3.7 Gráfica del perfil 3 en la Cuenca Malpaso. Fuente: creación propia con datos del INEGI.

Tabla 8. Distancia entre represas y número de represas en los tramos del perfil 3.

Tramo	Distancia Total [m]	Altura represas [m]	Distancia entre represas [m]	Número de represas calculadas	Número de represas propuestas
1	7037.04	3	100	25	14
2	10003.40	3	880	11	11
3	15003.22	3	550	27	27
4	3000.37	3	200	15	6
5	3006.08	3	100	15	6
6	5000.50	3	400	13	10
7	10003.01	3	450	22	20

En el tramo 1 del perfil 3 se redujo el número de represas debido a que la distancia entre cada una era de 30 metros y se generaban 234, por lo que se propuso un filtro de poner 25 represas a una distancia de 100 metros, pero aun así la distancia era muy corta entre las represas por lo que se aplicó una distancia mínima de 500 metros, las cuales se colocaran en la parte baja del tramo 1. También en el tramo 6 se modificó la distancia entre cada represa, en el primer filtro la distancia entre cada una fue de 100 metros, de igual manera debido a la gran cantidad de represas que se generan con esta distancia, se propuso la distancia mínima de 500 metros, que se construirán en la parte baja de ese tramo.

Para el perfil 3 se colocarán un total de 95 represas.

#### III.4 Gaviones

Los gaviones están hechos de alambre galvanizado, y por lo general son prismas rectangulares que se rellenan de piedras para poder darles forma. Tienen la capacidad de ser flexibles y permeables.

Estas construcciones tienen diferentes objetivos, como lo son: la retención de azolves, estabilizar el fondo de la cárcava, evitar el azolvamiento de las presas, disminuir la velocidad de escurrimiento.

Ventajas:

- Son fáciles de construir.
- Tienen gran capacidad de deformarse sin perder su capacidad de estabilidad.
- Su construcción es de bajo costo.
- Tienen un periodo de durabilidad mayor a 5 años.

Para la construcción de las represas se deben conocer los aspectos topográficos. Para el espaciamiento de las represas consecutivas depende de la pendiente de los sedimentos depositados, de la altura efectiva de las represas y del tratamiento que se pretenda en el control.

Una de las principales formas de espaciar la represa es el criterio cabeza-pie, el cual consiste en construir una represa en la parte donde se terminan los sedimentos depositados. (Martínez & Mota, 2009).



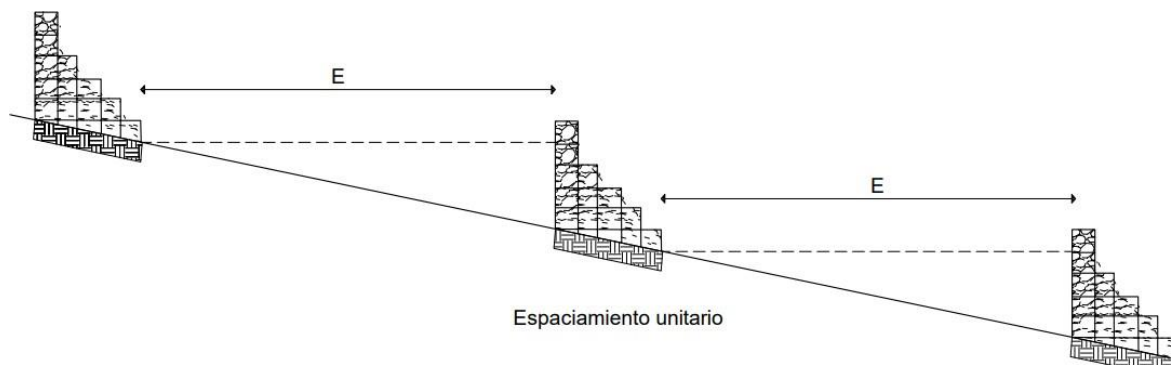


Figura 3.4.1 Perfil de represas con un espaciamiento unitario y criterio cabeza-pie. Fuente: (Martínez & Mota, 2009)

## IV Conclusiones

El trabajo realizado fue para las cuatro presas que están ubicadas en el río Grijalva, las cuales son: Peñitas, Malpaso, Chicoasén y la Angostura, de los cuales se ha obtenido información, tanto de CONAGUA y del INEGI, para calcular el volumen de sedimentos que se generan en cada cuenca y que llegan a cada presa. Los datos obtenidos se analizaron de tal manera que se utilizó la ecuación USLE para poder obtener el resultado. Así también se investigó y se propuso un método para poder mitigar el arrastre de sedimentos que afectan a la vida útil de cada presa.

La presa Chicoasén resultó ser la más afectada por la erosión, ya que anualmente se genera respecto a su volumen total un valor de azolve del 4%. Si no se resuelve dicha problemática, esta presa tendrá una vida útil de solo 25 años.

Para calcular el volumen de sedimentos que se generan anualmente en la cuenca de cada embalse, se utilizó la ecuación del método USLE, desarrollada por Wicksmeier y Smith en 1978.

Para utilizar la ecuación USLE, se realizó el cálculo de cada variable con ayuda del software ArcGIS. Las variables presentes en la ecuación son: A, R, K, LS, C y P.

La variable A fue el resultado obtenido en la multiplicación de todos los demás factores, o sea la pérdida de suelo. El valor R se desarrolló mediante el registro pluviométrico que existen en las zonas a estudiar, y de los cuales se hizo un tratamiento de información para poder hacer el uso de datos de todo su historial de los años que contenían el registro de los 365 días o 366 según el caso. Para poder realizar el factor L y S se descargó previamente un relieve de terreno de la página del INEGI, que, mediante el uso de la calculadora de ArcGIS, se obtuvo el mapa de los factores L y S.

A es la pérdida de suelo en Ton/ha/año

R es el factor de erosividad de la lluvia en Mj/h/año

K es el factor de erodibilidad del suelo en Mj/h/año

LS es el factor de longitud y grado de la pendiente (adimensional)

C es el factor de manejo de vegetación (adimensional)

P es el factor de práctica de manejo (adimensional)

La presa Malpaso tiene el menor porcentaje de volumen de sedimentación, tiene un valor de azolve del 0.36% respecto al NAMO, así que por practicidad se tomó en cuenta Malpaso para el estudio de mitigación de azolves.

Una solución para resolver el problema es el uso de gaviones que se colocarán cuando la pendiente respecto a la distancia den como resultado un tirante de 3 metros de azolve.

## Bibliografía

- Gracia. (1999). *Sedimentación en embalses*. Series Instituto de Ingeniería.
- López, I. (26 de septiembre de 2021). La Angostura. *EL HERALDO*.
- López, I. (02 de junio de 2022). Presa Peñitas. *EL HERALDO*.
- Martínez, A. (05 de agosto de 2021). Presa Malpaso. *Chiapas Paralelo*.
- Martínez, R. L., & Mota, J. L. (2009). Presas de gaviones. *SAGARPA*, 14.
- Mijares, F. J. (1992). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. México: LIMUSA.
- Montes León, M. A., Uribe Alcántara, E. M., & García Celis, E. (2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 17.
- Sánchez, J. G. (1999). Pérdida de Suelos en Cuencas. *Capítulo 17 Manual de Ingeniería de Ríos*, 41.
- Sánchez, J. G. (1999). Sedimentación en embalses. *Capítulo 18 Manual de Ingeniería de Ríos*, 53.
- SINA. (5 de noviembre de 2019). *Principales presas (Nacional)*. Obtenido de sisuar.imta.mx:  
<http://sisuar.imta.mx/aplicacion/vista/presa/presas.php>
- Suárez, E. (05 de junio de 2016). Chicoasén II. *El Heraldo*.
- WRB, I. W. (2014). *Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.