

**Artículo científico**

**Diseño de campo para reducir la erosión hídrica en suelos de la agroindustria azucarera guatemalteca**

Jorge Andrés Robles Rivera  
Ingeniero Agrónomo, M.Sc. GIRH, ERIS-USAC, Guatemala  
Dirección para recibir correspondencia roblesrivera@gmail.com  
Aceptado 12 de julio de 2017 Aprobado 25 agosto de 2017

**Resumen:**

La presente publicación describe los criterios de diseño considerados para la construcción de obras de conservación de suelos y las experiencias obtenidas, desde un punto de vista técnico-científico que busca una mejor gestión de los suelos de la zona. Estudio que fue realizado gracias al apoyo del Ingenio La Unión, el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC- y el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA). Los criterios básicos para el diseño de estructuras de conservación de suelos en estas zonas consideran el registro histórico de las precipitaciones del lugar, topografía y condiciones de los suelos. Los resultados obtenidos en áreas con diseño de conservación de suelos, muestran que las tasas de erosión van de 0.0 T/ha a 7.8 T/ha en 3 meses evaluados, por lo que no se percibe una erosión hídrica neta mayor a la natural o leve (< 10 T/ha/año, FAO 1981); obteniendo volúmenes de 2.9 m<sup>3</sup> a 56.0 m<sup>3</sup> que corresponden al 2.15 % y 12.0 % de la capacidad total de las acequias evaluadas, mostrando de esta manera que las acequias de ladera son estructuras de conservación de suelos, que pueden considerarse como alternativas en el manejo y conservación de los suelos de las partes altas y medias de la zona cañera guatemalteca.

Palabras clave: Acequias de ladera, escorrentía superficial, conservación de suelos, cuenca hidrográfica, sistemas de información geográfica.

**Abstract:**

The following publication describes the design criteria for the construction of soil conservation measures and the experiences obtained, from a technical-scientific point of view that search a better management of the soils in the area. Study that was carried out thanks to the support of Ingenio La Unión, Private Research Institute on Climate Change, Guatemalan Center for Research and Training of Sugarcane. The basic criteria for the design of soil conservation structures in these areas consider the historical record of precipitation area, the topography and the soil conditions. The results obtained in areas with soil conservation design, erosion rates of 0.0 T/ha at 7.8 T/ha in three months evaluated, therefore it does not perceive a net erosion greater than the natural or slight erosion (<10 T/ha/year, FAO 1981); getting volume of 2.9 m<sup>3</sup> a 56.0 m<sup>3</sup> corresponding to 2.15 % and 12.0 % of the total capacity of evaluated ditches, showing in this way that slope ditches are soil conservation structures, which can be considered as alternatives in the direction and conservation of soils in the high and middle parts of the guatemalan sugarcane area.

Keywords: Hillside ditches, surface runoff, soil conservation, watershed geographic information systems.

## Introducción

El estudio fue realizado en dos fincas con cultivo de caña de azúcar, ubicadas en áreas vulnerables a erosión hídrica. Se explican los criterios de diseño considerados para la construcción de acequias de ladera, como estructuras de conservación de suelos y su evaluación de efectividad en la segunda etapa de la época lluviosa del año 2016, esto para contribuir a una mejor gestión de los suelos del sector azucarero guatemalteco, ya que este sector presenta un 43.84% del área superficial total de siembra de caña de azúcar en niveles de erosión que van de fuerte a muy fuerte, pérdidas de suelo de 50 a más de 200 T/ha/año, ubicándose principalmente en lugares con pendientes de 8 % al 20 % (laderas de volcanes y partes media-alta de la zona cañera), altas precipitaciones y propiedades físicas del suelo que propician la erosión. Las acequias de ladera muestran efectividad hasta del 100 %, debido a pueden llegar a retener en su totalidad los sedimentos producidos por la erosión en las áreas de cultivo, mostrando además la infiltración de agua de las lluvias, conservando mayor humedad para el cultivo. La implementación de las prácticas de conservación de suelos, están orientadas a la protección del suelo y al manejo apropiado del agua de escorrentía, con el propósito de brindarle a los cultivos un medio adecuado para su desarrollo fisiológico y mantener la sostenibilidad de los suelos.

## Antecedentes

Reportan que Guatemala en el 2009, perdió más de 274 millones de toneladas métricas de suelo fértil debido a erosión hídrica; siendo la vertiente del Pacífico la más erosionada (710 t/ha/año) duplicando la tasa de erosión de la vertiente del golfo de México (330 t/ha/año) y casi seis veces más que la vertiente del Atlántico (122 t/ha/año) (MARN 2009).

El área de estudio está localizada sobre la cuenca del río Coyolate, que es parte de la vertiente del Pacífico de Guatemala, específicamente en las fincas Belén y Cristóbal que son áreas administradas por el Ingenio La Unión y se encuentran a una elevación entre 100 a 200 msnm.

## Metodología

Los factores que afectan la erosión y la sedimentación están en función del tipo de erosión en cuestión. Sin embargo, como regla general, se puede decir que la

erosión que ocurrirá en un suelo específico va a depender directamente de clima, vegetación, hojarasca, tipo de suelo, topografía, velocidad del flujo y uso de la tierra (Morgan, 2005).

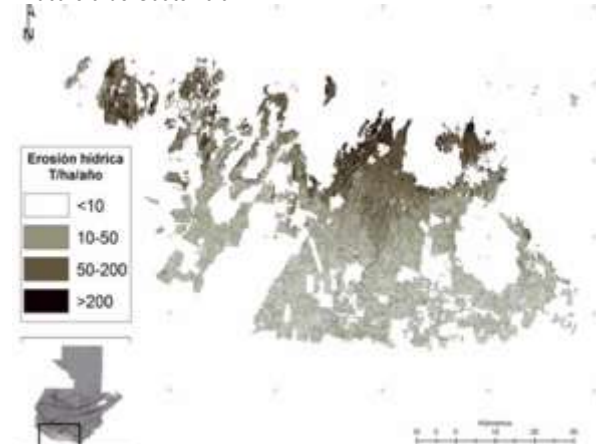
No todos los suelos son iguales en términos de su resistencia a la erosión. La erosibilidad de un suelo en particular está en función de variables como textura, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad (Morgan, 2005).

La topografía es una variable muy importante al momento de predecir la erosión y sedimentación en un sitio dado. Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán producto de una tormenta dada. La distancia horizontal en la que viaja una partícula de suelo desprendida por el impacto de una gota de lluvia, está en directa relación con la inclinación de la pendiente. Por otro lado, la longitud de la pendiente influye en la profundidad y, por ende, el poder erosivo del flujo superficial que se genere, siendo estas variables mayores en las secciones más bajas de la ladera, debido a una mayor área de contribución (García-Chevesich, 2008).

### a. Identificación de áreas con riesgo potencial a erosión hídrica

El primer paso fue la identificación de áreas a priorizar para un diseño de conservación de suelos. Se considerarán para este caso, las fincas Belén y Cristóbal, ubicadas en los niveles de erosión que va de fuerte a muy fuerte. Ver la figura 1 y tabla 1.

Figura 1. Mapa de riesgo potencial a erosión hídrica de la Agroindustria Azucarera de Guatemala



Fuente: ICC, 2016

Nivel de erosión	T/ha/año	Área Afectada (%)
Nula a Leve	< 10	37.84
Moderada	10 - 50	18.33
Fuerte	50 - 200	31.6
Muy Fuerte	> 200	12.24
Total		100

Fuente: ICC, 2016

Se utilizó la cartografía generada por ICC (2016), asociada a un sistema de información geográfica ArcGis10 que predice el riesgo potencial a erosión hídrica de los suelos de la agroindustria azucarera. Se tiene clasificada dicha información, según las pérdidas de suelo propuesta por FAO (1981).

Se priorizaron las áreas con niveles de erosión que van de fuerte a muy fuerte (pérdidas mayores a 50 T/ha/año). La información está disponible en formato ráster, la cual facilitó sobreponer la capa de fincas administradas y cultivadas con caña de azúcar.

**b. Criterios para el diseño de las obras de conservación de suelos**

Para el diseño solo se considera el exceso de agua en la superficie, no tomando en consideración el flujo subsuperficial o subterráneo, ya que el tiempo de retardo es muy largo por lo tanto no tiene gran influencia en el dimensionamiento de la red. En este sistema se considera un área independiente sin aportes externos y en tal caso las entradas se reducen solo a la precipitación sobre el área, la cual es afectada por el sistema suelo-cobertura que regula las salidas: evapotranspiración, infiltración, escorrentía (Villón, B. 2006).

En este caso, estableciendo el balance hídrico, se tiene:

$$P = E_T + I + E$$

$$E = P - I - E_T$$

Dónde:

- E = escorrentía
- P = precipitación
- I = infiltración
- E<sub>T</sub> = evapotranspiración

El tipo de obra y dirección de siembra se determinó considerando la pendiente general del área del terreno, que es un factor importante en la velocidad de escorrentía y la velocidad de infiltración. Ver tabla 2.

Pendiente (%)	Dirección de siembra	Tipo de obras
1.0 – 15.0	Surcos en curvas a desnivel	Acequias de ladera

Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola de Ingenio La Unión. S.A.

Mientras que el distanciamiento entre acequias se determinó considerando la topografía y la precipitación de diseño.

La pendiente interna de las acequias para la conducción del agua de escorrentía también fue importante considerarla, con el propósito de evitar el desmoronamiento y azolvamiento de la estructura (Robles, R. 2016). Ver tabla 3 para la pendiente recomendada.

Textura del suelo	Pendiente (m/km)
Arcilloso	1 - 2
Franco	1 - 1.50
Arenoso	1 - 1.50

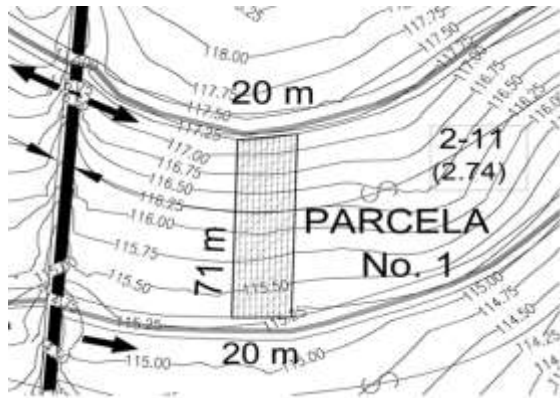
Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola de Ingenio La Unión. S.A.

Para el dimensionamiento de la sección hidráulica de la acequia fue importante la determinación del caudal de diseño que considero como factores la escorrentía superficial y coeficiente de drenaje.

**c. Evaluación de la efectividad de las estructuras de conservación de suelos**

En cada finca se establecieron tres parcelas con varillas para medir la erosión, haciendo un total de 6 parcelas. Cada parcela consistió en una cuadrícula de 20 metros de ancho por una longitud variable, según el distanciamiento entre acequias (ver figura 2).

Figura 2. Unidad experimental, ubicación y distribución de varillas medidoras de erosión.



Las varillas fueron de 1 metro de longitud, distribuidas de forma sistemática, siguiendo la dirección del surco, separándose entre varillas, paralelamente al surco, a cada dos metros, hasta completar los 20 metros de ancho de la parcela, y separadas a cada 2.8 metros perpendiculares a los surcos, de acequia a acequia, de tal forma que las varillas queden en las mesas de los surcos a un distanciamiento de 2 metros por 2.8 metros. Las siguientes expresiones matemáticas se utilizaron para determinar el proceso de erosión media y sedimentación media:

$$E = h * \rho * 10$$

Dónde:

- E = erosión media (T/ha)
- h = altura media de suelo (mm)
- ρ = densidad aparente del suelo (T/m<sup>3</sup>)

La erosión neta (En) es la diferencia entre la erosión y la sedimentación ocurrida en una ladera, expresada en metros cúbicos por hectárea o toneladas por hectárea. Para cuantificar la erosión neta se utilizó la erosión media (erosión bruta) así como la sedimentación ocurrida. La expresión matemática permitió describir la totalidad de suelo que se erosionó en el terreno, expresado en toneladas por hectárea.

$$En = E - S$$

Dónde:

- En = Erosión neta media (T/ha)
- E = Erosión normal media (T/ha)
- S = Sedimentación media (T/ha)

Si la tasa de sedimentación supera la tasa de erosión, se considera una erosión neta de cero o nula.

Para la estimación de la cantidad del suelo sedimentado en las estructuras de conservación de suelos se utilizaron varillas medidoras de erosión (clavos de erosión) de un metro de longitud, colocados al centro de las acequias, separadas entre sí 10 metros lineales. Se evaluaron las acequias de aguas arriba y aguas debajo de cada parcela, totalizando 12 acequias de ladera.

El total de varillas a utilizar fue de 443.

Figura 3. Acequia de ladera con cobertura vegetal.



Fuente: Ingenio La Unión, S.A

## Resultados

El análisis de los registros históricos de precipitaciones de dichas fincas, permitió obtener un promedio, el cual se utilizó para determinar el distanciamiento entre obras de conservación de suelos. Ver tabla 4.

Tabla 4. Distancia entre acequias, recomendada con base a la precipitación en la finca.

Pendiente (%)	Precipitación (mm)			
	Intervalo vertical		Intervalo Horizontal	
	< 1,200	>1,200	< 1,200	>1,200
Distancia medida en metros				
0.5	0.66	0.65	132	130
0.6	0.67	0.66	112	110
0.8	0.69	0.67	86	84
1.0	0.71	0.69	71	69

Pendiente (%)	Precipitación (mm)			
	Intervalo vertical		Intervalo Horizontal	
	< 1,200	>1,200	< 1,200	>1,200
	Distancia medida en metros			
2.0	0.81	0.76	41	38
2.2	0.83	0.78	38	35
2.4	0.85	0.79	35	33
2.6	0.87	0.81	33	31
2.8	0.89	0.82	32	29
3.0	0.92	0.84	31	28
4.0	1.02	0.92	26	23
5.0	1.12	0.99	22	20

Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola de Ingenio La Unión. S.A.

Luego se determinó el área de drenaje de cada sección, para calcular el volumen de escorrentía o descarga que recibiría cada acequia de ladera. Ver tabla 5.

**Tabla 5. Cálculo del volumen por área entre acequias con base a una intensidad de diseño de 5.90 mm en 15 minutos.**

Área m <sup>2</sup>	Intensidad	Volumen m <sup>3</sup>
	(mm/15 min)	
60,200	5.9	0.395
60,100	5.9	0.394
57,800	5.9	0.379
53,700	5.9	0.352
51,100	5.9	0.335

De acuerdo a las descargas obtenidas en la tabla 5, se diseñaron acequias de ladera como estructuras de conservación de suelos, de forma trapezoidal.

**Figura 4. Vista aérea de las acequias de laderas construidas.**



Fuente: Ingenio La Unión, S.A.

Finalmente se evaluó la efectividad de las estructuras de suelos diseñadas y construidas en dichas fincas, en donde las tasas de erosión van de 0 T/ha a 7.8 T/ha en 3 meses evaluados, por lo que no se percibe una erosión hídrica neta o mayor a la natural o leve (< 10 T/ha/año, FAO 1981, velocidad promedio de formación del mismo).

### Análisis de resultados

La tasa máxima permisible, cuando se habla de erosión del suelo es de 10 T/ha/año, por lo que todo territorio cuyas pérdidas de suelo no superen las 10 T/ha/año no presentarán pérdidas netas, siendo en la zona cañera un 37.84 % del área superficial que está dentro de este nivel de erosión hídrica (Dumas S. 2012).

En cuanto a la evaluación de la efectividad de las acequias de ladera, se demostró que éstas retienen hasta el 100 % de los sedimentos producidos en los lotes o áreas de cultivo, obteniendo volúmenes de 2.9 m<sup>3</sup> a 56.0 m<sup>3</sup> que corresponden al 2.15 % y 12.0 % de la capacidad total de las acequias evaluadas, dato importante para la planificación del mantenimiento de estas.

El balance entre erosión, en la faja cultivable, o área entre estructuras de conservación de suelos y sedimentación en las estructuras de conservación de suelos mostró lo siguiente:

La tasa máxima potencial de suelo en movimiento fue de 179 T/ha/mes (13.82 mm) en finca Belén, mientras que para finca Cristóbal I se obtuvo una tasa máxima potencial de 96.4 T/ha/mes (7.41 mm), trasladándose a cortas distancias y sedimentándose.

Considerando que la erosión de los suelos es un proceso natural, y que en suelos agrícolas depende del manejo (cobertura y prácticas de conservación de suelos que se estén implementando), las obras de conservación de suelos como las acequias de ladera, son efectivas para reducir los niveles de erosión hídrica y filtración de agua de lluvias.

## Conclusiones

Los criterios básicos para el diseño de estructuras de conservación de suelos, comprenden el conocimiento del registro histórico de las precipitaciones del lugar que puede ser por debajo o arriba de los 1200 mm de precipitación anual acumulada, una intensidad de diseño 0.39 mm/minuto, el área de recarga en metros cuadrados y la textura del suelo.

Las acequias de ladera, como estructuras de conservación de suelos retienen hasta el 100 % de sedimentos producidos por erosión hídrica, y sus dimensiones oscilan entre 0.75-1.00 metros de profundidad, con una pendiente de conducción de escorrentía que va desde 1-2 m/km. Esto con el propósito de conducir adecuadamente el caudal de descarga sin que se presente el desmoronamiento de los taludes de la acequia.

Los resultados obtenidos muestran que las acequias de ladera son estructuras de conservación de suelos que pueden considerarse como alternativas en el manejo y conservación de los suelos de las partes altas, porque logran que las tasas de erosión se encuentren dentro las 0 T/ha a 7.8 T/ha en 3 meses.

La acumulación de sedimentos dentro de las acequias, mostró ocupar volúmenes que van de 2.9 m<sup>3</sup> a 56.0 m<sup>3</sup> que corresponden a un 2.15 % y 12.0 % de la capacidad total de estas estructuras, evidenciando su efectividad y acierto en cuanto al diseño, ya que se prolonga la vida efectiva de estas y/o mantenimiento.

## Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al apoyo del departamento de Ingeniería Agrícola del Ingenio La Unión y al Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-.

## Referencias

Dumas Salazar, Á. 2012. Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo. Tesis

MSc. TIC. España, Universidad Complutense de Madrid. 48 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (1981). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Memoria y mapas. Roma, Italia. 83 p.

García-Chevesich, P. 2005. Changes on soil resources following the historical Rodeo-Chediski wildfire in Arizona. M. Sc. Thesis. Watershed Management. School of Natural Resources. The University of Arizona. 87 p.

ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT). (2016). Riesgo potencial a erosión hídrica para la planificación del manejo y conservación de suelos de la agroindustria azucarera guatemalteca. Guatemala. 15 p.

MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2009. Informe ambiental del estado: GEO Guatemala, Guatemala, MARN. 286 p.

Morgan, R. 2005. Soil erosion and conservation. National Soil Resources Institute. Cranfield University. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 304 p.

Robles Rivera, J. A. (2016). Informe de los resultados obtenidos en obras de conservación de suelos en las fincas Belen y Cristóbal. Escuintla, GT. Ingenio La Unión. Departamento de Ingeniería Agrícola.

Villón B., Máximo. (2006). Drenaje. Ciudad de Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 1 era. Edición. 544p

## Información del autor

Ingeniero agrónomo en RNR graduado en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el año 2007.

M.Sc. en Gestión Integrada de Recursos Hídricos de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Labora actualmente en el departamento de Ingeniería Agrícola de Ingenio La Unión.