

Diseño de dos propuestas de obras de conservación de suelos para mitigar daños en un terreno con problemas de erosión tipo cárcava, Zona de Los Santos, Costa Rica

Design of two proposals for soil conservation works to mitigate damage in a land with gully-type erosion problems, Los Santos area, Costa Rica

Mariela Chinchilla-Ureña¹, Isabel Guzmán-Arias²,
Fernando Watson-Hernández³, Catalina Vargas-Meneses⁴

Fecha de recepción: 5 de septiembre, 2022
Fecha de aprobación: 3 de febrero, 2023

Chinchilla-Ureña, M; Guzmán-Arias, I; Watson-Hernández, F; Vargas-Meneses, C. Diseño de dos propuestas de obras de conservación de suelos para mitigar daños en un terreno con problemas de erosión tipo cárcava, zona de los santos, costa rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 4. Octubre-Diciembre, 2023. Pág. 124-136.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i4.6376>

- 1 Universidad Estatal a Distancia/Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: machinchilla@uned.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-5326-864X>
- 2 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: iguzman@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-5553-3977>
- 3 Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica.
Correo electrónico: fwatson@itcr.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0001-8258-4668>
- 4 Universidad Estatal a Distancia. Correo electrónico: cvargasm@uned.ac.cr
 <https://orcid.org/0000-0002-8555-4496>

Palabras clave

Conservación de suelo; cárcava; erosión del suelo; café.

Resumen

La conservación del recurso suelo, representa una medida de prevención en el aprovechamiento adecuado para las poblaciones actuales y futuras, sin embargo, en los últimos años es cada vez más común el impacto del cambio climático; con daños tangibles y muchas veces difíciles de superar. Adicionalmente, los productores no siempre cuentan con las herramientas y el soporte técnico para hacer un uso combinado de la práctica productiva con la conservación suelo y esto impide las acciones preventivas ante la acelerada erosión del suelo por el agua. En este artículo, se presentan dos propuestas de diseño de obras de conservación de suelo que buscan mitigar los daños presentes en una finca en San Pedro de Tarrazú, Costa Rica, donde se encuentra la problemática de erosión de suelo de tipo cárcava. Se determinaron variables hidrológicas y características del suelo en estudio para hacer el cálculo de pérdida de suelo por medio de la ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE), dando como resultado, una pérdida de suelo en promedio de 20,54 Toneladas por hectárea al año. De ahí que la implementación de las obras de conservación diseñadas son la clave para reducir la pérdida de suelo significativamente. Estas obras consistieron en el diseño de terrazas, zanjas de infiltración tipo trampa, barreras vivas, cultivos a contorno y árboles para sombra y amarre de suelo.

Keywords

Soil conservation; gully; soil erosion; coffee.

Abstract

The conservation of the soil resource represents a preventive measure in the adequate use for current and future populations, however, in recent years the impact of climate change is increasingly common; with damage are tangible and often difficult to overcome. Additionally, producers do not always have the tools and technical support to make a combined use of the productive practice with soil conservation and this prevents preventive actions in the face of accelerated soil erosion by water. In this article, two design proposals for soil conservation works are presented that seek to mitigate the damage present on a farm in San Pedro Tarrazú, Costa Rica, where the problem of gully-type soil erosion is found. Hydrological variables and characteristics of the soil under study were determined to calculate soil loss by means of the universal soil loss equation (RUSLE), resulting in an average soil loss of 20.54 tons per hectare per year. Hence, the implementation of the designed conservation works is the key to significantly reduce soil loss. These works consisted of the design of terraces, trap-type infiltration ditches, live barriers, contour crops and trees for shade and soil tying.

Introducción

La intensidad de la erosión del suelo está determinada por las características fisiográficas como lo es la pendiente e hidrológicas de un área de captación, como la cantidad de lluvias presentes en una zona, estas características reunidas hacen que la Zona de Los Santos en general sea una zona propensa a deslizamiento por sus condiciones de alta pendiente y ubicado en un país tropical, registrando datos de alta intensidad de precipitación durante la estación lluviosa. Los daños consecuencia del cambio climático son tangibles y graves según [1] cada año ocurre una reducción anual en los rendimientos de los cultivos del 0,4% al 0,8%. La problemática de

la pérdida de suelo en Costa Rica, se evidencia con las cifras de la comisión asesora sobre degradación de tierras (CADETI), las cuales, dictaminan que “Cerca de unos 110 kilómetros cuadrados de la geografía costarricense están afectados por la erosión, deslaves, pérdida de fertilidad y otros fenómenos asociados al suelo a través de un alto impacto referente a la producción agropecuaria...”[2]. La erosión que causa la escorrentía de agua es un problema recurrente en las áreas agrícolas, especialmente en las zonas montañosas [4]. Para el estudio en cuestión, con el fin de plantear estrategias al cambio climático a una finca dedicada al cultivo de café, en la cual se presentan altas pendientes (con valores que rondan desde los 23% hasta 31%) en la mayor parte de su extensión territorial, y dar solución a la formación de caravas; tipo de erosión hídrica que consiste en canales superficiales formados cuando los arroyuelos se combinan, se desarrollan al grado de que no pueden ser eliminadas por las operaciones normales de labranza [3] Mexico, is a semi-arid area located west of the Sierra Madre Oriental and exhibits severe erosion. Remontant gully erosion occurring in two agricultural soils (Chihue and Alamar.

Los factores involucrados en estos procesos de erosión son textura del suelo, conductividad hidráulica, precipitación máxima, cobertura, erodabilidad, erosividad, pendiente, entre otros; a partir de estos factores se utiliza la ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE) [5], que evidencia que en la finca con las condiciones actuales se pierde una cantidad considerable de suelo. Esta pérdida de suelo genera una afectación directa sobre el productor, ya que, los rendimientos del cultivo disminuyen y provocando una mayor inversión en el uso de fertilizantes y agroquímicos, aumentando costos y disminuyendo los ingresos. Por tales razones se utilizó el método RUSLE para cuantificar la pérdida de suelo y de esta manera proponer el diseño de dos esquemas o planes de estructuras que ayudarán a mitigar y controlar los problemas de erosión presentes en el área de estudio, con esto se logra determinar si los procesos de escorrentía y erosión del suelo tienen efectos en el sitio y fuera del sitio que podrían amenazar la disponibilidad y sostenibilidad de los recursos hídricos en una cuenca. La comprensión de la escorrentía basada en eventos y la erosión del suelo ayudan a administrar los esquemas existentes de recolección de agua [6].

Metodología

Características de la zona de estudio

La zona en estudio pertenece a una microcuenca ubicada en la Zona de Los Santos, específicamente entre los cantones de Dota y Tarrazú. Este sector del país que se distingue por su producción cafetalera, se caracteriza por una época lluviosa de siete meses (mayo a noviembre) y seca (diciembre a abril) bien definidas, situación que favorece la floración del café, además la altitud óptima para el cultivo de café se encuentra entre los 500 y 1700 msnm, por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta [7]. Sin embargo, en la zona de los santos se siembra café a altura mayores y menores de las recomendadas, dicho caso se da en la finca en estudio donde se presentan alturas desde los 1715 y 1835 msnm.

Además, al ser parte de un país tropical se presentan altas precipitaciones, en promedio la precipitación es de 2.400 milímetros por año, con una temperatura promedio anual de 19°C según datos del ICAFE [7]. La temperatura promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C, provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes. Por otra parte, las precipitaciones mayores de 3000 mm, la calidad física del café puede comenzar a verse afectada. Por lo que, la zona de los santos reúne las características de precipitación y temperatura adecuadas para el buen desarrollo de la planta de café.

Cuantificación de la erosión

La erosión del suelo, a menudo es impulsada por el exceso de escorrentía superficial, los agentes erosivos, que se relacionan con la erosión hídrica como la precipitación, la cobertura vegetal, la topografía y las propiedades del suelo; la interacción entre ellos determina la magnitud y la tasa de erosión del suelo. La presencia de cobertura vegetal juega un papel importante en la prevención de la erosión del suelo, debido a que esta incrementa la resistencia del suelo al aumentar el contenido de materia orgánica. Es por esta razón, que es importante hacer la clasificación de uso de suelo, para comprender mejor el manejo de la finca y además tener cuantificados y caracterizados todos los factores que intervienen en el proceso de pérdida del suelo; según la metodología de la ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE).

Para cuantificar la pérdida de suelo con las condiciones actuales de la finca, en la cual no se aplican hasta el momento ninguna práctica de conservación de suelo, se determinan los factores de: Erodabilidad (K), Erosividad, Cobertura, topografía (LS), prácticas de conservación (P), Condición hidrológica, infiltración potencial máxima (S) y la escorrentía potencial, se introducen a la ecuación universal de pérdida de suelo que corresponde a:

$$A = R * K * L * S * C * P \quad (1)$$

Donde:

A es la media de la pérdida de suelo anual en, ton/ha/año, K es erodabilidad del suelo en, t ha h/ha MJ mm, L es el factor de longitud de cuesta, S es el factor de pendiente de cuesta, R es el factor de erosividad de la lluvia en, MJ mm/ha h, C es el factor vegetación y P es el factor de prácticas de apoyo o manejo del suelo. [8]

El factor de Erodabilidad (K)

Se obtuvo con los valores de porcentaje limos más arenas muy finas, porcentaje de arenas, materia orgánica, estructura del suelo y permeabilidad se utilizó la siguiente ecuación para determinar su valor:

$$K = \frac{([2,1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1,14} + 3,35 * (s - 2) + 2,5 * (p - 3)])}{100} \quad (2)$$

Donde:

M: (%limo + %amf) *(100-%arcilla). K = Erodabilidad ((ton*acre*h)/(100*acre*ft*tonf*in)). OM= porcentaje de materia orgánica (m). S = estructura del suelo. P= permeabilidad. K=0 suelo muy erosionado. K=1 suelo muy erosionado.

El Factor de erosividad

Se obtuvo teóricamente de datos de una estación en Copey de Dota los cuales se encontraron en un documento llamado “el potencial erosivo de la lluvia en Costa Rica” [9] y se multiplicó por un factor de 0,1702 para convertir el valor al Sistema Internacional de unidades.

Factor de cobertura

Se determinó el ciclo fenológico del cultivo, en este caso café para relacionar cada etapa del ciclo con un factor de manejo de cultivo apropiado y así finalmente realizar una ponderación de este a lo largo del tiempo total del ciclo de cultivo.

Factor de topografía (LS)

El cálculo del factor L se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$L = \left(\frac{x}{72,6}\right)^m \quad (3)$$

Donde:

L= factor de longitud de la zona de estudio. X= proyección horizontal de la zona de estudio (ft).

M= exponente del factor L de la zona de estudio.

Para obtener el exponente m se utilizó la Ecuación 4.

$$m = \frac{\text{sen}\theta}{\text{sen}\theta + 0,269(\text{sen}\theta)^{0,8} + 0,05} \quad (4)$$

Donde:

m= exponente del factor L. θ = ángulo de la pendiente (grados).

El factor de inclinación se calculó con la siguiente, debido a la ladera tiene pendiente mayor al 9%.

$$S = 16,8 \cdot \text{sen}\theta - 0,5 \quad (5)$$

Donde:

S= factor de inclinación.

θ = ángulo de la pendiente (grados).

Se determinaron los valores correspondientes a las variables de práctica de conservación (P), tomando en consideración la pendiente y la forma del cultivo.

La condición hidrológica se determina la cobertura vegetal, y el grupo de suelo que corresponde al de la zona de estudio según la tasa de infiltración, luego, se determinó la condición de humedad antecedente (CHA), lo que permite clasificar el número de curva.

Con respecto a la infiltración potencial máxima, se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = \left[\frac{1000}{NC} - 10\right] * 2,54 \quad (6)$$

Donde:

S: Infiltración potencial (cm).

NC: número de curva

Por último, la escorrentía potencial de acuerdo con el método de número de curva, la escorrentía de diseño se obtiene mediante la ecuación 7 que se muestra a continuación:

$$E = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (7)$$

A partir de que se conoce la situación actual en la finca, con respecto a la pérdida de suelo, se procede a diseñar dos propuestas, que consistieron, la primera en utilizar varias prácticas de conservación de suelos que trabajan mejor en conjunto, las cuales son: Zanjas de infiltración, barreas vivas, cultivos a contorno y árboles para sombra y amarre del suelo. Y la segunda consistió en el diseño de terrazas, con barreras vivas, y árboles para sombra y amarre del suelo.

Diseño de obras

Zanjas de infiltración

Con el dato del caudal obtenido por escorrentía, se toma el dato pendiente y el espaciamiento se establece según el ministerio de agricultura y riego el distanciamiento para terrenos con cobertura vegetal va desde los 11 m a los 30 m y sin cobertura vegetal desde los 12 m a los 45 m. El espaciamiento de la zanja está dado por la siguiente ecuación:

$$a = \frac{1000bc}{(Q \cos(\alpha))} \quad (8)$$

Donde:

$$\theta = \arctan \left(\frac{\text{pendiente}\%}{100} \right) \quad (9)$$

Se calculó el área de la zanja (bc) según la ecuación que se observa a continuación:

$$bc = a * Q * \cos(\theta) \quad (10)$$

Donde:

bc=área de la zanja (m²).

A= espaciamiento de la zanja (m).

Q= escorrentía (m).

Barreras vivas

Se determinó la longitud de las barreras en cada zona en dirección de la máxima pendiente. Después se determinó el factor a según la pendiente y el factor b tomando en cuenta la condición hidrológica. Con estos datos y la pendiente de cada zona se calculó el índice vertical mediante la ecuación de Hudson mostrada a continuación.

$$IV = a * P + b \quad (11)$$

Donde:

IV= índice vertical (m).

a y b = factores de pendiente y condición hidrológica.

P= pendiente (%).

Se procedió a calcular el índice horizontal con la ecuación 12 y con este valor se determinó el distanciamiento entre barreras por medio de la ecuación 13 y por último se obtuvo el número de barreras a realizar con la ecuación 14.

$$IH = \frac{IV}{P} * 100 \quad (12)$$

$$D = \sqrt{IV^2 + IH^2} \quad (13)$$

$$N = \frac{L}{D} \quad (14)$$

Cultivos a contorno

Por medio del modelo de elevación digital de trazaron las curvas de nivel, con el distanciamiento entre cultivo se generó un mapa de recomendación de siembra.

Árboles para sombra y amarre del suelo

Se consultó con el dueño de la finca que especie de árbol es de su preferencia para sombra dentro del cafetal a partir de esto se recomienda hacer barrera de árboles forestales seleccionados cada 12 a 15 metros. Más o menos entre 40 y hasta 70 árboles forestales por hectárea.

Terrazas

Se diseñó la estructura para terrazas tipo banco, donde se debe cuantificar una serie de variables interrelacionadas entre sí, como el intervalo vertical entre terrazas (IV), inclinación del talud (I), Altura de talud (At), ancho del talud (tA), ancho de terraza (TA) que tendrán las terrazas en función de la pendiente del terreno, el ancho de banco deseado, tomando en consideración que las terrazas fueran construidas a mano o con maquinaria. Las variables de conducción de agua determinan la cantidad de agua que captara cada banco o capacidad de los bancos, mientras que el desnivel junto con el ancho y profundidad de la conducción de la corriente de agua, establecen el caudal y velocidad de conducción que ellas tendrán hacia los caminos de agua. La capacidad de los bancos fue calculada a través de las siguientes ecuaciones:

$$SP = TA * LT \quad (15)$$

$$Cb = \left(\frac{P * E}{3600} \right) * SP \quad (16)$$

Donde:

SP: Superficie protegida por cada terraza (m²).

TA: Ancho terraza (m).

LT: Largo de la terraza (m).

Cb: Capacidad de los bancos (m³/s).

P: Intensidad de precipitación (mm/h).

E: coeficiente de escorrentía(m).

Luego se concluye su diseño determinando la sección transversal, el volumen de tierra por terraza y la superficie cultivable, lo cual se observa en las ecuaciones 17, 18 y 19.

$$St = \frac{Ab * At}{8} \quad (17)$$

$$Vt = St * LT \quad (18)$$

$$Sc = \frac{LT * Ab}{10000} \quad (19)$$

Donde:

St: Sección transversal (m²).

Ab: Ancho del banco (m).

At: Altura talud (m).

Vt: volumen de tierra por terraza (m³).

LT: Largo terraza.

Sc: Superficie cultivable (%de una hectárea).

Resultados

Erodabilidad

Con las siguientes características de suelo se aplicó la fórmula expuesta para Erodabilidad en metodología: MO [%] 1,5700 Estructura s: 2,0000, Conductividad [cm/h]: 34,1200 Conductividad [in/h]: 13,4320 Permeabilidad p: 1,0000 Limos + amf: 52,0000 Suma arenas: 10,0000. De donde se obtuvo un valor de: 0,169 ton*acre*h/100*acre*ft*tonf*in o 0,022 ton*ha*h/ha*MJ*mm. Este dato en teoría para suelo franco arcilloso corresponde de 0,28 ton*acre*h/100*acre*ft*tonf*in se puede observar que es un valor muy próximo, por lo cual se acepta.

Erosividad

Se determinó que la estación meteorológica más cercana a la zona de estudio es la de Copey de Dota de donde se toma el valor de erosividad que corresponde a: 19,573 Ton*ha*h/ha*MJ*mm. Dato tomado del documento de “potencial erosivo de la lluvia en Costa Rica” [9].

Cobertura

Se seleccionó un cultivo de café con cobertura al cual le corresponde un valor C de: 0,3 [10].

Factor LS

Se obtuvo un valor de 13,88 LS donde el factor promedio L corresponde a 3,47 y el factor S promedio de 3,97

Práctica de conservación

Se seleccionó el valor de 0,9, el cual corresponde a la práctica de conservación de cultivo a contorno para un terreno con una pendiente aproximada de 25% o más.

Ecuación “RUSLE”

Se obtuvo según la situación actual presente en la zona una pérdida de suelo de: 1,63 Ton*h/ Ha*año, este valor multiplicado por el área de 12,60 ha se estima una pérdida promedio de: 20,54 Ton*h/año. Valores que evidencian claramente los problemas presentes en el terreno. De hecho, según [11] estima que entre 20 y 50 Ton*h/año corresponde clasificación de riesgo de erosión muy alto.

La condición hidrológica antecedente, el grupo de suelos y el cálculo del número de curva, se muestran en el cuadro 1:

Cuadro 1. Condiciones hidrológicas presentes en el terreno en estudio.

Condición Hidrológica	Buena
Grupo de suelos	D
Número de curva	86

A partir del cálculo de la infiltración y la escorrentía potencial se obtuvo una infiltración potencial de 4,1349 cm y una escorrentía potencial de 47,9007 cm.

Propuesta de diseño 1

Zanjas de infiltración trampa

Se utilizaron los siguientes parámetros de diseño:

S (%): 31,1034, S [m/m]: 0,3110, Escorrentía [m]: 0,4790, Angulo (Rad): 0,3015

a [m]: 15,0000 y bc [m²]: 6,8609

En la figura 1 se detalla la distribución de las zanjas de infiltración, donde se observa que la distancia entre estas es de 14 m en la horizontal y 15 m en la vertical, con un área de 7 m²

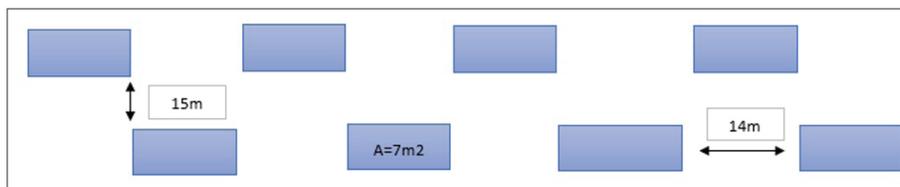


Figura 1. Zanjas de infiltración tipo trampa.

Barreras vivas

Se hace una división del terreno en tres secciones A1, A2 y A3, para analizar más a detalle la topografía del terreno y obtener resultados más ajustados. En la figura 2 se observa un mapa con esta división realizada.

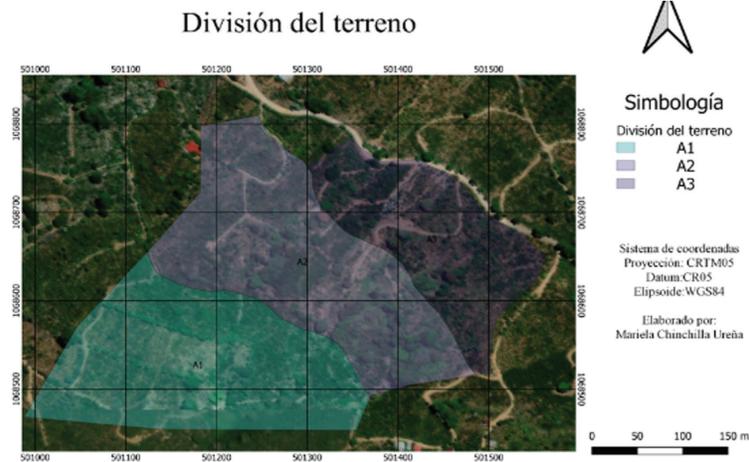


Figura 2. División del área de estudio en relación con la topografía.

En el cuadro 2 se toma en consideración distintos parámetros para determinar el número de barreras vivas que se deben implementar por división.

Cuadro 2. Parámetros de diseño de barreras vivas en las tres divisiones del terreno.

Zona	A1	A2	A3
Longitud del terreno [m]:	329,3420	376,0700	310,9560
S (%)	31,1000	28,7100	23,1800
IV [m]:	126,4400	126,4400	126,4400
IH [m]:	406,5000	440,3300	545,5100
D [m]:	425,7100	458,1200	559,9800
N Barreras:	1,0000	1,0000	1,0000

Como resultado se determinó un total de una barrera viva por zona para un total de tres en todo el terreno, se decidió utilizar zacate limón como barrera viva debido a que este presenta características que ayudan a reducir la velocidad del agua por cortar la ladera en pendientes más cortas, sirviendo además como filtro de los sedimentos que van en el agua de escurrimiento, debido a que tiene un macollamiento fuerte formando rápidamente una barrera densa, además [12] lo recomiendan para el control de la erosión y porque son los de mayor efectividad.

Cultivos a contorno

La siembra de cultivos a contorno consistió en la preparación de las hileras del cultivo en contra de la pendiente siguiendo las curvas a nivel, por lo que se debe trazar las curvas de nivel cada dos metros y realizar la siembra con un distanciamiento de un metro entre plantas.

Árboles de sombra y amarre del suelo

Se seleccionó el Poró (*Erythrina poeppigiana*) como árbol de sombra y amarre del suelo debido a que corresponde el árbol de preferencia del dueño del terreno y, también que corresponde a una de las especies de árboles recomendadas según la teoría, siguiendo las recomendaciones de teoría se colocan cada 15 metro aproximadamente 50 árboles por hectárea.

Propuesta de diseño 2

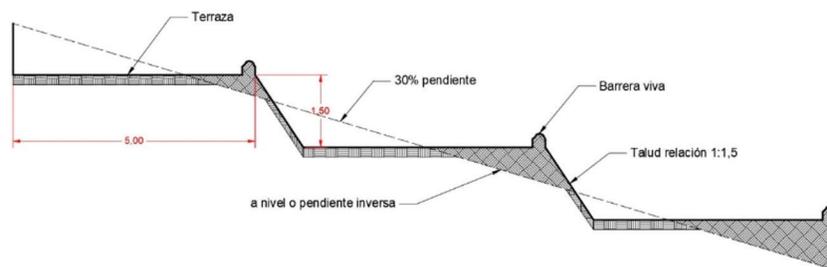
Terrazas

Se diseñó la propuesta de terrazas ya sea construidas manualmente o con maquinaria, en el cuadro 3, se indican las dimensiones de las terrazas:

Cuadro 3. Diseño de terrazas construidas manualmente y construidas con maquinaria.

Dimensiones de terrazas	Terrazas de banco construidas manualmente	Terrazas de banco construidas con maquinaria
Ancho (m)	4,0000	4,0000
Pendiente %	30,0000	30,0000
IV	1,5500	1,7000
IB	0,0000	0,0000
At	1,5500	1,7100
Ta	1,1600	1,7100
TA	5,1600	5,7100
LT	100,0000	100,0000
P(mm/h)	72,0000	72,0000
SP (m2)	516,0000	571,0000
E	0,8000	0,8000
Cb (m3/s)	8,2560	9,1360
St (m2)	0,7750	0,8550
Vt (m3)	77,5000	85,5000
Sc (%)	0,0400	0,0400

En la siguiente figura se ejemplifica las dimensiones de las terrazas construidas a mano:



Terrazas Banco construidas a mano

Figura 3. Terrazas construidas a mano.

Aplicación de la ecuación “RUSLE” para las propuestas de diseño

Se calculó nuevamente la pérdida de suelo, pero con la implementación de las propuestas de diseño para cuantificar la pérdida de suelo con los diseños instalados.

Con la implementación de la propuesta 1 se modifica el factor LS, obteniendo un promedio de 3,09 como factor LS, este se disminuye considerablemente, ya que se modifica la longitud a 15 metros. Para la propuesta 2 al implementar terrazas en la zona en estudio se modifica el factor de práctica de conservación de cultivo a contorno a cultivo en terrazas pasando de un factor de 0,90 a uno de 0,18. Se obtiene una pérdida de suelo promedio en la zona de estudio de: 4,56

Ton*h/año para la propuesta 1 y 4,11 Ton*h/año para la propuesta 2. Estos resultados reflejan, que se disminuye considerablemente el riego de erosión, pasando de un riego muy elevado a un rango de 2 a 5 Ton*h/año, que [11] clasifica como bajo.

Discusión

Los resultados obtenidos de la ecuación universal de pérdida de suelo, evidencia que, con las condiciones actuales, se pierde una cantidad severa de suelo, por ende, la productividad va ir en declive y los costos de producción van a aumentar, dado que se debe de garantizar nutrientes a las plantas y esto será directamente proporcional a un incremento en el consumo de agroquímicos para el productor. Esto genera a nivel local una situación ambiental inminente, debido a que, el lavado de los agroquímicos va a llegar a los cuerpos de agua, así como gran cantidad de sedimentos que generaran problemas de represamiento y desborde de los causes, por otro lado, el desgaste de los suelos para la producción compromete la seguridad alimentaria. Otra gran evidencia es que la zona es propensa a deslizamiento, en el pasado ha sido víctima de deslizamientos, que han representado las pérdidas materiales e inclusive pérdidas humanas, estos riesgos responden al uso de suelo que se le da en las partes altas. El dato de pérdida de suelo obtenido está muy relacionado a la topografía de la zona, ya que, está presenta altas pendientes, y que es una zona en la que gran parte del año se presenta altas precipitaciones, condiciones que contribuyen a la erosión del suelo, además, la práctica de conservación viene a ser la respuesta para contrarrestar los daños, pero, la limitación de acciones por parte de los agricultores a cambiar sus prácticas agrícolas son la respuesta a que se presente un riesgo severo a la erosión. Esto se evidencia más claro al implementar las propuestas de diseño, ya que, en la primera propuesta se cambia el factor topográfico y en el segundo la práctica de conservación. En ambas propuestas estas modificaciones disminuyen significativamente la pérdida de suelo. En la primera propuesta de diseño, las zanjas de infiltración permiten reducir los problemas de erosión en el terreno al modificar el factor LS, disminuyendo la velocidad de escorrentía, tal como lo demuestran estudios anteriores. De este modo la longitud de cada zona será igual al distanciamiento que tendrán las zanjas de infiltración. Y las barreras vivas funcionarían como protección a las zanjas de infiltración modificando el factor C al aumentar la cobertura vegetal, ya que se decidió cultivar zacate limón para retener la escorrentía que las zanjas no logren infiltrar. Para complementar este sistema, se utilizarían árboles de amarre y sombra de suelo, que ayudarían a sostener el suelo por el incremento de cobertura vegetal y por las raíces de los árboles. En la segunda propuesta de diseño se modifica el valor de práctica de conservación, pasando de no tener ninguna a implementar el uso de terrazas, este cambio se vuelve representativo, debido a que se pasa de un valor de 0,90 a 0,18 lo que disminuye la pérdida de suelo a 4,11 Ton*h/año, que corresponde a un daño bajo, además que como en la primera propuesta, se complementa el sistema con barreras vivas y árboles para sombra y amarre de suelo.

Conclusiones y recomendaciones

En la zona de estudio se ha comprobado la presencia de cárcavas y un terreno con condiciones de topografía, clima y cobertura vegetal, que coadyuvan procesos de erosión altos, obteniéndose una pérdida de suelo promedio de 20,54 Ton*h/año.

Además, se evidencia la importancia de las obras de conservación de suelo, debido a que se determinó que reduce en gran proporción la pérdida de suelo promedio en ambas propuestas, pasando de una pérdida de 20,54 Ton*h/año a 4,56 Ton*h/año con la propuesta 1 y 4,11 Ton*h/año con la propuesta 2. Se recomienda iniciar con el proceso de restauración de cárcava lo antes posible, para evitar que esta siga creciendo, también una vez que la

propuesta estructural este instala se recomienda realizar un estudio de suelo para verificar si las prácticas de conservación están cumpliendo con su función adecuadamente y contribuyen a las características del suelo.

Referencias

- [1] H. Fang, "Impacts of rainfall and soil conservation measures on soil, SOC, and TN losses on slopes in the black soil region, northeastern China," *Ecol. Indic.*, vol. 129, p. 108016, 2021, doi: 10.1016/j.ecolind.2021.108016.
- [2] FAO, "Agronoticias: Actualidad agropecuaria de América Latina y el Caribe," 2015. [http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/516589/#:~:text=%22El 10%25 de Costa Rica,de la Desertificación de Tierras.](http://www.fao.org/in-action/agronoticias/detail/es/c/516589/#:~:text=%22El%20de%20Costa%20Rica,de%20la%20Desertificaci%C3%B3n%20de%20Tierras.)
- [3] P. Rivera Ortiz, J. E. Rivera Larraga, E. Andrade Limas, F. de la Garza Requena, B. Castro Meza, and F. Belmonte Serrato, "Gully erosion measurement with satellite images.," *Medicion la Eros. en carcavas por medio imagenes satelite.*, vol. 32, no. 1, pp. 13–21, 2014, [Online]. Available: <http://portal.chapingo.mx/terra/index.php?module=resumenes&id=321013>.
- [4] W. Halecki, E. Kruk, and M. Ryczek, "Loss of topsoil and soil erosion by water in agricultural areas: A multi-criteria approach for various land use scenarios in the Western Carpathians using a SWAT model," *Land use policy*, vol. 73, no. October 2017, pp. 363–372, 2018, doi: 10.1016/j.landusepol.2018.01.041.
- [5] I. Asensio, M. Ramón, G. Blanquer, and J. Manuel, "La ecuacion universal de perdida de suelo (USLE)," *Univ. Politec. Val.*, vol. 1, no. 1, p. 10, 2012, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/16849>.
- [6] B. Grum *et al.*, "Catena water harvesting techniques on event-based hydrological responses and sediment yield at a catchment scale in northern Ethiopia using the Limburg Soil Erosion Model (LISEM)," *Catena*, vol. 159, no. September 2016, pp. 20–34, 2017, doi: 10.1016/j.catena.2017.07.018.
- [7] ICAFE, "Tarrazú," 2015. <http://www.icafe.cr/nuestro-cafe/regiones-cafetalaras/tarrazu/>.
- [8] G. Almoza, Yeleine; Schiettecatte, Wouter; Medina, Hanoi; Alonso, "El uso de datos pluviométricos para la determinación del factor erosividad de las precipitaciones en el modelo RUSLE," *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.*, vol. 17, no. 1, pp. 38–43, 2008, [Online]. Available: http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11_00_art11.pdf.
- [9] W.-G. Vahrson, "El potencial erosivo de la lluvia en Costa Rica," *Agron. Costarric.*, vol. 14, no. 1, pp. 15–24, 1990, [Online]. Available: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v14n01_015.pdf.
- [10] E. Lianes, M. Marchamalo, and M. Roldán, "Evaluación del Factor C de la Rusle para el Manejo de Coberturas Vegetales en el Control de la Erisón en la Cuenca del Río Birris, Costa Rica.," *Agron. Costarric.*, vol. 33, no. 2, pp. 217–235, 2009, [Online]. Available: www.mag.go.cr/rev_agr/v33n02_217.pdf.
- [11] E. Gürtekin and O. Gökçe, "Estimation of erosion risk of Harebakayış sub-watershed, Elazığ, Turkey, using GIS based RUSLE model," *Environ. Challenges*, vol. 5, no. June, p. 100315, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100315.
- [12] FAO - MAG, "Las Barreras Vivas Y Su Aplicación," 1999, [Online]. Available: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_xi/a50-6907-III_003.pdf.