



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

Sede Santo Domingo

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS
NATURALES**

Informe de propuesta tecnológica para obtener el título de:
INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES

**DISEÑO DE TERRAZAS AGRÍCOLAS EN TERRENOS CON PENDIENTE
UTILIZADOS PARA LA GANADERÍA**

Autora

GENESIS ANDREA GUTIERREZ MOROCHO

Director

ING. RODRIGO ALBERTO SAQUICELA ROJAS, MSc.

Santo Domingo de los Tsáchilas – Ecuador

Mayo – 2018

**DISEÑO DE TERRAZAS AGRÍCOLAS EN TERRENOS CON PENDIENTE
UTILIZADOS PARA LA GANADERÍA**

Ing. Rodrigo Alberto Saquicela Rojas, *MSc.*
DIRECTOR

APROBADO

Lcdo. Marco Jácome Rivera, *MSc.*
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Tania Mendoza Rodriguez, *MSc.*
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Miriam Natividad Recalde Quiroz, *MSc.*
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Santo Domingo,.....de.....de 2018

Autor:	GENESIS ANDREA GUTIERREZ MOROCHO
Institución:	UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Título:	DISEÑO DE TERRAZAS AGRÍCOLAS EN TERRENOS CON PENDIENTE UTILIZADOS EN LA GANADERÍA
Fecha:	MAYO, 2018

El contenido del presente trabajo está bajo la responsabilidad del autor y no ha sido plagiado.



Genesis Andrea Gutierrez Morocho
C.I. 1715947873

Santo Domingo, 26 de abril de 2018

Señora Ingeniera
Karina Cuenca Tinoco, *Msc.*
DIRECTORA ACADÉMICA (E) UTE-SD
Presente.-

Señora Directora:

Mediante la presente tengo a bien informar que el trabajo escrito de titulación realizado por la señorita: *GENESIS ANDREA GUTIERREZ MOROCHO*, cuyo título es: “*DISEÑO DE TERRAZAS AGRÍCOLAS EN TERRENOS CON PENDIENTE UTILIZADOS PARA LA GANADERÍA*”, ha sido elaborado bajo mi supervisión y revisado en todas sus partes, *el mismo que no ha sido plagiado*, por lo cual autorizo su respectiva presentación.

Particular que informo para fines pertinentes.

Cordialmente,



Ing. Rodrigo Alberto Saquicela Rojas, MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme haber llegado a este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres por la confianza manifestada, sus consejos y su ejemplo me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada.

A mis abuelitos Tomas e Hilda por todo el apoyo y la confianza brindada, además por demostrarme todo su amor en el trayecto de mi vida. A mis hermanos Lisseth y Richard y mi sobrino Alessandro por desearme lo mejor y demostrarme que siempre puedo contar con ellos. A mi Tío Pepe porque sé que sigue cuidado de mí aunque no esté físicamente.

A Eddy y Clarita por expresarme su cariño y sus palabras de apoyo incondicional. A mis amigas por compartir experiencias inolvidables a lo largo de esta carrera universitaria y por esta amistad que tenemos.

Genesis Andrea Gutierrez Morocho

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme sabiduría para superar dificultades que se me presentaron a lo largo de mi vida. A mis padres por regalarme lo más valioso que es la educación.

A mi director Ing. Rodrigo Saquicela por la colaboración brindada durante la elaboración de esta propuesta y a todas las personas que me apoyaron directa e indirectamente a lo largo de mi formación profesional y realización de esta propuesta.

Genesis Andrea Gutierrez Morocho



FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO
PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	171594787-3
APELLIDO Y NOMBRES:	Gutierrez Morocho Genesis Andrea
DIRECCIÓN:	Av. La Lorena y Alejo Carpentier
EMAIL:	gnsisgutierrez@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	(02) 2 756 730
TELÉFONO MÓVIL:	099 602 6605/098 623 3966

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Diseño de terrazas agrícolas en terrenos con pendiente utilizados para la ganadería
AUTORA:	Genesis Andrea Gutierrez Morocho
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Mayo, 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Rodrigo Saquicela, MSc
PROGRAMA	PREGRADO X POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales
RESUMEN: Mínimo 180 y máximo 250 palabras	<p>La erosión hídrica del suelo causa pérdida de su capacidad de producción agrícola. Se propuso la construcción de terrazas agrícolas de banco con pendiente hacia afuera para manejar un suelo con problemas de erosión hídrica en 1 ha de terreno en San Miguel de Lelia, Santo Domingo, Ecuador. La propuesta consistió en usar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada para estimar la erosión hídrica, hacer el levantamiento topográfico con el equipo estación total y el programa ArcGIS, proponer el diseño y construcción de las terrazas. La pérdida del suelo por la erosión hídrica se estimó en $24,17 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (erosión moderada). El levantamiento topográfico tuvo 21 curvas de nivel a 1 m de altura. Se propone construir las terrazas con un talud de 1 m a 1,2 m; muro de contención del 5 % de inclinación protegido con caña guadúa; anchos de terrazas de 2,22 m hasta 9,55 m; canales de escorrentía y desviación de 0,57 m de ancho máximo y 0,45 m de profundidad; pendiente del 1 %</p>



	<p>para drenar $0,26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Se propone proteger los canales con piedras. El costo total de construcción de las terrazas se estimó en \$9 349, el de operación, en \$ 40; el de mantenimiento, en \$ 50. Se concluye que la propuesta de terrazas de banco con pendiente hacia afuera es una opción adecuada para manejar la erosión, debido a la textura franco a franco limosa del suelo y precipitación $> 2\,000 \text{ mm año}^{-1}$ de la zona.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Terrazas agrícolas, erosión hídrica, canales de drenaje</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>Water erosion of the soil causes loss of its agricultural production capacity. The construction of bank agricultural terraces with an outward slope was proposed to manage a soil with problems of water erosion in 1 hectare of land in San Miguel de Lelia, Santo Domingo, Ecuador. The proposal consisted in using the Universal Soil Loss Revised Equation to estimate the water erosion, make the topographic survey with the total station equipment and the ArcGIS program, and propose the design and construction of the terraces. Soil loss due to water erosion was estimated at $24.17 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ (moderate erosion). The topographic survey had 21 level curves at 1 m height. It is proposed to build the terraces with a slope of 1 m to 1.2 m; retaining wall of 5% inclination protected with bamboo cane; widths of terraces from 2.22 m to 9.55 m; runoff and deviation channels of 0.57 m maximum width and 0.45 m depth; slope of 1% to drain $0.26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. It is proposed to protect the channels with stones. The total cost of construction of the terraces was estimated at \$ 9 349, the operation, at \$ 40; the maintenance, at \$ 50. It is concluded that the proposal of bank terraces with outward slope is an appropriate option to manage erosion, due to the loam to silty loam texture of the soil and precipitation $> 2\,000 \text{ mm year}^{-1}$ of area.</p>
<p>KEYWORDS</p>	<p>Agricultural terraces, water erosion, drainage channels</p>



Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.


f: 
Gutierrez Morocho Genesis Andrea
C.I. 1715947873

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **GUTIERREZ MOROCHO GENESIS ANDREA**, CI 1715947873 autora del proyecto titulado: “**Diseño de terrazas agrícolas en terrenos con pendiente utilizados para la ganadería**” previo a la obtención del título de **INGENIERA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 10 de mayo de 2018

f: 
Gutierrez Morocho Genesis Andrea
C.I. 1715947873

ÍNDICE DE CONTENIDO

Portada	I
Sustentación y aprobación de los integrantes del tribunal	II
Responsabilidad del autor	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Formulario de registro bibliográfico	VII
Declaración y autorización.....	X
Índice de contenido	XI
Índice de tablas.....	XIII
Índice de figuras	XIV
I. INTRODUCCIÓN	1
II. CONTENIDO TÉCNICO	3
2.1. Localización.....	3
2.2. Marco conceptual de la propuesta.....	4
2.2.1. Terraza	4
2.2.2. Procesos de degradación del suelo.....	5
2.2.3. Movimientos en masa	5
2.2.4. Deslizamientos.....	6
2.3. Metodología	6
2.3.1. Estimación de la pérdida de suelo.....	7
2.3.2. Trabajos topográficos.....	7
2.3.3. Propuesta del diseño de las terrazas.....	8
2.4. Parámetro de evaluación	8
III. RESULTADOS	11
3.1. Diagnóstico	11
3.2. Propuesta tecnológica	14
3.2.1. Identificación y análisis del levantamiento topográfico	14
3.2.2. Diseño de las terrazas.....	16

3.2.3.	Proceso de construcción de las terrazas	18
3.2.3.1.	Trazado de las curvas de nivel en el terreno	19
3.2.3.2.	Construcción del muro de contención.....	19
3.2.3.3.	Construcción de los canales de drenaje de esorrentía y de desviación	21
3.2.3.4.	Construcción de las terrazas.....	30
3.2.4.	Mantenimiento	32
3.3.	Análisis económico	33
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		35
REFERENCIAS		36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de pérdida de suelo y su riesgo de erosión.....	10
Tabla 2. Categoría de la intensidad de la erosión hídrica.	13
Tabla 3. Constantes usadas en la estimación de la erosión con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada	13
Tabla 4. Características de captación de agua del terreno donde se propone construir las terrazas. Los valores se han obtenido de la Tabla 5.....	22
Tabla 5. Valores de las características de captación de agua de suelos según la cobertura, tipo, drenaje y pendiente, para estimar la descarga de agua en la construcción de canales de terrazas.....	23
Tabla 6. Flujo máximo ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) de la captación de agua en los próximos 10 años para drenar en función del área del terreno y el valor de las características de captación. El flujo se puede extrapolar cuando no se tiene los valores exactos de la característica, del área o de ambos	23
Tabla 7. Pendientes (%) del canal de drenaje según la longitud de la terraza y la capacidad de erosión del suelo	24
Tabla 8. Máxima velocidad permisible (m s^{-1}) del agua en el canal de drenaje según la textura del suelo.....	25
Tabla 9. Coeficientes de rugosidad n de Manning para canales construidos en varios materiales	25
Tabla 10. Tipo de plantas nativas sugeridas de la zona	32
Tabla 11. Tipo de plantas introducidas y sugeridas en la zona.....	33
Tabla 12. Presupuesto de costos de construcción de las terrazas de banco de 1 ha...	34
Tabla 13. Presupuestos de costos de los materiales de construcción de terrazas de banco de 1 ha.....	34
Tabla 14. Presupuesto de costos de operación cada 3 meses.....	34
Tabla 15. Presupuesto de costos de mantenimiento cada 3 meses.....	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Ubicación geográfica de la finca en el recinto San Miguel de Lelia, Santo Domingo, Ecuador, donde se propone la construcción de terrazas de banco ..	3
Fig. 2. Etapas para desarrollar la propuesta del diseño de terrazas agrícolas en suelos con pendiente.....	7
Fig. 3. Ubicación de varillas para medir la erosión del suelo por medio del Método de clavos y rondanas mejoradas.....	9
Fig. 4. Levantamiento topográfico donde se propone construir las terrazas de banco, San Miguel de Lelia, Santo Domingo, Ecuador.....	15
Fig. 5. Nivel tipo “A” para el trazado de las curvas de nivel en el terreno.....	19
Fig. 6. Vista frontal del muro de contención para sostener la terraza de banco.....	20
Fig. 7. Vista de perfil del muro de contención para sostener la terraza de banco.....	21
Fig. 8. Sección transversal de un canal parabólico para drenaje del agua de escorrentía y de desviación de las terrazas.....	28
Fig. 9. Nivel tipo “A” para el trazado de las curvas de los canales de drenaje de agua de escorrentía y desviación	29
Fig. 10. Canales de desviación para drenar el agua de escorrentía desde las terrazas hacia afuera del terreno	30
Fig. 11. Diseño de terrazas de banco para 1 ha de terreno, en San Miguel de Lelia, Santo Domingo, Ecuador	31

I. INTRODUCCIÓN

Desde los años setenta la población ha incrementado la explotación del suelo y ha cambiado el uso del mismo causando consecuencias por el inadecuado uso del suelo, esta problemática origina contaminación de cuerpos de agua, susceptibilidad a deslizamientos e inundaciones entre otros (GAD Parroquial Rural de Alluriquín, 2015).

Esta problemática causa erosión al suelo, lo cual es la separación de las partículas y el arrastre que tienen debido a diversas causas, entre ellas la acción del agua y del viento (Echarri, 2007). Esta problemática se desarrolla por las actividades antrópicas que causan el deterioro y pérdida de la cobertura vegetal (Arias, 2014). La degradación del suelo se incrementa por causas como el sobrepastoreo, malas prácticas agrícolas y deforestación (Muñoz, Ferreira, Escalante, & López, 2013). Los suelos de las partes altas de las montañas han perdido su biodiversidad y sufrido severos cambios debido a la deforestación, modificando las características originales del suelo; además de existir escorrentía superficial (Aristizabal & Hermelin, 2008). Otro problema de los suelos deforestados utilizados para la agricultura, los cuales son terrenos con pendientes y que se encuentran erosionados en su estado actual, es la pérdida de productividad debido a la fuerza de caída del agua de la lluvia que erosiona el suelo (Izquierdo, 2009). La zona de Alluriquín se ve afectada gravemente debido a la alteración de la cobertura vegetal ya que se desarrollan actividades agrícolas, trayendo consecuencias como la vulnerabilidad de que suceda deslizamientos (GAD Parroquial Rural de Alluriquín, 2015).

Para controlar y disminuir la erosión del suelo es necesario realizar prácticas de conservación como son la siembra a curvas de nivel o siembra a fajas de nivel; las cuales ayudan a reparar la capacidad de infiltración de los suelos evitando el lavado del mismo (Morales, 2014). Otra alternativa para reducir la erosión del suelo es la construcción de tinajas ciegas, zanja trinchera, surcado al contorno y terrazas, dependiendo el suelo y las características de este. Para terrenos con pendiente se recomienda realizar terrazas, y estas se clasifican en terrazas de base angosta, terrazas de base ancha y terrazas de banco. Las terrazas en banco han ayudado en un

78,44 % para que el suelo no se pierda por la erosión hídrica además de generar mayor rendimiento del cultivo (Díaz, 2007).

Las terrazas de banco son una práctica de conservación del suelo, este tipo de terrazas es conveniente construirlas en zonas de gran riesgo de erosión, precipitaciones anuales mayores a 2000 mm, terrenos con pendientes fuertes que no excedan el 60%, en suelos arcilloso con taludes verticales y en suelos limosos o arenosos con taludes inclinados (Sánchez & Martínez, 2013), por lo que es viable realizar este tipo de terrazas en la zona de San Miguel de Lelia.

El sector de San Miguel de Lelia posee suelos de clase VI los cuales son aptos para el aprovechamiento con especies forestales y pastos, suelos clase VII presentan limitaciones para el laboreo por la pendiente y suelos clase VIII pertenecientes a áreas de paramo o cualquier cobertura vegetal natural que proteja de la erosión. El problema se deriva por la sobreutilización de los suelos clase VII y VIII ya que se utilizan para actividades pecuarias causando erosión al suelo (GAD Parroquial Rural de Alluriquín, 2015). Por tanto, el objetivo de este trabajo fue proponer el diseño de terrazas agrícolas en un terreno con pendiente utilizado en la ganadería.

II. CONTENIDO TÉCNICO

2.1. Localización

La presente propuesta se desarrolló en una finca del Recinto de San Miguel de Lelia, en la parroquia rural San José de Alluriquín en las derivaciones de la Cordillera de los Andes al noreste del cantón Santo Domingo de los Colorados de la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas (Fig. 1).

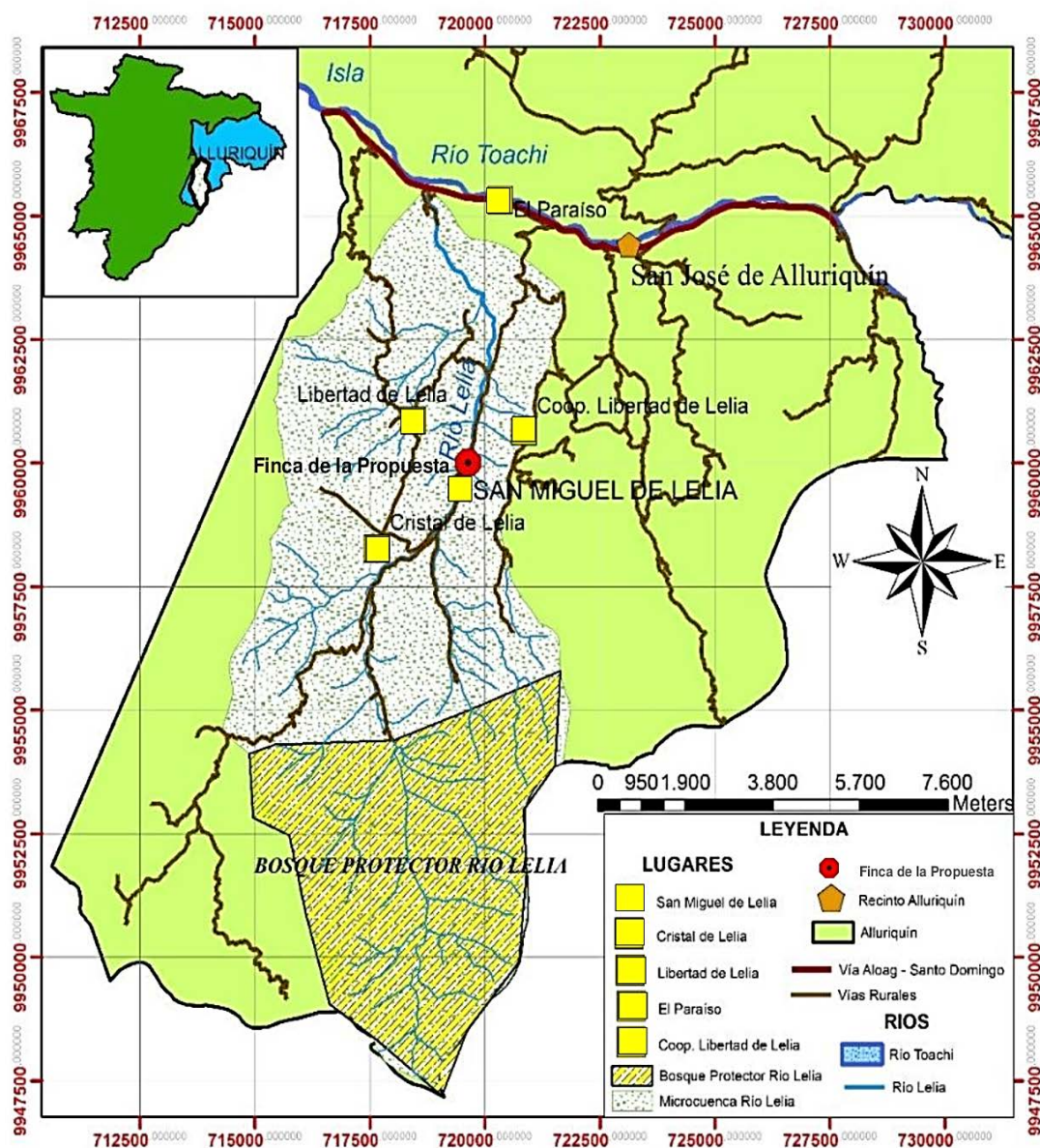


Fig. 1. Ubicación geográfica de la finca en el recinto San Miguel de Lelia, Santo Domingo, Ecuador, donde se propone la construcción de terrazas de banco
Fuente: GAD Municipal Santo Domingo, 2017

La zona tiene precipitaciones mayores a 2000 mm anuales, temperatura entre 12 °C y 24°C, temperatura promedio 21,5 °C y humedad relativa entre 65 % y 90 %. Su topografía es accidentada en su mayoría (GAD Parroquial Rural de Alluriquín, 2015).

Según la clasificación por zonas de vida de Holdridge, se cuenta con un clima subtropical, de bosque muy húmedo, pre-montano debido a los datos de precipitación anual y la temperatura del lugar (Holdridge, 1967). Las características físicas del suelo de la zona es de textura franco en la superficie y franco limoso a profundidad, mientras que en las características químicas tiene un pH moderadamente ácido (Paccha, 2013).

2.2. Marco conceptual de la propuesta

2.2.1. Terraza

Es una estructura física construida de manera perpendicular a la pendiente, de forma que intercepte el agua que se escurre por el suelo, causando su infiltración y desviándola hacia lugares determinados debidamente protegidos y con velocidad controlada para evitar erosión (Ramos, 2013). Existen diferentes tipos de terrazas como son: de base ancha, de base angosta y de banco (Martínez, Rubio, & Palacios, 2009).

Terrazas de base ancha

Consiste en una cadena de canales y bordos amplios construidos en pendientes suaves no mayores a 8 % y en zonas donde las precipitaciones son menores a 800 mm anuales.

Terrazas de base angosta

Son plataformas continuas trazadas perpendicularmente a la pendiente para evitar deslizamientos; en el bordo de las terrazas no se siembra pero se debe cubrir con

vegetación permanente, se utiliza en pendientes superiores a 70 % y lluvias anuales superiores a 1200 mm.

Terrazas de banco

Son plataformas construidas en serie a través de la pendiente y separadas por paredes casi verticales, son construidas en pendientes entre 20 % y 60 % y con lluvias anuales superiores a 2000 mm. Las terrazas de banco pueden ser: a) a nivel, b) con la pendiente hacia adentro y c) con la pendiente hacia afuera. Las terrazas con pendientes a nivel y hacia afuera tiene por objetivo drenar el agua; mientras que las de pendiente hacia adentro, infiltran el agua (Feng, 1995).

2.2.2. Procesos de degradación del suelo

La degradación del suelo es la pérdida parcial o total de cantidad y calidad del mismo con respecto a la productividad. Estos procesos son el resultado de la erosión eólica, erosión hídrica, salinización, contaminación, pérdida y agotamiento de elementos nutritivos, desertificación, deterioro de la estructura, entre otros (Amestoy, 2013).

2.2.3. Movimientos en masa

Es el desplazamiento descendente de masas de suelo o rocas que forma parte de una pendiente o talud. La causa que provocan estos movimientos en masa es debido al colapso de volúmenes de suelo, cuando las tensiones que brindan soporte sobrepasan la resistencia que depende de la cohesión, en las cual actúan las arcillas, ya que son las que mantienen unidas a las partículas, y la fricción interna en la cual actúan arenas y proviene de la rugosidad de la superficie (Iriondo, 2007).

Existen varios tipos de movimientos en masa debido a la mecánica del movimiento como son deslizamientos, derrumbes, hundimientos y flujos. Cada uno de estos tipos de movimientos en masa muestran gran heterogeneidad (Enrique & Duque, 2016).

2.2.4. Deslizamientos

Los deslizamientos son movimientos en masa de suelo o rocas que se deslizan por efecto de la gravedad hacia debajo de la pendiente y fuera del talud, la velocidad de estos puede ser lenta o rápida. El proceso ocurre por lluvias, erosión del suelo, temblores o por el mal uso del suelo. Los deslizamientos son rotacionales y traslacionales (Corominas, 2013).

Deslizamientos rotacionales

La rotura se produce a lo largo de una superficie interna del material en forma curvilínea y cóncava. Las salidas de la superficie curvilínea de rotura pueden suceder en tres partes del talud: superficie rotura del talud, superficie rotura a pie de talud y superficie de rotura a base de talud.

Deslizamientos traslacionales

Se encuentra a largo de una superficie de rotura plana u ondulada. Cuando este tipo de deslizamientos sucede en rocas es muy lento además los deslizamientos traslacionales pueden mantenerse indefinidamente si la superficie de rotura es inclinada y continua.

2.3. Metodología

La propuesta está diseñada para terrenos con pendientes desde 20 % hasta 60 %, lluvias anuales superiores a 2000 mm, que presenten alta susceptibilidad de deslizamientos, suelos clase VI y VII, características del suelo como de tipo franco limoso con un pH medianamente ácido dedicados a actividades agrícolas como es la siembra de pastos.

El desarrollo de la propuesta tecnológica comenzó con la estimación de la pérdida del suelo, trabajos topográficos y; finalmente, la propuesta del diseño de terrazas (Fig. 2).

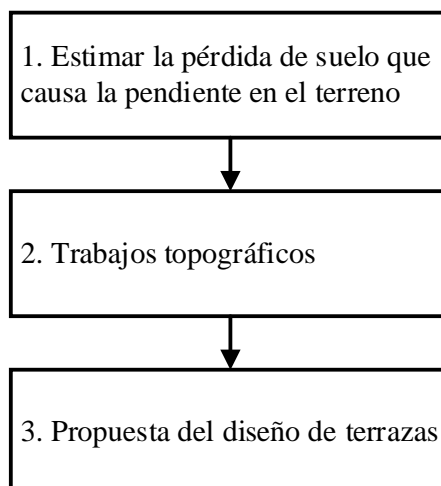


Fig. 2. Etapas para desarrollar la propuesta del diseño de terrazas agrícolas en suelos con pendiente

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2017

2.3.1. Estimación de la pérdida de suelo

La pérdida de suelo se estimó con la Ecuación Universal de Perdida de Suelo Revisada (RUSLE) (Rusle, 2013), que permite conocer la cantidad de erosión hídrica anual por hectárea de terreno.

2.3.2. Trabajos topográficos

El levantamiento topográfico se lo realizó para obtener información del área de estudio que permita determinar las coordenadas de los puntos del terreno y es la base para la elaboración de las terrazas, esta actividad se realizó con un equipo electro óptico llamado Estación Total con el que se realiza un levantamiento tanto planímetro como altimétrico (Pachas, 2009).

Las coordenadas tomadas con el equipo Estación Total se las usó para modelar la forma del terreno y delimitar las curvas de nivel dentro del software ArcGIS 10.3 (ESRI, 2016).

2.3.3. Propuesta del diseño de las terrazas

Con los datos proporcionados del levantamiento topográfico se los ingresaron a un software el cual fue ArcGIS 10.3 (ESRI, 2016), se empleó la herramienta Create TIN (Triangulated Irregular Network), que se encuentra dentro de la caja de herramientas ArcToolbox, la cual nos ayuda a representar la morfología de una superficie.

2.4. Parámetro de evaluación

Para comprobar que las terrazas controlan la erosión, se toman datos con el Método de clavos y rondanas mejorado dentro de las terrazas y el intervalo de medición será cada 30 días durante la época lluviosa y de 60 días durante época seca.

El Método de clavos y rondanas mejorado, consiste en utilizar varillas de hierro liso de 3/8 pulg de diámetro y 50 cm de longitud, señaladas a 25 cm de longitud de la varilla con pintura roja, la señal será de 10 cm de ancho y comienza desde la mitad hacia arriba de la varilla. La varilla se introduce en el suelo hasta los 25 cm, de tal forma que el inicio de la señal quede al nivel del suelo (Fig. 3).

Estas varillas se introducirán en la mitad del ancho de cada terraza en forma de transecto perpendicular en dirección a la terraza, abarcando todas las terrazas (Mendoza, 2007). En toda el área de estudio se utilizarán 18 varillas, una por cada terraza.

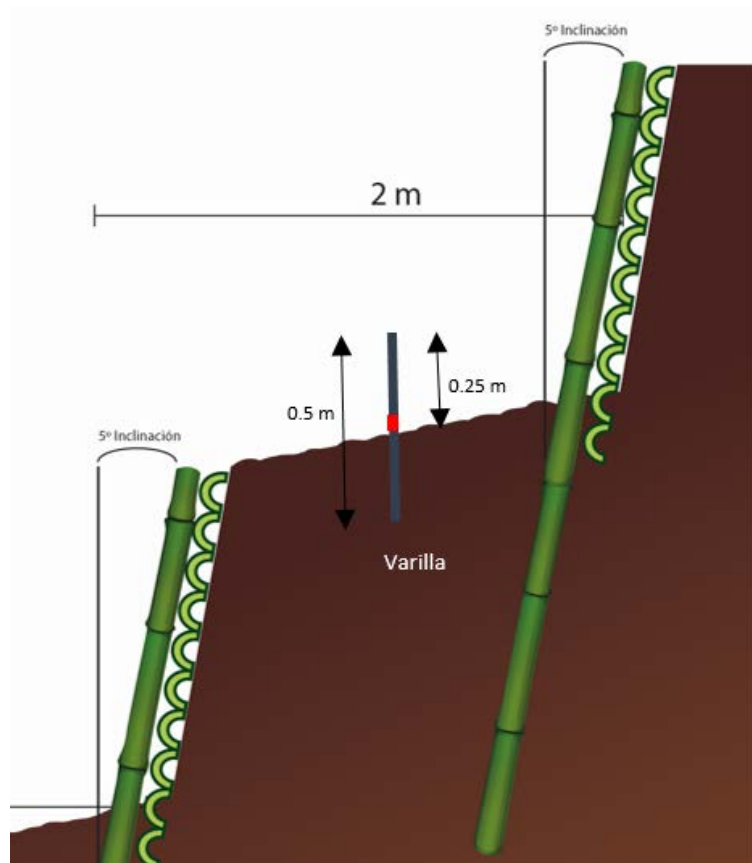


Fig. 3. Ubicación de varillas para medir la erosión del suelo por medio del Método de clavos y rondanas mejoradas

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

Para conocer la cantidad de suelo perdido después de construir las terrazas agrícolas mediante la aplicación del Método de clavos y rondanas mejoradas se emplea la siguiente fórmula (Mendoza, 2007):

$$P = H \times A \times DAP$$

Donde:

P = Perdida de suelo (Mg)

H = Altura de lámina perdida (m)

A = Área medida (m²)

DAP = Densidad aparente (Mg m⁻³)

Luego de tener obtener datos con la ecuación anterior se puede clasificar según el rango de perdida de suelo (Tabla 1).

Tabla 1. Rangos de pérdida de suelo y su riesgo de erosión.

Grado	Pérdida de suelo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	Riesgo de erosión
1	< 0,5	Normal
2	0,5 – 5,0	Ligera
3	5,1 – 15,0	Moderada
4	15,1 – 50,0	Severa
5	50,1 – 200,0	Muy Severa
6	>200,1	Catastrófica

Fuente: (Mendoza, 2007)

III. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico

El Recinto de San Miguel de Lelia se caracteriza por tener relieves moderados (25 % a 40 %), fuertes (40 % a 70 %) y muy fuertes (70 % a 100 %) (GAD Parroquial Rural de Alluriquín, 2015). Las características de los suelos de acuerdo a su capacidad de uso son de las clases VI, VII y VIII. Estos parámetros indican el potencial de desarrollo agrícola de acuerdo a actividades relacionadas con la conservación y aprovechamiento del suelo. El uso del suelo en este recinto se caracteriza por ser vegetación herbácea, pastizales y de plantación forestal. El conflicto se deriva por la sobreutilización del suelo, ya que los de clase VII y VIII se utilizan para actividades pecuarias.

El proceso de degradación se origina en la sobreutilización del suelo porque los agricultores realizan un mal manejo del suelo desarrollando actividades pecuarias y agrícolas como monocultivos no permitiendo al suelo su recuperación. También se suman las altas precipitaciones en la época de lluvias que es característica de esta zona, por eso la situación de riesgos de deslizamientos es de media – alta y alta (GAD Parroquial Rural de Alluriquín, 2015).

El área de estudio presenta una pendiente pronunciada, el tipo de suelo es franco limoso y presenta actividades de pastoreo ya que el sector es dedicado a la ganadería. Un componente principal de afectación a las propiedades del suelo es la fuerza gravitacional del agua, debido a que deteriora la estructura y textura del suelo.

Según el trabajo de investigación de Paccha (2013) sobre la erosión hídrica en la zona de San Miguel de Lelia, indica los siguientes datos de pérdida de suelo por erosión hídrica (Tabla 3) modificando el dato de porcentaje de la pendiente del terreno de estudio, que se calculó mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada:

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

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual.

R= Factor de erosividad de lluvias.

K = Factor de erodabilidad (vulnerabilidad a la erosión) del suelo.

LS= Factor topográfico (función de longitud de inclinación-forma de la pendiente).

C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal).

P = Factor práctica de conservación.

El factor R de erosividad con la fórmula:

$$R = \frac{\sum(EI_{30})}{N}$$

Donde:

EI_{30} = Valor de la energía total de la tormenta por la intensidad máxima para una duración de 30 minutos.

N = número de tormentas erosivas en un periodo de N años.

El factor K de erodabilidad con la fórmula:

$$K = \frac{2,1M^{1,14}(12 - a)(10)^{-4} + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)}{100} \times 1,2928$$

Donde:

M = (porcentaje de limo + porcentaje de arena muy fina) (100 – porcentaje de arcilla).

a = porcentaje materia orgánica.

b = clasificación de acuerdo al tipo y clase de estructura del suelo.

El factor topográfico LS cuya fórmula es:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m (0,065 + 0,045s + 0,0065s^2)$$

Donde:

λ = longitud de la pendiente en metros.

m = grado de la pendiente.

s = porcentaje de la pendiente del terreno.

Con base en las fórmulas indicadas y las constantes respectivas (Tabla 3), la erosión hídrica del terreno para proponer la construcción de las terrazas fue de 24,17 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Esta cantidad estimada indica que el suelo tiene una intensidad moderada (10 – 50 Mg ha⁻¹ año⁻¹) de pérdida de suelo por erosión (Tabla 2); por tanto, el suelo requiere de la construcción de prácticas mecánicas de conservación para manejar la erosión (Alcañiz, 2013).

Tabla 2. Categoría de la intensidad de la erosión hídrica.

Intensidad	Mg ha ⁻¹ año ⁻¹
Ligera	< 10
Moderada	10 – 50
Alta	50 – 200
Muy Alta	>200

Fuente: (FAO, 1979)

Tabla 3. Constantes usadas en la estimación de la erosión con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada

Variable	Parámetro	Valor	Unidad
R	Factor de erosividad de las lluvias	122,46	MJ [ha mm] ⁻¹ h ⁻¹
K	Factor de erodabilidad de suelo	1,047	Mg [ha MJ ha] ⁻¹ [mm h] ⁻¹
LS	Factor topográfico (función de Longitud de inclinación-forma de la pendiente)	37,70	Adimensional
C	Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal)	0,01	Adimensional
P	Factor práctica de conservación del suelo	0,5	Adimensional

Fuente: (Paccha, 2013)

3.2. Propuesta tecnológica

3.2.1. Identificación y análisis del levantamiento topográfico

La propuesta tecnológica se estableció en un terreno, dentro de la finca del Sr. Luis Pasos, ubicado en el recinto de San Miguel de Lelia, Ecuador. El terreno cuenta con una pendiente de 45% según la medición con el equipo de Estación Total.

El levantamiento topográfico se realiza con la ayuda del equipo Estación Total, con el cual primero se busca la ubicación ideal para realizar la calada del equipo, lo cual consiste en que se pueda visualizar todo el área del terreno sin obstáculos que interfieran entre el equipo y los puntos que forman el polígono, entonces se toma la coordenada del punto donde se caló el equipo y se ingresa a la Estación Total, para luego proceder a tomar los demás puntos los cuales van a ser llamados códigos y se les colocará un nombre de referencia, de igual manera van hacer guardados en el equipo, se obtuvo un polígono irregular cerrado de 6 lados y el área total de la medición es de 1 ha. La altimetría se tomó las cotas cada 1 m de distancia.

Las coordenadas que se obtuvo utilizando el equipo Estación Total se ingresa en el programa ArcGIS para modelar la forma del terreno del área de estudio y delimitar las curvas de nivel con los datos tomados con el equipo (Fig. 4) (ESRI, 2016).

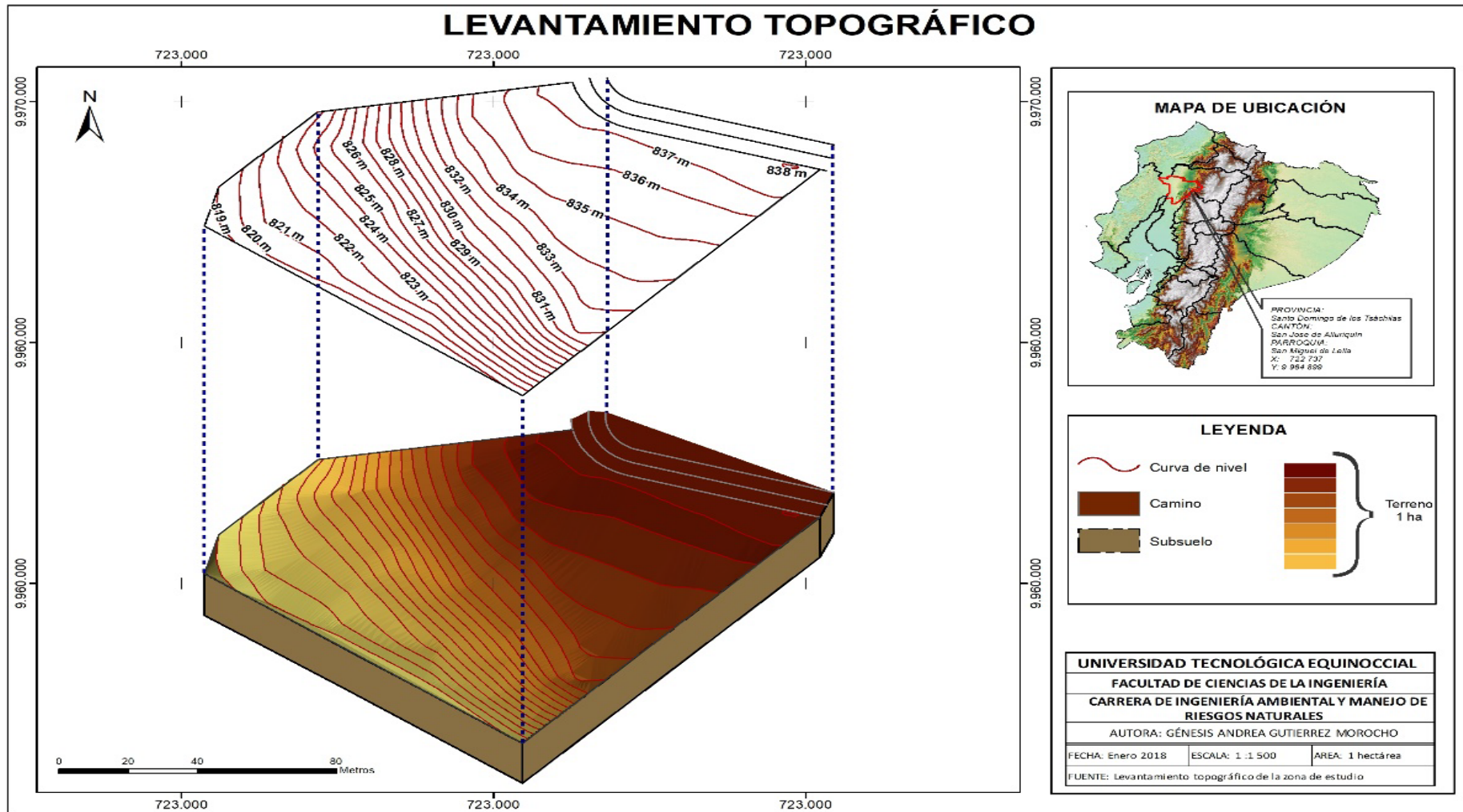


Fig. 4. Levantamiento topográfico donde se propone construir las terrazas de banco, San Miguel de Lelia, Santo Domingo, Ecuador
 Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

3.2.2. Diseño de las terrazas

Se eligió las terrazas de banco con la pendiente hacia afuera (Feng, 1995) como opción para manejar la erosión hídrica, porque la cantidad de lluvia anual de la zona es mayor que 2000 mm (GAD Parroquial Rural de Alluriquín, 2015).

El diseño de la terraza consiste en determinar el tamaño de los elementos principales de las terrazas que son: altura del muro, talud del muro y ancho de la terraza (Olivera, 2011).

Altura del muro

La altura del muro será de 1 m y sirve para disminuir la pendiente. La altura del muro de la terraza no debe ser mayor a 1,5 m porque alturas superiores ponen en riesgo la estabilidad de la misma. La profundidad del suelo, al igual que la dureza del subsuelo también determinan la altura del muro, por eso en suelos profundos y subsuelos sueltos es posible construir terrazas con muros más altos (Olivera, 2011).

Talud del muro

El talud del muro es una inclinación del terreno para sostener y estabilizar la terraza. El talud del muro debe ser levemente inclinado y no vertical. La inclinación del muro depende del suelo o del material de construcción del talud. En suelos sueltos el talud debe ser inclinado para dar mayor estabilidad a la terraza, cuando el material del talud sea más firme y duro se puede construir con tendencia a la verticalidad. Para el caso de terrazas con taludes de tierra debe tener una inclinación mínima del 5% hacia dentro de la terraza (Olivera, 2011)

Ancho de la terraza

El ancho de la terraza tiene una distancia de mínimo 2,22 m y máximo 9,55 m y sirve para los cultivos agrícolas. Las terrazas deben ser lo más anchas posibles, pero esto depende de la pendiente en el terreno y profundidad del suelo, ya que en terreno con

poca pendiente se puede construir terrazas más anchas con muros de altura más estable. Mientras tanto si la pendiente del terreno es fuerte, las terrazas son más angostas, mínimo de 1,5 m de ancho (Olivera, 2011).

En el terreno se formarán 18 terrazas con sus canales de drenaje. Con la construcción de estas terrazas se prevé que la erosión hídrica del terreno se reduzca de 50 % a 60 % (Díaz, 2007), debido a que se reduce la pendiente por lo tanto la velocidad de agua al escurrirse es menor y disminuye la erosión hídrica (Ramos, 2013).

Las dimensiones de la altura y ancho de las terrazas se puede calcular con fórmulas de intervalo vertical (IV) y horizontal (IH), teniendo en cuenta la pendiente del terreno y precipitación anual de la zona.

Las ecuaciones para determinar los intervalos vertical y horizontal son las siguientes (Mancilla, Oropeza, & Martínez, 2009):

Intervalo vertical (IV) o alto de talud, cuya ecuación es:

$$IV = \left(2 + \frac{S}{f}\right) (0,305)$$

Donde:

S = pendiente del terreno (%).

f = factor que depende de la precipitación, f = 3 se utiliza en áreas con precipitaciones menores a 1200 mm anuales; f = 4, para áreas con precipitación anual es mayor de 1200 mm.

0,305 = factor de conversión de pies a metros.

Intervalo horizontal (IH) o ancho de la terraza, cuya ecuación es:

$$IH = \frac{IV}{S} \times 100$$

Donde:

IV = Intervalo vertical (m).

S = pendiente del terreno (%).

La fórmula de intervalo horizontal dio un valor de 2,22 m para el ancho mínimo de las terrazas; con valores de intervalo vertical de 1 m y pendiente de 45%. No obstante, el intervalo vertical se definió de 1 m debido la cantidad de lluvias en la zona (GAD Parroquial Rural de Alluriquín, 2015) y el grado de pendiente. Con la fórmula indicada el valor hubiera sido de 4 m; valor que es demasiado alto para soportar la presión de la terraza.

Material de construcción del talud

El material que se propone para construir el talud es la caña guadua (*Guadua angustifolia*), debido a que es un material que se consigue en la zona y presenta características de fácil transporte hacia el área donde requiere, tiene un bajo costo y posee una buena resistencia adecuada para la construcción de terrazas (Rea, 2013). También existen otros materiales para construir el talud como piedra, concreto, trozos de madera, ramas; sin embargo estos materiales se usan cuando están disponibles dentro o cerca del terreno y accesible (FAO, 2015).

La caña guadua servirá de soporte a los taludes de las terrazas ya que se va a formar un muro de contención. El muro de contención se construye en zonas de ladera. Cada poste de soporte, será construido a 2 m de distancia debido al grado de la pendiente (Rivera, 2009).

3.2.3. Proceso de construcción de las terrazas

El proceso de construcción de las terrazas tiene los siguientes pasos (Rivera, 2009):

- 1) Trazado de las curvas de nivel en el terreno
- 2) Construcción del muro de contención
- 3) Construcción de los canales de drenaje de escorrentía y de desviación
- 4) Construcción de las terrazas

3.2.3.1. Trazado de las curvas de nivel en el terreno

Las terrazas se comenzarán a construir desde la parte más alta del terreno. Las curvas de nivel se trazarán con un nivel tipo “A” (Fig. 5). Se traza una línea inicial en sentido vertical a la pendiente, se fija una pata del nivel en la línea, se mueve la otra pata hasta un punto donde el nivel de agua indique que la posición está completamente horizontal y se marca el punto clavando una estaca de madera de 0,30 m.

Se repite el proceso desde el punto encontrado hasta trazar la curva en todo el terreno, el ancho de las terrazas son mínimo de 2,22 m de ancho y máximo 9,55 m.

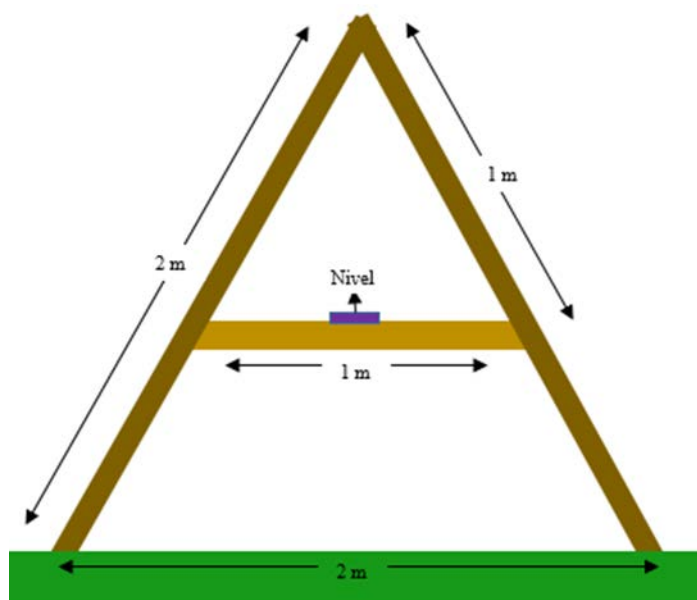


Fig. 5. Nivel tipo “A” para el trazado de las curvas de nivel en el terreno
Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

3.2.3.2. Construcción del muro de contención

Para la construcción del muro de contención se cavarán zanjas de 1,0 m a 1,20 m de profundidad por 0,45 m a 0,60 m de ancho, donde se colocarán una caña guadua en sentido vertical, se rellena el hoyo para que quede más estabilizada la caña guadua (Fig. 6). La inclinación del talud debe ser 5% hacia dentro de la terraza para dar una mayor estabilidad a la terraza (Olivera, 2011).

En terrenos con pendientes ligeras el anclaje debe ser entre 0,5 a 0,7 m mientras que para terrenos menos inestables y con pendiente más fuertes el anclaje se puede dar hasta 2,5m; tomando en cuenta que la misma altura del muro de contención ira enterrado para dar soporte (Suarez, 2009).

Colocados los postes de caña guadua se procede colocar en sentido horizontal de 5 a 6 cañas guaduas partidas por la mitad con la concavidad hacia dentro de la terraza para formar el muro de contención. Se usó la mitad de la caña guadua debido a la disminución de la presión del muro de contención por la inclinación del talud. La altura del muro de contención es de 1m debido a las elevadas precipitaciones de la zona para evitar desbordes por mayores alturas del muro de contención (Fig. 7) (Olivera, 2011).

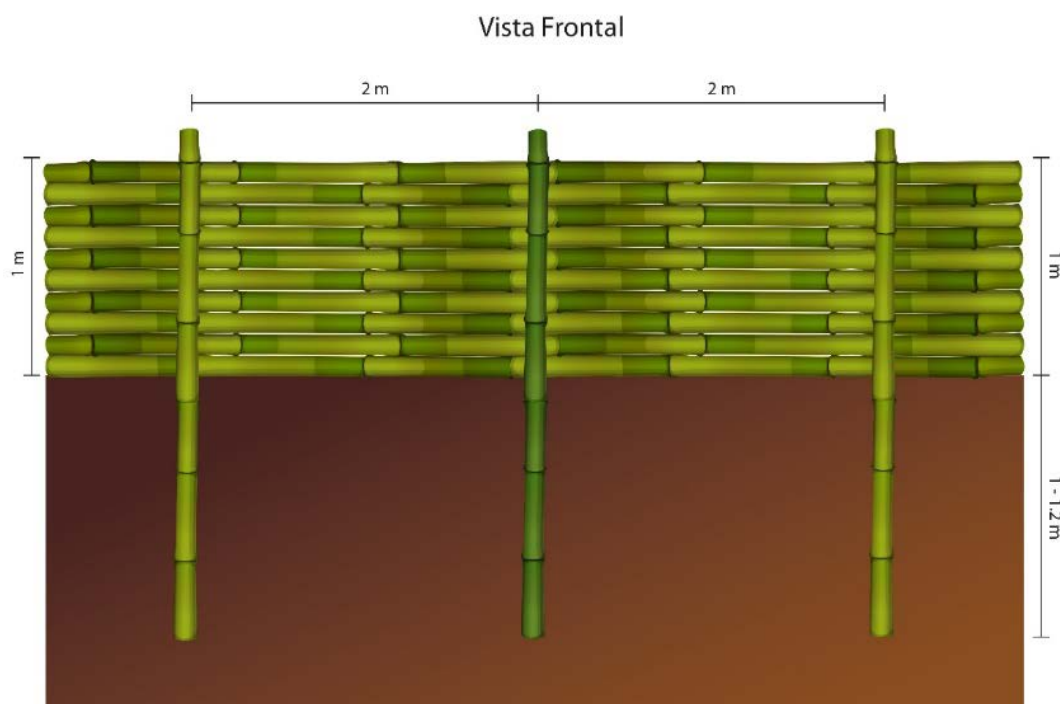


Fig. 6. Vista frontal del muro de contención para sostener la terraza de banco
Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

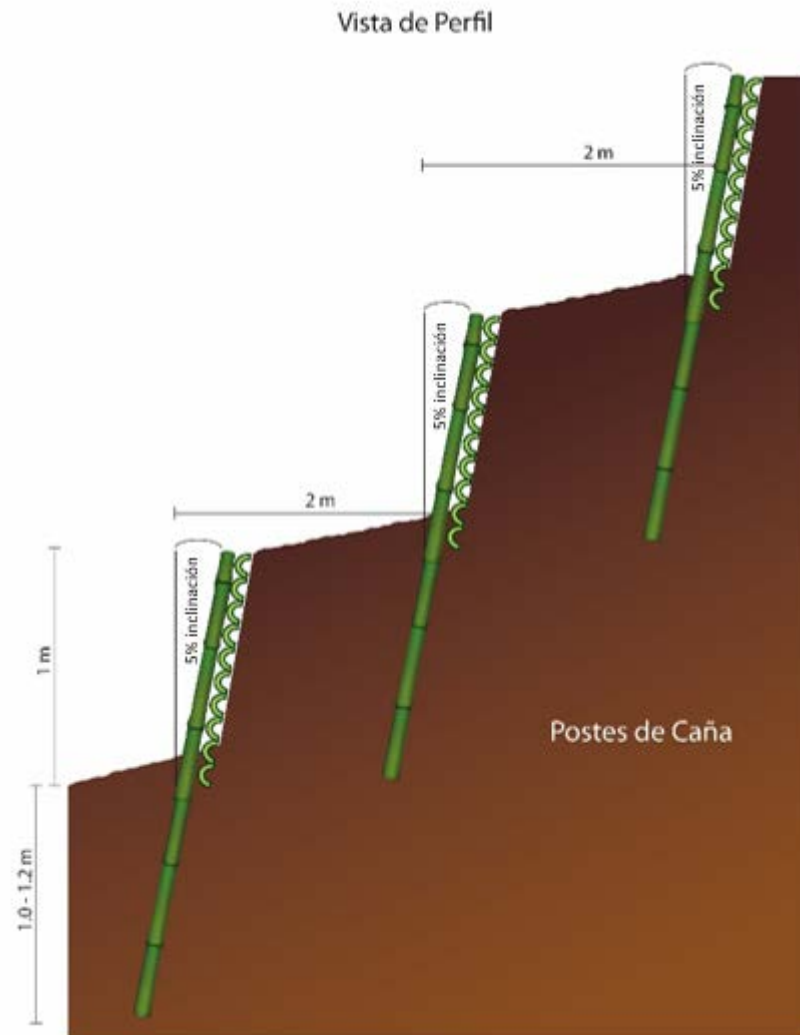


Fig. 7. Vista de perfil del muro de contención para sostener la terraza de banco
Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

3.2.3.3. Construcción de los canales de drenaje de escorrentía y de desviación

Los canales de drenaje de escorrentía sirven para drenar a una velocidad no erosiva el agua de escorrentía que se acumula en cada terraza, hacia un lugar adecuado como un río o valle. Las terrazas de la propuesta tendrán sus canales que sirven para recoger el agua de cada una de las terrazas; además, tendrán una desviación para drenar el agua fuera del terreno (Morgan, 2005).

La sección transversal de los canales son de tres formas: a), triangulares b) trapezoidales y c) parabólicos. Los canales sin protección sólida tienden a transformarse. Los triangulares pueden formar un socavón en la parte más baja y los trapezoidales se transforman en parabólicos por el uso (Morgan, 2005). Por tanto, se

propone la construcción de canales parabólicos protegidos con piedras para mayor duración.

Para diseñar la sección transversal de un canal de drenaje de esorrentía se siguen los siguientes pasos (Morgan, 2005):

- a) Estimación del flujo máximo de la descarga de agua
- b) Definición de la pendiente del canal de drenaje
- c) Estimación de la velocidad máxima permisible de la descarga de agua
- d) Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning
- e) Cálculo de la sección transversal del canal
- f) Construcción de los canales de drenaje de esorrentía y de desviación

a) Estimación del flujo máximo de la descarga de agua

El flujo máximo de la descarga del agua es la cantidad de la misma que se drenará del terreno con terrazas a una velocidad definida y en los próximos 10 años. La descarga se puede calcular con mediciones en el terreno o estimar indirectamente. En la propuesta se estimó indirectamente con base en las características de captación de agua: cobertura, tipo de suelo y pendiente (Tabla 5).

El suelo donde se propone construir las terrazas tiene características de captación de agua con cobertura de pasto de mediana altura, suelo profundo y está en una pendiente del tipo montañoso (Tabla 4).

Tabla 4. Características de captación de agua del terreno donde se propone construir las terrazas. Los valores se han obtenido de la Tabla 5

Características	Características observadas (Tabla 5)	Valor asignado (Tabla 5)
Cobertura	Matorral o pasto de mediana altura	15
Tipo de suelo y drenaje	Profundo, moderadamente permeable o limoso	20
Pendiente	Montañosa	25

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2017

Tabla 5. Valores de las características de captación de agua de suelos según la cobertura, tipo, drenaje y pendiente, para estimar la descarga de agua en la construcción de canales de terrazas

Cobertura	Valor	Tipo de suelo y drenaje	Valor	Pendiente	Valor
Pasto denso o bosque	10	Profundo, buen drenaje o arenoso	10	Muy plana a suave (0° a 3°)	5
Matorral o pasto de mediana altura	15	Profundo, moderadamente permeable o limoso	20	Moderada (3° a 6°)	10
Tierras cultivadas	20	Profundo y buena permeabilidad o arcilloso	25	Ondulada (6° a 9°)	15
Suelo desnudo o erosionado	25	Suelos poco profundos con drenaje bloqueado	30	Quebrada o empinada	20
		Medianamente pesado, arcilloso o superficie rocosa.	40	Montañosa	25
		Superficie impermeable y suelos inundados.	50		

Fuente: (Morgan, 2005)

Cada característica de captación tiene su valor. Esos valores se suman para obtener la característica de captación por todo el terreno. La característica de captación fue de 60 y con ese valor se encontró su flujo máximo de captación según el área del terreno (Tabla 6).

El área fue de 1 ha, por tanto el flujo máximo de captación se estima en $0,26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ en los próximos 10 años. Esa es la cantidad de agua estimada para drenar del terreno.

Tabla 6. Flujo máximo ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) de la captación de agua en los próximos 10 años para drenar en función del área del terreno y el valor de las características de captación. El flujo se puede extrapolar cuando no se tiene los valores exactos de la característica, del área o de ambos

Área (ha)	Valores de la característica de captación (adimensional)											
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
5	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1
10	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,0	2,4	2,8	3,2	3,7
15	0,5	0,8	1,1	1,4	1,7	2,0	2,4	2,9	3,4	4,0	4,6	5,2
20	0,6	1,0	1,4	1,8	2,2	2,7	3,2	3,8	4,4	5,1	5,8	6,5
30	0,8	1,3	1,8	2,3	2,9	3,6	4,4	5,3	6,3	7,3	8,4	9,5
40	1,1	1,5	2,1	2,8	3,5	4,5	5,5	6,6	7,8	9,1	10,5	12,3
50	1,2	1,8	2,5	3,5	4,6	5,8	7,1	8,5	10,0	11,6	13,3	15,1
75	1,6	2,4	3,6	4,9	6,3	8,0	9,9	11,9	14,0	16,4	18,9	21,7
100	1,8	3,2	4,7	6,4	8,3	10,4	12,7	15,4	18,2	21,2	24,5	28,0
150	2,1	4,1	6,3	8,8	11,6	14,7	18,2	21,8	25,6	29,9	35,0	40,6
200	2,8	5,5	8,4	11,7	15,3	19,1	23,3	28,0	33,1	38,5	45,0	52,5
250	3,5	6,5	9,7	13,2	17,2	21,7	27,0	32,9	39,6	46,9	55,0	63,7

Tabla 6. (Cont.)

300	4,2	7,0	10,5	14,7	19,6	25,2	31,5	38,5	46,2	54,6	63,7	73,5
350	4,9	8,4	12,6	17,2	23,2	30,2	37,8	46,3	53,8	62,5	71,5	81,0
400	5,6	10,0	14,4	19,4	25,6	33,6	42,2	51,0	60,0	69,3	79,5	90,0
450	6,3	10,5	15,5	21,5	28,5	36,5	45,5	55,5	65,5	76,0	86,5	97,5
500	7,0	11,0	17,0	23,5	31,0	40,5	51,0	62,0	73,0	84,0	95,0	106,5

Fuente: (Morgan, 2005)

b) Definición de la pendiente del canal de drenaje

El canal debe tener una pendiente para drenar el agua del terreno sin erosionar al canal o causar sedimentación (Morgan, 2005). La pendiente es menor mientras más aumente la longitud de la terraza (Tabla 7). En la propuesta se tiene terrazas de 100 m de longitud en un suelo erosionable a causa de la pendiente.

Debido a la longitud se construirá cinco canales de desviación entre las terrazas para evitar daños en las mismas (Feng, 1995); por tanto, la longitud del canal de la terraza se reduce a 20 m y la pendiente elegida es de 1%.

Tabla 7. Pendientes (%) del canal de drenaje según la longitud de la terraza y la capacidad de erosión del suelo

Longitud de la terraza (m)	Pendiente (%) del canal	
	Suelo erosionable	Suelo resistente
> 150	0,35	0,5
60-150	0,5	0,65
30-60	1	1,5
< 30	2	2,5

Fuente: (Martínez et al., 2009)

c) Estimación de la velocidad máxima permisible de la descarga de agua

La velocidad máxima permisible de descarga del agua por el canal de drenaje es la distancia que recorre el agua en una unidad de tiempo (Morgan, 2005). La velocidad depende del material de construcción y la cubierta del canal (Tabla 8).

El terreno de la propuesta es de textura franco limosa y el canal tendrá una cubierta de piedras. Entonces, la velocidad máxima permisible se estima en $1,5 \text{ m s}^{-1}$.

Tabla 8. Máxima velocidad permisible (m s^{-1}) del agua en el canal de drenaje según la textura del suelo

Textura	Máxima velocidad permisible (m s^{-1})
Arenoso	0,3-0,7
Franco arenoso	0,5-0,7
Franco arcilloso	0,6-0,9
Cascajo	0,9-1,5
Roca	1,2-1,8

Fuente: (Távora, 2008)

d) Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad de Manning es la resistencia a la inundación de los canales de drenaje (Arcement, 1989). Los canales de terrazas se construirán en el suelo; el cual tiene una textura de franco limosa; y se cubrirán con piedras para su protección. Así, el coeficiente de rugosidad elegido es de 0,03 (Tabla 9).

Tabla 9. Coeficientes de rugosidad n de Manning para canales construidos en varios materiales

Material	Coeficiente de rugosidad n de Manning
Arena fina coloidal	0,02
Marga arenosa no coloidal	0,02
Marga limosa no coloidal	0,02
Limo aluvial no coloidal	0,02
Marga firme	0,02
Ceniza volcánica	0,02
Arcilla dura muy coloidal	0,025
Limo aluvial coloidal	0,025
Lutita y tepetate	0,025
Grava fina	0,02
Marga con cantos rodados	0,03
Limos con cantos rodados	0,03
Grava gruesa	0,025
Grava con cantos rodados	0,035
Suelos agrícolas	0,03

Fuente: (Martínez, Rubio, & Palacios, 2009)

e) Cálculo de la sección transversal del canal

La sección transversal del canal de drenaje se calcula según el siguiente procedimiento:

- 1) Cálculo del radio hidráulico según la ecuación de Manning

- 2) Cálculo del área de la sección transversal del canal
- 3) Cálculo de la profundidad del canal
- 4) Cálculo del ancho máximo de almacenaje de agua
- 5) Verificación de los cálculos obtenidos con los requerimientos del canal

1) *Cálculo del radio hidráulico según la ecuación de Manning*

El radio hidráulico es la relación entre el área y el perímetro de mojado del canal (Martínez, Rubio, & Palacios, 2009).

$$r = \left(\frac{vn}{s^{0,5}} \right)^{1,5}$$

Donde:

r = radio hidráulico (m)

v = velocidad máxima permisible de descarga del agua (Tabla 8, m s^{-1}) = $1,5 \text{ m s}^{-1}$

n = coeficiente de rugosidad de Manning (Tabla 9, adimensional) = $0,03$

s = pendiente del canal de drenaje (Tabla 7, $\%/100$) = $0,01$

Así, el valor calculado del radio hidráulico es de $0,3 \text{ m}$.

2) *Cálculo del área de la sección transversal del canal*

El área de la sección transversal es el largo transversal por el ancho transversal del canal de drenaje.

$$A = \frac{Q}{v}$$

Donde:

A = área de la sección transversal del canal (m^2)

Q = flujo máximo de la descarga de agua (Tablas 5 y 6, $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$) = $0,26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

Así, el área de la sección transversal es de $0,17 \text{ m}^2$.

3) *Cálculo de la profundidad del canal*

La profundidad del canal parabólico es la longitud desde el nivel del agua hasta el fondo del canal.

$$D = 1,5r$$

Donde:

D = profundidad del canal (m)

Así, la profundidad del canal es de 0,45 m.

4) *Cálculo del ancho máximo de almacenaje de agua*

El ancho máximo de almacenaje de agua es el ancho del canal.

$$T = \frac{A}{0,67d}$$

Donde:

T = ancho máximo de almacenaje de agua (m)

Así, el ancho máximo es de 0,57 m (Fig. 8). El canal de desviación tendrán el mismo ancho y profundidad del canal de las terrazas (Fig. 10) (Morgan, 2005).

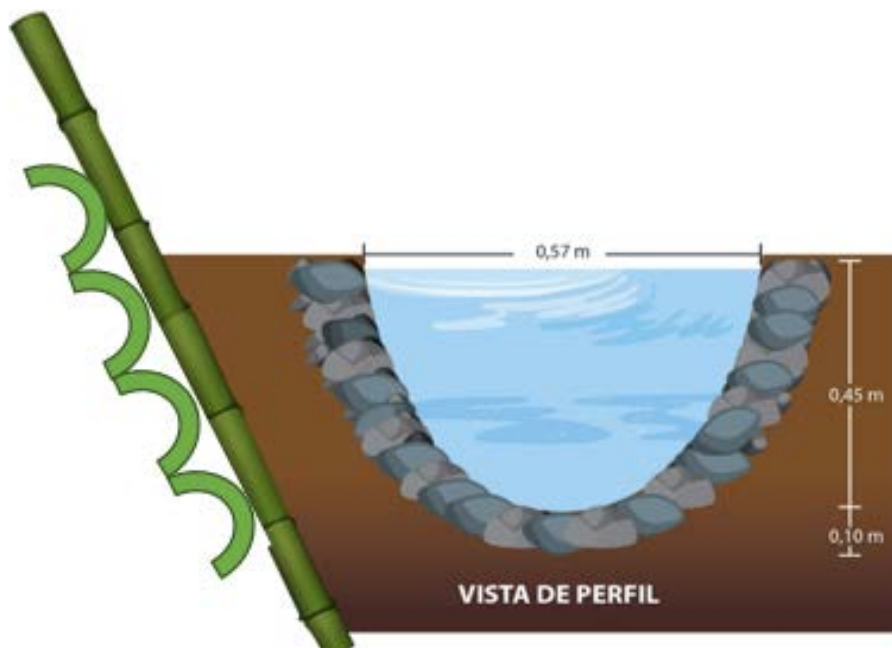


Fig. 8. Sección transversal de un canal parabólico para drenaje del agua de escorrentía y de desviación de las terrazas

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

f) Construcción de los canales de drenaje y de desviación

Los canales de drenaje se ubicarán en la parte inferior del talud de cada terraza y seguirán las curvas de nivel, con el ancho máximo de 0,57 m, profundidad de 0,45 m (paso e) y una inclinación transversal del 1% (paso b) para facilitar el drenaje lento del agua y evitar su encharcamiento debido a la cantidad de lluvias presentes en el sector.

La construcción de los canales empezará a una distancia de 0,1 m desde el muro de contención, se utilizará un nivel tipo “A” para trazar la curva a desnivel del canal. El 1 % de inclinación del canal se obtendrá al cortar 2 cm a la pata “Y” del nivel tipo “A” (Figura 9).

Para empezar el trazado de la curva se fija la pata “X” del nivel en la parte baja del muro de contención, se mueve la pata “Y” hasta un punto donde el nivel de agua indique que la posición está completamente horizontal y se marca el punto clavando una estaca de madera de 0,30 m. Se repite el proceso desde el punto encontrado hasta

trazar la curva en todo el terreno (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola, 2011).

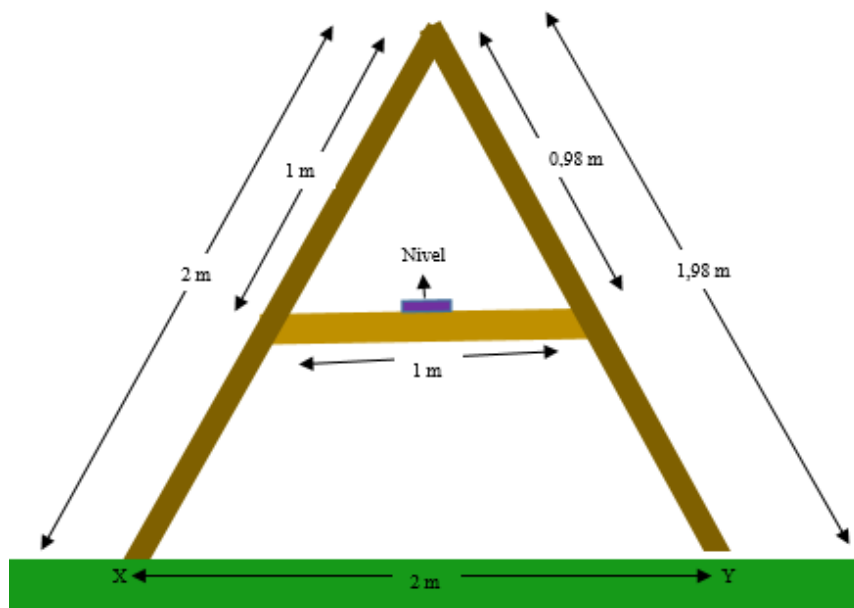


Fig. 9. Nivel tipo “A” para el trazado de las curvas de los canales de drenaje de agua de escorrentía y desviación

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

Los canales de drenaje y desviación se cavarán con una pala. La tierra que salga de la excavación de los canales se la colocará en la terraza, si existen piedras serán utilizadas para cubrir la superficie del canal y ayudar a disipar la energía de drenaje debido a la rugosidad de la piedra. (Pizarro, 2012).

Los canales de desviación se construirán desde la parte más alta hasta la parte inferior del terreno. Estos canales tendrán las mismas medidas que los de drenaje, estarán distanciados por 20 m uno de otro y seguirán el relieve del terreno, en la parte del talud de la terraza se colocaran piedras disipadoras para disminuir la velocidad del agua (Fig. 10) (Villamarín, 2013).

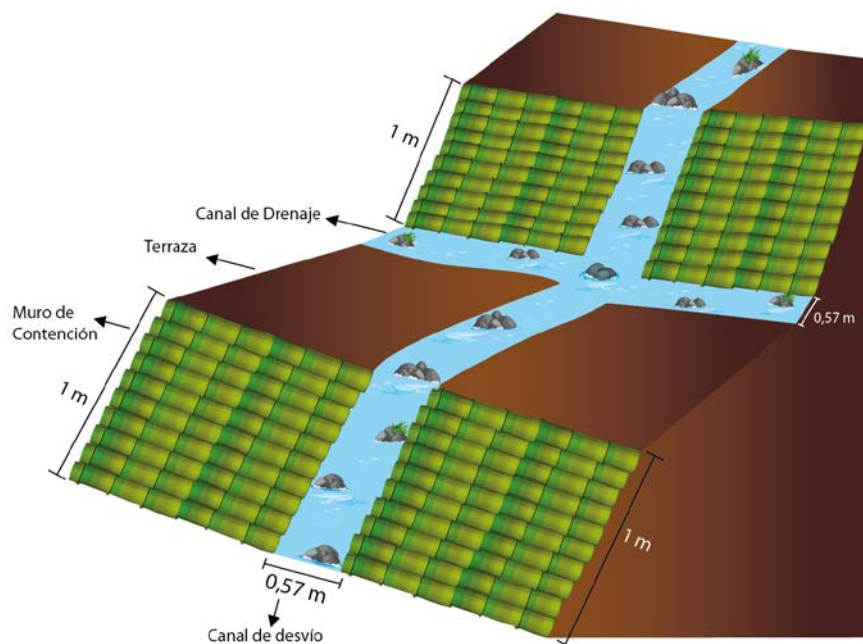


Fig. 10. Canales de desviación para drenar el agua de escorrentía desde las terrazas hacia afuera del terreno

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

3.2.3.4. Construcción de las terrazas.

El contorno de las terrazas seguirá las curvas de nivel realizadas en el levantamiento topográfico. Finalmente, se forman las terrazas debido a que ya están construidos los muros de contención por lo que se procede a rellenar las terrazas. El relleno consistirá en acumular el material sobrante de la fijación de los postes y de los canales de desagüe. Además con el tiempo la pendiente se erosionará y los muros de contención van a retener la tierra por lo consiguiente se van a rellenar las terrazas y tomarán la forma definitiva (Fig. 11).

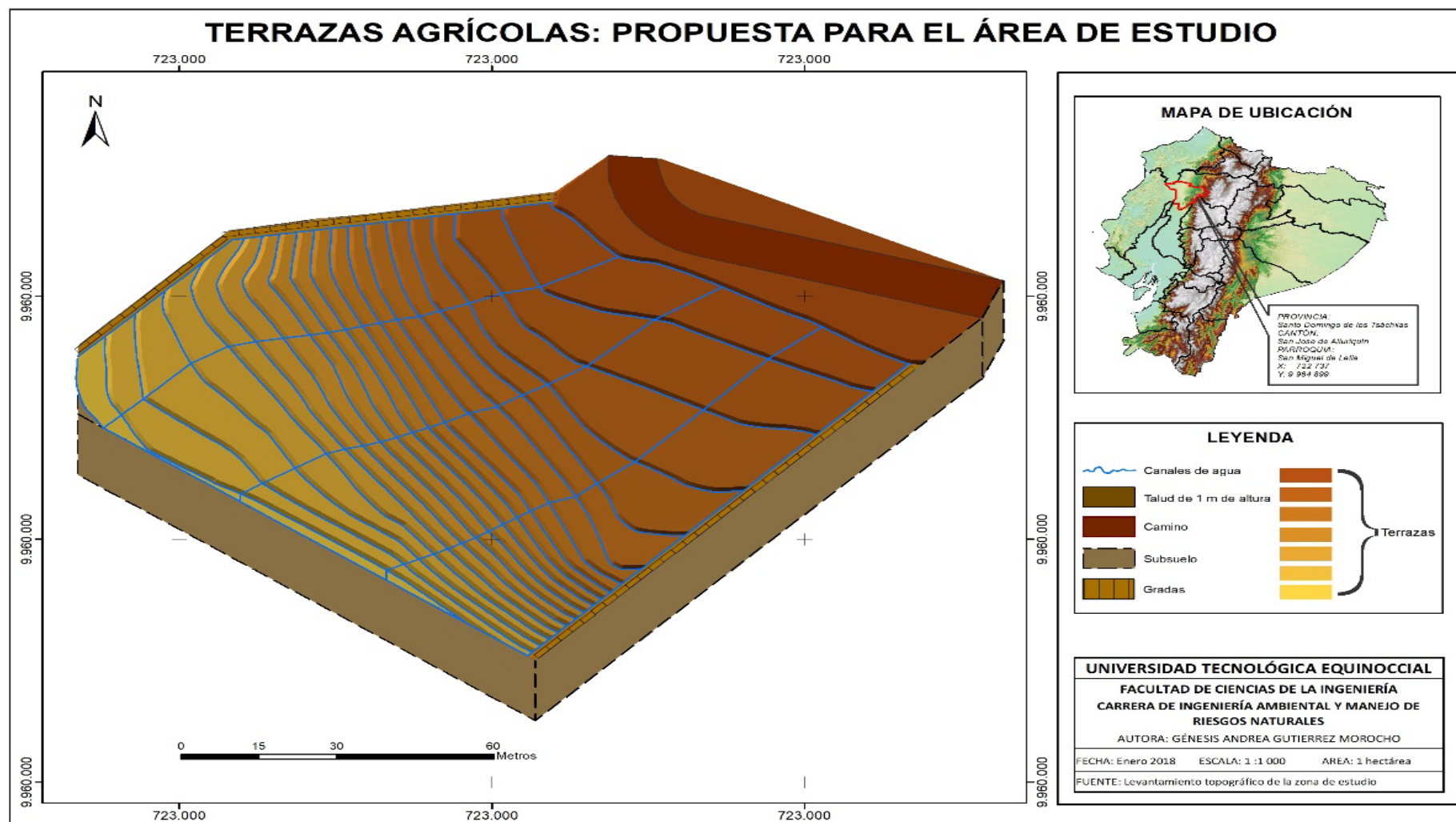


Fig. 11. Diseño de terrazas de banco para 1 ha de terreno, en San Miguel de Lelia, Santo Domingo, Ecuador
 Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2018

3.2.4. Mantenimiento

Se debe mantener el área de construcción de las terrazas para prolongar su vida útil, que se estima aproximadamente de 8 años y con un mantenimiento trimestral (Suquilanda & Rodriguez, 2017). El mantenimiento de las terrazas consiste el limpiar los canales de desagües debido a que se puede rellenar de materia orgánica, tierra, entre otros materiales. Las cañas de guadua pueden romperse debido a la presión de deslizamientos de tierra ocasionada por la lluvia debido a esto se debe reparar las cañas guadua que forman el muro de contención. La operación de las terrazas se basa en la limpieza de terrazas, limpieza de canales y la medición de la erosión (Olivera, 2011).

Se debe cubrir el suelo de las terrazas con plantas de utilidad agrícola para reducir la maleza y lo más importante es impedir que aumente la erosión hídrica debido a la velocidad de caída de gotas de agua que erosionen el suelo y lo laven (FAO, 2013) . La siembra de plantas en las terrazas de banco puede ser la reincorporación de plantas nativas como arbustos (Tabla 10) al igual de plantas introducidas como hierbas y arbustos (Tabla 11), que tengan características como facilidad de propagación, un resistente sistema radicular y rápido crecimiento. Las plantas multiplicadas por estacas serán sembradas mediante un corte al suelo y clavadas, mientras que las de semillas se realizara un vivero para garantizar su germinación, hasta que estas tenga una altura entre 5 a 10 cm ya que poseen un buen sistemas radicular; las cuales se realizarán en fundas plásticas. La recolección de semillas debe ser en la época de producción del año, y para la multiplicación de arbustos se usarán estacas escogidas de las ramas más sanas y fuertes (Napoleón & Cruz, 2007).

Tabla 10. Tipo de plantas nativas sugeridas de la zona

Nombre Común	Nombre Científico	Reproducción	Hábito	Distancia de siembra (m)
Balsa de montaña	<i>Calypttranthes</i>	Semillas o estolones	Arbusto	2 x 2
Meriania	<i>Meriania campii</i>	Estacas	Arbusto	2 x 2
<i>Flor de Mayo</i>	<i>Tibouchina</i>	Estacas	Arbusto	3 x 3

Fuente: (Pinargote, 2017)

Tabla 11. Tipo de plantas introducidas y sugeridas en la zona

Nombre Común	Nombre Científico	Reproducción	Hábito	Distancia de siembra (m)
Maní forrajero	<i>Arachis pintoi</i>	Semilla o plántula	Hierba	0,25 x 0,50
Tifton 85	<i>Cynodon dactylon</i>	Híbrido	Hierba	0,50 x 0,50
Limoncillo	<i>Swinglia glutinosa</i>	Semilla	Arbusto	2 x 2

Fuente: (Pinargote, 2017)

Después de ocho años de la construcción [comunicación personal, (Suquilanda & Rodríguez, 2017)], las terrazas estarán formadas en el terreno si hubo el mantenimiento correcto. A partir de ese tiempo no se construirá nuevamente las terrazas, sino que se colocará nuevamente caña guadua para fortalecer y formar el talud.

La caña guadua sirve de muro de contención temporal porque tiene una vida útil de 2 años (Canelo & Hidrovo, 2005), por eso se siembra plantas que tengan buen sistema radicular para que sirvan de sostén al suelo y mantengan la forma de la terraza.

Si las terrazas construidas provocan mayor erosión de la existente sin la construcción de terrazas fuera de toda el área de construcción, puede ser por saturación del agua y falta de soporte de terrazas por destrucción. Para manejar el problema se mantendrá limpios los canales de desagüe en las épocas de lluvia porque podría haber exceso de lluvia y desbordarse los canales.

3.3. Análisis económico

El costo total de la propuesta es de USD \$9349,00 (Tabla 12 y 13), el costo de operación USD \$40,00 (Tabla 14) y el costo de mantenimiento USD \$50,00 (Tabla 15).

La inversión para construir las terrazas es para prevenir la erosión del suelo. Un suelo erosionado es difícil de recuperar debido a que disminuye su potencial productivo y sufre cambios en sus características físicas y químicas; además, se requiere de tiempo para tratar recuperar un suelo productivo (Mena, Josse, & Medina, 2011).

Tabla 12. Presupuesto de costos de construcción de las terrazas de banco de 1 ha

Actividades	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Levantamiento topográfico	Hectárea	1	\$ 70,00	\$ 70,00
Nivelación y estacado de terraza	m ²	1000	\$ 0,75	\$ 750,00
Construcción de muros de contención	m ²	1000	\$ 1,00	\$ 1000,00
Nivelación de terrazas	Jornal	4	\$ 10,00	\$ 40,00
Formación de canal de desagüe	Jornal	20	\$ 10,00	\$ 200,00
Siembra de plantas	Jornal	4	\$ 10,00	\$ 40,00
Transporte	Viajes	8	\$ 10,00	\$ 80,00
TOTAL				2180,00

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2017

Tabla 13. Presupuestos de costos de los materiales de construcción de terrazas de banco de 1 ha

Materiales	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Caña Guadua	Unidad	7540	\$ 0,90	\$ 6786,00
Piola	Unidad	2	\$ 4,00	\$ 8,00
Cinta métrica	Unidad	1	\$ 9,00	\$ 9,00
Palas	Unidad	20	\$ 12,00	\$ 240,00
Pala Cava - Hoyos	Unidad	4	\$ 15,00	\$ 60,00
Martillos	Unidad	4	\$ 6,00	\$ 24,00
Sierra Manual	Unidad	4	\$ 7,50	\$ 30,00
Hierro de 3/8 pulg	Unidad	1	\$ 6,00	\$ 6,00
Pintura	Litro	1	\$ 2,00	\$ 2,00
Nivel tipo A	Unidad	1	\$ 4,00	\$ 4,00
TOTAL				7169,00

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2017

Tabla 14. Presupuesto de costos de operación cada 3 meses

Actividades	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Limpieza de canales y terrazas	Jornal	3	\$ 10,00	\$ 30,00
Medición de la erosión	Jornal	1	\$ 10,00	\$ 10,00
TOTAL				40,00

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2017

Tabla 15. Presupuesto de costos de mantenimiento cada 3 meses

Actividades	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Reconstrucción de Canales	Jornal	2	\$ 10,00	\$ 20,00
Rellenos de terrazas	Jornal	1	\$ 10,00	\$ 10,00
Resiembra	Jornal	2	\$ 10	\$ 20,00
TOTAL				50,00

Elaborado por: Genesis Gutierrez, 2017

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusión

En el terreno de estudio la erosión hídrica existe según la estimación con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) y se encuentra en un rango moderado en la Categoría de la Intensidad de la Erosión Hídrica propuesta por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), por lo que es factible realizar prácticas mecánicas de conservación.

El levantamiento topográfico que se realizó en el terreno de estudio es de 1 ha de área total, con forma de un polígono cerrado de 6 lados, con un relieve irregular, la cual tiene una pendiente promedio de 45%, con cotas de altimetría cada 1 m de distancia.

La propuesta de construcción de terrazas de banco con la pendiente hacia afuera es una opción adecuada por la textura y precipitación del lugar de estudio. Los materiales y metodología de construcción son asequibles para llevar a cabo la ejecución de la propuesta. El costo a invertir en la construcción de las terrazas se estima en USD \$9349,00.

Recomendación

Se sugiere construir terrazas de banco con la pendiente hacia afuera para conservar el suelo de lugares con problemas de erosión hídrica.

Realizar investigaciones específicas para cada factor del modelo RUSLE debido a que cambian según la zona de aplicación.

El tipo de material que se usa para formar el muro de contención de las terrazas agrícolas debe encontrarse en la zona para disminuir los costos de construcción.

REFERENCIAS

- Alcañiz, J. M. (2013). Erosión: Evaluación de Riesgos Erosivo y Prácticas de Protección del suelo. *Evaluacion y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica*, 125-146.
- Amestoy, J. (2013). *El Planeta Tierra en Peligro: Calentamiento Global, Cambio Climático. Soluciones*. Alicante: ECU. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=A6vXg35c8LIC&pg=PA55&dq=procesos+de+degradacion+del+suelo&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjgIy2y8jYAhULTCYKHZuGAMIQ6wEIOTAE#v=onepage&q=procesos%20de%20degradacion%20del%20suelo&f=true>
- Arcement, G. y. (1989). *Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains*. Denver: U. S. Department of the Interior.
- Arias, C. A. (2014). *Evaluación de Impacto Ambiental y su incidencia en los efectos del componente agroproductivo del P.D.A. UNOCANT*. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato: <http://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7001/1/tesis-009%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20225.pdf>
- Aristizabal, A., & Hermelin, M. (2008). Los caminos de gando en las tierras altas del Departamento de Antioquia: Una primera aproximación. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 55-71. Obtenido de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/9272/11087>
- Canelo, P., & Hidrovo, P. (2005). El Acero Vegetal. *Cuestiones Económicas*, 187 - 233.
- Corominas, J. (2013). *Tipos de Totura en Laderas y Taludes*. Obtenido de Universidad Politécnica de Cataluña: <http://www2.etcg.upc.edu/asg/Talussos/pdfs/ClasificacionDeslizamientos.pdf>
- Díaz, C. (2007). *Estructura de Conservación de suelos y dos variedades introducidas de maíz en Nochán, Olopa, Chiquimula*. Obtenido de Universidad de San Carlos de Guatemala: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0934.pdf
- Echarri, J. L. (2007). *Rescate de las Técnicas Incaicas y Cañaris en los Sistemas de Producción Agropecuaria y su aplicación en la región*. Obtenido de

- Universidad del Azuay: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/568/1/06655.pdf>
- Enrique, C., & Duque, G. (2016). *Geotecnia para el Trópico Andino*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/1/presentacionycontenido.pdf>
- ESRI. (2016). *ArcMap*. Obtenido de ArcGIS for Desktop: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/main/map/what-is-arcmap-.htm>
- F.A.O. (1979). A provisional methodology for soil degradation assessment. Roma.
- FAO. (2013). *Uso de Terreno en ladera*. Obtenido de Deposito de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/V5290S/v5290s31.htm>
- FAO. (2015). Uso de barreras en terrenos para el control de erosión. *Tecnologías y prácticas para pequeños productores agrarios*.
- Feng, J. (1995). *Soil conservation handbook. Council of Agriculture, Taiwan, China*. Taiwan: Council of Agriculture.
- Fundación Hondureña de Investigación Agrícola. (2011). Guía sobre Prácticas de Conservación de Suelos. *Proyecto Promoción de Sistemas Agroforestales de Alto Valor con Cacao en Honduras*. La Lima, Cortés, Honduras: FHIA.
- GAD Parroquial Rural de Alluriquín. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural Alluriquín 2015-2019*. Obtenido de Sistema Nacional de Información: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1768117060001_ALLURIQUIN%20-%20CONSOLIDADO%20DIG_31-10-2015_00-05-06.pdf
- Holdridge, L. (1967). *Life Zone Ecology*. San José- Costa Rica: TROPICAL.
- Iriondo, M. H. (2007). *Intrducción a la Geología*. Córdoba: Brujas.
- Izquierdo, E. B. (2009). *Manejo de Cuencas Atoandinas: Análisis de la experiencia de PRONAMACHCS en el Perú*. Obtenido de Universidad de Chile: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/cf-izquierdo_eg/pdfAmont/cf-izquierdo_eg.pdf
- Mancilla, O., Oropeza, J., & Martínez, M. (2009). Evaluación de Terrazas de Banco para Plantaciones Forestales Comerciales. *Ciencia Forestal en Mexico*, 97-116.
- Martínez, M., Rubio, E., & Palacios, C. (2009). Terrazas. *Sagarpa*, 1-12.

- Mena, P., Josse, C., & Medina, G. (2011). Los Suelos del Páramo. *Páramo*. Quito, Ecuador: Abya Yala.
- Mendoza, M. (2007). *Manual de Métodos Sencillos para Estimar la Erosión Hídrica*. Managua: UNA PASOLAC CIAT.
- Morales, M. (2014). *Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud- Haití*. Obtenido de Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr>
- Morgan, R. (2005). *Soil erosion and conservation. 3th ed. Blackwell Publishing, Australia*. Australia: Blackwell Publishing.
- Muñoz, D., Ferreira, M., Escalante, I., & López, J. (2013). Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo en una región semiárida. *Terra Latinoamericana*, 201-210. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/573/57328903004/>
- Napoleón, J., & Cruz, M. (2007). Guía Técnica de semilleros y viveros frutales. Santa Tecla, El Salvador: FRUTAL ES.
- Olivera, J. (2011). *Manejo agroecológico del predio: Guía de Planificación*. Quito: CEA.
- Paccha, E. (2013). Evaluación de la erosión hídrica en la microcuenca del Río Lelia y selección multicriterio de especies de vegetación nativa para su control.
- Pachas, R. (2009). El levantamiento topográfico: Uso del GPS y Estación Total. *Academia Universidad de Los Andes, III*, 29-45. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/30397/>
- Pinargote, J. (2017). Propuesta de restauración de taludes, mediante la técnica de reforestación, en San Miguel de Lelia, parroquia Alluriquín. *Universidad Tecnológica Equinoccial*. Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador.
- Pizarro, R. (2012). *Manual de Conservación de aguas y suelos*. Obtenido de Universidad Austral de Chile: <http://www.uach.cl>
- Ramos, J. (2013). *Las Terrazas: Técnica para evitar la erosión y conservar suelos productivos en Bolivia*. Obtenido de Academia: http://www.academia.edu/30320918/_LAS_TERRAZAS_T%C3%89CNICA_PARA_EVITAR_LA_EROSI%C3%93N_Y_CONSERVAR_SUELOS_PRODUCTIVOS

- Rea, V. (2013). *Uso de la caña guadua como alternativa de construcción: Evaluación medioambiental frente a sistemas constructivos tradicionales*. Obtenido de Universidad Politecnica de Madrid: <http://repositorio.educacion superior.gob.ec/bitstream/28000/356/1/T-SENESCYT-0126.pdf>
- Rivera, J. (2009). *CONSTRUCCIÓN DE TRINCHOS VIVOS PARA CONDUCCION DE AGUAS DE ESCORRENTÍA EN ZONAS TROPICALES DE LADERA*. Obtenido de Conservación de Suelos y Control de Erosión: http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap12.pdf
- Sánchez, B., & Martínez, M. (2013). *Terrazas de Banco*. Obtenido de SAGARPA: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents>
- Suarez, J. (2009). *Deslizamientos. Tomo I: Análisis Geotécnico*. (Bogotá, Ed.) Obtenido de Geotecnología : <http://www.erosion.com.co/vision-geotecnica-de-la-amenaza-sismica.html>
- Suquilanda, J. P., & Rodriguez, R. (2017). *Terrazas Agrícolas*. Ecuador.
- Távora, R. (2008). *Drenagem agrícola. disponible en http://www.gpeas.ufc.br/disc/dren/apostila_drenagem.pdf*.
- Villamarín, S. (2013). *Manual Básico de Diseño de Estructuras de Disipación de Energía Hidraulica*. Obtenido de Escuela Politécnica del Ejército: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6181/1/T-ESPE-040211.pdf>