



**COLEGIO DE**  
**POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

**CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE TERRAZAS DE BANCO  
PARA PLANTACIONES FORESTALES  
COMERCIALES**

**OSCAR RAÚL MANCILLA VILLA**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2008

# CONTENIDO

	Página
CONTENIDO .....	i
ÍNDICE DE CUADROS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. La erosión del suelo .....	3
2.1.1. Naturaleza del proceso erosivo.....	3
2.1.2. Infiltración .....	4
2.1.3. Escurrimiento superficial.....	5
2.1.4. Predicción de pérdidas de suelo.....	7
2.2. Prácticas productivo-conservacionistas .....	8
2.2.1. Prácticas mecánicas .....	9
2.2.2. Prácticas vegetativas.....	10
2.2.3. Prácticas agronómicas .....	10
2.2.4. Prácticas de regulación hídrica .....	10
2.3. Terrazas.....	10
2.3.1. Historia del uso de las terrazas .....	11
2.3.2. Consideraciones para la implementación de terrazas .....	13
2.4. Clasificación de terrazas por su sección transversal.....	14
2.4.1. Terraza de base ancha.....	15
2.4.2. Terraza de bancos alternos .....	15
2.4.3. Terraza de canal amplio o de Zinng .....	16
2.4.4. Terraza de base angosta o de formación sucesiva .....	16
2.4.5. Terraza de banco.....	16
2.5. Levantamiento topográfico.....	18
2.6. Espaciamiento entre terrazas .....	19

2.7. Ajuste del ancho de la terraza al equipo disponible.....	20
2.8. Profundidad del corte.....	21
2.9. Sección transversal y volumen de corte.....	22
2.10. Trazo .....	22
2.10.1. Trazo utilizando un plano topográfico.....	22
2.10.2. Trazo directo en campo .....	23
2.11. Construcción de las terrazas de banco .....	24
2.12. Evaluación técnica de prácticas de conservación .....	24
2.12.1. Estudios realizados con lluvia simulada.....	25
2.12.2. Importancia del uso del simulador de lluvia para evaluar prácticas de conservación.....	26
2.13. Evaluación financiera .....	27
2.13.1. Valor actual neto.....	28
2.13.2. La tasa interna de rentabilidad.....	30
2.13.3. El análisis de beneficio costo.....	31
2.14. Plantaciones forestales y los servicios ambientales.....	33
2.15. Experiencias en México sobre análisis financiero de plantaciones forestales comerciales y obras de conservación del suelo y agua .....	34
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	36
3.1. Objetivo general.....	36
3.2. Objetivos particulares .....	36
3.3. Hipótesis .....	36
3.4. Supuestos .....	36
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
4.1. Localización del sitio de estudio.....	37
4.2. Características del sitio de estudio.....	37
4.2.1. Orografía.....	39
4.2.2. Hidrografía.....	39
4.2.3. Clima .....	39
4.2.3.1. Balance hídrico.....	40
4.2.4. Recursos naturales .....	41

4.2.5. Tipos de suelo y tenencia de la tierra .....	42
4.2.6. Características de los suelos del Rancho Jesús María .....	43
4.3. Metodología .....	43
4.3.1. Levantamiento topográfico y diseño .....	44
4.3.1.1. Espaciamientos y selección del tipo de terraza .....	45
4.3.2. Trazo .....	46
4.3.3. Construcción de terrazas .....	47
4.3.3.1. Determinación de los movimientos de tierra .....	48
4.3.4. Plantación de árboles comerciales .....	49
4.4. Evaluación técnica de las terrazas de banco .....	49
4.4.1. Erosión .....	50
4.4.2. Evaluación con simulador de lluvia .....	50
4.4.2.1. Toma de muestras de suelo en campo .....	50
4.4.2.2. Simulador de lluvia .....	51
4.4.2.3. Colocación de las muestras de suelo en las charolas del simulador de lluvia .....	52
4.4.2.4. Medición de la infiltración .....	53
4.4.2.5. Medición del escurrimiento superficial y pérdida de suelo .....	54
4.4.3. Estimación de la eficiencia técnica .....	54
4.5. Evaluación financiera .....	54
4.5.1. Costos .....	54
4.5.2. Beneficios .....	55
4.5.3. Indicadores financieros .....	55
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	56
5.1. Levantamiento topográfico y diseño .....	56
5.1.1. Terrazas tipo .....	56
5.2. Construcción .....	59
5.3. Cálculo del volumen de tierra movido y costos .....	60
5.3. Plantación Forestal .....	62
5.5. Evaluación técnica .....	70
5.5.1. Eficiencia de las terrazas para disminuir la erosión hídrica .....	70
5.5.2. Infiltración .....	71
5.5.3. Escurrimiento superficial .....	72
5.5.4. Pérdida de suelo .....	74

5.6. Evaluación financiera .....	75
5.6.1. Costos .....	75
5.6.2. Beneficios .....	76
5.6.3. Indicadores financieros.....	77
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	80
6.1. Conclusiones.....	80
6.2. Recomendaciones .....	81
7. LITERATURA CITADA .....	82
8. ANEXOS .....	89

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 2.1. Valores del coeficiente de escurrimiento superficial (C) .....	6
Cuadro 2.2. Valores del factor de intensidad de la lluvia “a” para calcular el espaciamiento entre terrazas.....	20
Cuadro 2.3. Valores del coeficiente "b" para calcular el espaciamiento entre terrazas .....	20
Cuadro 2.4. Valores del factor P de la EUPS obtenidos para las obras de conservación de suelos.....	24
Cuadro 2.5. Determinación de los valores del factor P de la EUPS para diferentes secciones transversales de terrazas en las Lomas de San Juan, Chapingo, México 1976 y 1977.....	25
Cuadro 5.1. Intervalos verticales y horizontales en pendientes de 15 y 30%, para los criterios técnico y las necesidades del silvicultor. ....	56
Cuadro 5.2. Calculo del volumen de tierra movido y costo, bajo el criterio técnico por bloque y por pendiente .....	61
Cuadro 5.3. Cálculo del volumen de tierra movido y costo, bajo el criterio de requerimientos del silvicultor, por bloque y por pendiente.....	61
Cuadro 5.4. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque A del terreno terraceado. ....	63
Cuadro 5.5. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque B del terreno terraceado.....	65
Cuadro 5.6. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque C del terreno terraceado.....	66
Cuadro 5.7. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque D del terreno terraceado. ....	68
Cuadro 5.8. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque E del terreno terraceado.....	69
Cuadro 5.9. Cantidad de árboles plantados por bloque.....	69
Cuadro 5.10. Eficiencia de las terrazas de banco con plantación forestal para reducir la erosión hídrica. ....	70
Cuadro 5.11. Costos del proyecto para plantación forestal en terrazas de banco .....	76
Cuadro 5.12. Beneficios generados por la implementación de las terrazas de banco y la plantación forestal comercial.....	77
Cuadro 5.13. Costos, beneficios y flujos para los seis años de evaluación.....	77
Cuadro 5.14. Indicadores financieros para seis años de evaluación .....	78
Cuadro 5.15. Indicadores financieros considerando inflación de 4% anual .....	78

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 2.1. Simulador de lluvia utilizado como infiltrómetro en La Serena-Chile, (González, 2004) .....	5
Figura 2.2. Tipos de secciones transversales de las terrazas .....	15
Figura 2.3. Sección transversal de la terraza de banco y sus partes .....	17
Figura 4.1. Localización del sitio de estudio .....	37
Figura 4.2. Aspecto del terreno en Rancho Jesús María, (INEGI, 1983).....	38
Figura 4.3. Aspecto del terreno en Rancho Jesús María, (Google Earth, 2007) .....	38
Figura 4.4. Precipitación normal y máxima mensual registrada en la estación meteorológica Presa Colorines, Valle de Bravo, Estado de México (SMN, 2000).....	40
Figura 4.5. Balance hídrico mediante la metodología de Thornthwaite y Matter en el suelo del Rancho Jesús María.....	41
Figura 4.6. Organigrama de la metodología utilizada .....	44
Figura 4.7. Trazo de las terrazas en campo .....	46
Figura 4.8. Retroexcavadora realizando movimientos de suelo para formar las terrazas de banco en Rancho Jesús María .....	47
Figura 4.9. Estabilización de taludes de las terrazas .....	48
Figura 4.10. Esquema de plantación de árboles en las terrazas .....	49
Figura 4.11. Muestras de suelo tomadas en el bosque natural (izquierda) y en las terrazas (derecha) .....	51
Figura 4.12. Simulador de lluvia con disco giratorio tipo Morin.....	52
Figura 4.13. Charolas de escurrimiento en el simulador de lluvia .....	53
Figura 5.1. Diseño de las terrazas de banco para el terreno con pendiente de 30%.....	57
Figura 5.2. Diseño de las terrazas de banco para el terreno con pendiente de 15 %.....	58
Figura 5.3. Vista panorámica del sistema de terrazas de banco del Rancho Jesús María, Valle de Bravo Estado de México. ....	59
Figura 5.4. Plano de ubicación de terrazas en el terreno del Rancho Jesús María.....	60
Figura 5.5. Panorama de las terrazas con la plantación forestal comercial (Junio de 2006).....	62
Figura 5.6. Ubicación de las terrazas en el bloque A del terreno .....	63
Figura 5.7. Ubicación de las terrazas en el bloque B del terreno .....	64
Figura 5.8. Ubicación de las terrazas en el bloque C del terreno .....	65
Figura 5.9. Ubicación de las terrazas en el bloque D del terreno .....	67
Figura 5.10. Ubicación de las terrazas en el bloque E del terreno .....	68
Figura 5.11. Infiltración acumulada con y sin terrazas .....	71
Figura 5.12. Tasa de infiltración con y sin terrazas durante la simulación de lluvia. ....	72
Figura 5.13. Escurrimiento acumulado con y sin terrazas. ....	73
Figura 5.14. Tasa de escurrimiento superficial durante la simulación de lluvia.....	73
Figura 5.15. Pérdidas de suelo acumuladas, con y sin terrazas.....	74
Figura 5.16. Pérdida de suelo durante la simulación de lluvia.....	75

# DISEÑO Y EVALUACIÓN DE TERRAZAS DE BANCO PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES

Oscar Raúl Mancilla Villa, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2008.

Los objetivos de esta investigación fueron realizar el diseño, trazo y construcción de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales en el Rancho Jesús María, Valle de Bravo, México, evaluar su eficiencia técnica y determinar su factibilidad financiera. El diseño consistió en determinar los intervalos vertical y horizontal de los bancales, con base en la precipitación, pendientes dominantes en el terreno (15% y 30%), la textura del suelo y los requerimientos del silvicultor; se diseñaron 70 terrazas con 3 m de ancho por 0.45 m y 0.90 m de alto para las pendientes respectivas, en un total de 4 ha de terreno y se plantaron 3,757 árboles comerciales. Para la eficiencia técnica se midieron la infiltración, el escurrimiento superficial y la pérdida de suelo en charolas con suelo de terrazas y en charolas con suelo de bosque natural, de 0.15 m<sup>2</sup> bajo lluvia simulada con una intensidad de 140 mm hr<sup>-1</sup>. Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos para estimar la erosión actual, obteniéndose una eficiencia de 86.37% para reducir la pérdida de suelo. Las terrazas, con la simulación de lluvia, mostraron una eficiencia de 43.6% en aumentar la infiltración, de 74% para reducir el escurrimiento superficial y de 46.6% en la reducción de la pérdida de suelo. En cuanto a la factibilidad financiera se encontró una relación beneficio/costo de 2.37, un valor actual neto de \$6, 145,310.06 y una tasa interna de retorno de 123%. Se concluyó que la construcción de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales es una actividad técnicamente eficiente y financieramente factible.

**Palabras clave:** *Terrazas de banco, pérdida de suelo, escurrimiento superficial, infiltración, eficiencia técnica, viabilidad financiera.*

# DESIGN AND EVALUATION OF BENCH TERRACES FOR COMMERCIAL FOREST PLANTATIONS

Oscar Raúl Mancilla Villa, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2008.

The objectives of this investigation were to carry out the design, line and construction of bank terraces for commercial forest plantations in the Ranch Jesus Maria, Valley of Brave, Mexico, to evaluate their technical efficiency and to determine their financial feasibility. The design consisted on determining the vertical and horizontal intervals of the patches, with base in the precipitation, dominant slopes in the land (15% and 30%), the texture of the floor and the forester's requirements; 70 terraces were designed with 3 m of wide for 0.45 m and 0.90 m of high for the respective slopes, in a total of 4 there is of land and 3,757 commercial trees were planted. For the technical efficiency the infiltration, the superficial glide and the floor loss were measured in trays with floor of terraces and in trays with floor of natural forest, of 0.15 m<sup>2</sup> low feigned rain with an intensity of 140 mm hr<sup>-1</sup>. The Universal Equation was used of Lost of Floors to estimate the current erosion, being obtained an efficiency of 86.37% to reduce the floor loss. The terraces, with the rain simulation, showed an efficiency of 43.6% in increasing the infiltration, of 74% to reduce the superficial glide and of 46.6% in the reduction of the floor loss. As for the financial feasibility he/she was a relationship benefit/cost of 2.37, a net present value of \$6, 145,310.06 and an internal rate of return of 123%. You concluded that the construction of bank terraces for commercial forest plantations is a technically efficient and financially feasible activity.

**Key words:** *bench terraces soil loss, superficial glide, infiltration, technical efficiency, financial viability.*

# 1. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es la mayor restricción para el desarrollo rural y para la reducción de la pobreza (Posthumus *et al.*, 2004). La conservación del suelo y del agua mediante las prácticas productivo-conservacionistas es de suma importancia para el desarrollo sustentable del campo. Sin embargo, si el costo de inversión de dichas prácticas resulta alto y el beneficio bajo, los agricultores no acceden a implementar las técnicas de conservación.

México es un país con graves problemas de erosión, 80% de su territorio nacional muestra algún grado de erosión y 42% de los suelos han perdido de 25% a 75% de su capa superficial (Anaya, 1989). Las características topográficas y la intensidad de las lluvias que predominan en el país caracterizan un alto riesgo de erosión (Zúñiga *et al.*, 1993; Francisco, 2005), donde se pierden  $2.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Los suelos de México con más de 3% de pendiente representan el 85% de la superficie total del país y son responsables de una producción de 460, 867,670 toneladas de sedimentos por año (Ramírez *et al.*, 2001).

El Estado de México es un claro ejemplo del resultado de la demanda ejercida sobre los sistemas de producción y la presión de la población sobre los suelos de ladera y el cambio de uso. Un ejemplo se presenta en el municipio de Valle de Bravo reconocido por su basta riqueza en recursos naturales, que ha sido afectado por las actividades antropogénicas, situación que compromete su conservación para las generaciones futuras, por lo que es necesario realizar proyectos de manejo sustentable de dicha riqueza natural. El terreno del Rancho Jesús María, ubicado en Valle de Bravo, Estado de México, presenta como principales características; fuertes pendientes desde 12% hasta 30%, y aproximadamente 20 años ha estado improductivo, aunque cubierto de pasto natural y algunos árboles, pero sin un manejo adecuado. Estimaciones basadas en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) y utilizando la ecuación de erosividad de la lluvia propuesta por Cortes (1991), se estima una erosión actual de  $3.74 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , dicha tasa es considerada como erosión ligera (FAO, 1999).

Cabe mencionar que la región es importante para la producción de agua y abastecimiento del sistema Cutzamala, el cual genera cantidades importantes del vital líquido para la Ciudad de México. Además en esta zona se cambia de uso de suelo de forestal a agrícola en terrenos con fuertes pendientes sin realizar prácticas de conservación del suelo y el agua.

Por lo anterior se establece la importancia de realizar este trabajo, que desde un punto de vista técnico y financiero se demuestra la factibilidad de planear, diseñar y construir prácticas que ayudan a disminuir la pérdida de suelo, lo que garantiza la preservación de la fertilidad en los terrenos de ladera y la producción sin riesgos de provocar erosión, así como, mejorar las condiciones del suelo que ayudan a incrementar la cantidad de infiltración de la lluvia en el mismo y recargar los mantos freáticos.

Enfrentar esta problemática exige propuestas integrales e innovadoras desde el punto de vista que minimice o reduzca los impactos ambientales de la agricultura y ofrezca ventajas competitivas en términos económicos y sociales. En este trabajo se presenta una propuesta técnica que involucra el diseño, trazo y construcción de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, así como su evaluación técnica y determinación de su factibilidad financiera como una alternativa sustentable en el marco del manejo y aprovechamiento de los suelos de ladera del Rancho Jesús María, Valle de Bravo, Estado de México.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. La erosión del suelo

López (2005) define la erosión como el proceso físico que consiste en el desprendimiento, transporte y sedimentación de las partículas y agregados del suelo por el agua y el viento, lo cual representa la cantidad de suelo arrastrado de un punto de interés hacia otro, por la lluvia y el escurrimiento aumentando la superficie erosionada y las dimensiones de las cárcavas. Una definición más general la establecen Porta *et al.*, (2003) los que mencionan que la erosión es la pérdida general del material que constituye el suelo.

De acuerdo a Hernández *et al.*, (1999) y Oropeza (1999) en México los procesos de erosión son graves. Garrido (1999) establece que este problema es más intenso en determinadas áreas. Al respecto Cruz (2000) menciona que algunas de las características que llegan a influir en la aceleración del proceso erosivo son la geomorfología de los altiplanos, el régimen lluvioso, las características erosionables de los suelos que muchas veces son andisoles y la disminución de zonas boscosas. Este fenómeno se ha hecho grave por ejemplo; en el sur del estado de Puebla, en una región de la franja Mixteca Poblana y la Sierra Negra causando problemas serios de desertificación, Ruiz (1999), al igual que en las zonas de ladera del Estado de México.

#### 2.1.1. Naturaleza del proceso erosivo

Estudios sobre la mecánica del proceso erosivo que realizaron; Francia *et al.*, (2000) indican que la erosión del suelo es mayor en terrenos con pendientes fuertes, longitudes grandes y estructura frágil del suelo, donde la cubierta vegetal y la falta de prácticas productivo-conservacionistas no ayudan a disminuir el impacto de las lluvias de alta intensidad y los escurrimientos que se presentan en las zonas de laderas.

El proceso de disgregación de partículas debido al impacto de las gotas de lluvia ocurre principalmente cuando el suelo está seco; el movimiento de suelo produce superficies menos rugosas haciendo que las microdepresiones tiendan a sellarse. Este es un factor que incide en la reducción de la conductividad hidráulica del suelo en un evento de lluvia.

El escurrimiento superficial produce una fuerza erosiva que causa la remoción y transporte de las partículas de suelo, las cuales pueden ser depositadas sobre la superficie en pequeñas depresiones antes de alcanzar el cauce de un arroyo o bien, ser depositadas en el lecho de éste o en la planicie de inundación adyacente al sistema de drenaje (CP-SARH 1991).

### **2.1.2. Infiltración**

La infiltración es el proceso por medio del cual el agua penetra en el suelo a través de la superficie de la tierra y queda retenida o drena hacia la parte baja o hacia los acuíferos. Para su medición, es común utilizar como unidad de medida  $\text{mm h}^{-1}$  (López, 2005).

Al reducirse el grado de pendiente del terreno se mejoran las condiciones para que la lluvia se infiltre y por ende se reduzca el escurrimiento, lo cual provoca que se reduzca la erosión del suelo. La construcción de las terrazas de banco modifica principalmente a la pendiente del terreno, en grado y en longitud, consecuentemente modifica la infiltración, el escurrimiento superficial y la erosión del suelo (CP-SARH 1991).

Para la medición de la infiltración se tiene el uso de los infiltrómetros, siendo los más comunes los siguientes:

- a) Infiltrómetro tipo inundador: La infiltración será igual a la cantidad de agua que se necesita añadir para mantener una lámina constante sobre un área bien definida del terreno.
- b) Infiltrómetro tipo simulador de lluvia: Mediante un sistema tipo aspersión (Figura, 2.1), el agua se distribuye lo más uniforme posible por toda la superficie donde se quiere conocer la capacidad de infiltración. Una vez conocida la lluvia y la escorrentía, despreciando la evapotranspiración, la infiltración se puede calcular utilizando la ecuación (1):

$$I = P - S \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

I = Valor de la infiltración del área en un intervalo de tiempo (mm)

P = Cantidad de la lluvia (mm)

S = Cantidad de escorrentía (mm)



Figura 2.1. Simulador de lluvia utilizado como infiltrómetro en La Serena-Chile, (González, 2004).

### 2.1.3. Esguerrimiento superficial

El esguerrimiento superficial es la parte de la lluvia que se mueve sobre el suelo y se le denomina flujo sobre la superficie, el cual es captado por los cauces de los ríos, (López 2005). Desde otro punto de vista se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca, (Aparicio, 1994).

El esguerrimiento superficial se produce durante y después de un evento de lluvia, es favorecido por altas intensidades de precipitación, fuertes pendientes en el terreno, compactación del suelo, falta de cobertura vegetal, entre otros; se presenta bajo dos modalidades: 1) no concentrado (en canalillos, difuso y laminar) y 2) concentrado (surcos y cárcavas), cuando las aguas transitan por la vertiente confluyen en pequeños cursos que producen incisiones en la superficie, (FAO, 2006).

De acuerdo con CP-SARH (1991), para calcular el escurrimiento medio o volumen medio en cuencas pequeñas, es necesario conocer el valor de la precipitación media, el área de drenaje y su coeficiente de escurrimiento de tal manera que la relación numérica a utilizar es la ecuación (2):

$$Q = CPA \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

- Q = volumen escurrido (mm)
- C = coeficiente de escurrimiento (adimensional)
- P = precipitación media anual (mm)
- A = área de drenaje (m<sup>2</sup>)

El coeficiente de escurrimiento (C) es la relación entre la cantidad de agua escurrida y la cantidad de agua precipitada. Depende de la cobertura vegetal, la topografía del terreno y la textura del suelo, sus valores aproximados se muestran en el Cuadro 2.1, de esta forma es posible estimar el escurrimiento superficial.

Cuadro 2.1. Valores del coeficiente de escurrimiento superficial (C)

Vegetación	Topografía	Textura del suelo		
		Gruesa	Media	Fina
<b>Bosque</b>				
	Plano (0-5% de pendiente)	0.1	0.3	0.4
	Ondulado (6-10% de pendiente)	0.25	0.35	0.5
	Escarpado (11-30% de pendiente)	0.3	0.5	0.6
<b>Pastizal</b>				
	Plano (*)	0.1	0.3	0.4
	Ondulado (*)	0.16	0.36	0.55
	Escarpado (*)	0.22	0.42	0.6
<b>Terrenos Agrícolas</b>				
	Plano(*)	0.3	0.5	0.6
	Ondulado (*)	0.4	0.6	0.7
	Escarpado (*)	0.52	0.72	0.82

\*Mismas pendientes indicadas para bosque

Fuente: CP-SARH, 1991.

#### 2.1.4. Predicción de pérdidas de suelo

Desde 1940 se han desarrollado algunos modelos para estimar las pérdidas de suelo, haciendo uso de algunos factores y conceptos tales como: características de la lluvia y del suelo, pendiente del terreno y prácticas de manejo del suelo; vegetación y obras de conservación. A partir de éstos, se determinó la EUPS, (Wischmeier y Smith, 1978).

La EUPS considera las interrelaciones de parámetros físicos y de manejo que influyen en la tasa de erosión en seis factores principales, cuyos valores pueden ser expresados numéricamente para un sitio específico, y que multiplicados entre sí, dan por resultado una estimación de la cantidad de suelo perdido por unidad de superficie y tiempo (Figuroa *et al.*, 1991). Este modelo tiene la siguiente expresión:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

- A = Pérdida de suelo en ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ )
- R = Factor de erosividad de la lluvia ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ )
- K = Factor de erosionabilidad del suelo ( $t \text{ ha hr MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ )
- LS = Factores de longitud y grado de pendiente (adimensional)
- C = Factor de cultivo o cobertura vegetal (adimensional)
- P = Factor de prácticas mecánicas (adimensional)

La EUPS (ecuación 3), se desarrolló como un método para predecir la pérdida de suelo anual promedio para erosión laminar. Con los parámetros disponibles se pueden diseñar alternativas de manejo del suelo y de los cultivos para una región dada. Como ha sido señalado por Wischmeier (1976), utilizado por Figuroa *et al.*, (1991), por Moore y Wilson (1993), y Torres *et al.*, (1996), este modelo puede usarse para los siguientes fines:

1. Predecir pérdida de suelo promedio anual de un terreno con pendiente bajo un uso específico del suelo.
2. Seleccionar sistemas de manejo, cultivos y prácticas de conservación para pendientes y suelos específicos.

3. Predecir los cambios en pérdida de suelo que ocurrirían al presentarse un cambio en las prácticas y obras de conservación para un terreno dado.
4. Determinar como se pueden aplicar o modificar prácticas de conservación para que se tenga un uso más intensivo del terreno.
5. Estimar pérdidas de suelo para terrenos forestales.
6. Dar estimaciones de pérdida de suelo a los conservacionistas.

El modelo presenta los valores de P para diferentes prácticas mecánicas; como surcado al contorno, franjas al contorno y surcos irrigados, así como para terrazas (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Valores de factor P de prácticas mecánicas de la EUPS

Pendiente del terreno (%)	Cultivo en fajas al contorno y surcos irrigados					Terraceo valor de P
	Surcado al contorno Valor de P	Longitud Máxima (m)	Valor de P	Longitud máxima (m)	Ancho máximo (m)	
1-2	0.6	122	0.3	244	40	0.12
3-8	0.5	91.5-61	0.25	183-122	30	0.1
9-12	0.6	36.6	0.3	73.2	24.4	0.12
13-16	0.7	24.4	0.35	48.8	24.4	0.14
17-20	0.8	18.3	0.4	36.6	18.3	0.16
21-25	0.9	15.2	0.45	30	15.2	0.18

Fuente: Wischmeier y Smith, 1978.

Según Kenneth *et al.*, (1991) desde los años 70's la EUPS ha sido mejorada por muchos investigadores, siendo en la actualidad una herramienta de planeación útil para los conservacionistas de Estados Unidos de Norte América y otros países. Los avances tecnológicos de esta ecuación generaron una nueva ecuación conocida como la EUPS revisada (Revised Universal Soil Loss Equation; RUSLE).

## 2.2. Prácticas productivo-conservacionistas

La ingeniería de conservación del suelo y del agua, es la aplicación de los principios de ingeniería agrícola a la solución de los problemas de manejo del suelo. Los problemas de

ingeniería relacionados con la conservación del suelo y del agua consideran seis problemas importantes: control de la erosión, conservación de la humedad, manejo de los escurrimientos superficiales, manejo del agua de riego, drenaje y desarrollo de los recursos hidráulicos. Con base en lo anterior, la solución de los problemas mencionados se logra con la implementación de las prácticas productivo-conservacionistas (Chia, 1998).

Las prácticas productivo-conservacionistas se definen como estrategias diseñadas para evitar la erosión del suelo por el impacto de la lluvia y formación del escurrimiento superficial. Mediante la implementación de las mismas se aumenta la capacidad de infiltración, se propicia el mejoramiento del suelo, la estabilidad de los agregados y se aumenta la rugosidad de la superficie.

Las prácticas de conservación del suelo y el agua se clasifican en mecánicas, vegetativas, agronómicas y de regulación hídrica; a continuación se describen algunas características de cada una de ellas.

### **2.2.1. Prácticas mecánicas**

Las prácticas mecánicas se definen como aquellas actividades que se realizan con implementos agrícolas, aperos de labranza, aditamentos especiales o mano de obra; consiste en realizar movimientos de tierra con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y evitar la erosión en los terrenos con pendiente (FAO, 1999).

Las principales prácticas mecánicas identificadas son las siguientes:

1. Surcado al contorno
2. Surcado Lister
3. Terrazas
4. Canales interceptores o desvío
5. Canales empastados
8. Zanjas trinchera
9. Pileteo o contreo
10. Nivelación de tierras

### **2.2.2. Prácticas vegetativas**

Las prácticas vegetativas para conservación de suelos son aquellas que utilizan la cobertura vegetal para controlar la erosión, tanto en la fase de desprendimiento de las partículas del suelo como en la fase del transporte. Estas prácticas consisten en establecer y mantener el terreno cubierto con vegetación densa durante el mayor tiempo posible.

Algunas de las prácticas vegetativas más comunes utilizadas en conservación de suelos son: Rotación de cultivos, Abonos verdes, Cultivos de cobertera, uso de residuos, Re-vegetación, Cortinas rompe vientos, plantaciones forestales y Manejo de pastizales.

### **2.2.3. Prácticas agronómicas**

Desde el punto de vista de conservación de suelos, en este grupo se incluyen todas aquellas labores culturales, prácticas o técnicas aplicadas comúnmente a los cultivos, pero que estén directa o indirectamente implicadas en la conservación del suelo, por ejemplo: labranza de conservación o preparación del terreno, fecha de siembra, densidad de siembra, uso de las variedades mejoradas, fertilización, manejo del agua, control de plagas y enfermedades, control de malezas, estercoladuras y aplicación de mejoradores químicos.

### **2.2.4. Prácticas de regulación hídrica**

Son aquellas prácticas que se emplean para prevenir la erosión generalmente en cárcavas. Se clasifican en temporales y permanentes de acuerdo a los materiales empleados para su construcción y la vida útil que estos presentan. Las presas temporales pueden durar de uno a dos años, ya que únicamente se utilizan para ayudar a la estabilización de material vegetativo o bien para controlar azolves en cárcavas en proceso de formación. Las presas de carácter permanente, pueden tener una duración de cuarenta o más años, ejemplo de ellas son las presas de gaviones.

## **2.3. Terrazas**

Desde el punto de vista agronómico es un terraplén formado por un bordo y un canal, construidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno (Foster, 1968; Anaya, 1989).

La función de este tipo de práctica es reducir la erosión del suelo, aumentar la infiltración del agua en el suelo, disminuir el volumen de escurrimiento, desalojar los excedentes del agua de lluvia a velocidades no erosivas, disminuir la producción de sedimentos, mejorar la superficie del terreno y crear condiciones adecuadas para labores agrícolas, pecuarias o forestales (Foster, 1968).

### **2.3.1. Historia del uso de las terrazas**

Históricamente las primeras terrazas fueron establecidas por los Fenicios en el Líbano, también los griegos en los tiempos de Platón, usaban las terrazas para proteger sus tierras sembradas con olivo. Según lo anterior, el conocimiento y uso de las terrazas, es antiquísimo, tanto para propósitos agrícolas como para la retención del agua de lluvia y para proteger y aprovechar los terrenos montañosos, como lo atestiguan las ruinas de Macchu Picchu en Perú y otros muchos ejemplos y testimonios, tanto antiguos como relativamente contemporáneos. En el lejano Oriente (China, Japón, Filipinas y Malasia), se construyeron terrazas para el cultivo de arroz sobre terrenos montañosos. En Europa se hizo lo propio para el establecimiento de viñedos y árboles frutales sobre lomeríos (Anestar, 1973).

En cuanto a México se sabe que desde épocas prehispánicas se utilizaban terrazas en las faldas de los cerros para el control de la erosión; restos de estas prácticas se observan en la Sierra de Juárez, Oaxaca, en forma de escalonamientos en las montañas. En la zona Oriente del Valle de México aún se utilizan terrazas de banco, construidas a base de piedra acomodada y pequeñas cortinas o diques de piedra acomodada (remesas, andenes o nepantles), en las cuales se retienen los azolves de los escurrimientos superficiales.

El uso de las terrazas era para cultivarse constantemente, pues solo así se justificaba el incalculable trabajo de construir y de conservar sus muros. De lo anterior se puede concluir que la teoría de la decadencia del imperio maya se debió a la erosión de sus tierras, no parece tener mucho fundamento, en vista de que en gran parte de su territorio se desarrolló una agricultura sobre eficientes sistemas de terrazas (Ruiz, 1979).

En un estudio que presentó Guzmán (1963) sobre las terrazas de los antiguos Mayas en el estado de Chiapas, específicamente en la región de Aguacatenango, situada a 55 km al sur de San Cristóbal de las Casas, indica que esta cultura poseía bastantes conocimientos sobre los sistemas de construcción de terrazas tal como lo muestran los restos estudiados; se dice también que hubo una gran variedad de tamaños y formas, pero burdamente se pueden clasificar en dos categorías:

1. Terrazas largas y anchas, de muros bajos en laderas bajas.
2. Terrazas cortas y angostas, de muros de medianos a altos, en laderas más altas.

Las primeras se construían al pie de las laderas, en extensos depósitos aluviales en forma de abanico, en los declives de las lomas, entre montañas o en los terrenos inundables. Las terrazas variaban de 20 a 40 metros de ancho y hasta centenares de metros de largo; su inclinación, al parecer no era de más de 2%, logrando un cambio en el ángulo hasta de 12% en la pendiente natural. En estas terrazas los muros de retención no eran más que una sola capa de rocas de piedra caliza crudamente labrada de 20 a 40 cm de diámetro, acopladas para retener el agua, unidas sin ninguna mezcla.

El segundo tipo de terrazas se construyeron en pendientes por lo general de más de 15%, a veces hasta de 50%, sus dimensiones eran de 10 a 15 m de largo, los muros de 1.50 m de alto, formados por rocas y peñascos de piedra caliza. Actualmente en los Altos de Chiapas, se usa un sistema de terrazas llamado “Terrazas Chamula”. Esta terraza surgió de las costumbres de esta región de utilizar cepellones con tierra para reforzar las cercas de sus terrenos.

La terraza de Nichols cuyo nombre se debe a su autor, es una terraza de tipo de canal (Gustafson, 1957), usada con bastante éxito en la región de Piedmont cuna del desarrollo del sistema de terrazas en los Estados Unidos, durante el periodo de 1820 a 1885. La terraza de Nichols presenta un canal de forma triangular, se construye cortando y dejando la tierra siempre en la parte de abajo; se recomienda para terrenos con pendiente de 15 a 16% ó más; este tipo de terraza puede ser construido con implementos reversibles (Ruiz, 1979).

Otras terrazas que se tiene conocimiento que se construyeron en Estados Unidos de Norteamérica, fueron las terrazas de banco, en la parte sur de Illinois hace unos 117 años Thompsom (1966).

En 1885 Priestle y H. Magnum diseñaron la primera terraza de base ancha en su hacienda cercana a Wake Forest, Carolina del Norte. Este tipo de terrazas desplazó los canales perpendiculares a la pendiente, o a la terraza de tipo canal, en el sudeste, ya que permiten cultivar el canal y el lomo. Las terrazas de Mágnum se caracterizan por presentar ondulaciones en el terreno, se construyen cortando y dejando la tierra en la parte de arriba o bien en la parte de abajo del canal. Estas terrazas se recomiendan para terrenos con pendientes menores de 7 u 8% y para su construcción se pueden emplear implementos mecánicos fijos.

En tiempos más recientes se siguen construyendo terrazas de banco con el objeto de prevenir y reducir la erosión del suelo en laderas como en China (Chia, 1998), en Perú, en Bolivia y en México (Posthumus *et al.*, 2004), son ejemplos de que las terrazas siguen siendo implementadas en terrenos de ladera como prácticas de conservación del suelo y el agua.

### **2.3.2. Consideraciones para la implementación de terrazas**

De acuerdo con CP-SARH (1991), las consideraciones para la planeación y construcción de las terrazas son:

- a) Clima: Las terrazas se adaptan a condiciones variadas de clima, lo que difiere es el tipo de sistema a utilizar. Se tienen terrazas para almacenar agua en climas con precipitaciones menores a  $700 \text{ mm año}^{-1}$ . Terrazas que desalojan los excesos de agua, cuando las precipitaciones son abundantes y las condiciones del suelo lo requieran.
- b) Erosión: Cuando las terrazas se utilizan para recuperar suelos totalmente degradados su construcción es costosa, el mantenimiento es constante y las operaciones de labranza son en general, difíciles.

- c) Topografía: Al aumentar la pendiente, la construcción y el mantenimiento de las terrazas aumentan el costo, hasta un punto tal, que en ocasiones esos gastos sobrepasan el valor de la tierra y los beneficios que pudieran obtenerse en un tiempo razonable. Los rangos de pendiente se determinan en función de los aspectos sociales, económicos y técnicos que incluyen la facilidad de laboreo y prácticas de conservación adicionales por aplicar, y no en función de una fórmula.
- d) Pedregosidad: Los suelos extremadamente pedregosos no permiten una construcción práctica y económica de las terrazas con maquinaria, sin embargo, su construcción es factible en áreas donde exista disponibilidad de mano de obra y se satisfagan los aspectos antes indicados.
- e) Suelos: Las características de los suelos determinan el tipo de terraza y el desagüe que se debe utilizar, así como la profundidad de corte tolerable y el espaciamiento que debe existir entre terrazas.
- f) Disponibilidad de maquinaria: Debido a los movimientos de tierra que implica la construcción de las terrazas, algunas veces en las áreas de corte afloran a la superficie materiales no fértiles que pueden hacer prohibitivo algún sistema de terrazas.

#### **2.4. Clasificación de terrazas por su sección transversal**

De acuerdo con CP-SARH (1991), las terrazas se clasifican de acuerdo a su sección transversal en: base angosta, base ancha, de banco o bancales, de bancos alternos y de canal amplio o de Zingg (Figura 2.2).

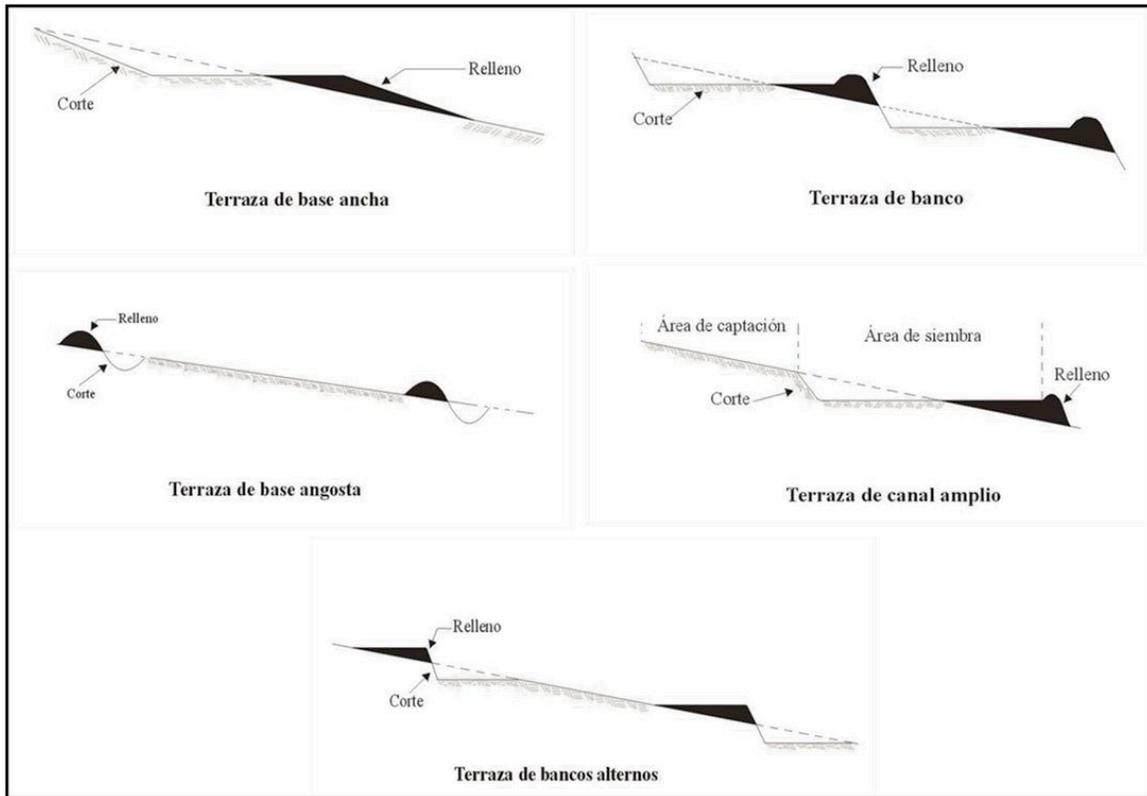


Figura 2.2. Tipos de secciones transversales de las terrazas.

#### 2.4.1. Terraza de base ancha

Las terrazas de base ancha se recomiendan para terrenos con pendientes menores del 8% y de topografía uniforme ya que en pendientes mayores, las operaciones de laboreo son más difíciles y se incrementan los movimientos de tierra.

Las ventajas de construir este tipo de terrazas son que se puede laborear toda la superficie de la terraza, se minimiza el problema de malas hierbas, así como, de animales roedores. Este tipo de terrazas es indicado cuando se cuenta con equipo ligero como es la escropa de tiro animal. La limitante de construir terrazas de base ancha es que se requiere del movimiento de grandes volúmenes de tierra.

#### 2.4.2. Terraza de bancos alternos

Este tipo de terrazas consiste en la construcción de bancales espaciados a intervalos regulares, entre los cuales se deja el terreno natural sin movimiento de tierra. La construcción de la terraza con el material de préstamo de la parte baja, disminuye la pendiente promedio del área

laborable. Cabe mencionar que deben mantenerse los taludes de la terraza, de preferencia empastados, controlar las malas hierbas y los animales roedores.

#### **2.4.3. Terraza de canal amplio o de Zinng**

La terraza de canal amplio o de Zinng está diseñada para ser utilizada en aquellas áreas donde la precipitación pluvial es muy escasa y no existe posibilidad de introducir agua de riego. La sección es similar a la de bancos alternos en lo relativo a la separación de estos, pero difiere en que el área de corte y relleno se encuentran dentro de la misma sección. Los intervalos entre bancales no se siembran y su función es la de captar agua de lluvia para complementar las necesidades del cultivo que se establece en el canal amplio (cosecha de agua).

#### **2.4.4. Terraza de base angosta o de formación sucesiva**

Consiste en la formación de un canal y un bordo de dimensiones variables. Este bordo no deberá ser utilizado para sembrar cultivos, aunque algunas veces pueden establecerse maguey o nopal para fijarlo y generar beneficios adicionales; en cualquier caso, el bordo deberá conservarse y sobreelevarse para acelerar la formación del bancal.

#### **2.4.5. Terraza de banco**

Las terrazas de banco son una serie de fajas niveladas o casi niveladas, establecidas perpendicular a la pendiente, con intervalos verticales y sostenidas por bordes inclinados o taludes (FAO, 1999), por su parte Porta *et al.*, (2003) definen a los bancales como rellanos que interrumpen la pendiente del terreno. Se pueden construir en todo tipo de clima, con cualquier grado de pendiente en el terreno con suelos profundos, aunque no es una limitante, en terrenos muy escarpados que presenten más de 20 % de pendiente. Para construirlas es necesario mover grandes volúmenes de tierra, el costo de construcción es alto y el ancho de la terraza está en función de la pendiente y profundidad del suelo (Zuhair, 2007). En la Figura 2.3, se muestra la sección transversal de una terraza de banco y sus partes que la conforman.

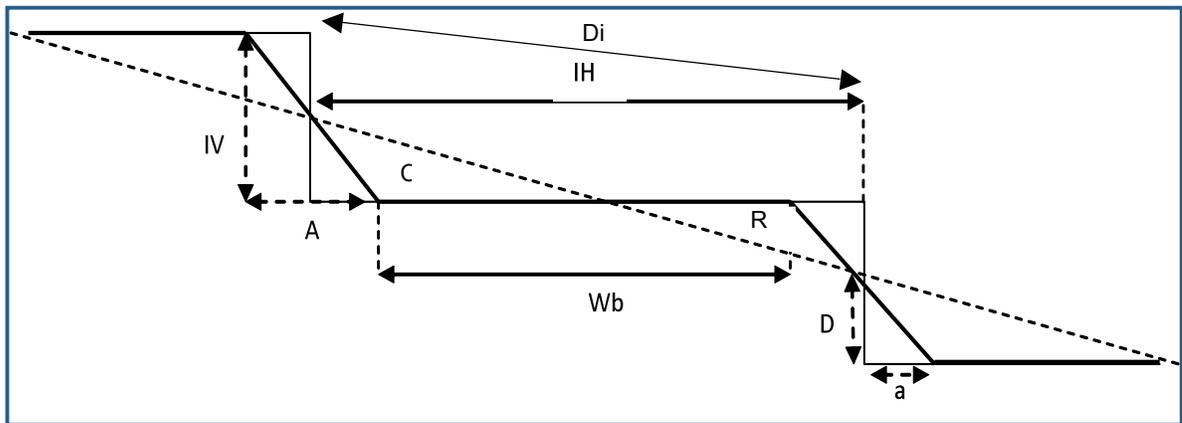


Figura 2.3. Sección transversal de la terraza de banco y sus partes

Donde:

- IV = Intervalo vertical (m)
- IH = Intervalo horizontal (m)
- Di = Distancia inclinada (m)
- Wb = Ancho de la terraza (m)
- C = Área de corte ( $m^2$ )
- R = Área de relleno ( $m^2$ )
- A = Base del talud (m)
- D = Profundidad de corte (m)
- a = Base del corte (m)

En la Figura 2.3, se observa que D es la mitad de IV.

De acuerdo con SEMARNAT-CONAFOR (2004); Baumann y González (2000); Suazo *et al.*, (2000) y CP-SARH (1991), las ventajas de construir terrazas de banco son las siguientes:

- a). Hacen posible la utilización de terrenos muy escarpados y el agua de lluvia se aprovecha al máximo.
- b). Se optimiza la eficiencia en el uso de la maquinaria e insumos agrícolas.
- c). Aumenta la diversidad de los cultivos y dan la posibilidad de elegir entre diferentes cultivos una vez que las tierras se aplanan.

- d). Conservan la humedad del suelo y los fertilizantes, incrementando de ese modo la producción.
- e). Intensifican las posibilidades de riego, cuidado y mecanización de la tierra.
- f). Estimulan el asentamiento agrícola y reducen los daños causados por la agricultura migratoria y los incendios.
- g). Permiten intensificar el uso de la tierra sin causar una grave erosión.

Las limitaciones de construir terrazas de banco de acuerdo con, Arteaga (2002) y CP-SARH (1991) son las siguientes:

- a). Requiere grandes movimientos de tierra, más que cualquier otro tipo de terraza.
- b). Altos costos de construcción.
- c). La producción agrícola disminuye en los primeros años.
- d). El ancho del bancal está en función de la pendiente, la profundidad del suelo y el uso que tendrán.

## **2.5. Levantamiento topográfico**

El levantamiento topográfico es básico para generar un mapa de curvas a nivel, el cual es útil para realizar un agrupamiento de rangos de pendiente en el terreno destinado para construir terrazas de banco, lo cual es útil para calcular los intervalos vertical (IV) y horizontal (IH) de las terrazas, así como para realizar el trazo en un plano de localización de las terrazas CP-SARH (1991).

El levantamiento topográfico se define como el conjunto de operaciones conducentes a posicionar uno o varios puntos de la superficie de la tierra con respecto a unas referencias preestablecidas (Polidura, 2000). El procedimiento topográfico consiste en una serie de líneas de control de apoyo (LCA) que conectan puntos de control de apoyo (PCA) sucesivos establecidos a lo largo del recorrido que se sigue al hacer el levantamiento. A los puntos de una poligonal se les denomina estaciones o vértices y a las operaciones para establecerlos en campo se les conoce como trazo de la poligonal y consisten en la medición de las distancias entre las estaciones y de algún valor angular entre la línea anterior y la siguiente, para conocer su dirección (Pérez, 1998).

Uno de los métodos topográficos altimétricos es el circuito de bancos a nivel, el cual, se considera como un sistema básico para todas las nivelaciones diferenciales. Un circuito de bancos a nivel se realiza con el propósito de determinar las elevaciones relativas de dos o más bancos nuevos en relación a un camino, otro banco de nivel, o cualquier punto de elevación conocido o supuesto.

**2.6. Espaciamiento entre terrazas**

El espaciamiento entre terrazas depende principalmente de la pendiente del terreno. Sin embargo, también influye la precipitación pluvial del lugar y los implementos agrícolas que se van a utilizar en la construcción. De acuerdo con CP-SARH (1991), el espaciamiento entre terrazas se determina utilizando la diferencia de nivel entre ellas, denominado intervalo vertical (IV), el cual se calcula con la ecuación (4), o considerando la distancia horizontal entre ellas, también llamado intervalo horizontal.

$$IV = \left( 2 + \frac{S}{3 \text{ ó } 4} \right) (0.305) \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

- IV = Intervalo vertical (m).
- S = Pendiente del terreno (%).
- 3 = Factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es menor de 1200 mm.
- 4 = Factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es mayor de 1200 mm.
- 0.305 = Factor de conversión de pies a metros.

Para determinar el Intervalo Horizontal (IH) se emplea la ecuación (5), (CP-SARH, 1999):

$$IH = \frac{IV}{S} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

- IH = Intervalo horizontal (m)
- S = Pendiente del terreno (%)
- IV = Intervalo vertical (m)

La ecuación (6) es recomendada por FAO (1999), para calcular el Intervalo Vertical (IV), para terrazas de banco.

$$IV = a \times S + b \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

IV = Intervalo vertical (m)

a = Factor que es función de la intensidad de la lluvia (0.06 a 0.24), (Cuadro 2.2.)

S = Pendiente del terreno (%)

b = Variable que depende de la erosionabilidad del suelo, de los cultivos y del manejo (Cuadro 2.3.).

Cuadro 2.2. Valores del factor de intensidad de la lluvia “a” para calcular el espaciamiento entre terrazas.

<b>Factor intensidad de la lluvia "a"</b>	<b>Zona climática</b>
0.06	Árida
0.12	Templada
0.24	Tropical

Fuente: FAO, 1999.

Cuadro 2.3. Valores del coeficiente "b" para calcular el espaciamiento entre terrazas.

<b>Valor de "b" (erosionabilidad)</b>	<b>Drenaje interno del suelo</b>	<b>Cubierta vegetal durante el período de lluvias</b>
0.30	Lento	Escasa
0.45	Rápido	Escasa
	Lento	Abundante
0.60	Rápido	Abundante

Fuente: FAO, 1999.

### 2.7. Ajuste del ancho de la terraza al equipo disponible

De acuerdo con CP-SARH (1991), para ajustar el ancho de la terraza al equipo disponible se estima aplicando la ecuación (7).

$$NS = \frac{IH}{DES} \dots\dots\dots(7)$$

Donde:

- NS = Número de surcos
- IH = Intervalo horizontal (m)
- DES = Distancia entre surcos (m)

Para calcular el número de vueltas de la maquinaria disponible se utiliza la ecuación (8).

$$NV = \frac{NS}{ND} \dots\dots\dots(8)$$

Donde:

- NV = Número de vueltas en la terraza
- NS = Número de surcos
- ND = Número de discos disponibles

En terrenos con suelos delgados además de considerar la pendiente del terreno, se recomienda diseñar el espaciamiento entre terrazas en función de la profundidad del suelo, con el propósito de que no se remueva todo el espesor del suelo con la excavación. En el caso de tener un suelo con 1.0 m de profundidad y 10% de pendiente, la separación entre bancales sería de 16.3 m (IH) para una condición de lluvia menor a 1,200 mm año<sup>-1</sup>; pero cuando la profundidad del suelo sea de 0.1 m y la misma pendiente, esta separación será no mayor de 2 m (CP-SARH, 1991).

### 2.8. Profundidad del corte

De acuerdo con FAO (1999), la profundidad del corte, puede calcularse mediante la ecuación (9):

$$D = \frac{Wb}{2} \tan\theta + \frac{RH}{2} \dots\dots\dots(9)$$

Donde:

- D = Profundidad del corte (m)
- Wb = Ancho de la banca (m)
- Tan  $\theta$  = Tangente del ángulo de la pendiente
- RH = Altura de la contrapendiente (m)

## 2.9. Sección transversal y volumen de corte

La sección transversal se calcula mediante la ecuación (10), (FAO, 1999):

$$C = \frac{Wb + Hr}{8} \dots\dots\dots(10)$$

Donde:

C = el área de la sección transversal o triángulo de corte (m<sup>2</sup>)

Wb = el ancho de la banca (m)

Hr = la altura del talud (m)

El volumen (V) se puede calcular multiplicando la longitud (L) por el área de corte (C), ecuación (11).

$$V = L \times C \dots\dots\dots(11)$$

Cuando se calcula el volumen de corte y relleno, debe notarse que sólo se computa una sección transversal, en razón a que la misma sección transversal se coloca pendiente abajo para formar la terraza (FAO, 1999).

## 2.10. Trazo

El trazo es el procedimiento de ubicación y delimitación de las terrazas, éste trabajo puede hacerse de dos formas: 1). Utilizando un plano topográfico para llevarlo posteriormente a campo y 2). Realizando el trazo directamente en campo (TRAGSA, 2003).

Antes de hacer el trazo es necesario seleccionar el tipo de terrazas que mejor se adapten al terreno, el técnico debe considerar cuidadosamente todas las alternativas y elegir la más conveniente y segura, así como localizar caminos y cercas, además de ubicar las áreas críticas, es decir, áreas pequeñas con fuertes pendientes que se presentan dentro del terreno que va a ser terracedo. El trazo de un sistema de terrazas puede hacerse en forma directa en el campo o con ayuda de un plano topográfico de la zona (CP-SARH, 1991).

### 2.10.1. Trazo utilizando un plano topográfico

El plano topográfico es de gran utilidad desde el inicio de la planeación de las terrazas hasta la culminación de las mismas, ya que ayuda a obtener el mejor trazo de terrazas, los sitios

para áreas de corrección y el trazo de caminos para que la maquinaria pueda dar vuelta. El procedimiento a seguir para utilizar eficientemente un plano topográfico es el siguiente:

1. Se determina en el plano la pendiente de las diferentes partes del terreno para terracear y si es posible se delimitan varias porciones.
2. Se selecciona el espaciamiento que debe existir entre terrazas, considerando la pendiente y el ancho de la maquinaria disponible.
3. Se marca una terraza maestra o guía. Esta terraza debe tener una ubicación tal, que permita trazar un sistema de terrazas (hacia arriba y hacia abajo), lo más paralelo posible.
4. Se realiza el trazo de caminos, drenes y áreas de maniobras.
5. Se trazan las demás terrazas paralelas a la terraza guía.
6. El trazo proyectado en el plano se transfiere a campo tomando algunos puntos de control previamente establecidos.

#### **2.10.2. Trazo directo en campo**

Este trazo se realiza de la siguiente manera:

1. Se realiza un reconocimiento del terreno, localizando las salidas más apropiadas para los excesos de agua.
2. Se determinan los rangos de pendientes en el terreno para dividir éste en diferentes porciones.
3. Se localiza el punto medio de la pendiente proyecto en el terreno.
4. A partir de ese punto se traza la terraza guía o maestra.
5. Se realiza el estacado de la terraza maestra.
6. Cuando existen curvas cerradas a lo largo del terreno, es necesario eliminarlas para facilitar el laboreo.
7. Con las pendientes medias del terreno aguas abajo y aguas arriba de la terraza maestra, se determina el intervalo horizontal y vertical de las terrazas.
8. Se marcan las terrazas paralelas a la terraza maestra.
9. En el trazo directo se consideran caminos, drenes y áreas destinadas para maniobras.

## 2.11. Construcción de las terrazas de banco

La construcción de terrazas consiste en mover tierra (cortes y rellenos) formándose un terraplén que pueda transitarse con la maquinaria agrícola ordinaria. El método que se ha de emplear para construir las terrazas, viene determinado por el equipo disponible, así como por la pendiente y naturaleza del suelo (Foster, 1967; CP-SARH, 1991), puede ser en forma manual o mecánica (FAO, 1999; Posthumus, 2004).

## 2.12. Evaluación técnica de prácticas de conservación

Existen estudios realizados en México enmarcados en evaluación de la eficiencia de las prácticas mecánicas para reducir la erosión hídrica. Un ejemplo es la “evaluación de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica en terrenos de temporal” llevado a cabo por Trueba (1978). El estudio fue realizado en Lomas de San Juan, Texcoco, México. En el estudio mencionado se evaluaron la eficiencia del surcado al contorno, la terraza de base angosta (SARH), terraza de base angosta (CP) y la terraza de banco, al comparar las pérdidas de suelo que se presentaron con el uso de estas prácticas y el testigo, la evaluación fue realizada para los años de 1976 y 1977 (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Valores del factor P de la EUPS obtenidos para las obras de conservación de suelos

<b>PRÁCTICA</b>	<b>Pérdida de suelo (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Valor de P (1976)</b>	<b>Pérdida de suelo (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Valor de P (1977)</b>	<b>Valor Promedio P</b>
Testigo	400.5	1	488.5	1	<b>1</b>
Surcado al contorno	356.6	0.89	432.7	0.88	<b>0.88</b>
Terraza de base angosta (SARH)	291.6	0.73	338.9	0.69	<b>0.71</b>
Terraza de base angosta (CP)	272.6	0.68	344.7	0.7	<b>0.69</b>
Terraza de banco	58.3	0.14	69.6	0.14	<b>0.14</b>

Fuente: Trueba (1978).

En otro estudio Ruíz (1979), en Lomas de San Juan Texcoco, México, se enfocó en la “Evaluación de cinco tipos de terrazas en suelos de ladera de la cuenca del Río Texcoco”. Del estudio se obtuvieron los resultados que se presentan en el (Cuadro 2.5), que muestra los valores de P para los diferentes tipos de terrazas evaluadas. Cabe mencionar que los años de evaluación para los dos estudios fueron los mismos, solo que el primero evaluó la eficiencia de las prácticas

mecánicas, la cual, es el inverso del valor de P. En el segundo caso, Ruíz utilizó el modelo de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (EUPS) donde evaluó los parámetros R, K, LS, C y despejó P para estimar sus valores.

Cuadro 2.5. Determinación de los valores del factor P de la EUPS para diferentes secciones transversales de terrazas en las Lomas de San Juan, Chapingo, México 1976 y 1977.

Tratamiento	Año 1976		Año 1977		Valor promedio P
	Pérdida de suelo	Factor P	Pérdida de suelo	Factor P	
	(kg ha <sup>-1</sup> )	P	(kg ha <sup>-1</sup> )	P	
Terraza de base ancha	56.997	0.045	264.389	0.27	0.15
Terraza de banco a nivel	666.273	0.860	1151.915	0.95	0.90
Terraza de bancos alternos	268.85	0.092	423.667	0.18	0.13
Terraza de Zingg	241.48	0.100	744.544	0.4	0.25
Terraza de banco con pendiente (1%)	380.69	0.110	1230.499	0.45	0.28

Fuente: Ruíz (1979).

### 2.12.1. Estudios realizados con lluvia simulada

En la sección de Física de Suelos del Centro de Edafología en el Colegio de Postgraduados (CEDAF), a partir de 1980, se iniciaron las investigaciones sobre conservación de suelos y física de suelos, donde se utilizan dos simuladores de lluvia por aspersion, denominados “simuladores de lluvia de disco giratorio” tipo Morin, a los cuales se les da uso tanto en el campo como en el laboratorio.

Castillo (1985) utilizó el simulador de lluvia tipo Morin y obtuvo que la eficiencia en la infiltración de agua fue de mayor a menor en los ecosistemas de nopalera – cultivo – pasto – tepetate; sin embargo, cuando el terreno de cultivo estuvo sin cobertura vegetal, el orden en cuanto a la eficiencia cambió en el ecosistema de pasto, es decir, la eficiencia en la infiltración de agua de mayor a menor fue nopalera – pasto – cultivo – tepetate. Concluyó que a medida que aumenta la cobertura vegetal, el volumen escurrido disminuye y se incrementa la infiltración a causa de mayor rugosidad en el terreno. Otra conclusión fue que existió relación directa entre el

escurrimiento superficial y pérdida de suelo, de tal forma que, a mayor escurrimiento, mayor erosión.

Rivera (1996) realizó un estudio con lluvia simulada para determinar el potencial hidrológico en tepetates tipo T3. Para la simulación aplicó una intensidad de lluvia de  $40 \text{ mm h}^{-1}$  y otra de  $60 \text{ mm h}^{-1}$ , a tres tratamientos; tepetate recién roturado, tepetate natural y tepetate incorporado a la producción agrícola, los tratamientos fueron evaluados en condición seca y húmeda. Los resultados reportados para los tratamientos mencionados fueron: para tepetate recién roturado con menores pérdidas de sedimentos para ambas intensidades y cualquier condición de humedad, con  $6\text{-}8 \text{ g L}^{-1}$ . El tepetate natural con la intensidad de  $40 \text{ mm h}^{-1}$  en condición seca presentó las mayores pérdidas de sedimentos con  $35 \text{ g L}^{-1}$  en promedio y en el tepetate incorporado el promedio de sedimentos perdidos fue  $18 \text{ g L}^{-1}$ . Sin embargo, en la intensidad de  $60 \text{ mm h}^{-1}$  ambos tratamientos presentaron pérdidas similares con promedio de  $25 \text{ g L}^{-1}$ .

### **2.12.2. Importancia del uso del simulador de lluvia para evaluar prácticas de conservación**

El estudio del comportamiento de variables hidrológicas bajo diferentes regímenes de humedad e intensidades de precipitación ha sido el paradigma de numerosos estudios (Sánchez, 1994). La finalidad de estos estudios ha sido proveer información concerniente al impacto del manejo del suelo y la vegetación sobre la producción de escurrimiento y erosión. Sin embargo la alta variabilidad en espacio y tiempo de la precipitación ha puesto de manifiesto la necesidad de desarrollar investigación en donde se tenga control de las variables de interés.

En tal virtud, desde 1957 se han realizado estudios con el objetivo de investigar aspectos fundamentales de los procesos de precipitación-escurrimiento-erosión. La herramienta fundamental en estos estudios han sido los simuladores de lluvia y los modelos matemáticos como la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo, para estimar erosión hídrica (SAGAR-INIFAP, 1999).

Para realizar la evaluación técnica de las prácticas de conservación de suelo y agua es necesario determinar la eficiencia que presenten para reducir la erosión, el escurrimiento

superficial y para propiciar el aumento en la infiltración del agua en el suelo. En los últimos años se han venido utilizando los simuladores de lluvia o infiltrómetros, esto por que resultan más económicos y prácticos comparándolos con otras metodologías (SAGAR-INIFAP, 1999).

Alcalá (1996), establece que los experimentos de campo dependen de la lluvia natural, que es siempre imprevisible y a veces adversa. Durante muchos años los investigadores han procurado independizarse de este problema utilizando simuladores de lluvia. Estos sistemas presentan dos ventajas importantes: el ritmo de la investigación se acelera, ya que sus resultados no dependen de que se produzca el tipo de lluvia ideal en el mejor momento y, por otra parte, la eficiencia de esa investigación aumenta al controlar una de sus más importantes variables. No es necesario interpolar o extrapolar los resultados a partir de la lluvia que mejor se adapta a las necesidades del proyecto, pues la misma precipitación puede ser creada una y otra vez hasta que los resultados sean comprobados y conformados.

### **2.13. Evaluación financiera**

La expresión “evaluación financiera” se utiliza para describir el tipo de análisis con que se desarrollará una estimación de la rentabilidad comercial de un proyecto (Oviedo, 1990).

El análisis financiero es importante al examinar la estructura de incentivo que acompaña a una propuesta de inversión de un proyecto. De nada servirá contar con un proyecto rentable desde el punto de vista de la economía en su conjunto, si los que participan (pequeños agricultores, ejidatarios y empresarios comerciantes), no podrán ganarse la vida con su participación en dicha actividad (Protti, 1982).

La evaluación de un proyecto puede realizarse de dos maneras según el objetivo o entidad a favor de quien se quiera evaluar: el proyecto puede ser juzgado desde el punto de vista privado (financiero) y desde el punto de vista ecológico-social (económico), en el presente estudio se considera el primer punto de vista.

Sánchez (1994), considera a los aspectos financieros como los más importantes, por que algunas prácticas de conservación de suelo y agua como las terrazas, son obras costosas en su

ejecución y los rendimientos en los primeros años son bajos, esto hace que el productor tenga que esperar cinco ó diez años para obtener ganancias; por lo tanto, el interés básico está si se paga o no la inversión aplicada con los beneficios obtenidos de la obra, determinando la relación entre costos que se van a generar y los beneficios esperados.

Posthumus *et al.*,(2004) en un estudio que realizaron en Perú encontraron que los campesinos dependientes de la producción en sus terrenos degradados y en ladera, se interesan en la construcción de terrazas de banco en sus parcelas, con el fin de cuidar su recurso suelo y aumentar paulatinamente sus rendimientos en la producción, aunque la implementación de esta práctica mecánica les represente una fuerte inversión de mano de obra, saben que al paso de 8 o 10 años las terrazas amortizarán la inversión y mejorarán la calidad del suelo y su productividad.

Otros trabajos que analizan el aspecto financiero en la rehabilitación de regiones erosionadas o del efecto de la erosión en la producción, son los de Zebrowski (1996) y Sánchez (2005) en Ecuador y México, respectivamente y los de Olvera *et al.*, (1998) en Morelos, México; comentan que en el mundo actual de mercado, en donde la ganancia económica ocupa un lugar prominente, lo común es que solo se emprendan acciones donde la relación beneficio/costo sea favorable. Sánchez (1994) propone una metodología que se basa en indicadores económicos como la Tasa Interna de Retorno (TIR), la Relación Beneficio-Costo (B/C) y el Valor Actual Neto (VAN), para calificar la rentabilidad del proyecto.

### **2.13.1. Valor actual neto**

El VAN es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros y actualizados. El VAN calcula el aumento en la riqueza en el momento actual que resulta equivalente a ejecutar el proyecto y, por lo tanto, cuanto más alto es el VAN del proyecto, mejor (Castelo, 2001). El procedimiento además, descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado. La obtención del VAN constituye una herramienta fundamental para la evaluación y gerencia de proyectos, así como para la administración financiera (Sánchez, 1994; Wikipedia, 2007).

Esta medida es el valor actual de la corriente de flujo de fondos, es decir, la diferencia existente entre el valor actualizado de los beneficios y el valor actualizado de los costos, a una tasa de actualización previamente establecida (Muñante, 2004; Sánchez, 2005). La técnica consiste en actualizar los costos y beneficios registrados en diferentes periodos y expresarlos todos en un valor común en un momento determinado. Si el VAN del proyecto es negativo el proyecto deberá entonces ser rechazado (Oviedo, 1990).

El criterio que se adopta para aprobar o rechazar proyectos por medio de este indicador, consiste en aceptar todos aquellos proyectos cuyo VAN sea positivo y tendrán una jerarquía más alta aquellos proyectos que maximicen ese valor, sin embargo no es suficiente basarse solo en este indicador para aprobar o rechazar un proyecto de inversión, es necesario determinar la relación B/C y la TIR (Moctezuma, 1977).

El VAN se calcula mediante la ecuación (12):

$$VAN = \sum_{t=1}^T \frac{Bt - Ct}{(1 + i)^t} \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

- VAN = Valor actual neto (\$)
- Bt = Beneficios de cada año (\$)
- Ct = Costos de cada año (\$)
- i = Tasa de interés (%)
- T = Número de periodos de análisis o de vida útil del proyecto
- t = Cada periodo del proyecto (año 1,2,...,T)

Con el VAN no es posible clasificar los diferentes proyectos aceptables pues un proyecto pequeño satisfactorio puede tener un VAN menor que el de un gran proyecto. Mientras que un proyecto satisfaga las condiciones de un VAN positivo, es eficiente financieramente; sin embargo, puede que no se elija para su puesta en práctica. Esto depende del presupuesto total disponible y del valor actual neto asociado con otros proyectos en que se puede gastar el presupuesto (Oviedo, 1990).

### 2.13.2. La tasa interna de rentabilidad

La TIR, es la tasa de interés que en un proyecto de inversión iguala los ingresos con los egresos. Usualmente se calcula por tanteos. La TIR representa la tasa de interés más alta que un inversionista podría pagar sin perder dinero, si todos los fondos para el financiamiento de la inversión se tomaran prestados y el capital e interés se pagara con las entradas en efectivo de la inversión a medida que se fuesen produciendo (Juan, 2006).

Sánchez (2005) menciona que en lugar de seleccionar una tasa de descuento y calcular el valor actual de todos los costos y beneficios, la TIR se define como aquella tasa que hace igual el valor actual de los costos y de los beneficios, es decir, el análisis busca la tasa de descuento que hace la relación costo-beneficio igual a la unidad, y el VAN igual a 0. Tiene la ventaja de indicar la eficiencia de una alternativa de inversión en forma independiente del gasto total.

A continuación se presenta la expresión matemática formal de la TIR, ecuación (13), la cual es una tasa de actualización que iguala el VAN a cero:

$$TIR = \sum_{t=1}^T \frac{Bt - Ct}{(1+i)^t} = 0 \dots\dots\dots(13)$$

Donde:

- TIR = Tasa interna de retorno (%)
- Bt = Beneficios de cada año (\$)
- Ct = Costos de cada año (\$)
- i = Tasa de interés (%)
- T = Número de periodos de análisis o de vida útil del proyecto
- t = Cada periodo del proyecto (año 1,2,...,T)
- $(1+i)^{-1}$  = Factor de actualización

El uso de la TIR como indicador para la toma de decisiones supone implícitamente que los beneficios en los periodos (t), se reinvierten a una tasa de descuento igual a la misma TIR. En la utilización de este indicador para evaluar proyectos, el criterio de decisión consiste en aceptar todos aquellos cuya TIR sea superior al costo de oportunidad del capital invertido, es decir, el interés que deja de ganar el capital por invertirse en el proyecto, aunque un proyecto con una TIR de uno puede considerarse factible (Sánchez, 1994).

De acuerdo con Sánchez (1994), la TIR es un parámetro que mide la tasa de interés que la obra (inversión) rinde en el tiempo. Para su determinación habrá que conocer las cantidades inicial, intermedia y final que ocurren en el análisis económico.

Matemáticamente la TIR a valores presentes se estima de acuerdo con Sánchez (1994), como sigue:

$$TIR = \pm P + \sum_{j=1}^m F(P/F, i, j) \pm A(P/A, i, m) \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

- P = Valor presente
- A = Anualidad
- F = Valor futuro
- i = interés
- m= Años
- j = Año base de análisis
- F (P/F, i, j) = Valor futuro dando un valor presente
- A (P/A, i, m) = Valor presente dada una anualidad

Determinando el valor de la TIR de la obra, se compara con la tasa de rendimiento mínima atractiva (TRMA) para elegir si el proyecto es rentable o no. Esta TRMA es una tasa de interés que el dinero gana en una institución de inversiones y la comparación es:

Si  $TIR > TRMA$  se gana en la inversión.

Si  $TIR < TRMA$  se pierde en la inversión.

Si  $TIR = TRMA$  no se gana ni se pierde.

### 2.13.3. El análisis de beneficio costo

La relación beneficio/costo (B/C), es el cociente que resulta de dividir el valor actual de la corriente de beneficios entre el valor actual de la corriente de costos, habiendo elegido una tasa de actualización adecuada (Juan, 2006).

De acuerdo con Galdámez (2005), la relación beneficio/costo se calcula mediante la ecuación (15):

$$\frac{B}{C} = \left[ \frac{\sum_{t=1}^T \frac{B_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1+i)^t}} \right] \dots\dots\dots(15)$$

Donde:

Bt = Beneficios de cada año (\$)

Ct = Costos de cada año (\$)

i = Tasa interés (%)

T = Número de periodos de análisis o de vida útil del proyecto

t = Cada periodo del proyecto (año 1,2,...,T)

De acuerdo con Oviedo (1990), para calcular esta relación (B/C) generalmente se puede elegir entre las siguientes tasas de actualización “i”:

- a) El costo de oportunidad del capital.
- b) La tasa de rendimiento social y
- c) El interés del préstamo del proyecto que debe financiarse.

La primera tasa es la mejor y mide la rentabilidad de la última inversión en una economía, teniendo en cuenta el capital global disponible; sin embargo resulta difícil de aplicar en la práctica pues nadie sabe en realidad cual es el costo de oportunidad del capital.

Teóricamente la segunda tasa refleja de una mejor manera, el costo de oportunidad del capital para la sociedad en su conjunto, aunque resulta también en la práctica, demasiado difícil de calcular para poderla utilizar en el análisis de proyectos.

Por último, la tercera tasa, aunque fácil de obtener, tiene el inconveniente de que se ve afectada por las condiciones financieras en lugar de basarse en sus consecuencias económicas relativas (Guittinger, 1973).

En el presente trabajo se utilizó la tasa de rendimiento social (12% anual), por ser utilizada para evaluar proyectos productivos.

La relación B/C es una forma práctica y útil en la determinación de si un proyecto es recomendable o no, donde según Muñante (2004) y Sánchez (2005), la regla de operación es la siguiente:

Si  $B/C > 1$ , la obra es costeable.

Si  $B/C < 1$ , la obra es incosteable.

Si  $B/C = 1$ , existe una indecisión.

Los beneficios pueden ser directos, indirectos e intangibles:

- ✓ Beneficios directos. Corresponde a los ingresos que obtienen los participantes en el proyecto.
- ✓ Beneficios indirectos. Estos reflejan el impacto del proyecto en el resto de los integrantes de la sociedad a través de la afectación de la producción o el consumo de un producto de otra actividad.
- ✓ Beneficios intangibles. Estos beneficios son difíciles de medir monetariamente, aunque no tanto de identificar por ejemplo; efecto sobre el medio ambiente, la redistribución del ingreso hacia zonas marginadas, entre otros.

Los costos pueden ser directos e intangibles:

- ✓ Costos directos. Son los correspondientes a los insumos físicos utilizados; sueldos y salarios; gastos de mantenimiento de plantas y equipos con vida útil de menos de un año; seguros, entre otros.
- ✓ Costos intangibles. Entre los costos intangibles se encuentran los que se derivan al implementar un proyecto afectando a la sociedad; por ejemplo la contaminación ambiental, el rompimiento del equilibrio ecológico, entre otros.

#### **2.14. Plantaciones forestales y los servicios ambientales**

Las zonas forestales ofrecen servicios ambientales difícilmente percibidos por los usuarios directos de los bosques (Pagiola *et al.*, 2003). Un primer servicio forestal es el denominado servicio hídrico que está asociado con la recarga de los acuíferos, la regulación de inundaciones, el control de la erosión y la prevención de la sedimentación (Bishop y Landell-Mills, 2003), que beneficia principalmente a los usuarios de la parte baja (Kido, 2007). Un

segundo servicio está asociado con la captura de carbono de la nueva vegetación que beneficia a la sociedad al mitigar el cambio climático. La característica común de estos servicios es que frecuentemente no benefician a los dueños y poseedores de las zonas forestales, quienes si no reciben los beneficios económicos por proveer estos servicios, no los tomarán en cuenta para decidir el uso del suelo (Mayrand y Paquin, 2004).

### **2.15. Experiencias en México sobre análisis financiero de plantaciones forestales comerciales y obras de conservación del suelo y agua**

Los antecedentes en México sobre análisis financiero en el marco de plantaciones forestales y prácticas de conservación del suelo y el agua, sólo existen por separado, mientras algunos autores han analizado financieramente plantaciones forestales, otros lo han hecho con obras de conservación del suelo y el agua, sin embargo no existe un estudio que integre los dos aspectos.

En estudios sobre simulación de escenarios de producción en plantaciones forestales con fines comerciales se ha utilizado diferente clase de información, así como distintos métodos e indicadores de rentabilidad financiera (Escárpita, 1985).

Por su parte Hernández y Prieto (1992) realizaron un estudio para determinar la rentabilidad financiera en cuatro alternativas de establecimiento de plantaciones, las cuales fueron: (a) plantación de pino para la producción de aserrío y triplay; (b) plantación comercial de pino para la producción de pilote para líneas de transmisión; (c) plantación comercial de pino para la obtención de material celulósico; y (d) plantación comercial de eucalipto para obtener material celulósico. Con respecto a las diversas variables medidas, se observó que la rentabilidad disminuye cuando aumentan los costos de plantación, la tasa de interés o la longitud de turno comercial, o bien cuando disminuye el número de árboles por hectárea al final del turno, el volumen por árbol o el precio de la madera en pie.

Sánchez (1994) evaluó el programa de conservación de suelo y agua en el sur de la zona metropolitana de la ciudad de México. En este estudio estimó la eficiencia económica de las tinajas ciegas para uso forestal, el resultado fue una relación (B/C) superior a 1. Con los resultados obtenidos el mismo autor recomienda un programa intensivo de plantaciones forestales con

alternativas de uso o un manejo apropiado del bosque con áreas de exclusión, siendo este el complemento idóneo de la obra de conservación del suelo y del agua, el cual aumenta los beneficios integrándose al proceso de regeneración de cuencas.

Particularmente para la empresa PLANTEHSA, a partir del año 2001 se han realizado estudios preliminares sobre predicción del crecimiento de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla*, así como análisis de rentabilidad financiera. Dicha plantación fue establecida por el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), los indicadores financieros han mostrado que la inversión es rentable de acuerdo con Sánchez (2005), que en su estudio obtuvo para la materia prima producida a 7 años con subsidio y puesta a libre bordo, una relación beneficio/costo de 1.62, una TIR de 21.27 y un VAN de \$247,883,036 al utilizar una tasa de interés de 10%; mientras que para la materia prima producida sin subsidio para las mismas condiciones obtuvo una relación beneficio/costo de 1.60, una TIR de 17.7 y un VAN de \$198,551,209 para la misma tasa de interés y el mismo periodo evaluado.

### **3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **3.1. Objetivo general**

1. Realizar el diseño, trazo y construcción de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, dando seguimiento a su implementación y ejecución, para evaluar su eficiencia técnica y factibilidad financiera.

#### **3.2. Objetivos particulares**

1. Elaborar el diseño, trazo y construcción de terrazas de banco para la plantación forestal del Rancho Jesús María.
2. Comparar la erosión hídrica, la infiltración y el escurrimiento superficial antes y después de construir las terrazas de banco.
3. Calcular y comparar el costo de construir terrazas de banco bajo el criterio estrictamente técnico, con el costo de la construcción de las terrazas de acuerdo a los requerimientos del productor.
4. Estimar la factibilidad financiera de construir terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales.

#### **3.3. Hipótesis**

La construcción de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, es una inversión rentable al corto plazo y es una práctica eficiente para reducir la erosión hídrica, el escurrimiento superficial y aumentar la infiltración del agua de lluvia en suelos forestales.

#### **3.4. Supuestos**

1. El uso del simulador de lluvia permite determinar de manera eficiente las variables hidrológicas, antes y después de implementar las terrazas de banco.
2. La información de precipitación y del suelo es suficiente para caracterizar la zona de trabajo.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Localización del sitio de estudio

El lugar donde se llevó a cabo el estudio fue el Rancho Jesús María, ubicado a 5 km de la carretera Toluca-Valle de Bravo a la altura del km 42, a  $19^{\circ} 08' 48''$  latitud Norte y  $99^{\circ} 59' 21''$  longitud Oeste (Figura 4.1.).

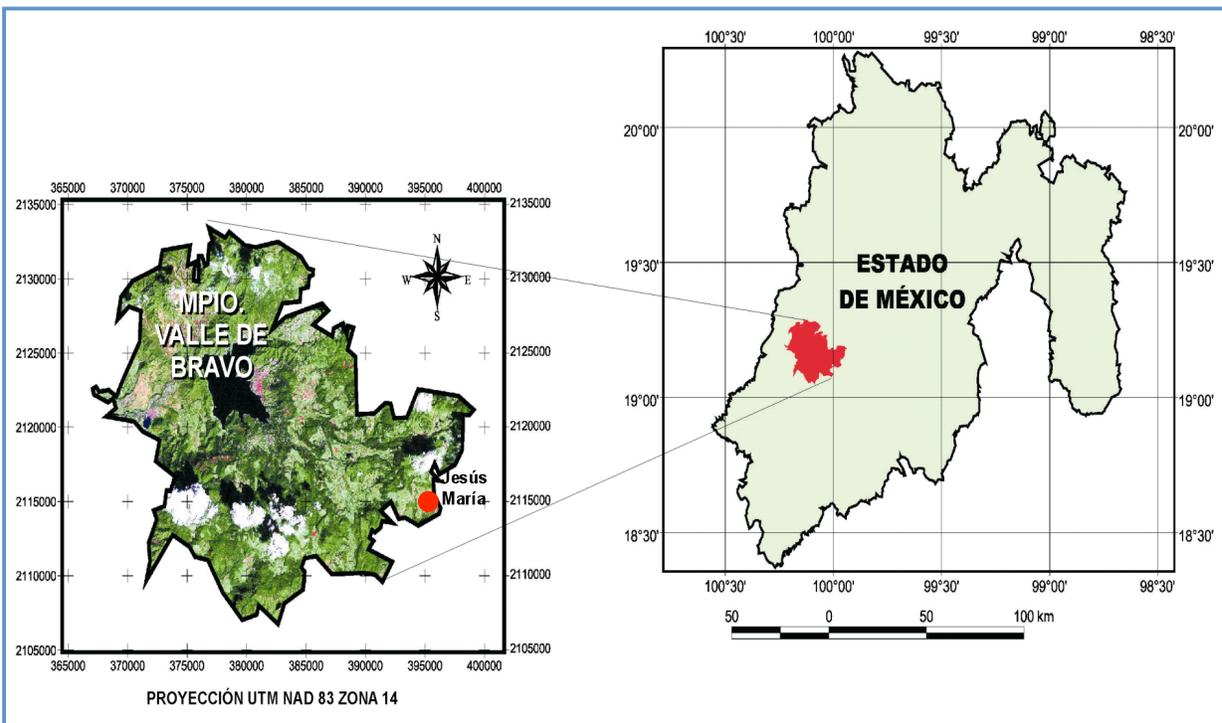


Figura 4.1. Localización del sitio de estudio.

### 4.2. Características del sitio de estudio

Se utilizó el visualizador de ortofotos (disponible en la página electrónica del INEGI) donde se pueden observar las características del terreno del Rancho Jesús María antes de construir las terrazas (Figura 4.2.). Además se utilizó el software Google Earth para visualizar el lugar de estudio después de construir las terrazas (Figura 4.3.), donde se puede observar algunas de las características de las terrazas como su forma, sus dimensiones de largo y ancho. De esta manera se aprecia mejor como era y como es el sitio de estudio antes y después de construir las terrazas.

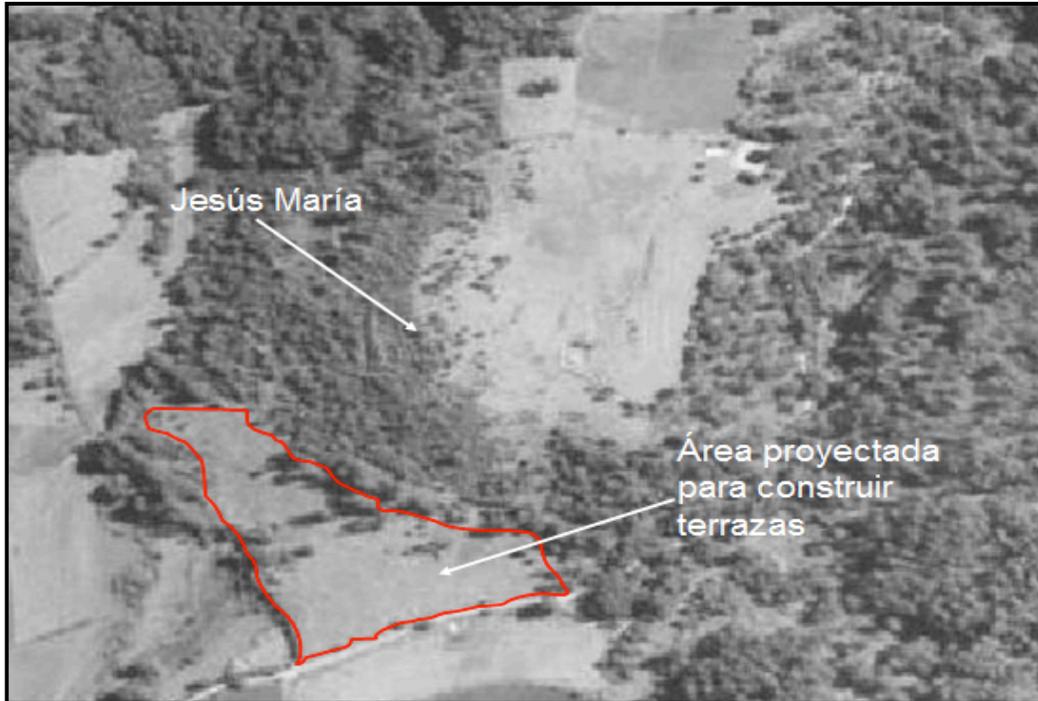


Figura 4.2. Aspecto del terreno en Rancho Jesús María, (INEGI, 1983)



Figura 4.3. Aspecto del terreno en Rancho Jesús María, (Google Earth, 2007)

A continuación se describen algunas características del municipio Valle de Bravo, Estado de México, donde se encuentra ubicado el sitio de estudio.

#### **4.2.1. Orografía**

El municipio de Valle de Bravo está rodeado por montañas; existiendo tres formas de características de relieve; la primera corresponde a las zonas accidentadas que abarcan, aproximadamente el 50% de la superficie total del municipio y está formada por las Sierras de Temascaltepec, Tenayac, Valle de Bravo y por las faldas de sierras circundantes. La segunda corresponde a zonas semiplanas que comprenden aproximadamente el 30% de la superficie y la tercera corresponde a las zonas planas que ocupan el 20% de la superficie (INEGI, 1995).

El rango de altitudes que se encuentran en el municipio van desde los 1,402 m hasta los 2,600 m. La cabecera municipal se sitúa a los 1,850 metros sobre el nivel del mar (CNDMGEM, 2001).

#### **4.2.2. Hidrografía**

El municipio de Valle de Bravo se encuentra dentro de la Cuenca del Río Balsas, en la que se localizan por 5,458 embalses, entre los que destacan la presa de Valle de Bravo y Colorines (Basante 1997). Los principales ríos que se localizan en el municipio son: El Salto, Barranca Honda, Tiloxtoc como principal aportador del Río Balsas; Los Hoyos, Agua Grande, La Asunción, El Molino, El Crustel, Los Gavilanes, Capilla Vieja, Amanalco de Becerra, Las Flores, Río Chiquito, Los Saúcos y Piñas Altas (CNDMGEM, 2001).

#### **4.2.3. Clima**

El clima en el municipio es templado subhúmedo con lluvias en verano; las lluvias se presentan de Junio a Septiembre y se prolongan, en ocasiones hasta Octubre (Figura 4.4). Los meses más calurosos son: Mayo, Junio, Julio y Agosto. La dirección de los vientos en general, es de Poniente a Oriente.

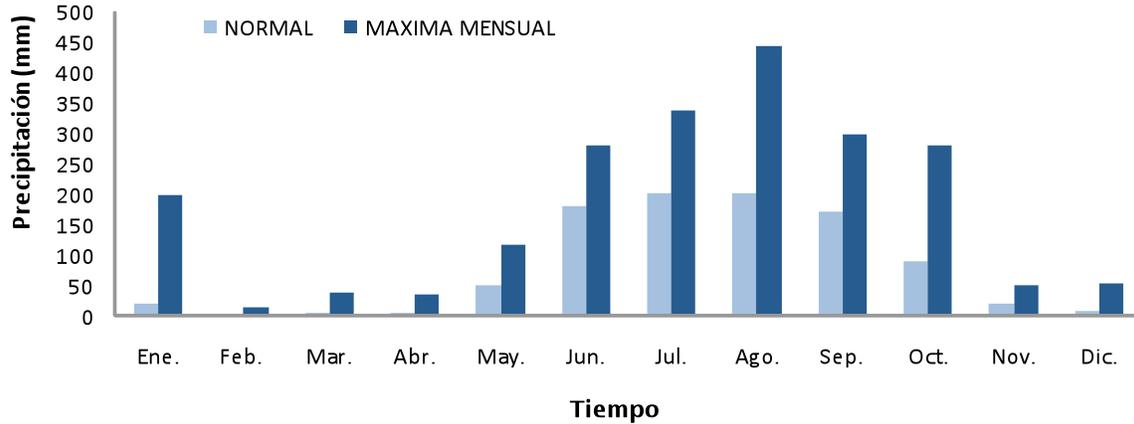


Figura 4.4. Precipitación normal y máxima mensual registrada en la estación meteorológica Presa Colorines, Valle de Bravo, Estado de México (SMN, 2000).

Los aspectos climáticos presentan, también las siguientes características: clima templado con invierno benigno. Temperatura promedio anual de 17.5 °C, la máxima de 32.0 °C, y la mínima de 1.3 °C; el promedio de días lluviosos en un año son de 103, el promedio de días despejados en un año son de 202, el promedio de días nublados en un año son de 64 y el promedio de precipitación anual es de 963.8 mm.

Se llegan a registrar lluvias en Noviembre y Diciembre; las heladas se inician a mediados de Diciembre y se prolongan hasta Febrero. Las lluvias son más abundantes en verano; en esta época, la precipitación pluvial es ascendente de Junio a Julio con una precipitación de 260.7 mm y 271.2 mm, respectivamente (INEGI, 1995).

#### 4.2.3.1. Balance hídrico

La precipitación anual es un factor que se debe considerar para el cálculo en el diseño de las terrazas, por ello se investigó en la estación meteorológica Presa Colorines, Valle de Bravo, la cual se ubica cerca (20 km) al Rancho Jesús María, la precipitación media anual de acuerdo a las normales de 1971-2000 (SMN, 2000).

Se calculó el balance hídrico en el suelo (Anexo 8.4), con la metodología de Thornthwaite y Matter según (Ortíz, 1987). En la Figura 4.5, se observa que la humedad del suelo se utiliza en los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Noviembre y Diciembre. En este último mes se tiene un déficit de humedad en el suelo. Los meses con exceso de lluvia son: Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Octubre.

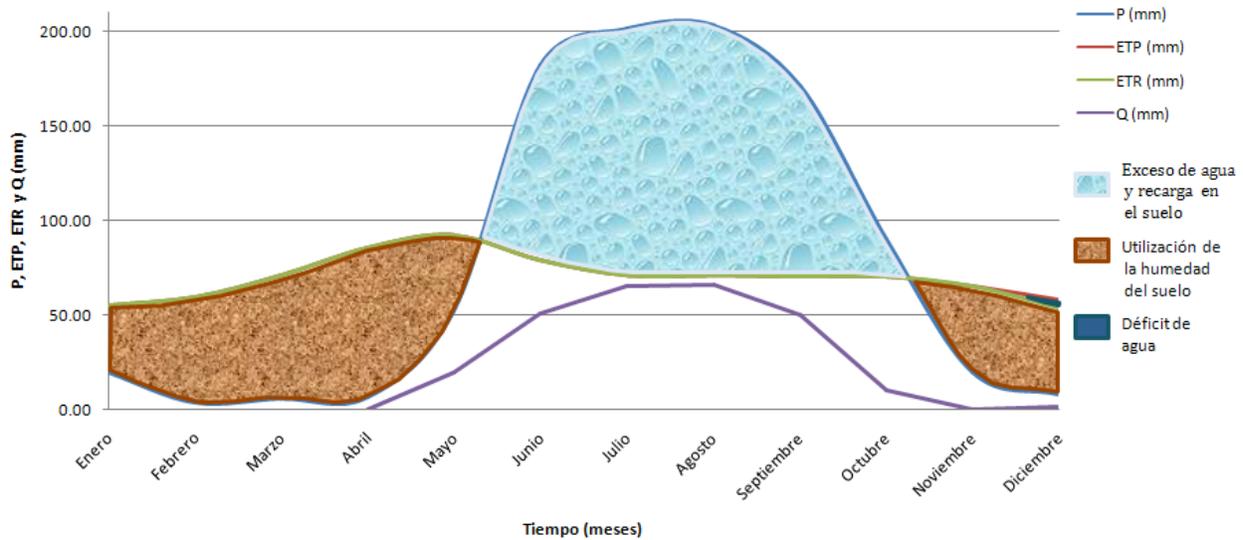


Figura 4.5. Balance hídrico mediante la metodología de Thornthwaite y Matter en el suelo del Rancho Jesús María.

En la gráfica se observa y describe el comportamiento del agua, tanto en la precipitación como en la evapotranspiración. Además con este balance se cuenta con información de la disponibilidad de agua en el suelo considerando las lluvias y el clima a lo largo del año (Anexo, 8.4), lo que ayuda para planear mejor los periodos de producción en esta zona.

#### 4.2.4. Recursos naturales

En general, predomina en el municipio la fauna de bosques templados, que cubren casi la totalidad del municipio, cuyas comunidades se caracterizan por los mamíferos de pequeñas tallas como conejo castellano y de monte, ardillas grises, rojas y negras, ardillón, topes, ratas y ratones de los volcanes, comadreja, zorrillos, cacomixtle, zorra, liebre, hurón, murciélago, y tejones. Mamíferos mayores como el venado, lince y puma (CNDMGEM, 2001). Entre los anfibios y reptiles se mencionan salamandra, lagartija, culebra y víboras de cascabel.

Del grupo de las aves se encuentran: los carpinteros, güilotas, paloma llorona, trepadores, colibrí, azulejo, tordo, búho, codorniz, gallina de monte, así como algunas depredadoras como la gallina de cola roja, ceceto, gavián, zopilote y cuervo (PDM-VB, 1997).

Según información municipal, para 1997, se contaba con una superficie silvícola de 23 692 ha cubiertas con bosque de pino, encino y especies secundarias como aile, álamo, fresno y madroño, lo cual representa el 56.14% del total de la superficie del municipio (CNDMGEM, 2001 y EMM, 2005).

La actividad pesquera para el municipio en 1990, fue de 3,885 toneladas de diferentes especies, entre las que destaca la trucha, como la más importante, por el volumen de producción; le siguen la carpa arcoíris, mojarra tilapia y el charal. En 1991, las unidades piscícolas de producción para el municipio fueron 14 con truchas, donde el enfoque productivo es incubadora y engorda. Se encuentran en el municipio 81 estanques; de los cuales, el 63% está en uso, y su principal producto es la trucha arcoíris, con un volumen de producción de 63.9 toneladas al año (FAO, 2004).

La Presa Valle de Bravo, con una extensión de 2,900 ha, es el cuerpo de agua con mayor posibilidad de convertirse en el centro más grande de la región en materia de pesca, destinada al deporte y al comercio, particularmente de especies como tilapia, trucha, lobina y mojarra (PDM-VB, 1997).

#### **4.2.5. Tipos de suelo y tenencia de la tierra**

En el territorio municipal se tienen presencia de tres tipos de suelo que son: andosol, acrisol y cambisol, predominando los dos últimos. Dentro del municipio la tenencia de la tierra está dividida en: privada, ejidal y mixta. De acuerdo al tipo de tenencia de la tierra, de las 11'335,301 hectáreas de cultivo, 7'064,585 ha son de propiedad privada; 3'563,493 ha de propiedad ejidal y 707.23 ha de propiedad mixta, las hectáreas restantes del municipio son utilizadas en silvicultura, bosque natural y zonas urbanas (INEGI, 1995).

#### **4.2.6. Características de los suelos del Rancho Jesús María**

Los suelos, específicamente en el Rancho Jesús María, son de color café medianamente claros y profundos, localizados en pendiente que varía del 12% a más del 100%. Los contenidos de materia orgánica son muy altos en la capa superficial (5 a 6%), pero disminuyen con la profundidad. El pH, ligeramente ácido en la superficie (6.1 a 6.8), aumenta con la profundidad (6.7 a 7.4). Las bases intercambiables están comprendidas entre 13 y 25 meq/100 g. La saturación del complejo absorbente es relativamente alta (60 a 80%). Los valores de fósforo asimilable varían de medios a altos. En términos generales, son suelos desarrollados que presentan características ándicas; los suelos se clasificaron como: Cambisoles, franco arcillosos.

#### **4.3. Metodología**

En este trabajo se aplica una metodología técnica de ingeniería agrícola para el diseño, trazo, construcción, evaluación de eficiencia técnica y factibilidad financiera de terrazas de banco para plantación forestal comercial, construidas en Noviembre de 2005 en 4 ha de suelos de ladera de aptitud forestal, en el Rancho Jesús María.

Para realizar las propuestas de diseño de las terrazas de banco se utilizaron dos criterios, el primero fue el estrictamente técnico recomendado por CP-SARH (1991), el cual se llevó a cabo desde el levantamiento topográfico hasta el diseño y cálculo de los volúmenes de tierra a mover. El segundo criterio fue de acuerdo a los requerimientos del silvicultor, las necesidades del mismo fueron terrazas de 3 m de ancho, acceso con vehículos al sistema, áreas de maniobras y caminos. Cabe mencionar que el segundo criterio se llevó a cabo completo, es decir, desde el levantamiento topográfico, diseño, trazo en plano y en campo, construcción, evaluación técnica y financiera de las terrazas con la plantación forestal comercial.

Los pasos que se siguieron para llevar a cabo el presente trabajo fueron el levantamiento topográfico, el diseño de las terrazas, el trazo, la construcción, la evaluación técnica y la evaluación financiera, que de manera gráfica se muestra en el organigrama (Figura 4.6).

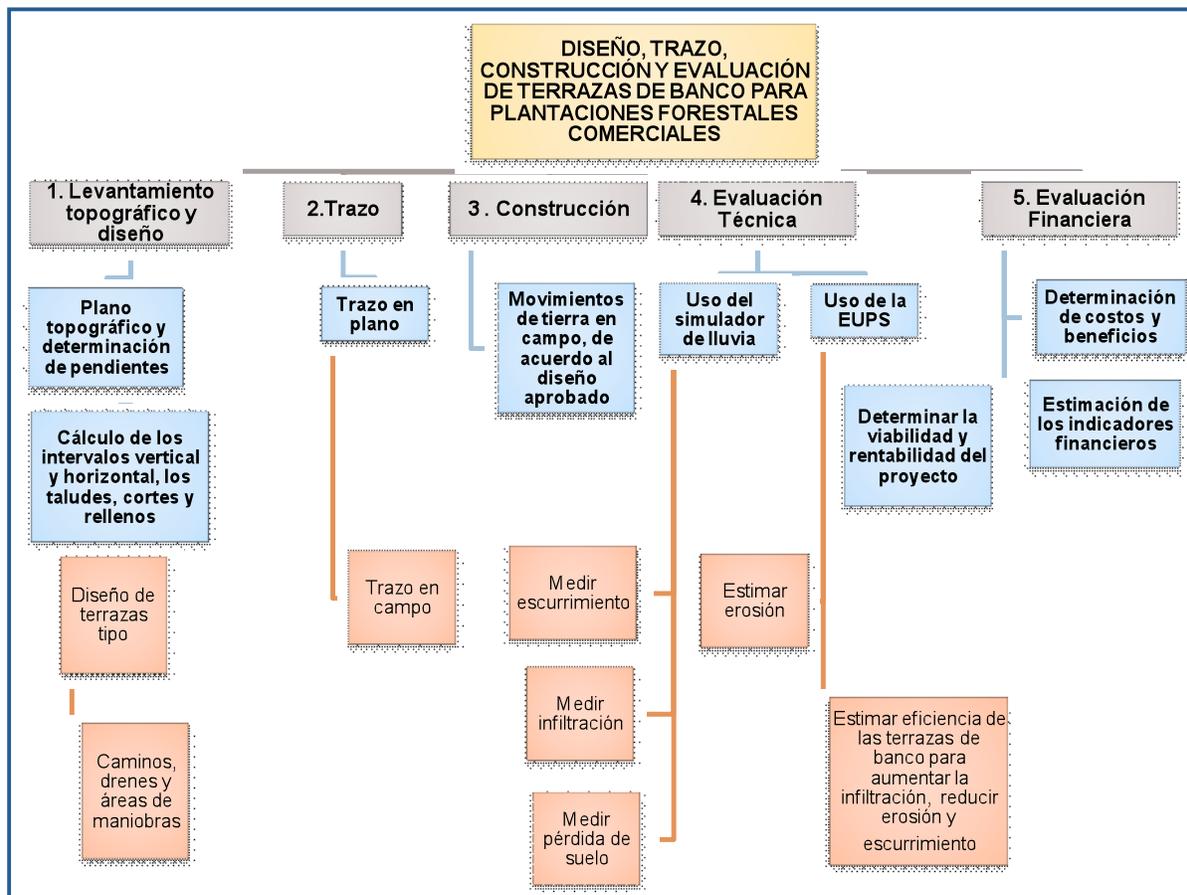


Figura 4.6. Organigrama de la metodología utilizada.

#### 4.3.1. Levantamiento topográfico y diseño

Para realizar el diseño del sistema de terrazas de banco fue necesario conocer la topografía y pendientes dominantes del terreno, para lo cual se realizó un levantamiento topográfico.

Este proceso consistió en determinar la poligonal de apoyo mediante un tránsito de alta precisión por el método de medición directa de ángulos internos, un geoposicionador GARMIN de 12 canales (GPS 12-XL) y posteriormente un levantamiento altimétrico con cuadrícula de 10×10 m. De esta manera se generó el plano topográfico con curvas a nivel a un metro, con el cual se determinaron las pendientes proyecto, necesarias en el cálculo de los intervalos de las terrazas.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta para el diseño de las terrazas es saber cuánto llueve en el lugar, entonces fue necesario consultar la información disponible de la estación meteorológica más cercana al sitio, la estación Presa Colorines.

La precipitación anual se determinó con base en las normales climatológicas del SMN 1971-2000, la consulta fue específicamente en la precipitación que se ha registrado en la estación mencionada. En México las medidas de conservación del suelo están generalmente concebidas para un evento de precipitación en 10 años de retorno, determinándose el potencial de impacto para eventos de mayor magnitud, sin embargo en este caso se cuenta con información confiable, cerca de 30 años en la estación mencionada.

#### **4.3.1.1. Espaciamientos y selección del tipo de terraza**

El espaciamiento entre terrazas depende principalmente de la pendiente del terreno, sin embargo, también influye la precipitación pluvial, la profundidad del suelo, el drenaje interno del suelo, la cubierta vegetal en el periodo de lluvias intensas, los implementos agrícolas que se van a utilizar en el laboreo, el tamaño de las terrazas (longitud) y el uso que tendrán las mismas, en este caso plantación forestal comercial.

El espaciamiento entre terrazas se calculó utilizando las ecuaciones (4 y 5), para el intervalo vertical (IV) y el intervalo horizontal (IH), respectivamente. El ancho de las terrazas se diseño sin pendiente, pero la pendiente de las terrazas, en su longitud hacia los drenes se diseño de 0.5%, para conducir los posibles escurrimientos hacia los drenes.

El silvicultor requería terrazas de banco que le permitieran producir árboles de ornato de tamaño medio, que la copa de los mismos no rebasara 2 m de diámetro, además hacer posible la mecanización de la plantación, diseñando caminos y áreas de maniobras para maquinaria y así permitir la funcionalidad de la plantación en forma mecanizada. Con base en los puntos anteriores, considerando las características del suelo (profundidad, textura, etc.), la precipitación promedio anual y el uso que tendrían las terrazas de banco se determinó el cálculo y diseño de las mismas.

### 4.3.2. Trazo

Los pasos que se siguieron para realizar el trazo en el plano fueron utilizar el plano topográfico para buscar paralelismo en las terrazas, buscar el mínimo de áreas muertas, considerar caminos áreas de maniobra, área de drenaje y los intervalos horizontales de las terrazas.

El trazo de las terrazas se dividió en dos etapas, la primera fue el trazo en plano, llevado a cabo mediante los pasos mencionados en el subcapítulo de trazo utilizando un plano topográfico.

El siguiente paso antes de la construcción de las terrazas después de aprobarse el diseño de las terrazas tipo y, el plano trazado para la ubicación de la mismas, de las áreas de maniobra y caminos, fue realizar el trazo en el campo (Figura 4.7.), llevando a cabo las actividades que se enlistan en el subcapítulo de trazo directo en campo, para indicar al operador de la maquinaria, en donde serían los límites de cada terraza y esto le sirviera de guía en su trabajo de movimiento de tierra. Para el trazo en campo se tomaron en cuenta los criterios de respetar los árboles con diámetro mayor a 25 cm y ajuste a las áreas de maniobra.



Figura 4.7. Trazo de las terrazas en campo

El trazo en campo se llevó a cabo en Noviembre de 2005, mes en el que llueve menos que en los inmediatos anteriores. Para esta actividad se utilizaron estacas suficientes para que se pudiera colocar una cada 15 m a lo largo de la línea de la terraza. Por regla general, la primera terraza que se deja señalada con estacas es la más alta.

### 4.3.3. Construcción de terrazas

La construcción se realizó con el tractor de orugas D4 y la retroexcavadora (Figura, 4.8). Realizada la construcción de las terrazas se hizo el levantamiento topográfico final para determinar la localización de las obras construidas.



Figura 4.8. Retroexcavadora realizando movimientos de suelo para formar las terrazas de banco en Rancho Jesús María.

La afinación de las terrazas y taludes (Figura 4.9), se realizó como una de las fases finales en la construcción de las terrazas, con ello se tiene mayor seguridad de que las terrazas no se deformaran, cumpliendo su función de controlar la erosión del suelo al reducir la velocidad y cantidad del escurrimiento y provocar el aumento de la infiltración del agua de acuerdo con FAO (1999).



Figura 4.9. Estabilización de taludes de las terrazas

#### 4.3.3.1. Determinación de los movimientos de tierra

Para calcular los movimientos de tierra es necesario multiplicar el área de corte de una terraza por su longitud. El área de corte se calculó utilizando la ecuación (16). El número de  $m^3$  se multiplica por el costo unitario de excavación en las áreas de relleno (\$20.00 por  $m^3$ ) y de esa forma se conoce el costo de construcción para cada terraza y el total de éstas.

$$C = \left[ \left( \frac{Wb}{2} \right) \times D \right] - \left[ \frac{D \times a}{2} \right] \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

- C = Área de corte ( $m^2$ )
- Wb = Ancho de la terraza (m)
- D = Profundidad de corte (m)
- a = Base del corte (m)

Cuando se calcula el volumen de corte y relleno, debe notarse que sólo se computa una sección transversal, en razón a que la misma sección transversal se coloca pendiente abajo para formar la terraza, al considerar un coeficiente de abundamiento de 1, es decir el volumen de corte se consideró el mismo que el de relleno.

Cabe mencionar que con estos datos obtenidos bajo los dos criterios indicados anteriormente, se hizo una comparación en cuanto a la cantidad de tierra removida y el costo que representa adoptar alguno de los dos criterios comparándolo con el otro.

#### 4.3.4. Plantación de árboles comerciales

Después de construidas las terrazas se procedió a la plantación de los árboles comerciales. Se diseñó el orden y acomodo de la plantación en las terrazas, en dos hileras por bancal en plantación al tresbolillo (Figura 4.10). Los costos de los árboles y de la plantación se explican en el apartado de costos. Las especies y número de árboles por terraza se detallan en el subcapítulo de plantación forestal en el capítulo de resultados y discusión.

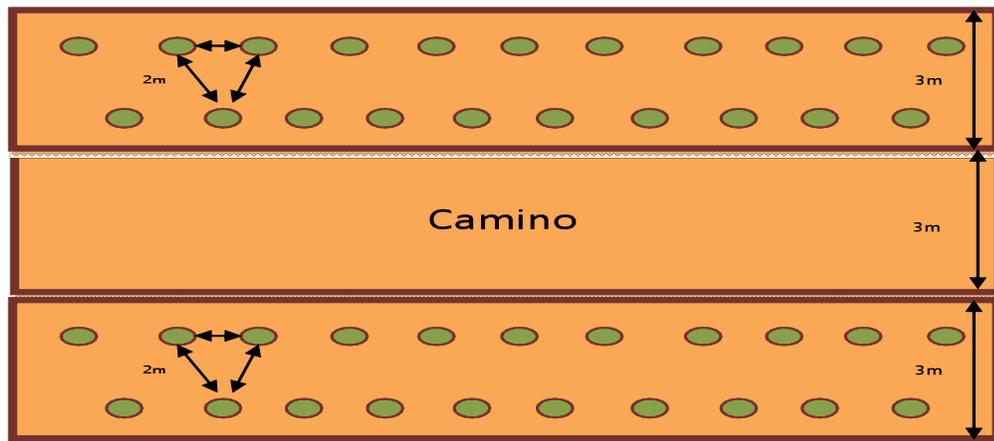


Figura 4.10. Esquema de plantación de árboles en las terrazas

Las especies de árboles utilizados en la plantación son; *Liquidambar*, *Quercus*, *Pino ayacahuite*, *Pinus Gregii*, *Cedrus atlántica*, *Cedrus deodorata*, *Abies religiosa*, *Pinus cembroides*, *Chamaecyparis*, *Acacia*, *Blue spruce*, *Abies mumie*, *Fraxinus* y *Secuaya*.

#### 4.4. Evaluación técnica de las terrazas de banco

Para realizar la evaluación técnica de las terrazas de banco, se consideraron los indicadores de erosión, infiltración y escurrimiento superficial. Se utilizó para el primero el modelo paramétrico EUPS y para los otros dos se utilizó la comparación de dos tratamientos; 1). Terreno de bosque natural con 30% de pendiente y 2). Terreno con terrazas de banco.

#### 4.4.1. Erosión

Se estimó la erosión actual, mediante la EUPS, antes y después de la construcción de las terrazas y con el establecimiento de la plantación. Se compararon los datos de los dos tratamientos para calcular la eficiencia de la práctica diseñada y construida para conservar el recurso suelo y agua en tiempo y en espacio.

Para alimentar éste modelo en cuanto al factor R, se utilizaron los datos de precipitación promedio anual obtenidos de las normales climatológicas 1971-2000 en la estación meteorológica presa Colorines, Valle de Bravo, se ubicó la zona de erosividad de la lluvia propuesta por de Cortés (1991), en la que se encuentra el sitio de estudio, la cual es la V, se aplicó la ecuación (17), generada por el mismo autor. En lo que se refiere al parámetro K, se estimó utilizando la información de las características del suelo (textura y MO), en base al nomograma de Wischmeier, los valores de los parámetros LS se estimaron al utilizar las relaciones numéricas que desarrolló el mismo autor, en 1959, los factores C y P se tomaron utilizando valores de tablas (Figueroa *et al.*, 1991).

$$Y = 3.4880X - 0.000188X^2 \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

Y = Erosividad de la lluvia (MJ mm ha<sup>-1</sup> hr<sup>-1</sup>)

X = Precipitación anual (mm)

#### 4.4.2. Evaluación con simulador de lluvia

Para evaluar las terrazas de banco en cuanto a sus efectos en el escurrimiento superficial y erosión hídrica, así como para la infiltración, se realizó un experimento con lluvia simulada en donde los tratamientos fueron: 1). Terreno con bosque natural con pendiente de 30% y 2).Terraza de banco.

##### 4.4.2.1. Toma de muestras de suelo en campo

En Enero de 2007, se tomaron muestras inalteradas del suelo de las terrazas de banco y del terreno de bosque natural, el cual presentaba una pendiente de 30%. Las muestras se tomaron en un muestreo dirigido (Figura 4.11), de tal forma de no alterar sus características. Para el muestreo se usó una pala y cinco charolas de metal (sus dimensiones son 30 x 50 cm), en las

cuales se colocaron las muestras para transportarlas hacia el laboratorio de simulación de lluvia que se encuentra en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.



Figura 4.11. Muestras de suelo tomadas en el bosque natural (izquierda) y en las terrazas (derecha).

#### 4.4.2.2. Simulador de lluvia

Se utilizó el simulador de lluvia de disco giratorio, tipo Morin, fijo en el laboratorio de lluvia (Figura 4.12). Fue simulada una primera lluvia de  $80 \text{ mm h}^{-1}$ . Posteriormente se aplicó una segunda lluvia debido a que la primera no produjo escurrimiento, la precipitación simulada que se utilizó para la evaluación de los indicadores hidrológicos fue con una intensidad de  $140 \text{ mm h}^{-1}$  durante una hora.



Figura 4.12. Simulador de lluvia con disco giratorio tipo Morin.

#### 4.4.2.3. Colocación de las muestras de suelo en las charolas del simulador de lluvia

Las muestras de suelo se colocaron en las charolas metálicas, respetando la pendiente del terreno donde fueron tomadas (en terrazas con 0% de pendiente y en terreno del bosque con 30% de pendiente), el área de cada charola del simulador es de  $0.15 \text{ m}^2$ . Posteriormente se saturaron las muestras con agua por capilaridad, después de saturar las muestras se colocaron recipientes de plástico (de un litro de capacidad) para coleccionar el escurrimiento superficial con sedimentos y la infiltración (Figura 4.13) generados en la aplicación de lluvia simulada.

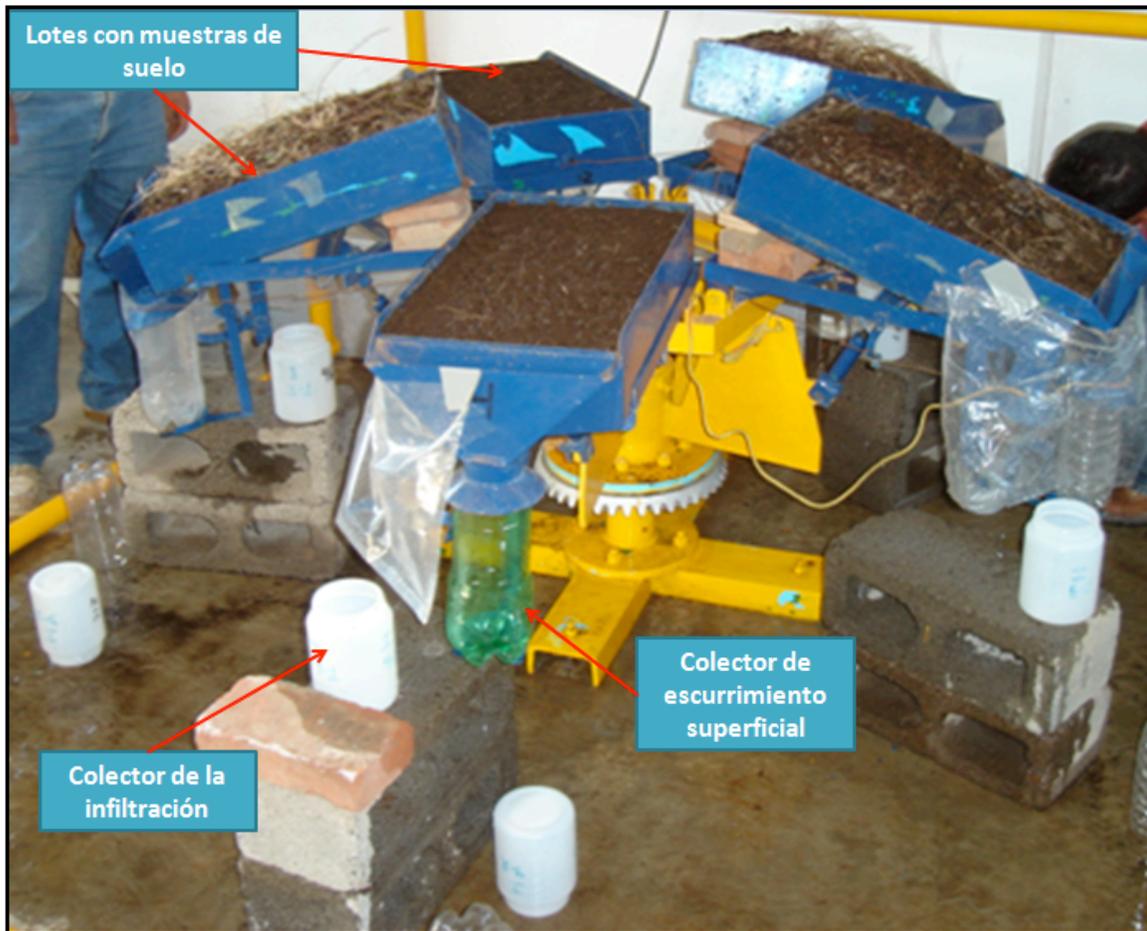


Figura 4.13. Charolas de escurrimiento en el simulador de lluvia.

#### 4.4.2.4. Medición de la infiltración

Para medir la infiltración generada en la simulación se procedió de la siguiente manera:

1. Se colectó, cada 5 minutos durante una hora, la infiltración generada en la simulación de lluvia en recipientes de plástico con capacidad de 1 L.
2. Se pesó la infiltración captada en cada uno de los recipientes, en una balanza analítica.
3. Se pesaron los recipientes vacíos.
4. Se restó el peso de cada recipiente vacío al peso del recipiente con agua de la infiltración, se consideró que la densidad aparente del agua de infiltración es de  $1 \text{ g cm}^{-3}$ , de esta manera se conoce la cantidad de infiltración, el área del lote es conocida, así se determina la lámina de lluvia simulada que se infiltró.

#### 4.4.2.5. Medición del escurrimiento superficial y pérdida de suelo

Otro aspecto a considerar para realizar la evaluación técnica de las terrazas es la estimación y comparación de la pérdida de suelo y la cantidad de escurrimiento superficial generados en los dos tratamientos. Estos son los indicadores necesarios, además de la infiltración ya mencionada, para calcular la eficiencia técnica de las terrazas de banco.

El escurrimiento superficial que se generó en las charolas del simulador de los dos tratamientos, se colectó cada 5 minutos durante una hora en recipientes de plástico. La medición del escurrimiento superficial, así como los sedimentos se realizó por el método gravimétrico.

#### 4.4.3. Estimación de la eficiencia técnica

La eficiencia para los tres indicadores (infiltración, escurrimiento superficial y erosión hídrica estimada con la EUPS) se calculó de la siguiente manera:

$$E = \left( \left( \frac{I_{st} - I_{ct}}{I_{st}} \right) \right) \times 100 \quad (18)$$

Donde E es la eficiencia (%),  $I_{st}$  es el indicador medido en el lote sin terrazas y  $I_{ct}$  es el mismo indicador medido en el lote con terrazas.

### 4.5. Evaluación financiera

Para realizar la evaluación financiera se aplicó la metodología de análisis del beneficio costo, el VAN y la TIR. Para este análisis se consideraron principalmente los indicadores siguientes: costos de diseño y construcción del sistema de terrazas, costos de mantenimiento, costos de las plántulas, (para el año 2006) manejo y mantenimiento de la plantación; los beneficios fueron considerados como los ingresos percibidos por la venta de árboles.

#### 4.5.1. Costos

Los costos del proyecto fueron: el terreno, elaboración y supervisión del proyecto, trazo, construcción y mantenimiento de las terrazas, costo de plántulas, plantación, sistema de riego, fertilizantes, imprevistos, mano de obra y manejo técnico de los árboles.

#### **4.5.2. Beneficios**

La valoración de los beneficios es la parte más difícil de medir en cualquier proyecto de conservación de suelo y agua, por lo que se debe estimar con indicadores que se aproximen al valor real, esto para un análisis económico de acuerdo con Sánchez (1994), Adame *et al.*, (2000) y Cruz (2000). Sin embargo, en el presente trabajo se realizó solo el análisis financiero, por lo tanto para efectuar la medición y valoración en términos monetarios, se utiliza el criterio de los ingresos percibidos por la venta de árboles, los cuales se calcularon en pesos para el año 2007 sin tomar en cuenta la inflación.

#### **4.5.3. Indicadores financieros**

Para la toma de decisiones en cuanto la aceptación o rechazo de la hipótesis del proyecto, se proyectó a cinco años la evaluación del proyecto, de acuerdo con la metodología propuesta por Brooks *et al.*, (1991); Muñante (2004), Sánchez (2005) y Juan (2006), se determinó en función de tres valores de evaluación o indicadores financieros en un proyecto de inversión: VAN, TIR y B/C a partir de las relaciones numéricas (12), (13) y (15). La tasa de actualización utilizada fue el interés del préstamo del proyecto que debe financiarse (12% anual).

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente trabajo se proyecta como un expediente técnico en el cual mediante la metodología de diseño, trazo, construcción y evaluación de un sistema de terrazas de banco con plantaciones forestales comerciales sirva como material de consulta en el ámbito de docencia y de campo en proyecciones similares. A continuación se presentan los resultados y discusión del presente estudio.

### 5.1. Levantamiento topográfico y diseño

En el proceso del levantamiento topográfico se trazaron las curvas a nivel a cada metro (Anexo, 8.6), con el plano de curvas a nivel se calcularon las pendientes del terreno o pendientes proyecto, agrupándolas en dos pendientes dominantes de 15% y 30%. Con lo anterior además de la precipitación promedio anual del lugar, los cálculos de los espaciamientos entre terrazas para el criterio técnico y las necesidades del silvicultor, se calcularon los intervalos horizontal y vertical de 15 m, 2 m y 12 m, 3.6 m; 3 m, 0.9 m y 3 m, 0.45 m respectivamente para las pendientes mencionadas y para los criterios respectivos. Posteriormente se generó un mapa de ubicación de terrazas, drenes y caminos.

#### 5.1.1. Terrazas tipo

Las terrazas de banco con pendiente en su longitud hacia los drenes fueron las aprobadas para ser construidas. Los resultados de los cálculos para los intervalos verticales y horizontales para el criterio técnico y los requerimientos del silvicultor se presentan en el Cuadro 5.1. Es importante mencionar que en el segundo criterio los intervalos horizontales se adecuaron a 3 m de acuerdo a las necesidades que requería el silvicultor para la plantación forestal en las terrazas.

Cuadro 5.1. Intervalos verticales y horizontales en pendientes de 15 y 30%, para los criterios técnico y las necesidades del silvicultor.

Criterios	Pendiente 15%					Pendiente 30%				
	IV (m)	IH (m)	Wb (m)	Talud	D ( $\frac{1}{2}$ IV)	IV (m)	IH (m)	Wb (m)	Talud	D ( $\frac{1}{2}$ IV)
Técnico	2	15	14.34	1:3	1	3.6	12	10.80	1:3	1.8
Necesidades del silvicultor	0.45	3.15	3	1:3	0.225	0.9	3.3	3	1:3	0.45

Se diseñaron dos terrazas tipo para las pendientes mencionadas (Figuras 5.1 y 5.2). Cabe señalar que los intervalos horizontal y vertical difieren de los reportados por (FAO, 1999) debido a que las terrazas son destinadas para plantación forestal comercial y no para cultivos.

Para la pendiente de 30% se obtuvo en los cálculos de acuerdo al criterio técnico una profundidad de corte de 1.8 m y una longitud de corte de 6 m, que es la mitad del IH para cada terraza, mientras que para los requerimientos del silvicultor estas dimensiones fueron de 0.45 m y 1.5 m respectivamente (Figura 5.1).

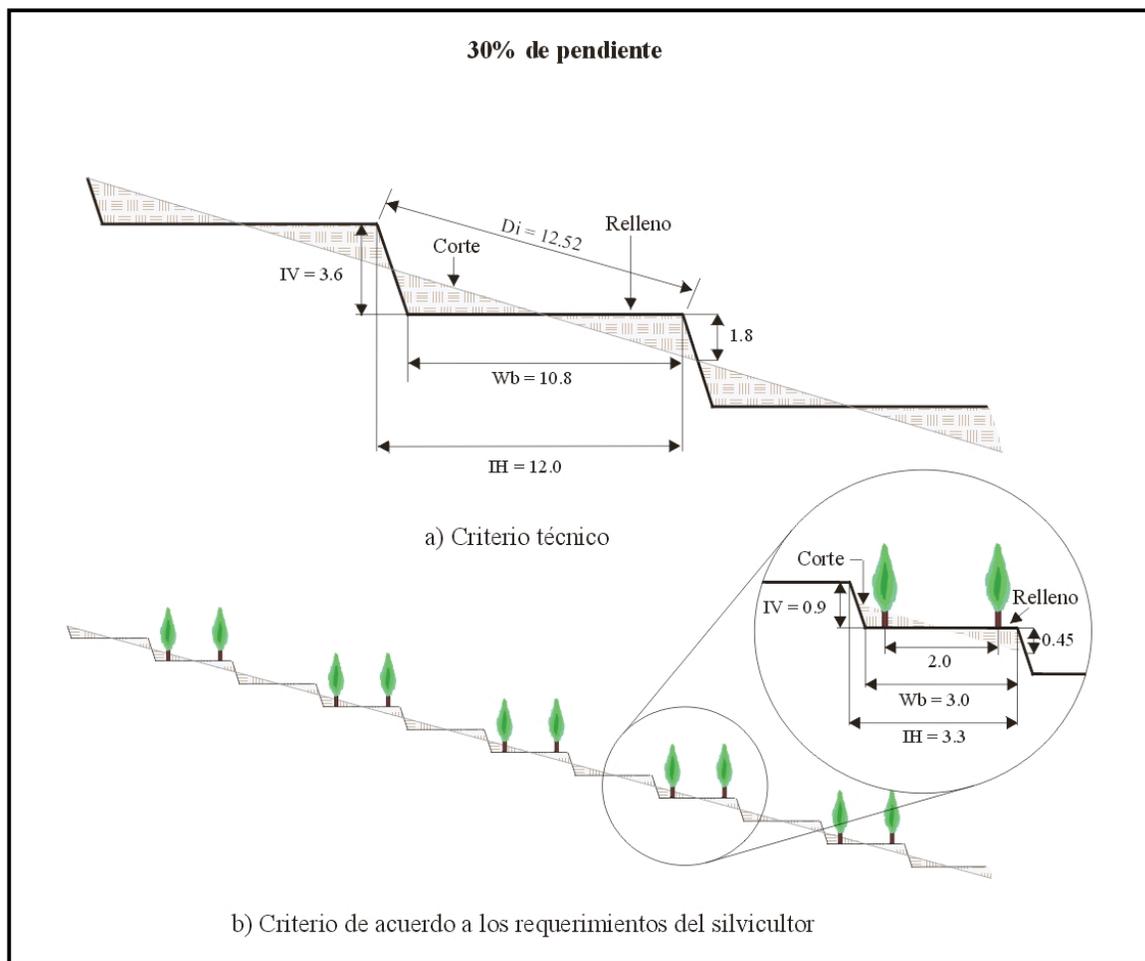


Figura 5.1. Diseño de las terrazas de banco para el terreno con pendiente de 30%.

En lo que se refiere al diseño de las terrazas proyectadas para construirse en el terreno con 15% de pendiente, con los cálculos de acuerdo al criterio técnico se obtuvo una profundidad de corte de 1 m por una longitud de corte de 7.5 m, mientras que para los requerimientos del silvicultor se obtuvo una profundidad de corte de 0.17 m y una longitud de 1.5 m (Figura 5.2).

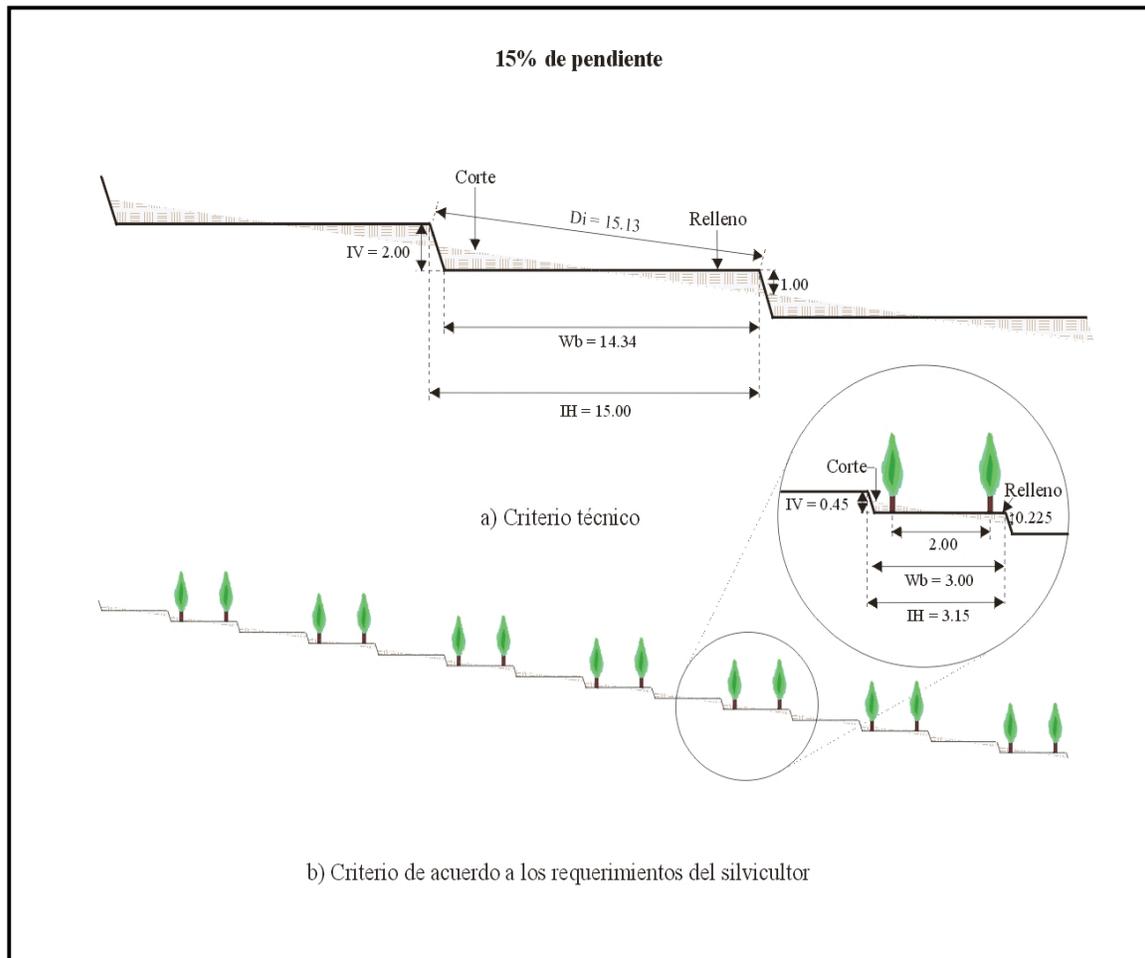


Figura 5.2. Diseño de las terrazas de banco para el terreno con pendiente de 15%.

Para ambas pendientes, en los cálculos se presenta una disminución importante en las dimensiones de corte al comparar los dos criterios, lo que sugiere que los volúmenes de tierra a remover son menores bajo las adecuaciones hechas de acuerdo a las requerimientos del silvicultor y representa menor costo para la construcción de las terrazas, tema que se discute en el subcapítulo de cálculo de volumen de tierra movido y costos.

### 5.1.2. Trazo

El trazo en plano se muestra en (Anexo 8.7), donde se observa la ubicación propuesta al silvicultor de las terrazas. Para la elaboración del trazo en plano se consideró únicamente el criterio del silvicultor, tomando en cuenta las terrazas de banco de 3 m de ancho, los caminos de acceso, drenaje y áreas de maniobras.

### 5.2. Construcción

Las terrazas de banco fueron construidas con base en el criterio de los requerimientos del silvicultor. En la Figura 5.3, se observa un panorama de las terrazas de banco recién construidas. Se puede observar su alineación y paralelismo en el terreno lo que indica que el diseño fue adecuado. Los intervalos entre las terrazas quedaron de la siguiente manera IV de 0.45 m y 0.90 m para pendiente de 15% y 30% respectivamente, mientras que el IH de 3 m para ambas pendientes bajo el criterio de acuerdo a las necesidades de espacio del productor.



Figura 5.3. Vista panorámica del sistema de terrazas de banco del Rancho Jesús María, Valle de Bravo, Estado de México.

Se elaboró otro plano (Anexo, 8.8), en el que se muestra como fue el acomodo final de las terrazas de banco en el Rancho Jesús María.

En la figura 5.4, se observa la ubicación de las terrazas en el terreno, el cual fue dividido en 5 bloques (A, B, C, D y E), para hacer un mejor manejo de los bancales construidos.



Figura 5.4. Plano de ubicación de terrazas en el terreno del Rancho Jesús María.

Existe una diferencia notable entre el primer plano de ubicación de las terrazas propuesto al silvicultor (Anexo 8.7), con respecto al presentado en (Anexo 8.8), la causa de esta diferencia se debe a que en el proceso de trazo y construcción de las terrazas, se respetaron los árboles de más de 25 cm de diámetro que se encontraban en el terreno, de igual forma otra causa que modificó la distribución de los bancales fueron los ajustes en las áreas destinadas para maniobras (zonas destinadas para dar vuelta), tomando en cuenta estas modificaciones se precisó la ubicación final.

### 5.3. Cálculo del volumen de tierra movido y costos

El terreno presenta dos pendientes dominantes una de 15% y la otra de 30%. Los bloques A, B y C se caracterizan por la segunda pendiente y los bloques E y D por la primera pendiente (Cuadro 5.2). En un terreno con mayor grado de pendiente es necesario remover más suelo al momento de construir terrazas, que en uno con menor pendiente. Los resultados de volumen de corte, movimiento de suelo por bloque y el costo que representaría en el marco del criterio

técnico se observa en el cuadro mencionado. Para el cálculo del volumen de corte se utilizó la ecuación (16).

Cuadro 5.2. Cálculo del volumen de tierra movido y costo, bajo el criterio técnico por bloque y por pendiente

Bloque	Longitud total (m)	Pendiente (%)	Volumen de corte (m <sup>3</sup> /m)	Volumen de corte (m <sup>3</sup> )	Costo por m <sup>3</sup> (\$)	Costo total (\$)
A	524.9	30	4.86	2,551.01	20	51,020.28
B	441	30	4.86	2,143.26	20	42,865.20
C	442.5	30	4.86	2,150.55	20	43,011.00
D	294.9	15	3.60	1,061.64	20	21,232.80
E	244.4	15	3.60	879.84	20	17,596.80
<b>Total</b>	<b>1,947.70</b>			<b>8,786.30</b>		<b>175,726.08</b>

El costo del movimiento del volumen de tierra calculado bajo el criterio de adecuaciones en cuanto al uso de las terrazas y requerimientos del silvicultor, se presenta en el Cuadro 5.3.

Cuadro 5.3. Cálculo del volumen de tierra movido y costo, bajo el criterio de requerimientos del silvicultor, por bloque y por pendiente.

Bloque	Longitud total (m)	Pendiente (%)	Volumen de corte (m <sup>3</sup> /m)	Volumen de corte (m <sup>3</sup> )	Costo por m <sup>3</sup> (\$)	Costo total (\$)
A	2,099.50	30	0.34	713.8	20	14,276.60
B	1,766.41	30	0.34	600.6	20	12,011.59
C	1,770.00	30	0.34	601.8	20	12,036.00
D	1,474.40	15	0.17	250.6	20	5,012.96
E	1,221.70	15	0.17	207.7	20	4,153.78
<b>Total</b>	<b>8,332.01</b>			<b>2,374.55</b>		<b>47,490.93</b>

Al comparar el costo del volumen de tierra movido para la construcción de las terrazas de banco con los dos criterios; técnico y adecuaciones en cuanto el uso, resulta más barato en 73 % construir las terrazas de banco en el marco del criterio de acuerdo al uso de las terrazas y requerimientos del silvicultor.

### 5.3. Plantación Forestal

Después de construidas las terrazas se realizó la plantación de los árboles, de tal manera que se establecieron dos hileras al tresbolillo en cada terraza (Figura 5.5). Las terrazas cuyo destino no fue para plantar árboles, se utilizan como caminos de acceso.



Figura 5.5. Panorama de las terrazas con la plantación forestal comercial (Junio de 2006)

Se calculó la densidad de árboles plantados considerando una terraza, una terraza y un camino y finalmente considerando todo el terreno (4 ha) con la densidad de 1 árbol por 3.2 m<sup>2</sup> considerando una terraza, de 1 árbol por 6.4 m<sup>2</sup> considerando las terrazas plantadas y las terrazas camino y finalmente de 1 árbol por 10.6 m<sup>2</sup> al considerar las 4 ha, es decir, 940 árboles ha<sup>-1</sup>.

A continuación se presenta la longitud de las terrazas construidas, el uso o destino de cada terraza, la especie de árboles plantados y el número de árboles por terraza. Los resultados se presentan de esta forma debido a que el terreno fue dividido en 5 bloques, el uso de las terrazas en cada uno de estos se detalla en los cuadros mencionados, con la finalidad de facilitar la presentación y entendimiento de los resultados.



Figura 5.6. Ubicación de las terrazas en el bloque A del terreno.

En la Figura 5.6, se muestra el panorama de ubicación de las terrazas en el bloque A, cuya superficie es de 10,497 m<sup>2</sup> en el que se construyeron 12 terrazas, de las cuales 6 se utilizaron para plantación y el resto para caminos de acceso.

Cuadro 5.4. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque A del terreno terraceado.

Terrazas Bloque A	Longitud (m)	Uso de la terraza	Especie	Árboles por terraza
A1	186.80	Camino	-	-
A2	185.80	Plantación	<i>Liquidambar</i>	184
A3	184.80	Camino	-	-
A4	183.40	Plantación	<i>Liquidambar</i>	182
A5	182.30	Camino	-	-
A6	182.10	Plantación	<i>Quercus</i>	182
A7	182.30	Camino	-	-
A8	182.40	Plantación	<i>Quercus</i>	182
A9	182.50	Camino	-	-
A10	147.30	Plantación	<i>Quercus y pinos</i>	146
A11	162.20	Camino	-	-
A12	137.60	Plantación	<i>Pinos gregii</i>	137
<b>Total</b>	<b>2,099.50</b>			<b>1,013</b>

El criterio de la plantación de árboles comerciales en las terrazas se basó en plantar una terraza y la siguiente dejarla sin plantación para utilizarla como camino de acceso y facilitar el manejo tanto de la plantación como de las terrazas. En el Cuadro 5.4, se muestra la descripción del bloque A, el cual presenta una longitud de terrazas construidas de más de 2000 m, cabe mencionar que este bloque es el más largo y por lo tanto en éste se plantaron más árboles comparándolo con los otros cuatro bloques.

En la Figura 5.7, se presenta el bloque B donde se muestra la ubicación de 13 terrazas construidas en el terreno de 8,832 m<sup>2</sup> que presentaba 30% de pendiente al igual que el bloque A. En este bloque se plantó solo una especie, *Pino ayacahuite* (Cuadro 5.5), a diferencia de los otros bloques donde se plantaron más de una especie diferente. Al igual que en bloque A en todos los bloques el criterio para la plantación fue una terraza para plantación y la siguiente para camino de acceso.

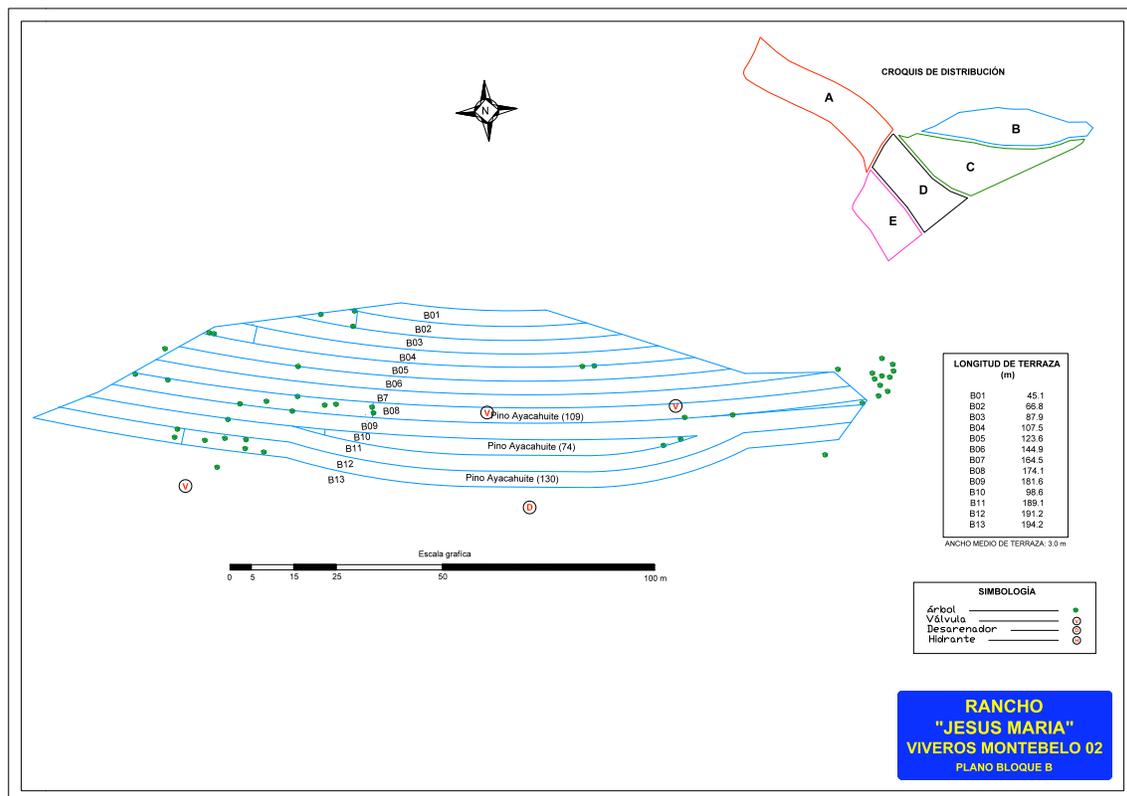


Figura 5.7. Ubicación de las terrazas en el bloque B del terreno

Cuadro 5.5. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque B del terreno terraceado.

Terrazas Bloque B	Longitud (m)	Uso de la terraza	Especie	Árboles por terraza
B1	45.10	Camino		-
B2	66.80	Plantación	<i>Pino ayacahuite</i>	66
B3	88.00	Camino		-
B4	107.50	Plantación	<i>Pino ayacahuite</i>	106
B5	123.60	Camino		-
B6	144.90	Plantación	<i>Pino ayacahuite</i>	144
B7	164.50	Camino		-
B8	174.00	Plantación	<i>Pino ayacahuite</i>	109
B9	181.60	Camino		-
B10	95.95	Plantación	<i>Pino ayacahuite</i>	74
B11	189.06	Camino		-
B12	191.20	Plantación	<i>Pino ayacahuite</i>	130
B13	194.20	Camino		-
<b>Total</b>	<b>1,766.41</b>			<b>629</b>

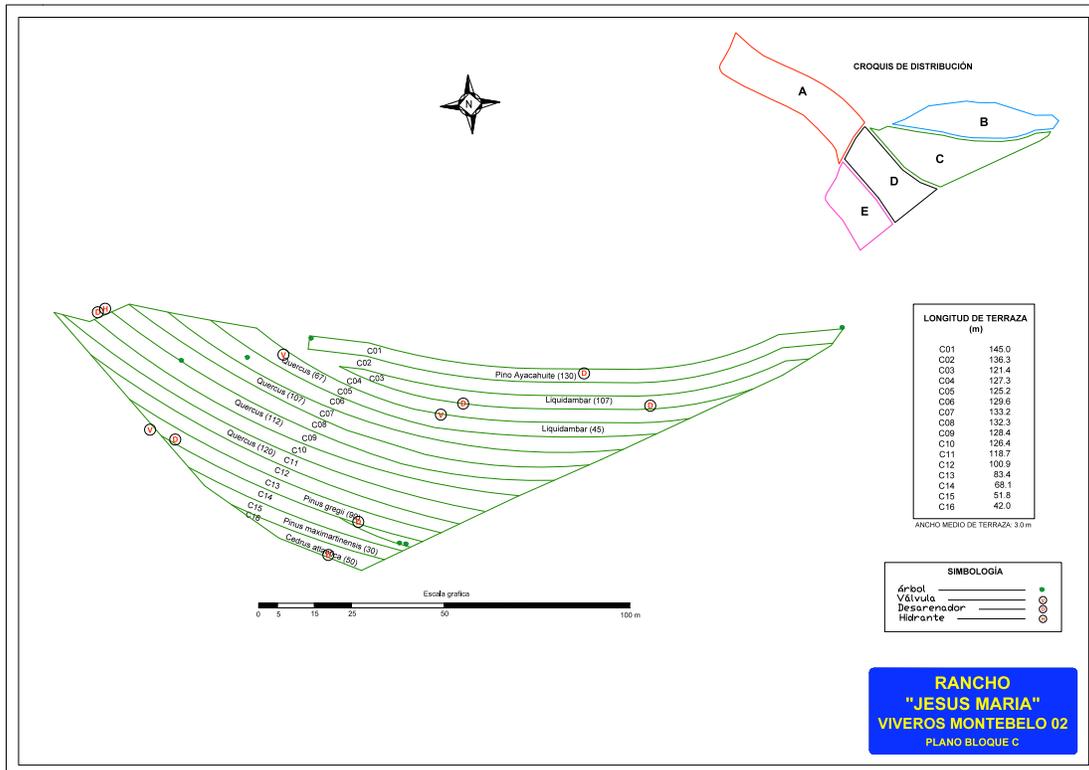


Figura 5.8. Ubicación de las terrazas en el bloque C del terreno

Cuadro 5.6. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque C del terreno terraceado

<b>Terrazas Bloque C</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Uso de la terraza</b>	<b>Especie</b>	<b>Árboles por terraza</b>
C1	145.00	Plantación	<i>Pino ayacahuite</i>	130
C2	136.30	Camino	-	-
C3	121.40	Plantación	<i>Liquidambar</i>	107
C4	127.30	Camino	-	-
			<i>Quercus y</i>	
C5	125.20	Plantación	<i>Liquidambar</i>	67 y 45
C6	129.60	Camino	-	-
C7	133.20	Plantación	<i>Quercus</i>	107
C8	132.50	Camino	-	-
C9	128.10	Plantación	<i>Quercus</i>	112
C10	126.40	Camino	-	-
C11	118.70	Plantación	<i>Quercus</i>	120
C12	101.00	Camino	-	-
C13	83.40	Plantación	<i>Pinus gregii</i>	90
C14	68.10	Camino	-	-
			<i>Pinus</i>	
C15	51.80	Plantación	<i>maximartinensis</i>	30
C16	42.00	Plantación	<i>Cedrus atlantica</i>	50
<b>Totales</b>	<b>1,770.00</b>			<b>856</b>

En el bloque C se construyeron y ubicaron en el plano (Figura 5.8), 16 terrazas de banco, en terreno que presentaba 30% de pendiente, en las que se plantaron 856 árboles comerciales de 6 especies diferentes. En el Cuadro 5.6, se muestran las características de dimensiones y uso de las 16 terrazas construidas, el terreno donde se ubica este bloque cuenta con una superficie de 8,850 m<sup>2</sup>.

Por su parte en el bloque D se construyeron y ubicaron en plano (Figura 5.9), 15 terrazas de banco con una longitud total de 1, 474.4 m, en un terreno que presentaba 15% de pendiente.

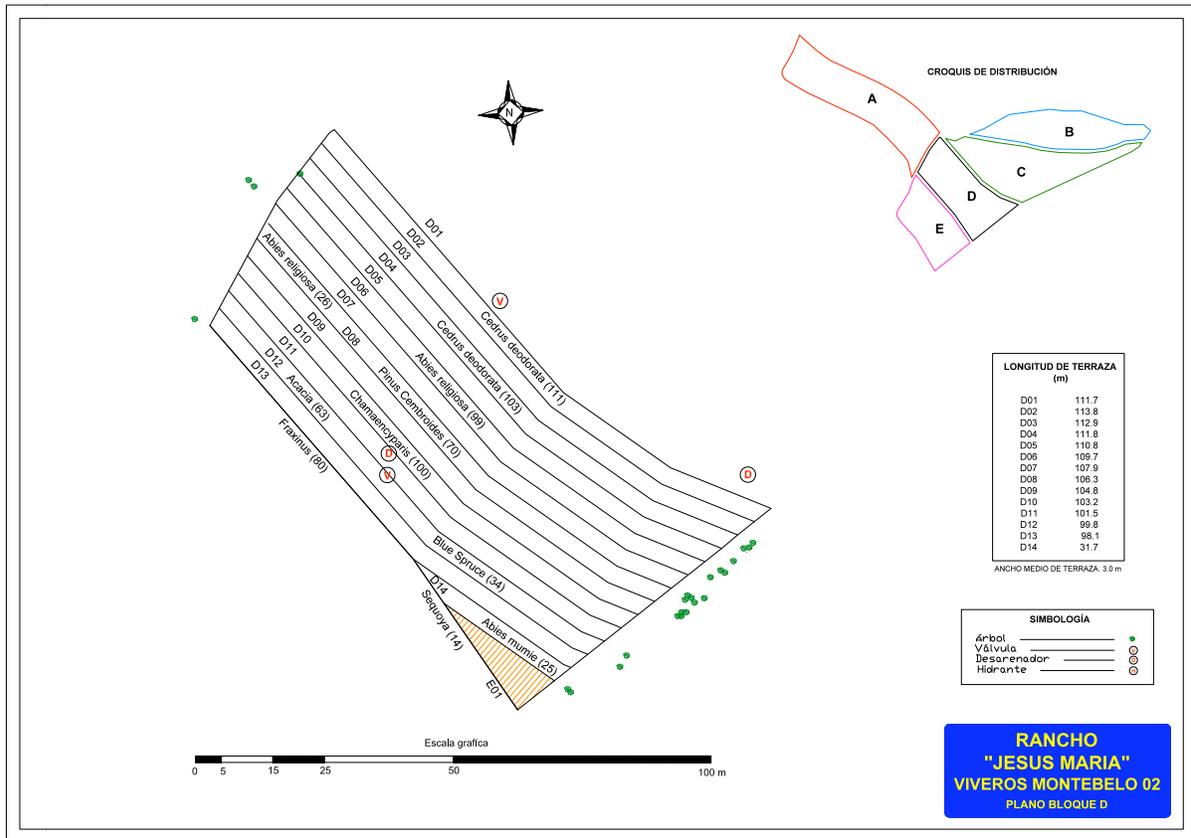


Figura 5.9. Ubicación de las terrazas en el bloque D del terreno.

El bloque D comprende una superficie de 7,372 m<sup>2</sup> donde fueron plantados 631 árboles de 7 especies comerciales diferentes (Cuadro 5.7). Cabe mencionar que este bloque junto con el E son los dos más pequeños en cuanto a superficie y a la cantidad de árboles plantados. Estos dos últimos bloques se caracterizaron por que el terreno presentaba pendiente de 15%.

Cuadro 5.7. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque D del terreno terracedo.

Terrazas Bloque D	Longitud (m)	Uso de la terraza	Especie actual	Árboles por terraza
D1	111.90	Camino	-	-
D2	113.80	Plantación	<i>Cedrus deodorata</i>	111
D3	112.90	Camino	-	-
D4	111.90	Plantación	<i>Cedrus deodorata</i>	103
D5	110.80	Camino	-	-
D6	109.70	Plantación	<i>Abies religiosa</i>	99
D7	107.90	Camino	-	-
D8	106.30	Plantación	<i>Abies religiosa/Pinus cembroides</i>	26 y 70
D9	104.90	Camino	-	-
D10	103.20	Plantación	<i>Chamaecyparis</i>	100
D11	101.50	Camino	-	-
D12	99.80	Plantación	<i>Acacia y Blue spruce</i>	63 y 34
D13	98.10	Camino	-	-
D14	50.00	Plantación	<i>Abies mumie</i>	25
D15	31.70	Camino	-	-
<b>Totales</b>	<b>1,474.40</b>			<b>631</b>

Finalmente en el bloque E se ubicaron en el plano (Figura 5.10), y construyeron 15 terrazas de banco en 4,449 m<sup>2</sup>, en terreno que presentaba 15% de pendiente. Este último bloque es el más pequeño de los cinco.

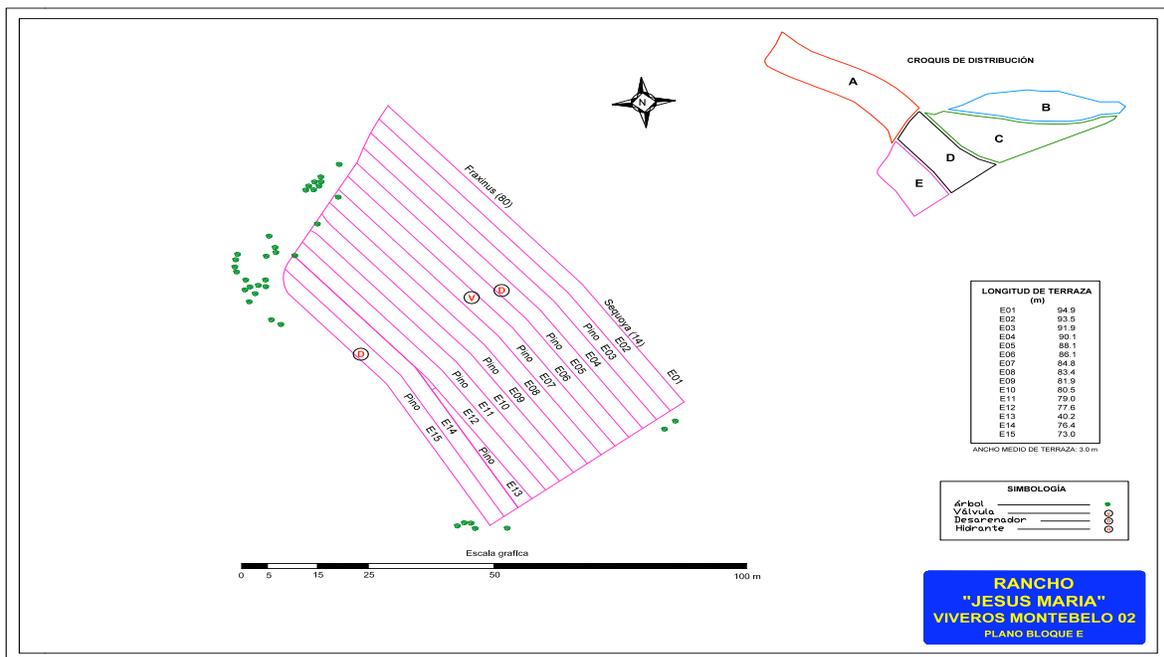


Figura 5.10. Ubicación de las terrazas en el bloque E del terreno.

En el Cuadro 5.8, se presenta la descripción del bloque E, en cuanto a la cantidad de árboles plantados por terrazas y la cantidad total en este bloque, en el que se plantaron 628 árboles de 3 especies diferentes.

Cuadro 5.8. Cantidad y especies de árboles plantados en el bloque E del terreno terraceado.

<b>Terrazas Bloque E</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Uso de la terraza</b>	<b>Especie</b>	<b>Árboles por terraza</b>
			<i>Fraxinus y</i>	
E1	95.00	Plantación	<i>sequoaya</i>	80 y 14
E2	93.50	Camino	-	-
E3	91.90	Plantación	<i>Pino</i>	92
E4	90.10	Camino	-	-
E5	88.10	Plantación	<i>Pino</i>	88
E6	86.30	Camino	-	-
E7	84.80	Plantación	<i>Pino</i>	84
E8	83.40	Camino	-	-
E9	81.90	Plantación	<i>Pino</i>	80
E10	80.50	Camino	-	-
E11	79.00	Plantación	<i>Pino</i>	78
E12	77.60	Camino	-	-
E13	40.20	Plantación	<i>Pino</i>	40
E14	76.40	Camino	-	-
E15	73.00	Plantación	<i>Pino</i>	72
<b>Totales</b>	<b>1,221.70</b>			<b>628</b>

El número total de árboles plantados por bloque en el terreno de 4 ha, son presentados en el Cuadro 5.9.

Cuadro 5.9. Cantidad de árboles plantados por bloque.

<b>Bloque</b>	<b>Número de árboles</b>
<b>A</b>	1013
<b>B</b>	629
<b>C</b>	856
<b>D</b>	631
<b>E</b>	628
<b>Total</b>	<b>3,757</b>

Nótese la diferencia en cantidad de árboles plantados en los tres primeros bloques (terrazas construidas en terreno con 30% de pendiente) de 2,490 contra 1,259 árboles que fueron plantados en los bloques donde se construyeron terrazas en terreno con pendiente de 15%.

## 5.5. Evaluación técnica

En este apartado se presentan los resultados de la evaluación técnica de las terrazas de banco, desde la eficiencia para reducir la erosión hídrica hasta los parámetros de infiltración, escurrimiento superficial y producción de sedimentos.

### 5.5.1. Eficiencia de las terrazas para disminuir la erosión hídrica

Con relación a la eficiencia de las terrazas de banco para reducir la erosión hídrica, los resultados se presentan en el Cuadro 5.10, éste compara la erosión estimada antes de construir las terrazas contra la erosión que ocurre después de su construcción, utilizando la EUPS.

Antes de la construcción de las terrazas, en el terreno con 15% de pendiente se estimó una erosión de 2.42 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y en el terreno con 30% de pendiente se estimó una erosión de 5.07 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que permite inferir que con las terrazas de banco construidas se tiene una eficiencia de 81.63% y 91.12% en la reducción de la erosión, con respecto a la que se presentaba en las zonas con 15% y 30% de pendiente respectivamente y en promedio para las dos zonas la eficiencia es de 86.37%. Esas eficiencias se atribuyen a la reducción de la longitud y grado de pendiente, que se logran al construir los bancales en el terreno, con los cuales se disminuye el efecto del escurrimiento superficial sobre el arrastre del suelo.

Cuadro 5.10. Eficiencia de las terrazas de banco con plantación forestal para reducir la erosión hídrica.

<b>Factores EUPS</b>	<b>Unidad</b>	<b>Sin terrazas de banco, pendiente (15%)</b>	<b>Sin terrazas de Banco, pendiente (30%)</b>	<b>Con terrazas de banco y Plantación forestal</b>
R	(MJ mm ha <sup>-1</sup> hr <sup>-1</sup> )	2,544.65	2,544.65	2,544.65
K	(t ha hr MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	0.02	0.02	0.02
LS	(adimensional)	4.33	9.07	0.05
C	(adimensional)	0.011	0.011	0.30
P	(adimensional)	1.00	1.00	0.6
<b>Erosión actual</b>	<b>(t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)</b>	<b>2.42</b>	<b>5.07</b>	<b>0.45</b>
<b>Eficiencia de las terrazas para reducir la erosión hídrica</b>	<b>(%)</b>			<b>86.37</b>

La construcción de las terrazas de banco con plantación forestal comercial resulta eficiente para reducir la erosión hídrica pues reducen en 86.37% las pérdidas de suelo en el terreno de ladera del Rancho Jesús María.

### 5.5.2. Infiltración

Con la primera lluvia simulada de  $80 \text{ mm h}^{-1}$  no se presentó escurrimiento ni erosión en los tratamientos analizados, solamente la segunda lluvia aplicada de  $140 \text{ mm h}^{-1}$ , generó escurrimientos y pérdida de suelo en ambos tratamientos. Lo anterior sugiere que debido a las características del suelo y la cobertura vegetal, con precipitaciones menores o iguales a  $80 \text{ mm h}^{-1}$  no se presentan problemas de erosión, aún cuando el suelo esté saturado. Para que ocurra el proceso de la erosión hídrica en este terreno se necesitan lluvias de intensidades mayores a  $80 \text{ mm h}^{-1}$ , como la de  $140 \text{ mm h}^{-1}$ , que generó los resultados que a continuación se presentan.

En la Figura 5.11, se presenta la infiltración acumulada para ambos tratamientos. El aumento fue importante en la infiltración con la construcción de terrazas de banco.

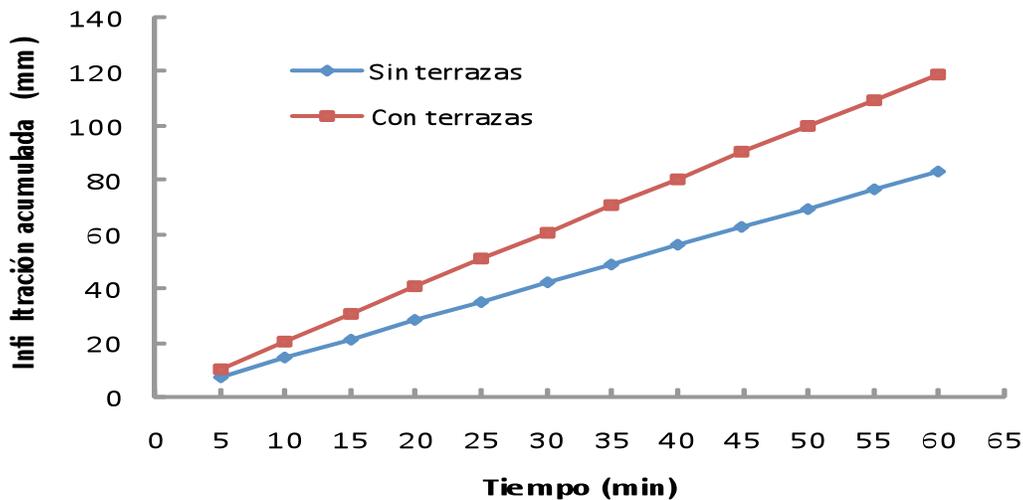


Figura 5.11. Infiltración acumulada con y sin terrazas

En la Figura 5.12, se observa como para este tipo de suelo con estas características, las terrazas de banco aumentan la infiltración en 43.6% con relación al terreno de bosque natural. La infiltración con el uso de las terrazas aumenta en  $40 \text{ mm h}^{-1}$ , al compararse con la tasa que

presentó el tratamiento sin terrazas. Con estos resultados se demuestra que las terrazas de banco son eficientes para aumentar la infiltración en el suelo.

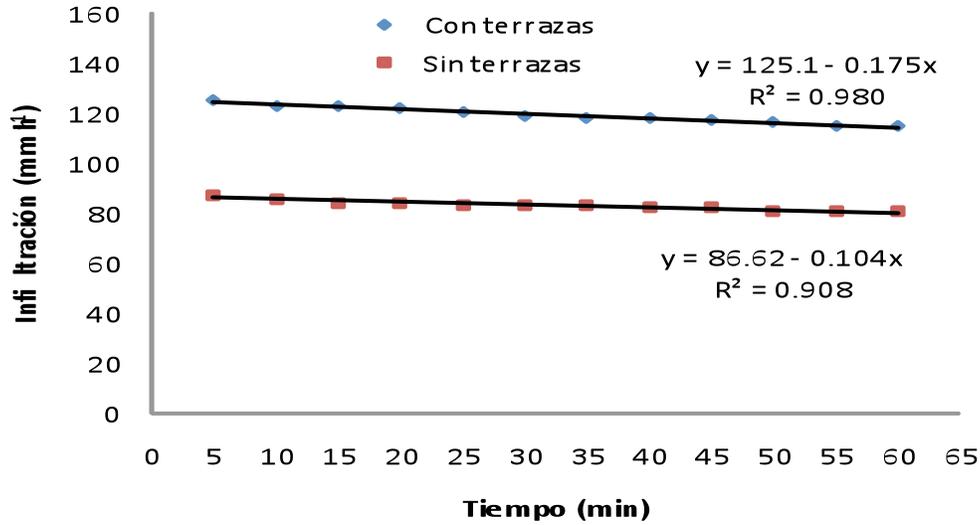


Figura 5.12. Tasa de infiltración con y sin terrazas durante la simulación de lluvia.

Al aumentar la infiltración construyendo terrazas de banco, además de disminuir el coeficiente de escurrimiento superficial en los terrenos, se está contribuyendo a la recarga de acuíferos, lo que representa otro beneficio ecológico que se deriva de la construcción de esta práctica mecánica de conservación del suelo y el agua.

### 5.5.3. Escurrimiento superficial

En lo que se refiere al escurrimiento superficial acumulado presentó una disminución en el tratamiento con terrazas de más de 34 mm con respecto al tratamiento sin terrazas durante la simulación de lluvia (Figura 5.13).

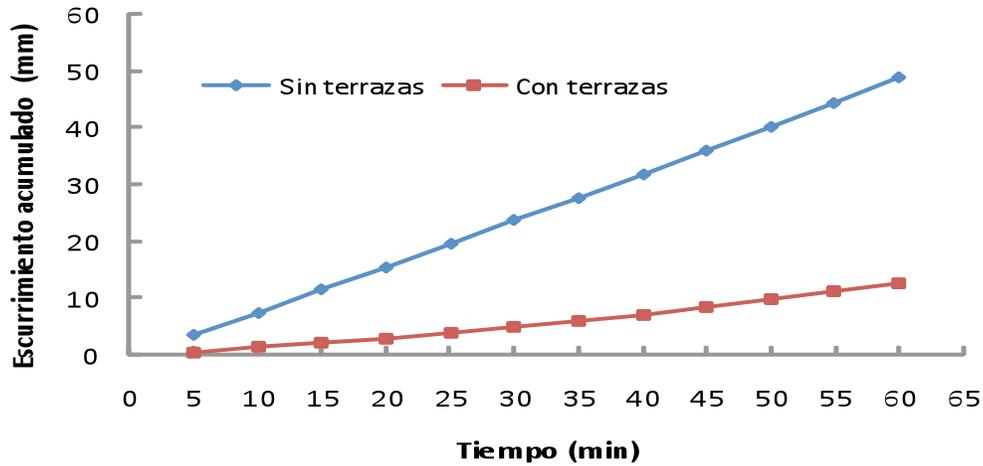


Figura 5.13. Esguimiento acumulado con y sin terrazas.

En la Figura 5.14, se observa como se comportó el esguimiento durante la simulación de lluvia de  $140 \text{ mm h}^{-1}$  durante una hora. La diferencia entre el esguimiento que presenta el suelo antes de construir las terrazas y después de construirlas es de  $35 \text{ mm h}^{-1}$ , es decir la eficiencia de las terrazas de banco para disminuir los esguimientos superficiales, con respecto al terreno con bosque natural, es de 74%.

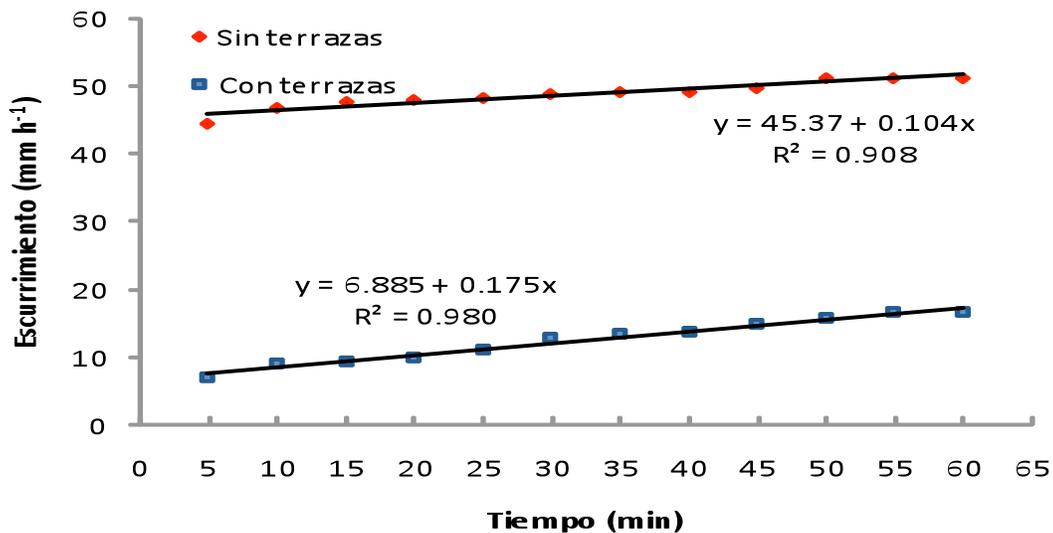


Figura 5.14. Tasa de esguimiento superficial durante la simulación de lluvia.

El aumento de más de  $30 \text{ mm h}^{-1}$  de esguimiento superficial que presenta el tratamiento de terreno con bosque natural durante la simulación de lluvia con respecto al tratamiento de

terrazas de banco, es de gran importancia. La construcción de las terrazas de banco disminuye la pendiente del terreno, si bien es cierto que a la vez se disminuye el contenido de materia orgánica en el suelo, al menos en los primeros años después de construidas, la eficiencia de 76% en la disminución del escurrimiento se le atribuye a la disminución del grado de pendiente en el terreno al construirse los bancales.

#### 5.5.4. Pérdida de suelo

Para la pérdida de suelo se presentó una tendencia similar a la ocurrida con el escurrimiento superficial en ambos tratamientos (Figura 5.15). El tratamiento con terrazas presentó una disminución en la pérdida de suelo de 82.05 g m<sup>2</sup> durante una hora con lluvia simulada, con respecto a lo ocurrido con el tratamiento sin terrazas, es decir mientras que en el tratamiento sin terrazas la pérdida de suelo fue de 176.77 g m<sup>2</sup> para el tratamiento con terrazas la pérdida de suelo acumulada fue de 94.71 g m<sup>2</sup>.

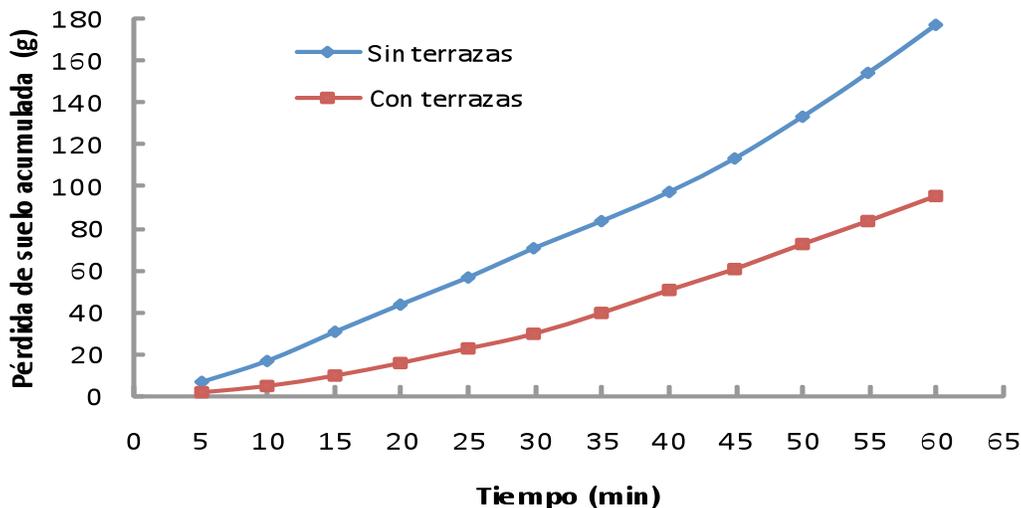


Figura 5.15. Pérdidas de suelo acumuladas, con y sin terrazas

En la Figura 5.16 se presenta lo ocurrido con la pérdida de suelo, al construir terrazas de banco se reduce en 46.6%, esto al comparar la pérdida de suelo con el tratamiento sin terrazas (Anexo 8.2).

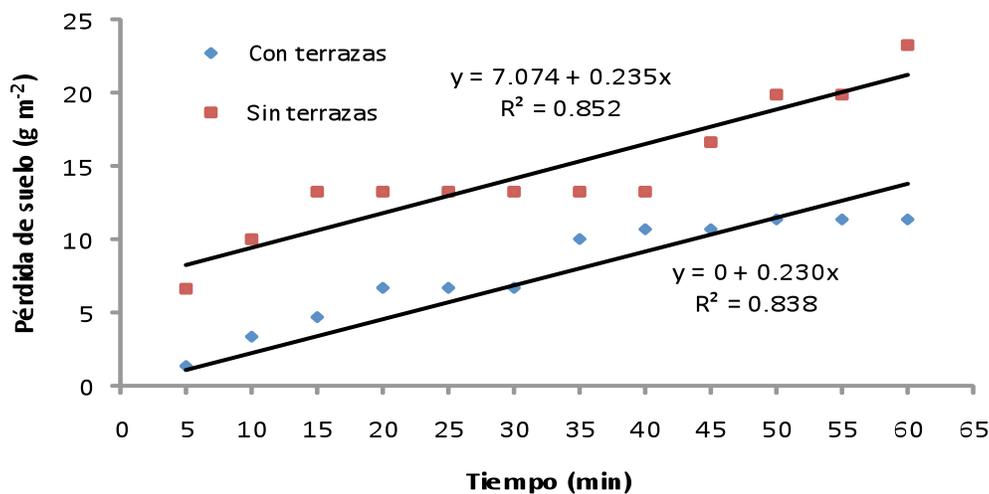


Figura 5.16. Pérdida de suelo durante la simulación de lluvia.

Los resultados obtenidos con la simulación de lluvia presentan la misma tendencia que la erosión estimada con la EUPS, lo que sugiere ambas metodologías son confiables para realizar investigación. Es importante mencionar que la eficiencia de las terrazas de banco para reducir pérdidas de suelo es mayor al estimarse por medio de la EUPS de 86.37%, con respecto a los resultados obtenidos con el uso del simulador de lluvia de 46.6%.

## 5.6. Evaluación financiera

En lo que se refiere a la evaluación financiera se determinaron los costos y beneficios en los periodos de Abril de 2006 a Mayo de 2007, cabe mencionar que los costos son elevados (\$396,414.2 ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), si se comparan con los costos de otras plantaciones menos tecnificadas reportadas por Protti (1982); Oviedo (1990) y Sánchez (2005) de \$6,150; \$2157 y \$43,072.4, respectivamente. Con lo anterior se nota una tendencia de mayor costo para la plantación con manejo más tecnificado ya que se trata de un vivero forestal comercial con plantas ya desarrolladas y que se comercializan como árboles de ornato.

### 5.6.1. Costos

En lo que se refiere a costos, se tomó en cuenta las inversiones y los costos de producción, que implicó llevar a cabo este proyecto, como se detalla en el Cuadro 5.11. Cabe mencionar que los costos del proyecto se dividen en costos de inversión (\$919,508.06) que solo se consideran para el primer año del periodo evaluado y los costos de operación del vivero que

son de \$1,432,405.77 y que se consideran en el primer año y en los cinco años restantes de la corrida financiera.

Cuadro 5.11. Costos del proyecto para plantación forestal en terrazas de banco

<b>Rubro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo Anual (\$) año 1</b>
<b><u>Inversiones</u></b>				
Elaboración del proyecto de terrazas	Proyecto	1	15,600.00	15,600.00
Construcción de terrazas	m <sup>3</sup>	2,374.55	20	47,490.93
Construcción de drenes y caminos	m	2,000.00	25	50,000
Afinación de terrazas y taludes	m	8,332.00	3.6	30,000
Tierra	ha	4	89,104.25	356,417.00
Sistema de riego	ha	4	105,000.00	420,000.00
<b><u>Subtotal</u></b>				<b>919,508.06</b>
<b><u>Costos de Producción</u></b>				
<b><u>Mano de obra</u></b>				
Mantenimiento de terrazas y plantación.	jornales	791	100	79,100.00
Mantenimiento de plantación (fertilización)	(ton)	0.27	9,575.00	3,015.49
Plantación	árboles	3,757	10	37,570.00
<b><u>Materiales</u></b>				
Plántulas	plántula	3,757	300	1,127,100.00
<b><u>Administración</u></b>				
Supervisión de la plantación, manejo y mantenimiento.	técnico	12	8,000.00	112,000.00
Riego (costo de electricidad )	KWh	1,200.00	0.04	672.00
Imprevistos (5%)	(%)	5	93,948.00	72,948.28
<b><u>Subtotal</u></b>				<b>1,432,405.77</b>
<b>Total</b>				<b>2,351,913.83</b>

### 5.6.2. Beneficios

Los beneficios que se tomaron en cuenta en el presente trabajo son los obtenidos por concepto de la venta de los árboles de ornato (Cuadro 5.12) los cuales debido a la adecuada

fertirrigación y mantenimiento en general que se implementó en la plantación se desarrollaron adecuadamente y su precio se incrementó de \$300.00 al momento de trasplantarlos en abril de 2006, a \$1,200.00 al momento de venta al mercado en mayo de 2007.

Cuadro 5.12. Beneficios generados por la implementación de las terrazas de banco y la plantación forestal comercial

<b>Beneficios por concepto de</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio de venta (\$)</b>	<b>Beneficio anual (\$)</b>	<b>Beneficio final (\$)</b>
Venta de árboles	3,757	1,200.00	4,508,400.00	4,508,400.00
Subtotal				4,508,400.00
<b>Total</b>				<b>4,508,400.00</b>

### 5.6.3. Indicadores financieros

Para calcular indicadores: B/C y VAN, se utilizó para descontar la tasa social del Banco Mundial, la cual es de 12%. En el Cuadro 5.13, se presentan los resultados del comportamiento de los costos y los beneficios acumulados en los seis años de valoración financiera sin considerar su actualización.

Cuadro 5.13. Costos, beneficios y flujos para los seis años de evaluación

<b>Año</b>	<b>Costos de infraestructura (\$)</b>	<b>Costos de operación (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>	<b>Beneficios (\$)</b>	<b>Flujo B - C</b>
2006	919,508.06	1,432,405.77	2,351,913.83		-2,351,913.83
2007		1,432,405.77	3,784,319.60	4,508,400.00	724,080.40
2008		1,432,405.77	5,216,725.37	9,016,800.00	3,800,074.63
2009		1,432,405.77	6,649,131.14	13,525,200.00	6,876,068.86
2010		1,432,405.77	8,081,536.91	18,033,600.00	9,952,063.09
2011		1,432,405.77	9,513,942.68	22,542,000.00	13,028,057.32
<b>Total</b>	<b>919,508.06</b>	<b>8,594,434.62</b>			<b>13,028,057.32</b>

En ocasiones se comete el error de creer que la utilidad de un proyecto se obtiene solo con los flujos de los periodos evaluados, sin embargo, es necesario actualizar el flujo para obtener un valor neto considerando el costo del capital en el tiempo y así obtener los indicadores financieros de una forma acertada. En el Cuadro 5.14 se observan los valores calculados para la relación B/C, el VAN y la TIR. Es importante resaltar que el valor del VAN será la utilidad actualizada que se obtenga del proyecto para los años de evaluación.

Cuadro 5.14. Indicadores financieros para seis años de evaluación

Año	Costo total (\$)	Beneficios (\$)	Flujo B - C	Relación B/C	VAN (\$)	TIR
2006	2,351,913.8		-2,351,913.8	0	-2,099,923.06	
2007	3,784,319.6	4,508,400	724,080.4	1.19	577,232.46	
2008	5,216,725.3	9,016,800	3,800,074.6	1.73	2,704,818.06	43%
2009	6,649,131.1	13,525,200	6,876,068.8	2.03	4,369,866.07	93%
2010	8,081,536.9	18,033,600	9,952,063.0	2.23	5,647,067.87	114%
2011	9,513,942.6	22,542,000	13,028,057.3	2.37	6,600,419.29	123%
<b>Total</b>				<b>2.37</b>	<b>6,600,419.29</b>	<b>123%</b>

El valor de la relación B/C indica que durante los seis años de evaluación del proyecto a una tasa de interés de 12% anual, por cada peso que se invierta se obtendrá 1.37 pesos de beneficios. En lo que se refiere al VAN, para este proyecto se obtendrá una utilidad neta de \$6,600,419.29 en el tiempo evaluado. Finalmente para la TIR, durante la evaluación de los seis periodos se recupera la inversión y se obtiene una rentabilidad de 123%. Considerando una inflación de 4% anual el VAN y la TIR se ven afectados (Cuadro 5.15).

Cuadro 5.15. Indicadores financieros considerando inflación de 4% anual

Año	Factor inflación(1/1+i) <sup>t</sup>	Costo total (\$)	Beneficios (\$)	Flujo B - C	Relación B/C	VAN (\$)	TIR (%)
2006	0.961538462	2,261,455.6		- 2,261,455.6		-1,066,724.34	
2007	0.924556213	3,498,816.2	4,168,269.2	669,453.0	1.19	315,779.73	
2008	0.888996359	4,637,649.8	8,015,902.3	3,378,252.5	1.73	1,593,515.33	38
2009	0.854804191	5,683,705.1	11,561,397.6	5,877,692.4	2.03	2,772,496.45	86
2010	0.821927107	6,642,434.2	14,822,304.6	8,179,870.4	2.23	3,858,429.44	106
2011	0.790314526	7,519,007.1	17,815,270.0	10,296,262.9	2.37	4,856,727.80	114
<b>Total</b>		<b>30,243,068.1</b>	<b>56,383,143.9</b>		<b>2.37</b>	<b>\$4,856,727.80</b>	<b>114</b>

Al comparar los indicadores financieros obtenidos sin tomar en cuenta la inflación y considerándola, es notable la diferencia del VAN y de la TIR en los dos escenarios, nótese que al tomar en cuenta la inflación el VAN disminuye de \$6, 600,419.29 a \$4, 856,727.80 y la TIR hace lo mismo de 123% a 114%, sin embargo para evaluaciones financieras en este tipo de proyectos no se considera la inflación, por lo que los resultados se discuten con los valores presentados en el Cuadro 5.14.

La relación B/C presentó un rango de 0 a 2.37 con una relación para los seis años de evaluación de 2.37 como lo muestra el Cuadro 5.14, se puede observar que salvo el año 0 la relación beneficio/costo es mayor de 1, lo que sugiere que el proyecto es rentable.

El resultado de la relación B/C que se presenta en este trabajo es superior del reportado por Sánchez (2005), quien realizó un análisis financiero sobre plantaciones forestales y obtuvo una relación B/C de 1.6, de igual forma que el presente, su proyecto resultó rentable, sin embargo su análisis se basó en una proyección de 28 años, puesto que el proyecto de la plantación fue para producción de madera a diferencia del presente que está en el marco de plantación forestal comercial para ornato, característica que favorece la rentabilidad del proyecto en poco tiempo (2 años), pues el precio de los árboles al mercado cuadruplicaron su precio de la plantación a la venta.

La TIR es uno de los indicadores financieros más importantes en la toma de decisiones al momento de aprobar o rechazar proyectos de inversión, pues indica la tasa a la cual el VAN es igual a cero. Para el cálculo de la TIR en el presente estudio, se hizo una proyección de seis años para evaluar el proyecto, de la que se obtuvo una TIR de 123% como se muestra en el Cuadro 5.14.

En resumen los tres indicadores calculados, el VAN, la relación B/C y la TIR están dentro del marco de aceptabilidad de un proyecto de inversión, es decir, con los valores obtenidos para estos indicadores se puede confiar que el proyecto de la plantación forestal comercial en la parcela con terrazas de banco del Rancho Jesús María es rentable de acuerdo con el criterio que mencionan Brooks (1991) y Juan (2006).

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

1. El proyecto es extrapolable y representa una alternativa viable, eficiente, efectiva y sustentable, ya que las terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, es una opción de buen manejo en terrenos de ladera de aptitud forestal que se encuentran en el país.
2. Para el diseño y construcción de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, no existen limitaciones en cuanto a las características físicas (profundidad, textura, etc.) del suelo que predominan en el terreno destinado para bancales, pues éstas se establecieron de buena forma en el terreno del Rancho Jesús María, las fuertes pendientes que presentaba el terreno no fueron una limitante en la implementación de dicha técnica.
3. La implementación de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, desde el punto de vista técnico, resulta eficiente para reducir la erosión hídrica en 46.6%, para disminuir el escurrimiento superficial en 74% y para aumentar la infiltración de la lluvia en 43.6%, en suelos con las características descritas para los presentes en el Rancho Jesús María.
4. Las lluvias con intensidades iguales o menores a  $80 \text{ mm h}^{-1}$  no generan problemas de erosión en el terreno del Rancho Jesús María, se necesita una lluvia de intensidad mayor a  $80 \text{ mm h}^{-1}$  para que pueda causar problemas de erosión hídrica.
5. Al comparar los costos de construcción de las terrazas de banco con el criterio estrictamente técnico y el criterio de acuerdo a las adecuaciones en cuanto al uso y requerimientos del silvicultor, resulta menos costoso construir las terrazas basándose en el segundo criterio.

6. La construcción de terrazas de banco con plantaciones forestales comerciales, desde el punto de vista financiero, es una proyección rentable a corto plazo, por lo que es recomendable como proyecto de inversión en el campo Mexicano.
7. Si se invierte en este tipo de proyectos en terrenos forestales Mexicanos, además de obtener una ganancia económica se contribuye a la recarga de acuíferos, a la vez se previenen inundaciones y azolves de cuerpos de agua en los lugares bajos de la cuenca donde se implemente este tipo de prácticas, se mantiene la productividad de los suelos en tiempo y espacio. Además existe el beneficio social en la generación de empleos.

## **6.2. Recomendaciones**

1. Para estabilizar las áreas de taludes en las terrazas y en las mismas zonas de tránsito de vehículos, es conveniente establecer una cubierta vegetal rastrera, que proteja y mejore la calidad del suelo.
2. Reducir y controlar la presencia de roedores, cuyos sistemas de socavación y excavación, pueden deteriorar e incluso destruir las terrazas.

## 7. LITERATURA CITADA

- Adame M., S., Oropeza M., J. L., Martínez M., M. R., Santoyo C., V. H. y Ramírez G., M. E., 2000. Evaluación económica del proyecto de rehabilitación de suelos de la cuenca del río Texcoco. *Agrociencia*: 34. pp. 509-521.
- Alcalá de J. M. 1996. Diagnostico de la producción de sedimentos en tres usos del suelo, cuenca del Rio Los Sauces, Michoacán. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 130 p.
- Anaya G., M. 1989. Global assessment of soil degradation in México, GLASOD Project, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Montecillo, México 106 p.
- Anestar, G. P. 1973. Conservacao Do Solo Reflorestamento-Clima, Institutu Campineiro de encino Agrícola Campinas, Brasil.
- Aparicio M., F. J. 1994. Fundamentos de hidrología de superficie. Capítulos: Escurrimiento, Precipitación, Infiltración, Relación lluvia-escurrimiento y Probabilidad y estadística en hidrología. Ed. LIMUSA, México.
- Arteaga E. 2002. Prácticas de conservación de suelos y aguas validadas por el proyecto Jalda. Serie estudios e investigación, documento 2, Sucre, Bolivia, 50 p.
- Basante G., O. 1997. Informe proyecto arqueológico de superficie para el sureste del Estado de México, Archivo Técnico de la Dirección de Arqueología del INAH, México.
- Baumann J. y González D., S. 2000. Plan de conservación de suelos y agua para la costa de Chiapas. CNA, CIM. México D.F.
- Bishop J., y N. Landell M. 2003. Los servicios ambientales de los bosques: información general. *In: La venta de servicios ambientales forestales*. Pagiola S, N. Landell-Mills. Y J. Bishop (eds). SEMARNAT-INECNF. pp. 43-76.
- Brooks, K. N., P. F. Folliott., H. M. Gregersen and J. L. Thames. 1991. Hydrology and the management of watersheds. Chapter 13. *The Economics of Watershed Practices and Management*. First edition. Second printing. Iowa State University Press/Ames. USA.
- Castelo, D. 2001. "Anomalies in net present value calculations?". *Economics Letters*, 72, pp. 127-129.
- Castillo O., A. 1985. EL recurso hídrico en manejo integral de una cuenca semiárida en el estado de Hidalgo. Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

- Centro Nacional de Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de México 2001: Enciclopedia de los Municipios de México, consultada el 25 de mayo de 2006, disponible: <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15110a.htm>.
- Chia C. W. 1998. Prácticas eficaces de la conservación para la cultivación de laderas. Departamento de Chia-Chun Wu y universidad nacional de Pingtung de la conservación del agua de la ciencia y de la tecnología, Taiwán, 6 p.
- CP-SARH, 1991. Manual de conservación del suelo y del agua. Capítulos: Escurrimientos superficiales, Manejo de Suelos, Estudios topográficos, Prácticas mecánicas, Prácticas vegetativas. Ed. Colegio de Postgraduados, México.
- Cortés T., H. G. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis de Maestría, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 168 p.
- Cruz G., J. E. 2000 Conservación de suelos mediante un sistema de construcción de terrazas modificado en frutales (cítricos). Tesis de maestría, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz.
- Duran Z., V., H. Martínez R., A. y Aguilar R., J. 2002. Control de la erosión en los taludes de banales, en terrenos con fuertes pendientes. Edafología, Vol. 9 (1), España, pp. 1-10.
- Enciclopedia de los Municipios de México. 2005. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de México. <http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15110a.htm>.
- Escárpita, H. J. 1985. Administración de recursos para el establecimiento de plantaciones: Rentabilidad. En tercera reunión nacional sobre plantaciones forestales (MEMORIA). México. INIFAP. pp. 866-878.
- FAO 1999. Manual de campo para el manejo de cuencas hidrográficas. Medidas y prácticas para el tratamiento de pendientes. 157 p.
- FAO/UNESCO/ISRIC. 2004. Los recursos naturales en México. INEGI. México.
- FAO, 2006. Estudio de vulnerabilidad y riesgo para actividades productivas y erosión por tipo de cultivo en la microcuenca Iura y Corimarca. Santiago, Chile.
- Figueroa S., B., A. A. Orozco., H. G. Cortés., J. P. López., E. S. Osuna., J. M. Rodríguez., y F. J. Morales. 1991. Manual de Predicción de pérdidas de suelo por erosión. Ed. SARH-Colegio de Postgraduados, México.

- Foster, A. B. 1967. Métodos aprobados en conservación de suelos. Ed. F. Trillas, S.A. México
- Francia M., J. R. Martínez R., A. y Ruiz G., S. 2000. Erosión en suelo de olivar en fuertes pendientes. Comportamiento de distintos manejos de suelo. S.E.C.S. Edafología 7-2, pp. 147-155.
- Francisco N., N. 2005. Productividad y erosión hídrica en tres sistemas de manejo del cultivo doble de maíz en una ladera del trópico húmedo de México. Tesis doctoral. Campus Montecillo. Edafología. Colegio de Postgraduados.
- Galdámez G., J. 2005. Los sistemas Agrícolas anuales en las clases de tierras de la depresión central de Chiapas. Tesis Doctoral. Campus Montecillo México. Edafología, 238 p.
- Garrido P., A. 1999. Inventario de erosión acelerada de las cuencas de los ríos Chapingo y San Bernardino, en la vertiente oriental de la cuenca de México. Tesis de Licenciatura en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México.
- González O., E. 2004. Simulador de lluvia, construcción y especificaciones. Centro del Agua Para Zonas Áridas Semiáridas de América Latina y El Caribe. Disponible en [http://www.cazalac.org/documentos/CAZALAC\\_Nota\\_Tecnica\\_Simulador\\_de\\_Lluvia.pdf](http://www.cazalac.org/documentos/CAZALAC_Nota_Tecnica_Simulador_de_Lluvia.pdf)
- Google earth 2007. Image NASA. Software of National Geographic Society, Discovery Networks and Europa Technologies.
- Guittinger, J. P. 1973. Análisis económico de proyectos agrícolas. Instituto de Desarrollo Económico y Banco Internacional de reconstrucción y fomento. Ed. Tecnos. Madrid España.
- Guztafson A. F. 1957. Conservación del suelo. Ed. Continental. México.
- Guzmán E. L. 1963. The terrace of the ancient mountain Mayas Chiapas, México (SP) Rev. Inter-Americana de Ciencias sociales. 1 (3): pp. 398-406.
- Hernández, A. O. Ascanio, y A. Renda 1999. Principales procesos de degradación de los suelos en las regiones intertropicales. I Simp. Internacional sobre Recursos Naturales Xalapa, México. Floresta Veracruzana, p: 52.
- Hernández D., J. C. y J. A. Prieto R. 1992 Aspectos financieros. En memoria del Simposio sobre Reforestación Comercial, Chihuahua, 1995. Simposio. Avelino Villa Salas. México, D.F.

- INEGI, 1983. Ortofotos de México. Consultada en Junio de 2007, disponible en: <http://mapserver.inegi.gob.mx/map/visorto/viewer.htm>
- INEGI, 1995. Anuario Estadístico del estado de México, Aguascalientes.
- INEGI, 1995. Resultados definitivos, tomo III, Tabulados Básicos, México.
- Juan M., J. 2006. Captación y purificación de agua de lluvia para consumo humano. Tesis de Maestría. Montecillo, Texcoco, Edo. De México.
- Kenneth, G. R. Foster, G. A. Weesies and J. P. Potter. 1991. Revised Universal Soil loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation. 46 (1), pp. 24-27.
- Kido C., M. T. y Kido., A. 2007. Análisis comparativo de costos para el manejo y uso del suelo en la cuenca alta del río Cacaluta en Oaxaca, México.
- López G., A. D. 2005. Estimación de la erosión hídrica para diferentes escenarios de manejo en la microcuenca “El Calabozo” municipio de Morelia, Michoacán.
- Mayrand, K., and M. Paquin. 2004. Payments for environmental services: A survey and assessment of current schemes. Unisfera international center (for the commission for environmental cooperation of Nort America) 53 p.
- Moctezuma, L. G. 1977. Evaluación Económica de 2 años (1967-1976) de Operación del plan Puebla. Colegio de Postgraduados. Centro de Economía, Tesis de Maestría. Chapingo, México.
- Moore L. D. and J. P. Wilson, 1993. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method of estimation Journal Soil and Water conservation. 97(5) pp. 423-428.
- Olvera S., Ma. D., P. Rivera R., R. M., Mendoza y R N., Vargas 1998. Evaluación económica del efecto de la erosión de la productividad de maíz en suelos de ladera en Morelos. Mem. 29 Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Soc. Mex. Ciencia del Suelo. p: 173.
- Oropeza M., J. L. 1999. La erosión del suelo en México (Análisis y Reflexión), Xalapa, México, Forestal Veracruzana, p: 42.
- Ortíz S., C. A. 1987. Elementos en agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana. Tercera edición. UACH, México.

- Oviedo R., J. L. 1990. Evaluación Financiera y Económica del proyecto de una plantación Forestal para Árboles de Navidad, en el ejido, Santa Rita, Mpio. de Arteaga, Coahuila. Colegio de Postgraduados, Centro de economía, Chapingo, México.
- Pagiola, S., L. Natasha, y B. Joshua. 2003. Mecanismos basados en el mercado para la conservación y el desarrollo. *In*: La venta de servicios ambientales forestales. Pagiola, S., N. Landell-Mills, y J. Bishop. (eds) SEMARNAT-INECNF. pp. 1-36.
- PDM-VB, 1997. Plan de Desarrollo Municipal de Valle de Bravo, Estado de México, México.
- Pérez N., S. y Hernández S., R. 1998. Topografía, UACH, México.
- Polidura F., F. J. 2000. Topografía Geodesia y Cartografía aplicadas a la Ingeniería. Mundi - Prensa, México, 365 p.
- Porta C. J., López A. M., Roquero L. C., 2003. Edafología para la Agricultura y el medio ambiente. Tercera edición, Ed. Mundi-Prensa, México. 929 p.
- Posthumus H. and J. De Graaff, 2004. Cost-Benefit analysis of bench terraces, a case study in Peru. Erosion and soil & water conservation group, department of environmental sciences, Land Degradation and Development, Peru.
- Protti, A. F. 1982. Evaluación Económica-Financiera del proyecto de plantaciones Forestales en “La Frailesca” Chiapas, Tesis de Maestría en Economía Agrícola. Colegio de Postgraduados, México.
- Ramírez C. y Oropeza M., 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión de laderas en el trópico. Agrociencia. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, vol. 35, pp. 489-495.
- Ríos B., J. D. 1987. Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 244 p.
- Rivera R., P. 1996. Determinación del potencial hidrológico en tepetates tipo T3 con lluvia simulada. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Ruiz C., J. 1999. Zonificación agroecológica e inventario de Recursos Naturales de la Sierra de Puebla. I Simposio. Internacional Recursos Naturales, Xalapa, Veracruz, México.
- Ruiz F., J. F. 1979. Evaluación de cinco tipos de terrazas en suelos de ladera de la cuenca del río Texcoco. Tesis de Maestría en Ciencias. Área de Física de Suelos. Colegio de Postgraduados. México.

- SAGAR-INIFAP-CENID RASPA. 1999. Uso de la lluvia artificial para parametrizar modelos de procesos hidrológicos.
- Sánchez B., B. 1994. Evaluación del programa de conservación de suelo y agua en el Sur de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Sánchez M., E. A. 2005. Plantaciones forestales comerciales: Base de datos y análisis financiero. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2004. Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. Zapopan, Jalisco México. 207 p.
- SMN. 2006. Unidad del Servicio Meteorológico Nacional, Normales climatológicas, 1971-2000.
- Thompson L., M. 1966. El suelo y su fertilidad 3ª. edición Ed. Reverte, S. A. Barcelona-Buenos Aires- México.
- TRAGSA 2003. La ingeniería en los procesos de desertificación. Ed. MUNDI-PRENSA 1,043 p.
- Trueba C., A. 1978. Evaluación de la eficiencia de cuatro prácticas mecánicas para reducir las pérdidas de suelo y nutrientes por erosión hídrica en terrenos agrícolas de temporal. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Torres, L., F. Martínez, y T. C. Camacho 1996. Determinación de la erosión actual en terrenos agrícolas del Municipio de Queréndaro, Michoacán. Mem. XXVII Cong. Nal. Ciencia del Suelo. Soc. Mexicana Ciencia del Suelo, p. 174.
- Vergara S. M., A. y J. D. Etchevers B. 2006. Relación entre el uso de la tierra y su fertilidad en las laderas de la sierra norte de Oaxaca, México. Agrociencia, Colegio de Postgraduados, México, vol. 40, pp. 557-567.
- WIKIPEDIA, 2007. [http://es.wikipedia.org/wiki/Valor\\_actual\\_net](http://es.wikipedia.org/wiki/Valor_actual_net). Consultada en agosto de 2007. Disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>.
- Wischmeier, W. H. 1976. Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. Journal of Soil and Water Conservation. 31: 5-9 pp. 97-103.
- Wischmeier, W. H., and D. D. Smith 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning-USDA, Agriculture Handbook 537. Sci. and Educ. Admin. USDA. Washington, D. C. p. 59.

- Zebrowski, C., y A. Vicuña 1996. El cultivo de la cangahua en el medio campesino tradicional en el Ecuador. Suelos Volcánicos Endurecidos. III Simp. Inter. ORSTOM. Quito, pp. 472-481.
- Zuhair M. 2007. SWC Technology: Stone wall bench terraces, Syria WOCAT.
- Zúñiga G., J. L., R. Camacho C., S. Uribe G., N. Francisco N. y A. Turrent F. 1993. Terrazas de muro vivo para sustentar la productividad en terrazas agrícolas de ladera. Folleto técnico No. 6, SARH, INIFAP. 29 p.

## 8. ANEXOS

### Anexo 8.1. Precipitación, normales climatológicas, 1971-2000

Precipitación Presa Colorines, Normales climatológicas, 1971-2000												
Elementos	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Normal	19.7	3.6	5.8	6.6	52.4	181.8	201.3	203.2	171.1	90.2	19.8	8.3
Máxima mensual	199.2	15.2	40.2	34.8	116.2	280.8	336.8	442.8	297.5	279.7	52.4	54.3
Año de máxima	1980	1982	1988	1972	1982	1987	1987	1988	1971	1971	1986	1989

Fuente: SMN, 2000.

### Anexo 8.2. Datos de erosión, escurrimiento superficial e infiltración, calculados durante la simulación de lluvia

Tiempo (min)	Erosión ( $\text{g m}^{-2}$ )		Infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ )		Escurrimiento superficial ( $\text{mm h}^{-1}$ )	
	*T1	*T2	T1	T2	T1	T2
5	6.67	1.33	87.60	124.93	44.40	7.07
10	10.01	3.34	85.28	122.77	46.72	9.23
15	13.34	4.67	84.28	122.61	47.72	9.39
20	13.34	6.67	84.04	122.08	47.96	9.92
25	13.34	6.67	83.64	120.72	48.36	11.28
30	13.34	6.67	83.12	119.17	48.88	12.83
35	13.34	10.01	82.96	118.45	49.04	13.55
40	13.34	10.67	82.84	118.27	49.16	13.73
45	16.68	10.67	82.20	117.12	49.80	14.88
50	20.01	11.34	81.00	116.29	51.00	15.71
55	20.01	11.34	80.88	115.39	51.12	16.61
60	23.35	11.34	80.72	115.20	51.28	16.80

\*T1: Tratamiento sin terrazas de banco.

\*T2: Tratamiento con terrazas de banco.

Anexo 8.3. Características físicas del suelo del rancho Jesús María

Prof. (cm)	Textura (%)			$D_{ap}$ (g cm <sup>-3</sup> )	$D_r$	H (%)	pF (en seco)		FC	PMP
	arena	limo	arcilla				-2.5	-4.2		
0-34	37.30	30.60	32.10	0.91	2.34	33.10	41.40	23.10		
34-116	42.30	22.60	35.10	1.44	2.47	16.10	27.00	19.30		
116-172	36.60	23.60	39.70	1.00	2.19	29.20	50.80	40.10		
172-211	75.20	12.70	12.10	1.13	2.51	11.60	19.30	13.80		
211-282	46.20	24.70	29.10	0.91	2.26	34.50	58.10	39.40		
282-322	29.20	33.70	37.10	1.12	2.46	26.40	33.20	22.80		
322-362	17.90	17.70	64.40	1.38	2.37	47.60	54.50	41.70	0.43	0.25

Anexo 8.4. Balance hídrico en el suelo utilizando la metodología de Thornthwaite

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
T(°C)	17.00	17.70	19.30	21.20	22.00	20.40	19.30	19.30	19.20	19.20	18.50	17.50
ETP (mm)	54.94	59.61	71.00	85.84	92.51	79.42	71.00	71.00	70.26	70.26	65.18	58.26
P (mm)	19.70	3.60	5.80	6.60	52.40	181.80	201.30	203.20	171.10	90.20	19.80	8.30
P-ETP (mm)	-35.24	-56.01	-65.20	-79.24	-40.11	102.38	130.30	132.20	100.84	19.94	-45.38	-49.96
PPA (mm)	-130.58	-186.59	251.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-45.38	-95.34
ST	28.71	-157.88	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	254.62	159.28
DST	0.00	186.59	457.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.38	53.68
ETR (mm)	54.94	59.61	71.00	85.84	92.51	79.42	71.00	71.00	70.26	70.26	65.18	53.68
DS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.58
S	-35.24	130.58	523.08	-79.24	-40.11	102.38	130.30	132.20	100.84	19.94	0.00	3.72
Qs	0.00	0.00	0.00	0.00	20.06	51.19	65.15	66.10	50.42	9.97	0.00	1.86
Qsn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Qt	0.00	0.00	0.00	0.00	20.06	51.19	65.15	66.10	50.42	9.97	0.00	1.86
DT	0.00	186.59	457.88	0.00	0.00	-13.96	-0.95	15.68	40.45	9.97	43.52	55.54

T= Temperatura

ETP= Evapotranspiración potencial

P= Precipitación

PPA= Pérdida potencial acumulada

ST= Agua almacenada en el suelo

DST= Cambio de humedad del agua almacenada en el suelo

ETR= Evapotranspiración

D = Deficit de humedad

S = Exceso de humedad

Qs = Escurrimiento superficial

Qsn = Escurrimiento por nieve

Qt = escurrimiento total

DT = Detención de humedad

Anexo 8.5. Datos del levantamiento topográfico

Clave	x	y	z	Clave	x	y	z	Clave	x	y	z	Clave	x	y	z
1	395941.1880	2117205.7570	85.2210	41	396050.0100	2117315.7500	100.6990	93	395998.6900	2117286.3200	93.1740	133	395933.3200	2117303.3800	85.7240
2	395950.0400	2117207.8300	85.3390	42	396053.2500	2117326.2400	101.9220	94	396000.4300	2117271.7100	92.2590	134	395930.8700	2117291.3400	84.8230
3	396010.6700	2117240.7500	91.7330	43	396043.9900	2117324.1700	101.1030	95	395998.4700	2117301.9800	94.3370	135	395935.5900	2117281.2000	84.6880
4	396066.9700	2117270.7800	96.8150	44	396040.2000	2117311.7300	99.6350	96	395998.2500	2117313.6800	95.3230	136	395941.0500	2117271.2200	84.7250
5	396103.9400	2117279.9500	97.8980	45	396036.4100	2117323.4000	100.5390	97	395996.9400	2117321.7900	96.0280	137	395947.0100	2117255.8300	84.6950
6	396121.8400	2117284.2300	98.5790	46	396033.1200	2117309.4800	98.8090	98	396006.4400	2117327.5200	97.7590	138	395951.0800	2117245.8400	84.9490
7	396123.6000	2117313.0500	103.3550	47	396034.1700	2117294.9000	97.6000	99	396002.1200	2117330.2900	97.4730	139	395955.2900	2117234.6200	85.6090
8	396126.3300	2117333.8600	107.0140	50	396053.6000	2117305.1200	99.9360	100	395991.8700	2117334.3800	96.6030	140	395959.6300	2117223.7700	86.1410
9	396083.5800	2117318.8100	103.0840	51	396047.3100	2117293.5700	98.4910	101	395989.5600	2117326.0000	95.5470	141	395963.3700	2117214.7500	86.6240
10	396060.6000	2117325.2200	102.5130	52	396049.2600	2117283.9100	97.6740	102	395986.4100	2117319.1900	94.3850	142	395948.6400	2117219.9300	85.2360
11	396032.5300	2117326.2000	100.4580	53	396048.0600	2117276.0500	96.8730	103	395982.1100	2117312.9700	93.2980	143	395944.1400	2117230.4000	84.5000
12	395988.7200	2117333.5600	97.3890	54	396044.9700	2117270.9100	96.3180	104	395980.3700	2117303.0300	92.0930	144	395939.9200	2117240.2500	83.8580
13	395988.4000	2117310.6000	93.8510	55	396041.7800	2117260.7900	95.3380	105	395982.8400	2117284.8500	91.7160	145	395932.9700	2117260.8000	83.2060
14	396116.3200	2117322.7700	104.9220	56	396034.8800	2117267.2200	95.4420	106	395982.2100	2117284.2600	90.8010	146	395927.6800	2117271.3900	83.0500
15	396117.7200	2117314.6000	103.4330	57	396032.6600	2117276.0400	95.9690	107	395975.9100	2117288.6100	90.2580	147	395916.8900	2117263.2200	81.2010
16	396102.0600	2117302.5100	101.2070	62	396016.0500	2117322.1300	98.2900	112	395961.5300	2117318.7200	91.0540	152	395937.0300	2117254.0000	84.2060
17	396116.5700	2117290.1900	99.3590	59	396028.6100	2117295.6600	97.1790	109	395977.8900	2117317.4600	91.5440	148	395916.3800	2117263.5700	81.1960
18	396109.0300	2117283.0400	98.3370	60	396026.3400	2117305.3500	97.8900	110	395970.7500	2117332.6100	93.6590	150	395925.8900	2117254.0000	81.9360
19	396104.6700	2117292.4800	99.7780	61	396023.1300	2117315.4000	98.5410	111	395958.7300	2117329.2800	91.4830	151	395932.5100	2117236.0200	83.0930
20	396102.0600	2117302.5100	101.2070	62	396016.0500	2117322.1300	98.2900	112	395961.5300	2117318.7200	91.0540	152	395937.0300	2117219.8900	84.2060
21	396100.4000	2117312.3000	102.7230	63	396011.0000	2117313.5600	96.9610	113	395963.5800	2117307.6000	90.2990	153	395962.3400	2117317.9700	91.1570
22	396097.9400	2117322.3200	104.3860	64	396007.5900	2117302.1000	95.4230	114	395966.2000	2117296.6700	89.6740	154	395949.1900	2117324.2500	89.5930
23	396088.9000	2117317.2100	103.0890	65	396006.1800	2117290.0600	94.2730	115	395969.4700	2117283.8100	89.0120	155	395947.5800	2117338.1300	90.0760
24	396088.9100	2117306.5800	101.5710	66	396005.0100	2117278.0200	93.2490	116	395972.5300	2117273.1700	88.7680	156	395954.4700	2117343.4300	91.8140
25	396087.5100	2117296.8200	100.1550	67	396005.2700	2117266.9500	92.5930	117	395974.6100	2117262.6000	88.2290	157	395956.1500	2117335.6900	91.5750
26	396089.8300	2117282.7100	98.3500	68	396012.8200	2117260.0700	93.0610	118	395977.6700	2117252.9500	88.3190	158	395967.7500	2117346.5200	94.5090
27	396080.7000	2117275.3100	97.4150	69	396016.4600	2117254.5000	93.4240	119	395981.8300	2117242.2100	88.6520	159	395981.1000	2117350.7100	96.8940
28	396076.8900	2117281.4500	98.1460	70	396021.9200	2117241.5600	91.6000	120	395989.5100	2117231.1800	89.1630	160	396001.4200	2117351.9900	99.8040
29	396077.1100	2117289.3600	99.1290	71	396016.4600	2117241.5600	91.6000	121	395980.7000	2117235.6600	88.0730	161	396005.4900	2117345.0800	99.4000
30	396076.2300	2117298.4100	100.3210	72	396009.2800	2117241.5600	91.6000	122	395976.1500	2117235.6600	87.8150	162	395991.4200	2117340.5600	97.1480
31	396073.7700	2117309.9600	101.4160	73	396005.0600	2117253.0200	91.8700	123	395970.4900	2117247.4200	87.3270	163	395988.2400	2117328.8900	95.7860
32	396066.2200	2117312.8100	101.3210	74	395997.8400	2117245.0500	90.6780	124	395966.1600	2117257.4300	87.0430				
33	396061.9400	2117301.7400	100.1020	75	395994.5400	2117234.1400	89.8130	125	395960.3700	2117268.5200	87.0240				
34	396062.0100	2117285.3900	98.3710	76	395989.2800	2117237.7800	89.3640	126	395954.2200	2117281.4000	86.9930				
35	396060.9100	2117270.0200	96.5890	77	395989.8400	2117251.2300	89.9010	127	395949.9500	2117293.5100	87.5350				
36	396052.2300	2117273.5900	96.9250	78	395989.6900	2117264.9300	90.3790	128	395944.1900	2117305.3800	87.4860				
37	396048.8600	2117284.2700	97.7250	79	395988.9600	2117276.5200	91.0890	129	395940.9000	2117316.7000	87.7030				
38	396047.8800	2117294.7100	98.7170	80	395989.0000	2117287.9800	91.9750	130	395937.8900	2117323.3800	87.2580				
39	396047.5100	2117304.9200	99.6060	81	395992.4100	2117294.7800	92.9850	131	395932.7100	2117320.2000	85.9680				
40	396054.9400	2117298.6300	99.4790	82	395997.9200	2117298.4300	93.9310	132	395929.3000	2117310.4500	85.3730				



Anexo 8.6. Plano topográfico del terreno, previo a la construcción de t

PLANAL DE LOS TENDIDOS DE CUBIERTA  
PROLONGAR ADECUADAMENTE 16" HASTA EL FIN DEL CAMINO  
EXISTENTE

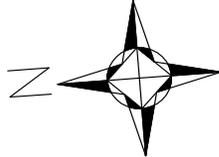


Anexo 8 7 Trazo en plano del sistema de terrazas de hanco en



Área: 4 ha

5 15 25 50



Anexo 8.4. Balance hídrico en el suelo utilizando la metodología de Thornthwaite

Variable	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
T(°C)	17.00	17.70	19.30	21.20	22.00	20.40	19.30	19.30	19.20	19.20	18.50	17.50
ETP (mm)	54.94	59.61	71.00	85.84	92.51	79.42	71.00	71.00	70.26	70.26	65.18	58.26
P (mm)	19.70	3.60	5.80	6.60	52.40	181.80	201.30	203.20	171.10	90.20	19.80	8.30
P-ETP (mm)	-35.24	-56.01	-65.20	-79.24	-40.11	102.38	130.30	132.20	100.84	19.94	-45.38	-49.96
PPA (mm)	-130.58	-186.59	251.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-45.38	-95.34
ST	28.71	-157.88	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	300.00	254.62	159.28
DST	0.00	186.59	457.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.38	53.68
ETR (mm)	54.94	59.61	71.00	85.84	92.51	79.42	71.00	71.00	70.26	70.26	65.18	53.68
DS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.58
S	-35.24	130.58	523.08	-79.24	-40.11	102.38	130.30	132.20	100.84	19.94	0.00	3.72
Qs	0.00	0.00	0.00	0.00	20.06	51.19	65.15	66.10	50.42	9.97	0.00	1.86
Qsn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Qt	0.00	0.00	0.00	0.00	20.06	51.19	65.15	66.10	50.42	9.97	0.00	1.86
DT	0.00	186.59	457.88	0.00	0.00	-13.96	-0.95	15.68	40.45	9.97	43.52	55.54

T= Temperatura

ETP= Evapotranspiración potencial

P= Precipitación

PPA= Pérdida potencial acumulada

ST= Agua almacenada en el suelo

DST= Cambio de humedad del agua almacenada en el suelo

ETR= Evapotranspiración

D = Deficit de humedad

S = Exceso de humedad

Qs = Escurrimiento superficial

Qsn = Escurrimiento por nieve

Qt = escurrimiento total

DT = Detención de humedad

### Anexo 8.5. Datos del levantamiento topográfico

Clave	x	y	z	Clave	x	y	z	Clave	x	y	z	Clave	x	y	z
1	395941.1880	2117205.7570	85.2210	41	396050.0100	2117315.7500	100.6990	93	395998.6900	2117286.3200	93.1740	133	395933.3200	2117303.3800	85.7240
2	395950.0400	2117207.8300	85.3390	42	396053.2500	2117326.2400	101.9220	94	396000.4300	2117271.7100	92.2590	134	395930.8700	2117291.3400	84.8230
3	396010.6700	2117240.7500	91.7330	43	396043.9900	2117324.1700	101.1030	95	395998.4700	2117301.9800	94.3370	135	395935.5900	2117281.2000	84.6880
4	396066.9700	2117270.7800	96.8150	44	396040.2000	2117311.7300	99.6350	96	395998.2500	2117313.6800	95.3230	136	395941.0500	2117271.2200	84.7250
5	396103.9400	2117279.9500	97.8980	45	396036.4100	2117323.4000	100.5390	97	395996.9400	2117321.7900	96.0280	137	395947.0100	2117255.8300	84.6950
6	396121.8400	2117284.2300	98.5790	46	396033.1200	2117309.4800	98.8090	98	396006.4400	2117327.5200	97.7590	138	395951.0800	2117245.8400	84.9490
7	396123.6000	2117313.0500	103.3550	47	396034.1700	2117294.9000	97.6000	99	396002.1200	2117330.2900	97.4730	139	395955.2900	2117234.6200	85.6090
8	396126.3300	2117333.8600	107.0140	50	396053.6000	2117305.1200	99.9360	100	395991.8700	2117334.3800	96.6030	140	395959.6300	2117223.7700	86.1410
9	396083.5800	2117318.8100	103.0840	51	396047.3100	2117293.5700	98.4910	101	395989.5600	2117326.0000	95.5470	141	395963.3700	2117214.7500	86.6240
10	396060.6000	2117325.2200	102.5130	52	396049.2600	2117283.9100	97.6740	102	395986.4100	2117319.1900	94.3850	142	395948.6400	2117219.9300	85.2360
11	396032.5300	2117326.2000	100.4580	53	396048.0600	2117276.0500	96.8730	103	395982.1100	2117312.9700	93.2980	143	395944.1400	2117230.4000	84.5000
12	395998.7200	2117333.5600	97.3890	54	396044.9700	2117270.9100	96.3180	104	395980.3700	2117303.0300	92.0930	144	395939.9200	2117240.2500	83.8580
13	395988.4000	2117310.6000	93.8510	55	396041.7800	2117260.7900	95.3380	105	395982.8400	2117284.8500	91.7160	145	395932.9700	2117260.8000	83.2060
14	396116.3200	2117322.7700	104.9220	56	396034.8800	2117267.2200	95.4420	106	395982.2100	2117284.2600	90.8010	146	395927.6800	2117271.3900	83.0500
15	396117.7200	2117314.6000	103.4330	57	396032.6600	2117276.0400	95.9690	107	395975.9100	2117288.6100	90.2580	147	395916.8900	2117263.2200	81.2010
16	396102.0600	2117302.5100	101.6540	58	396028.5300	2117285.6900	96.3170	108	395975.5200	2117304.0700	91.5440	148	395916.3800	2117263.5700	81.1960
17	396116.5700	2117290.1900	99.3590	59	396028.6100	2117295.6600	97.1790	109	395977.8900	2117317.4600	93.1660	149	395922.3900	2117254.0000	81.9360
18	396109.0300	2117283.0400	98.3370	60	396026.3400	2117305.3500	97.8900	110	395970.7500	2117332.6100	93.6590	150	395925.8900	2117258.6100	81.6720
19	396104.6700	2117292.4800	99.7780	61	396023.1300	2117315.4000	98.5410	111	395968.7300	2117329.2800	91.4830	151	395932.5100	2117236.0200	83.0930
20	396102.0600	2117302.5100	101.2070	62	396016.0500	2117322.1300	98.2900	112	395961.5300	2117318.7200	91.0540	152	395937.0300	2117219.8900	84.2060
21	396100.4000	2117312.3000	102.7230	63	396011.0000	2117313.5600	96.9610	113	395963.5800	2117307.6000	90.2990	153	395962.3400	2117317.9700	91.1570
22	396097.9400	2117322.3200	104.3860	64	396007.5900	2117302.1000	95.4230	114	395966.2000	2117296.6700	89.6740	154	395949.1900	2117324.2500	89.5930
23	396088.9000	2117317.2100	103.0890	65	396006.1800	2117290.0600	94.2730	115	395969.4700	2117283.8100	89.0120	155	395947.5800	2117338.1300	90.0760
24	396088.9100	2117306.5800	101.5710	66	396005.0100	2117278.0200	93.2490	116	395972.5300	2117273.1700	88.7680	156	395954.4700	2117343.4300	91.8140
25	396087.5100	2117296.8200	100.1550	67	396005.2700	2117266.9500	92.5930	117	395974.6100	2117262.6000	88.2290	157	395956.1500	2117335.6900	91.5750
26	396089.8300	2117282.7100	98.3500	68	396012.8200	2117260.0700	93.0610	118	395977.6700	2117252.9500	88.3190	158	395967.7500	2117346.5200	94.5090
27	396080.7000	2117275.3100	97.4150	69	396016.4600	2117254.5000	93.4240	119	395981.8300	2117242.2100	88.6520	159	395981.1000	2117350.7100	96.8940
28	396076.8900	2117281.4500	98.1460	70	396021.9200	2117241.5600	91.6000	120	395989.5100	2117231.1800	89.1630	160	396001.4200	2117351.9900	99.8040
29	396077.1100	2117289.3600	99.1290	71	396016.4600	2117247.9400	92.4790	121	395980.7000	2117225.5600	88.0730	161	396005.4900	2117345.0800	99.4000
30	396076.2300	2117298.4100	100.3210	72	396009.2800	2117241.5600	91.8700	122	395976.1500	2117235.6600	87.8150	162	395991.4200	2117340.5600	97.1480
31	396073.7700	2117309.9600	101.4160	73	396005.0600	2117253.0200	91.8700	123	395970.4900	2117247.4200	87.3270	163	395988.2400	2117328.8900	95.7860
32	396066.2200	2117312.8100	101.3210	74	395997.8400	2117245.0500	90.6780	124	395966.1600	2117257.4300	87.0430				
33	396061.9400	2117301.7400	100.1020	75	395994.5400	2117234.1400	89.8130	125	395960.3700	2117268.5200	87.0240				
34	396062.0100	2117285.3900	98.3710	76	395989.2800	2117237.7800	89.3640	126	395954.2200	2117281.4000	86.9930				
35	396060.9100	2117270.0200	96.5890	77	395989.8400	2117251.2300	89.9010	127	395949.9500	2117293.5100	87.5350				
36	396052.2300	2117273.5900	96.9250	78	395989.6900	2117264.9300	90.3790	128	395944.1900	2117305.3800	87.4860				
37	396048.8600	2117284.2700	97.7250	79	395988.9600	2117276.5200	91.0890	129	395940.9000	2117316.7000	87.7030				
38	396047.8800	2117294.7100	98.7170	80	395989.0000	2117287.9800	91.9750	130	395937.8900	2117323.3800	87.2580				
39	396047.5100	2117304.9200	99.6060	81	395992.4100	2117294.7800	92.9850	131	395932.7100	2117320.2000	85.9680				
40	396054.9400	2117298.6300	99.4790	82	395997.9200	2117298.4300	93.9310	132	395929.3000	2117310.4500	85.3730				



Anexo 8.6. Plano topográfico del terreno, previo a la construcción de t





1 **DISEÑO Y EVALUACIÓN DE TERRAZAS DE BANCO PARA PLANTACIONES**  
2 **FORESTALES COMERCIALES**  
3 **DESIGN AND EVALUATION OF BENCH TERRACES FOR COMMERCIAL FOREST**  
4 **PLANTATIONS**

5  
6 Oscar Raúl Mancilla Villa<sup>1</sup>, José Luís Oropeza Mota<sup>1</sup>, José Donaldo Ríos Berber<sup>1</sup>, Mario Roberto  
7 Martínez Menes<sup>1</sup>, Rubén Darío Guevara Gutiérrez<sup>2</sup>

8 <sup>1</sup>Hidrociencias (vios@colpos.mx) (oropeza@colpos.mx) (rios9193@colpos.mx) (mmario@colpos.mx)

9 Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México

10 <sup>2</sup>Departamento de Ecología y Recursos Naturales (rguevara@cucsur.udg.mx) Universidad de

11 Guadalajara, CUCSUR. 48900. Autlán, Jalisco.

12  
13 **RESUMEN**

14 Los objetivos de esta investigación fueron realizar el diseño de terrazas de banco para plantaciones  
15 forestales comerciales en el Rancho Jesús María, Valle de Bravo, México, evaluar su eficiencia técnica y  
16 determinar su factibilidad financiera, con una fase de campo entre enero a agosto de 2007. El diseño  
17 consistió en determinar los intervalos vertical y horizontal de los bancales, con base a los criterios de:  
18 precipitación, pendientes dominantes en el terreno (15% y 30%), la textura del suelo y los requerimientos  
19 del silvicultor; se diseñaron 70 terrazas con 3m de ancho por 0.45 m y 0.90 m de alto para las pendientes  
20 respectivas, esto en un total de 4 ha de terreno y se plantaron 3,757 árboles comerciales. Para la eficiencia  
21 técnica se midieron la infiltración, el escurrimiento superficial y los sedimentos en lotes con terrazas y en  
22 lotes sin terrazas de 0.15m<sup>2</sup> bajo lluvia simulada con una intensidad de 140 mm hr<sup>-1</sup>. Se utilizó la  
23 Ecuación Universal de Perdida de Suelos para estimar la erosión actual. Las terrazas mostraron una  
24 eficiencia de 99.09% para reducir la erosión, de 43.6% en aumentar la infiltración, de 74% para reducir el

25 escurrimiento superficial y de 46.6% en la reducción de los sedimentos. En cuanto a la factibilidad  
26 financiera se encontró una relación beneficio-costos de 2.37, un valor actual neto de \$7,800,318.77 y una  
27 tasa interna de retorno de 129%. Se concluyó que la implementación de terrazas de banco para  
28 plantaciones forestales comerciales es una actividad técnicamente eficiente y financieramente factible.

29

30 **Palabras clave:** *Bancales, eficiencia técnica, factibilidad financiera.*

31

### 32 **ABSTRACT**

33 The objectives of this investigation were to carry out the design of bench terraces for commercial forest  
34 plantations in the Ranch Jesus Maria, Valley of Brave, Mexico, to evaluate their technical efficiency and  
35 to determine their financial feasibility, with a field phase among January to August of 2007. The design  
36 consisted on determining the vertical and horizontal intervals of the patches, with base to the approaches  
37 of: precipitation, dominant slopes in the land (15% and 30%), the texture of the floor and the forester's  
38 requirements; 70 terraces were designed with 3m of wide for 0.45 m and 0.90 m of high for the respective  
39 slopes, this in a total of 4 has of land and 3,757 commercial trees were planted. For the technical  
40 efficiency the infiltration, the superficial glide and the silts were measured in lots with terraces and in lots  
41 without terraces of 0.15m<sup>2</sup> low feigned rain with an intensity of 140 mm hr<sup>-1</sup>. The Universal Equation was  
42 used of Lost of Floors to estimate the current erosion. The terraces showed an efficiency of 99.09% to  
43 reduce the erosion, of 43.6% in increasing the infiltration, of 74% to reduce the superficial glide and of  
44 46.6% in the reduction of the silts. As for the financial feasibility was found a relationship benefit-cost of  
45 2.37, a net present value of \$7,800,318.77 and an internal rate of return of 129%. You concluded that the  
46 implementation of bank terraces for commercial forest plantations is a technically efficient and financially  
47 feasible activity.

48

49 **Key words:** *Benches, technical efficiency, financial feasibility.*

50

## 51 INTRODUCCIÓN

52 De acuerdo con Ramírez –Cruz et al. (2001), México es un país con graves problemas de erosión, 80% de  
53 su territorio nacional muestra algún grado de erosión; este proceso es considerado como la mayor  
54 restricción para el desarrollo rural y reducción de la pobreza (Posthumus, 2004; Sang-Arun, 2005). Lal  
55 and Stewart (1992) mencionan que anualmente se pierden en el mundo, entre cinco y siete millones de  
56 hectáreas de terreno laborable por causa de la erosión del suelo. En México el 85% de los suelos  
57 presentan mas de 3% de pendiente, lo cual genera una producción de sedimentos de 4, 867,670 toneladas  
58 por año. Los sedimentos producidos, contaminan las aguas superficiales (Faucette et al., 2005) y  
59 deterioran la calidad del medio ambiente (Delgado, 2005). Las características topográficas y la intensidad  
60 de las lluvias que predominan en el país pueden caracterizar un alto riesgo de erosión (Zuñiga *et al.*,  
61 1993), especialmente en terrenos de ladera (Francia *et al.*, 2000), donde se pierden  $2.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

62 La conservación de estos terrenos y del agua, mediante las prácticas productivo-conservacionistas es de  
63 suma importancia para el desarrollo sustentable del campo; sin embargo, si el costo de inversión de  
64 dichas prácticas resulta alto y el beneficio bajo, los agricultores no accederán a implementar las técnicas  
65 de conservación (Sharda y Dhyani, 2004).

66 Enfrentar esta problemática exige propuestas integrales e innovadoras desde el punto de vista que  
67 minimice o reduzca los impactos ambientales de la agricultura y ofrezca ventajas competitivas en  
68 términos económicos y sociales. En esa perspectiva en este trabajo se presenta una propuesta técnica que  
69 involucra el diseño de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, así como su evaluación  
70 técnica y determinación de su factibilidad financiera como una alternativa sustentable en el marco del  
71 manejo y aprovechamiento de los suelos de ladera del Rancho Jesús María, Valle de Bravo, Estado de  
72 México.

73

74

75

76

## 77 **MATERIALES Y MÉTODOS**

78 El proyecto se estableció en un terreno de 4 ha, en el rancho Jesús María Valle de Bravo, Estado de  
 79 México, localizado geográficamente a los 19° 09' 24" de latitud Norte y a 99° 59' 24" de longitud Oeste;  
 80 a una altitud de 1850 m, con una precipitación media anual de 964 mm. Los suelos presentan altos  
 81 contenidos de materia orgánica en la capa superficial (5% a 6%) los cuales disminuyen con la  
 82 profundidad. Estos suelos se clasifican como Cambisoles y presentan una textura franco arcillosa.

83

### 84 **Diseño de terrazas de banco**

85 El diseño de las terrazas se basó en el cálculo de los intervalos vertical (IV) y horizontal (IH),  
 86 considerando las dos pendientes dominantes en el terreno, la precipitación media anual de la zona y las  
 87 necesidades del silvicultor. Las ecuaciones para determinar los intervalos son las siguientes:

$$88 \quad IV = \left( 2 + \frac{S}{3 \text{ o } 4} \right) (0.305) \quad (1)$$

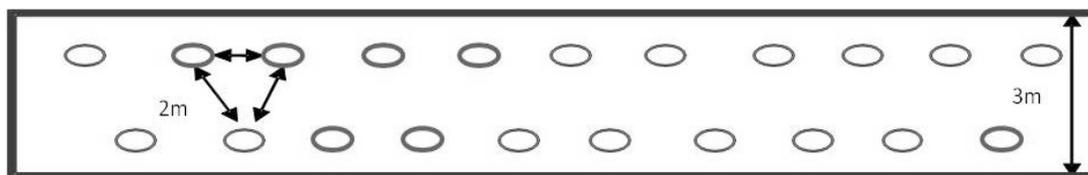
$$89 \quad IH = \frac{IV}{S} \times 100 \quad (2)$$

90 Donde IV = intervalo vertical (m); S = pendiente del terreno (%); 3 = factor que se utiliza en áreas donde  
 91 la lluvia anual es menor de 1200 mm; 4 = factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es mayor de  
 92 1200 mm; IH = intervalo horizontal (m), 0.305 = factor de conversión de pies a metros.

93

### 94 **Construcción de bancales y plantación forestal**

95 Para la construcción de las terrazas se consideró necesario el uso de maquinaria: el Caterpillar D4 y la  
 96 retroexcavadora, empleándose dos ayudantes para afinación de taludes. El establecimiento de la  
 97 plantación forestal se planteó para la estación de primavera (abril de 2006), el arreglo propuesto para los  
 98 árboles en el campo es al tresbolillo (Figura 1) dado que es un arreglo que permite la mayor densidad, de  
 99 esta manera la densidad de la plantación es de 939 árboles ha<sup>-1</sup>.



**Figura 1. Esquema de la plantación forestal en las terrazas**

100

101

102

103 La plantación se diseñó de tal manera que una terraza se fuera utilizada con plantación y la siguiente

104 como camino de acceso, con un total de 3,757 árboles en las 4 ha de terreno. Las especies propuestas en

105 la plantación son: *Liquidámbar*, *Quercus*, *Pino ayacahuite*, *Pinus Gregii*, *Cedrus atlántica*, *Cedrus*

106 *deodorata*, *Abies religiosa*, *Pinus cembroides*, *Chamaencyparis*, *Acacia*, *Blue spruce*, *Abies mumie*,

107 *Fraxinus* y *Secuaya*.

108

#### 109 **Evaluación técnica de terrazas de banco**

110 Para ello se estudiaron tres variables: la infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de

111 sedimentos utilizando lotes de escurrimiento de  $0.15 \text{ m}^2$  a nivel de laboratorio, sobre los cuales se simuló

112 lluvia con una intensidad de  $140 \text{ mm hr}^{-1}$ . Los lotes de escurrimiento se conformaron con muestras de

113 suelo no alteradas, de bosque natural con pendiente de 30% como testigo y muestras de las terrazas sin

114 pendiente (Figura 2). La lluvia se aplicó con el simulador con disco giratorio, tipo Morin, durante una

115 hora, aplicando una lluvia constante de 11.6 mm durante una hora cada cinco minutos sobre los lotes

116 mencionados.

117 Para medir la infiltración, por debajo del lote de escurrimiento se colocó un recipiente de plástico que

118 captó toda el agua que atravesó el suelo. Cada cinco minutos se midió el agua captada en el recipiente

119 utilizando una probeta graduada y se obtuvo el promedio de las repeticiones en los tratamientos. Para

120 medir el escurrimiento superficial y los sedimentos de suelo, en el vertedor del lote de escurrimiento se

121 colocó otro recipiente plástico, pesando su contenido cada cinco minutos. Al final de la simulación,

122 fueron puestos a reposar durante 24 horas para que los sedimentos se decantaran y separarlos del líquido.

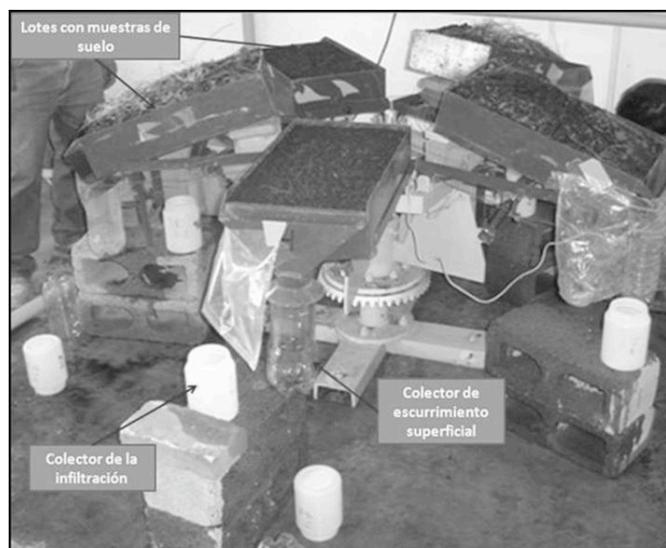
123 Los sedimentos húmedos se colocaron en la estufa de secado por 24 horas a  $70^{\circ}\text{C}$ , después se pesaron los

124 recipientes con sedimentos secos y los recipientes sin sedimentos para obtener el peso seco de los  
 125 sedimentos. Este dato correspondió a la producción de sedimentos del lote después de 5 min de lluvia. El  
 126 escurrimiento se calculó restando al peso total del recipiente con escurrimiento y sedimento, el peso seco  
 127 del sedimento.

128 Además, se estimó la erosión actual con y sin terrazas utilizando el modelo de la Ecuación Universal de  
 129 Pérdida del Suelo EUPS (Wischmeier y Smith, 1965), que de acuerdo con Tejera-Gimeno *et al.* (2006),  
 130 permite la evaluación de las pérdidas de suelo por erosión laminar mediante la expresión paramétrica  
 131 siguiente:

$$132 \quad A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (3)$$

133 Donde A ( $t \text{ ha}^{-1}$ ) es la pérdida de suelo por unidad de superficie que se obtiene por el producto de los  
 134 siguientes factores: R es erosividad de la lluvia ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ hr}^{-1}$ ); K es erosionabilidad del suelo ( $t \text{ ha hr}$   
 135  $\text{MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ ); LS es longitud y grado de pendiente (adimensional); C es cultivo o cobertura vegetal  
 136 (adimensional) y P es prácticas mecánicas (adimensional).



137

138 **Figura 2. Aspecto de los lotes en el simulador de lluvia**

139 La eficiencia para los cuatro indicadores (infiltración, escurrimiento superficial, producción de  
 140 sedimentos y erosión hídrica estimada con la EUPS) se calculó de la siguiente manera:

$$141 \quad E = \left( \left( \frac{I_{st} - I_{ct}}{I_{st}} \right) \right) \times 100 \quad (4)$$

142 Donde E es la eficiencia (%),  $I_{st}$  es el indicador medido en el lote sin terrazas y  $I_{ct}$  es el mismo indicador  
143 medido en el lote con terrazas.

#### 144 **Evaluación financiera**

145 Para realizar la evaluación financiera (factibilidad financiera) se establecieron todos los costos y  
146 beneficios del proyecto (Cuadro 1), se estimaron los indicadores financieros; relación beneficio costo (R  
147 B/C), valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), la tasa de interés de mercado utilizada  
148 para los cálculos fue de 12% anual. Las ecuaciones utilizadas para el cálculo de los indicadores son:

$$149 \quad \frac{B}{C} = \left[ \frac{\sum_{t=0}^n \frac{Bn}{(1+i)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Cn}{(1+i)^t}} \right] \quad (5)$$

$$150 \quad VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Bn - Cn}{(1+i)^t} \quad (6)$$

$$151 \quad \sum_{t=0}^n \frac{Bn - Cn}{(1+i)^t} = 0 \quad (7)$$

152 Donde  $Bn$  = beneficios de cada año (\$);  $Cn$  = costos de cada año (\$);  $n$  = número de años;  $i$  = tasa de  
153 interés (descuento) o actualización (%). El criterio de aceptación de la factibilidad del proyecto fue que  
154  $TIR > 12\%$ ; y que  $R B/C > 1$ .

155 Los costos del proyecto fueron los generados en los siguientes rubros; elaboración del proyecto de  
156 terrazas, construcción de las terrazas, afinación de terrazas y taludes, el terreno, sistema de riego,  
157 plántulas, plantación, mantenimiento de las terrazas y de la plantación, fertilización, supervisión del  
158 proyecto riego e imprevistos.

159 Los beneficios contemplados para el cálculo de los indicadores fueron los ingresos obtenidos por la venta  
160 de los árboles considerando precios de mayo de 2007, siendo el precio de cada árbol de \$1,200.00.

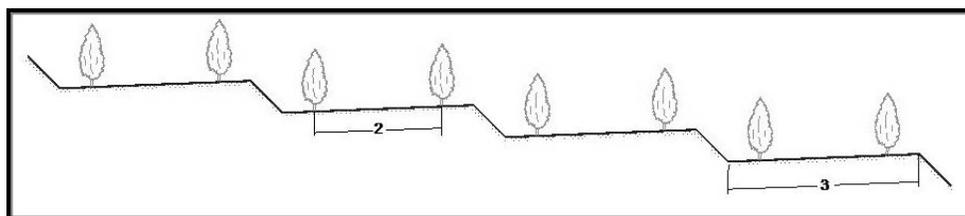
161

## 162 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

163

### 164 Diseño de terrazas para plantación forestal

165 El diseño final de las terrazas de banco quedo definido de la siguiente manera: las dimensiones de los  
 166 intervalos fueron; IH de 3 m (Figura 3), para las pendientes de 15% y 30%, y para el IV fue de 0.45 m y  
 167 0.90 m para las pendientes respectivas. Esta tendencia fue similar a la reportada por Sang-Arun *et al.*  
 168 (2005) Con valores de IV de 0.39 a 1.09 m; IH de 1.25 a 2.05 m para rangos de pendiente de 45% a 90%.



169

170 **Figura 3. Diseño aprobado para terrazas de banco para plantación forestal**

171

### 172 Construcción de bancales, plantación forestal y costos

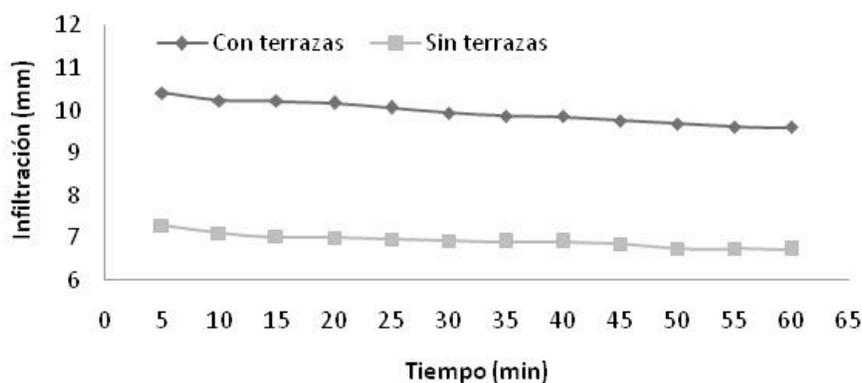
173 El diseño estableció que para las dimensiones del terreno pueden establecerse 70 terrazas, con longitud  
 174 total de 8,332 m de terrazas. La mitad de la superficie de terrazas tendrá plantación mientras que el resto  
 175 se utilizará para caminos de acceso y maniobras. El volumen de tierra a remover será de 3,364.21m<sup>3</sup> a un  
 176 costo de \$20.00 por m<sup>3</sup>, lo que equivale a un costo total de \$67,284.12. La afinación de terrazas y taludes  
 177 representa un costo de \$1,654.22 ha<sup>-1</sup> El costo total de la construcción de las terrazas se estimó en  
 178 \$83,908.06.

179 Cada árbol a plantar se valoró en \$300.00 para el momento de la plantación, de modo que el costo de los  
 180 3,757 árboles a plantar asciende a \$1, 127,100.00.

### 181 Evaluación técnica

182 En las Figuras 4, 5 y 6, se compara la infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de  
 183 sedimentos ocurrida en los lotes con terrazas contra las ocurridas en los lotes sin terrazas.

184 En la Figura 4 se observa que durante el tiempo de simulación de lluvia, los lotes con terrazas mostraron  
 185 una infiltración más alta que los lotes sin terrazas. Sin embargo en ambos tratamientos se observa que la  
 186 infiltración tiende a disminuir, aunque ligeramente en la medida en que aumenta el tiempo de lluvia. Esto  
 187 se explica por la saturación que presenta el suelo dada la lluvia permanente que cae sobre el mismo.

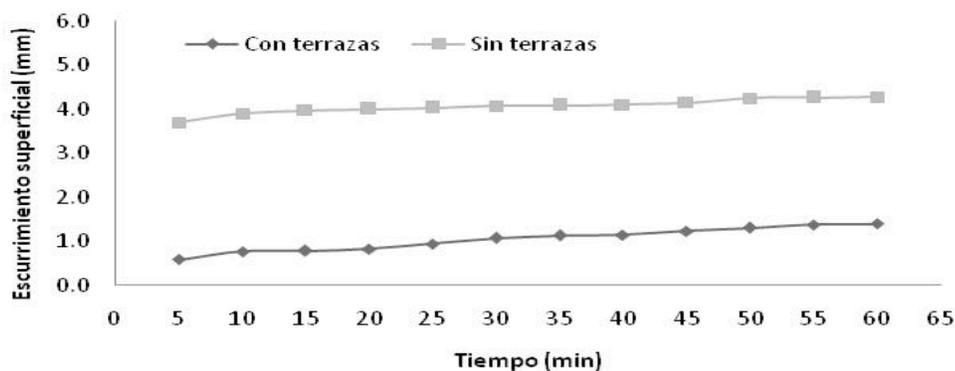


188

189 **Figura 4. Comportamiento de la infiltración en lotes con terrazas y lotes sin terrazas**

190

191 En la Figura 5, se observa que el escurrimiento superficial presenta un comportamiento contrario a lo  
 192 observado con la infiltración, es decir, que el escurrimiento superficial incremento ligeramente, en ambos  
 193 tratamientos, con el tiempo de duración de la lluvia. Lo cual se explica también por el nivel de saturación  
 194 que alcanzó el suelo en el tiempo de lluvia. Como se esperaba desde el inicio, el tratamiento sin terrazas  
 195 mostró un mayor escurrimiento superficial con relación al tratamiento con terrazas.

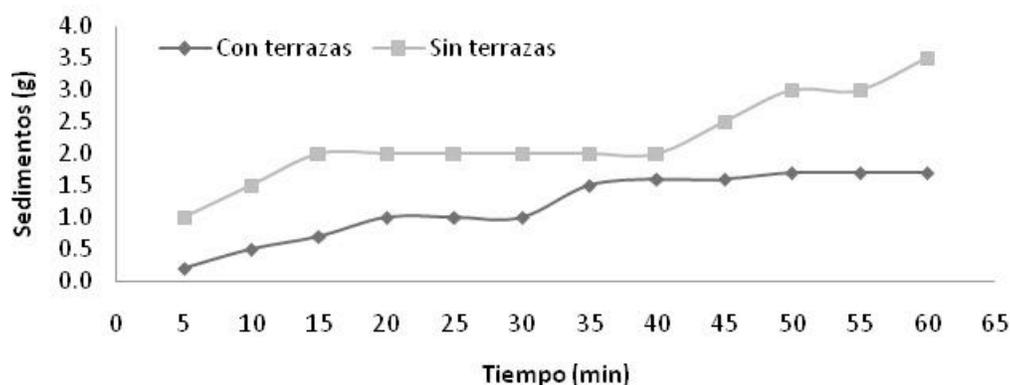


196

197 **Figura 5. Comportamiento del escurrimiento superficial en lotes con terrazas**

198 **y lotes sin terrazas**

199 En cuanto a la producción de sedimentos se encontró una tendencia similar a la del escurrimiento  
 200 superficial. Ésta aumento con el tiempo de duración de la lluvia, lo cual se explica al mayor escurrimiento  
 201 superficial observado en el tiempo. Del mismo modo, el tratamiento sin terrazas presento mayor  
 202 producción de sedimentos en comparación al tratamiento con terrazas.



203

204 **Figura 6. Comportamiento de la producción de sedimentos en lotes con terrazas**

205

**y lotes sin terrazas**

206 En el Cuadro 1 se presentan los valores medios de escurrimiento superficial, infiltración y sedimentos  
 207 obtenidos en los tratamientos con terrazas y sin terrazas al final del periodo de simulación de lluvia (1hr).

208 A partir de estos datos se encontró que el tratamiento con terrazas tuvo una eficiencia de 43.6% en  
 209 aumentar la infiltración, comparado al tratamiento testigo. En lo que se refiere al escurrimiento  
 210 superficial, el tratamiento con terrazas redujo la misma en 74.2%, eficiencia cercana a la reportada por

211 sharda *et al.* (2002) de 80% para terrazas de banco en clima subhúmedo; el coeficiente de escurrimiento  
 212 superficial para las terrazas de banco diseñadas en el rancho Jesús María es de 0.26. Finalmente los lotes

213 con terrazas redujeron la producción de sedimentos en 46.6% comparada a la presentada en el tratamiento  
 214 sin terrazas.

215

216

217

218

219 **Cuadro 1. Eficiencia de las terrazas de banco en cuanto a la infiltración, escurrimiento**  
 220 **superficial y la producción de sedimentos.**

Indicador	Tratamiento con terrazas	Tratamiento sin terrazas	Diferencia	Eficiencia (%)
Infiltración (mm)	9.95	6.93	3.02	43.6
Escurrecimiento superficial (mm)	1.05	4.07	3.02	74.2
Sedimentos (g m <sup>-2</sup> )	7.86	14.7	6.87	46.6

221  
 222 Con relación a la eficiencia de las terrazas de banco para reducir la erosión hídrica, los resultados se  
 223 presentan en el Cuadro 2. Este cuadro compara la erosión presente antes de construir las terrazas contra la  
 224 erosión que ocurre después de su implementación.  
 225 Antes del establecimiento de terrazas, en el terreno con 15% de pendiente se estimó una erosión de 15.43  
 226 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, en el terreno con 30% de pendiente se estimó una erosión de 32.31 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> .  
 227 Construidas las terrazas para ambas pendientes se estimó una erosión de 1.18 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> con lo cual las  
 228 terrazas mostraron eficiencias de 98.77% y 99.41% en la reducción de la erosión, con un promedio  
 229 ponderado de 99.09%. Esas eficiencias se atribuyen a la reducción de la longitud y la disminución de la  
 230 pendiente, que se logran al construir los bancales en el terreno, con los cuales se disminuye el efecto del  
 231 escurrimiento superficial sobre el arrastre del suelo.

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

**Cuadro 2. Eficiencia de las terrazas de banco para reducir la erosión hídrica.**

Factores EUPS	Unidad	Sin terrazas de banco, pendiente (15%)	Sin terrazas de banco, pendiente (30%)	Con terrazas de banco y plantación forestal
R	(MJ mm ha <sup>-1</sup> hr <sup>-1</sup> )	2,544.65	2,544.65	2,544.65
K	(ton ha hr MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	0.02	0.02	0.02
LS	(adimensional)	4.33	9.07	0.11
C	(adimensional)	0.07	0.07	0.20
P	(adimensional)	1.00	1.00	0.17
Erosión Actual	(ton ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	15.43	32.31	0.19
Eficiencia de las terrazas para reducir la erosión hídrica	(%)			99.09

242

**243 Evaluación financiera**

244 Los beneficios generados por la venta de árboles ascienden a \$4, 508,400.00, estos ingresos se obtuvieron  
 245 hasta el segundo año del proyecto en junio y julio de 2007, la misma cantidad fue considerada en la  
 246 proyección de 6 años.

247 Los costos del proyecto para el primer año se muestran en el Cuadro 3, para los años dos hasta el seis, los  
 248 costos contemplados fueron solo los generados por la producción.

249 Para la proyección de seis años con los costos y beneficios descritos, los valores obtenidos para la  
 250 relación B/C fue de 2.37, para el VAN fue de \$7, 800,318.72 y para la TIR se obtuvo un valor de 129%.

251 En un estudio que realizaron en China Lu and Stocking (1999) encontraron en una proyección de 10 años  
 252 para terrazas de banco con cultivo, un VAN de 24,175 yuan ha<sup>-1</sup> y una TIR de 41%, los valores  
 253 encontrados en el presente estudio son mayores, debido al alto grado de tecnificación con el que se  
 254 construyeron las terrazas el manejo de la plantación forestal comercial, así como precio de los árboles a la  
 255 venta. El valor de B/C>1 el VAN es positivo y la TIR>12%, por lo tanto el proyecto es financieramente  
 256 factible.

257

258

259

**Cuadro 3. Costos del proyecto de terrazas de banco para plantación forestal comercial.**

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (\$)	Costo Anual (\$)
<u>Inversiones</u>				
Elaboración del proyecto de terrazas	proyecto	1.00	15,600.00	15,600.00
Construcción de terrazas	m <sup>3</sup>	3864.56	20.00	77,291.20
Afinación de terrazas y taludes	ha	4.00	1,654.22	6616.86
Tierra	ha	4.00	100,000.00	400,000.00
Sistema de riego	ha	4.00	105,000.00	420,000.00
<u>Subtotal</u>				<u>919,508.06</u>
<u>Costos de Producción</u>				
<u>Mano de obra</u>				
Mantenimiento de terrazas y plantación.	jornales	791.00	100.00	79,100.00
Mantenimiento de Plantación (fertilización)	(ton)	0.27	9,575.00	3,015.49
Plantación	árboles	3,757.00	10.00	37,570.00
<u>Materiales</u>				
Plántulas	plántula	3,757.00	300.00	1,127,100.00
<u>Administración</u>				
Supervisión de la plantación, manejo y mantenimiento.	técnico	12.00	8,000.00	112,000.00
Riego (costo de electricidad )	KWh	1,200.00	0.04	672.00
Imprevistos (5%)	(%)	5.00	93,948.00	72,948.28
<u>Subtotal</u>				<u>1,432,405.77</u>
<b>Total</b>				<b>2,351,913.83</b>

260

261

262

263

264

## 265 CONCLUSIONES

266 Un diseño adecuado para el terreno del Rancho Jesús María es construir 52 terrazas en una superficie de  
267 28,000 m<sup>2</sup> que presentan 15% de pendiente. Las terrazas en este terreno deben tener las siguientes  
268 dimensiones: 3 m de IH, y 0.45 m para el IV. Para una superficie de 12,000 m<sup>2</sup> que presentan 30% de  
269 pendiente, es necesario construir terrazas con IV de 0.90 m y 3 m para el IH.

270 La construcción de terrazas de banco en el Rancho es técnicamente eficiente porque comparada al terreno  
271 sin terrazas, la infiltración se incrementa en 30.35%, el escurrimiento superficial se reduce en 74%, la  
272 producción de sedimentos en 46%, y la erosión hídrica baja de 24 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup> a 1.8 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>.

273 La plantación de árboles comerciales sobre el terreno con terrazas es un proyecto financieramente factible  
274 porque la relación B/C es de 2.39, el VAN es de \$7, 800,318.72 y la TIR>12%.

275

## 276 LITERATURA CITADA

277 Delgado J. A.; Cox C. A.; Pierce F. J. and Dosskey M. G. 2005. Precision conservation in North America.  
278 Journal of Soil and Water Conservation 60(6):340-341.

279 Faucette L. B.; Jordan C. F.; Risse L. M.; M. Cabrera M.; Coleman D. C. and West L. T. 2005.  
280 Evaluation of stormwater from compost and conventional erosion control practices in  
281 construction activities. Journal of Soil and Water Conservation 60(6):288-341.

282 Francia M.; Martínez-Raya J. R. y Ruiz Gutiérrez S. 2000. Erosión en suelo de olivar en fuertes  
283 pendientes. Comportamiento de distintos manejos de suelo. S.E.C.S. Edafología 7-2, pp. 147-155.

284 Lal R. and Stewart B. A. 1992. Soil restoration. In *Advances in soil science*, 1-9. New York, N. Y.:  
285 Springer-Verlag.

286 Lu Y. and M. Stocking. 2000. Integrating biophysical and socio-economic aspects of soil conservation on  
287 the Loess Plateau, China. Part III. The benefits of conservation. Land degradation and  
288 development, 11:153-165.

289

- 290 Posthumus H. and De Graaff J. 2004. Cost-Benefit analysis of bench terraces, a case study in Peru.  
291 Erosion and soil & water conservation group, department of environmental sciences, Land  
292 Degradation and Development, Peru. vol. 16, pp. 1-11.
- 293 Ramírez-Cruz y Oropeza-Mota J. L. 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para  
294 controlar erosión de laderas en el trópico. *Agrociencia*. Colegio de Postgraduados, Montecillo,  
295 México, vol. 35, pp. 489-495.
- 296 Sang-Arun J.; Mihara M.; Horaguchi Y. and Yamaji E. 2005. Soil erosion and participatory remediation  
297 strategy for bench terraces in northern Thailand. *J. of CATENA*. pp.258-264.
- 298 Sharda, V. N.; Juyal J. P. and Sing P. N. 2002. Hydrologic and sedimentologic behavior of a conservation  
299 bench terrace system in a sub-humid climate. *Transaction of the ASAE* 45(5):1433-1444.
- 300 Sharda V. N. and Dhyani B. L. 2004. Economic analysis of conventional and conservation bench terrace  
301 systems in a sub-humid climate. *Transaction of the ASAE*. 47(3):711-720.
- 302 Tejera G. R.; García F. y García R. 2006. Pérdida tolerable de suelo: modelo para su estimación en la  
303 ordenación de cuencas hidrográficas. *Ingeniería Agrícola en México*. XXI(4):33-41.
- 304 Wischmeier, W. H. and Smith D. D. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the  
305 Rocky Mountain. Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, D.  
306 C.: USDA A.R.S. 47 pp.
- 307 Zúñiga G. J. L.; Camacho C. R.; Uribe G. S.; Francisco N. y Turrent F. A. 1993. Terrazas de muro vivo  
308 para sustentar la productividad en terrazas agrícolas de ladera. Folleto técnico No. 6, SARH,  
309 INIFAP. 29 p.