

# EVALUACIÓN DE TERRAZAS DE BANCO PARA PLANTACIONES FORESTALES COMERCIALES

Oscar Raúl Mancilla Villa<sup>1</sup>, José Luis Oropeza Mota<sup>1</sup>  
y Mario Martínez Menes<sup>1</sup>

## RESUMEN

Ante el grave problema de erosión prevaeciente en México, se describe el diseño de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales realizado en Valle de Bravo, Estado de México. Se evaluó la eficiencia técnica del proyecto y se determinó su factibilidad financiera. La fase de campo se llevó acabo de enero a agosto de 2007. Se definieron los intervalos vertical y horizontal entre los bancales, con base en los criterios de precipitación, las pendientes dominantes en el terreno (15 y 30%), la textura del suelo y los requerimientos del silvicultor. Se diseñaron 70 terrazas de 3 m de ancho por 0.45 m y 0.90 m de alto para las pendientes respectivas, en una superficie de 4 ha donde se plantaron 3,757 árboles comerciales. Para determinar la eficiencia técnica se midieron la infiltración, el escurrimiento superficial y los sedimentos en lotes con y sin terrazas de 0.15 m<sup>2</sup>, bajo lluvia simulada con una intensidad de 140 mm h<sup>-1</sup>. La erosión del suelo se estimó mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. Las terrazas mostraron una eficiencia de 99.09% para mitigar la erosión, 43.6% para aumentar la infiltración, 74% para reducir el escurrimiento superficial y 46.6% la de sedimentos. La factibilidad financiera reportó una relación beneficio-costos de 2.37, un valor actual neto de \$7'800,318.77 y una tasa interna de retorno de 129%. La construcción y operación del sistema de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales es una opción técnica eficiente y financieramente factible.

**Palabras clave:** Eficiencia técnica, erosión, escurrimientos, factibilidad financiera, sedimentos, terrazas.

Fecha de recepción: 13 de noviembre de 2007.

Fecha de aceptación: 13 de mayo de 2009.

---

<sup>1</sup>Programa de Hidrociencias, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados.  
Correo-e:vios@colpos.mx

## **ABSTRACT**

As an option to face the severe erosion problem that prevails in México, a project of bench terraces for commercial forest plantations was carried out in Valle de Bravo, Estado de México. The technical efficiency of the project was assessed as well as its financial feasibility. Field work was done from January to August, 2007. Vertical and horizontal ranges between the benches were based upon the following criteria: rainfall, dominant slopes (15 and 30 per cent), soil texture and the foresters' needs. Seventy 3 m x 0.45 m x .90 m terraces were built in 4 ha, where 3,757 commercial trees were planted. In order to know their technical efficiency, infiltration, superficial draining and the sediments in plots with and without 0.15 m<sup>2</sup> terraces were measured, under simulation rainfall of 140mmh<sup>-1</sup> intensity. Soil erosion was estimated through the Universal Soil Loss Equation. Terraces showed an efficiency of 99.09 per cent for erosion control, 43.6 per cent for infiltration increment, 74 per cent of runoff reduction and 46.6 per cent of sediment loss. In regard to financial feasibility, it was found a cost-benefit relation of 2.37, with a net present value of \$ 7 800 318.77, and an internal rate of return of 129%. It was concluded that the implementation of bench terraces for commercial forest is a technically efficient financially feasible possibility.

**Key words:** Technical efficiency, erosion, runoff, financial feasibility, sediment, terraces.

## **INTRODUCCIÓN**

México es un país con graves problemas de erosión; 80% de su territorio muestra algún grado de pérdida de suelo de acuerdo con Ramírez y Oropeza (2001). Este proceso es considerado como el de mayor restricción para el desarrollo rural (Lal y Stewart, 1990) y la reducción de la pobreza (Posthumus y de Graaff, 2004; Sang-Arun *et al.*, 2005). Lal y Stewart (1992) señalaron que anualmente se pierden en el mundo entre cinco y siete millones de hectáreas de terreno laborable por esta causa. En México, 85% de los suelos tienen más de 3% de pendiente, lo cual genera una producción de sedimentos de 4.867.670 ton año<sup>-1</sup> (Vergara *et al.*, 2004; 2005). Este material contamina las aguas superficiales (Faucette *et al.*, 2005) y deteriora la calidad del medio ambiente (Delgado *et al.*, 2005). Además, las características topográficas y la intensidad de las lluvias que predominan en el país son indicadores de un alto riesgo de erosión (Zúñiga *et al.*, 1993), en terrenos de ladera, donde la pérdida de sustrato es de 2.8 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (Francia *et al.*, 2000).

El manejo de estos terrenos y el agua mediante prácticas productivo-conservacionistas es de suma importancia para el desarrollo

sustentable del campo (Turrent *et al.*, 2002). Sin embargo, si el costo de inversión de dichas prácticas resulta alto y el beneficio bajo, los agricultores no accederán a implementar las técnicas recomendadas (Sharda y Dhyani, 2004).

Enfrentar este problema exige propuestas integrales e innovadoras para reducir los impactos ambientales de la agricultura y ofrecer ventajas competitivas en términos económicos y sociales (Pimentel *et al.*, 1995; Park *et al.*, 1995). En esa perspectiva, se presenta una propuesta que involucra el diseño de terrazas de banco para plantaciones forestales comerciales, así como su evaluación técnica y determinación de su factibilidad financiera, de manera que funcionen como una alternativa de manejo y aprovechamiento de los suelos de ladera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto que se describe a continuación se estableció en un terreno de 4 ha, en el rancho Jesús María en Valle de Bravo, Estado de México, localizado en los 19° 09' 24" de latitud norte y a 99° 59' 24" de longitud oeste (Figura 1), a una altitud de 1,850 m, con una precipitación media anual de 964 mm. Los suelos son de textura franco arcillosa con alto contenido de materia orgánica (5 a 6%) en la capa superficial y se clasifican como Cambisoles.

### Diseño de terrazas de banco

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

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

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

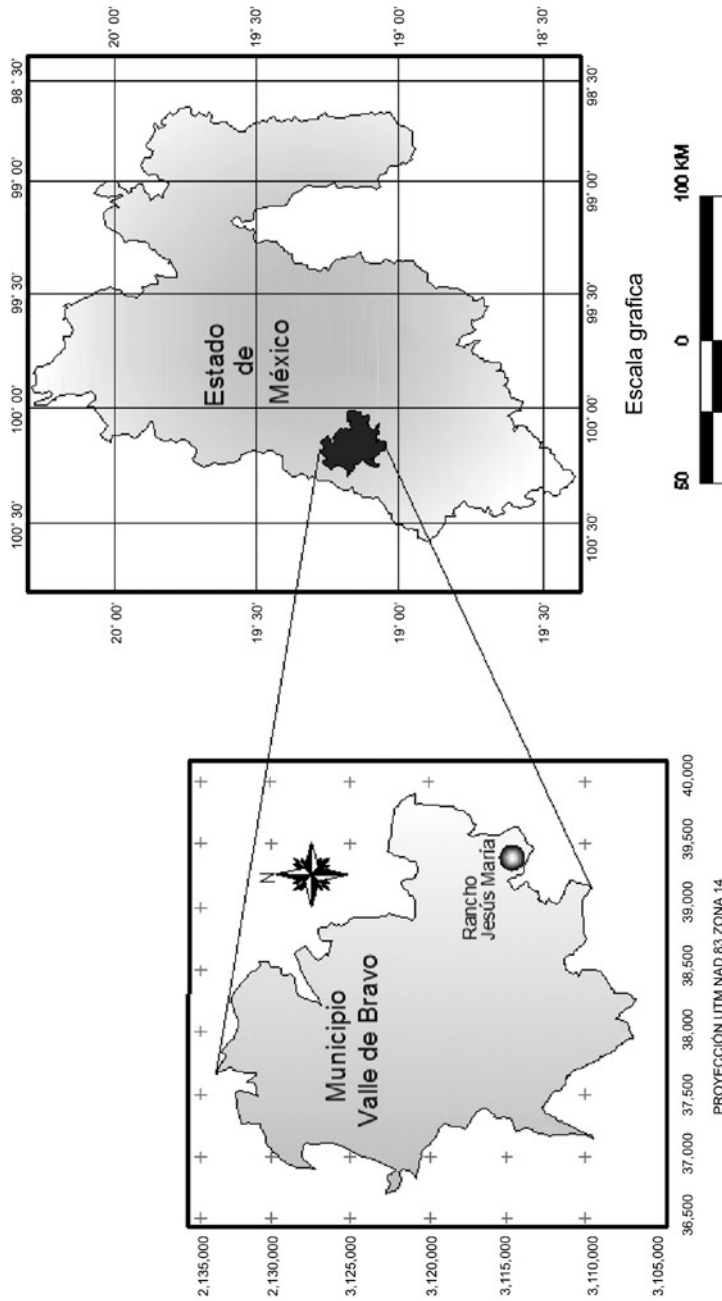


Figura 1. Localización del área de estudio.

Donde:

$IV$  = intervalo vertical (m)

$S$  = pendiente del terreno (%)

$3$  = factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es menor de 1,200 mm

$4$  = factor que se utiliza en áreas donde la lluvia anual es mayor de 1,200 mm

$IH$  = intervalo horizontal (m)

0.305 = factor de conversión de pies a metros.

## Construcción de bancales y plantación forestal

Para la construcción de las terrazas se utilizó un tractor Caterpillar D4, una retroexcavadora y dos ayudantes para la afinación de los taludes, quienes realizaron el trabajo de forma manual. La plantación forestal se llevó a cabo en abril de 2006 y el arreglo utilizado para los árboles en el campo fue de tresbolillo, ya que permite la mayor densidad de la plantación, que fue de 3,757 árboles en 4 ha (Figura 2).

La plantación se diseñó de manera tal que una terraza se estableciera con plantas de ornato y la siguiente se utilizara como camino de acceso. Se incorporaron especies en la plantación de los siguientes géneros: *Liquidambar*, *Quercus*, *Pinus*, *Cedrus*, *Abies*, *Chamaecyparis*, *Acacia*, *Fraxinus* y *Sequoia*, seleccionadas por su demanda en el mercado como árboles de ornato.

## Evaluación técnica de terrazas de banco

Se estudiaron tres variables: la infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos en lotes de escurrimiento de 0.15 m<sup>2</sup> en laboratorio, sobre los cuales se simuló el efecto de la lluvia con una intensidad de 140 mm h<sup>-1</sup>.



Figura 2. Plantación forestal en una de las terrazas.

Los lotes se conformaron con muestras de suelo inalteradas, provenientes de un bosque natural aledaño con una pendiente de 30% como testigo y muestras de suelo de las terrazas construidas sin pendiente (Figura 3). La lluvia se aplicó con un simulador con disco giratorio, tipo Morin, durante 1 h, con una intensidad de 140 mm h<sup>-1</sup>.



Figura 3. Aspecto de los lotes en el simulador de lluvia.

Para medir la infiltración, de acuerdo con Ramírez y Oropeza (2001) se colocó abajo del lote de escurrimiento un recipiente de plástico para coleccionar el agua que se infiltró en el suelo. Cada 5 min se tomó lectura del agua captada en el recipiente, con probeta graduada y se obtuvo el promedio de las repeticiones en los tratamientos. Para cuantificar el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos, en el vertedor del lote se colocó otro recipiente de plástico cada 5 min. Al final de la simulación, se dejaron reposar durante 24 h para que los sedimentos se decantaran y separaran del líquido. Los sedimentos se secaron en la estufa

de secado por 24 h, a 70°C; posteriormente, se pesaron los recipientes con y sin sedimentos para obtener su peso seco. Este dato correspondió a la producción de sedimentos del lote después de 5 min. de lluvia. El escurrimiento se calculó restando el peso seco del sedimento al peso total del recipiente con el material de arrastre.

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

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

Donde:

$A$  = pérdida de suelo por unidad de superficie que se obtiene por el producto de los otros factores ( $\text{ton ha}^{-1}$ )

$R$  = erosividad de la lluvia ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ )

$K$  = erosionabilidad del suelo ( $\text{ton ha h MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}\text{ha}^{-1}$ )

$LS$  = longitud y grado de pendiente (adimensional)

$C$  = cultivo o cobertura vegetal (adimensional)

$P$  = prácticas mecánicas (adimensional)

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

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

Donde:

$E$  = eficiencia (%)

$I_{st}$  = indicador medido en el lote sin terrazas

$I_{ct}$  = el mismo indicador medido en el lote con terrazas



## Evaluación financiera

Para realizar la evaluación financiera (factibilidad financiera) se cuantificaron los costos y beneficios del proyecto (Cuadro 1); se estimaron los siguientes indicadores financieros: relación beneficio costo (R B/C), valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). La tasa de interés utilizada para los cálculos fue de 12% anual. Los indicadores se determinaron con las siguientes ecuaciones:

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

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

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

Donde:

$Bn$  = beneficios de cada año (\$)

$Cn$  = costos de cada año (\$)

$n$  = número de años

$i$  = tasa de interés (descuento) o actualización (%)

El criterio de aceptación de la factibilidad del proyecto fue que  $TIR > 12\%$  y que  $R B/C > 1$ . Los costos del proyecto se generaron en los siguientes rubros: terreno, elaboración del proyecto, supervisión del proyecto, construcción y afinación de terrazas, sistema de riego, plántulas, plantación, fertilización, riego, mantenimiento de las terrazas y de la plantación e imprevistos.

Los beneficios para el cálculo de los indicadores fueron los ingresos obtenidos por la venta de los árboles para ornato, por 6 años, se consideraron precios de mayo de 2007, siendo \$1,200.00 el correspondiente a cada árbol.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diseño de terrazas para plantación forestal

El diseño final de las terrazas de banco consideró un intervalo horizontal (IH) de 3 m y dos intervalos verticales (IV) de 0.45 y 0.90 m para los terrenos con pendientes de 15 y 30%, respectivamente. Esta tendencia fue similar a la reportada por Sang-Arun *et al.* (2005), quienes utilizaron el IV de 0.39 a 1.09 m e IH de 1.25 a 2.05 m para pendientes de 45 a 90%.

### Construcción de bancales, plantación forestal y costos

El diseño definió que para las dimensiones del terreno se pueden construir 70 terrazas, lo que supone una longitud total de 8,332 m. La mitad de la superficie de terrazas tuvo plantación, mientras que el resto se destinó a caminos de acceso y de maniobras (Figura 4). El volumen de tierra removido fue de 3,864.21 m<sup>3</sup>, que tuvo un costo de \$20.00 por m<sup>3</sup>, lo que finalmente sumó \$77,291.20. La afinación de terrazas y taludes tuvo un costo de \$1,654.21 ha<sup>-1</sup>, que representó un monto de \$6,616.86 por este concepto. El total de la inversión en la construcción de las terrazas fue de \$83,908.06. Los árboles incorporados a la plantación se compraron a \$300.00 c/u, de modo que el costo de los 3,757 árboles adquiridos fue de \$1'127,100.00.

### Evaluación técnica

La comparación de la infiltración, el escurrimiento superficial y la producción de sedimentos medidos en los lotes con y sin terrazas se muestran en las figuras 5 y 6. Así, en la primera se observa que durante el tiempo de simulación de lluvia los lotes con terrazas mostraron una infiltración más alta que los lotes sin terrazas. Sin embargo, en ambos tratamientos, esto tiende a disminuir ligeramente en la medida en que aumenta el tiempo de precipitación pluvial, lo que se explica por la saturación del suelo que resulta de la recepción permanente del agua que recibe.

El escurrimiento superficial se comporta de manera contraria a lo observado con la infiltración; es decir, que en ambos tratamientos se incrementó ligeramente con la duración de la lluvia, lo que, igualmente, puede responder al grado de saturación que alcanzó el suelo durante el tiempo de lluvia. Como se esperaba desde el inicio, el tratamiento sin terrazas mostró un mayor escurrimiento superficial con relación al que tenía terrazas (Figura 6).



Figura 4. Panorámica de la plantación en las terrazas.

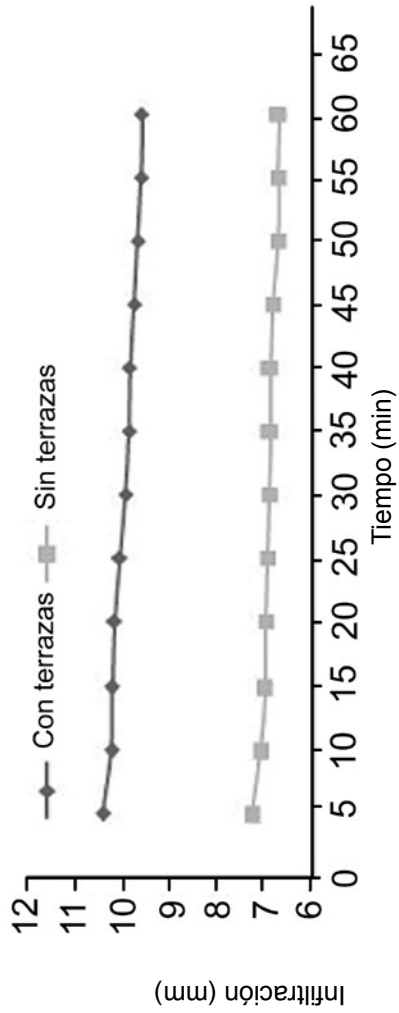


Figura 5. Comportamiento de la infiltración en lotes con y sin terrazas.

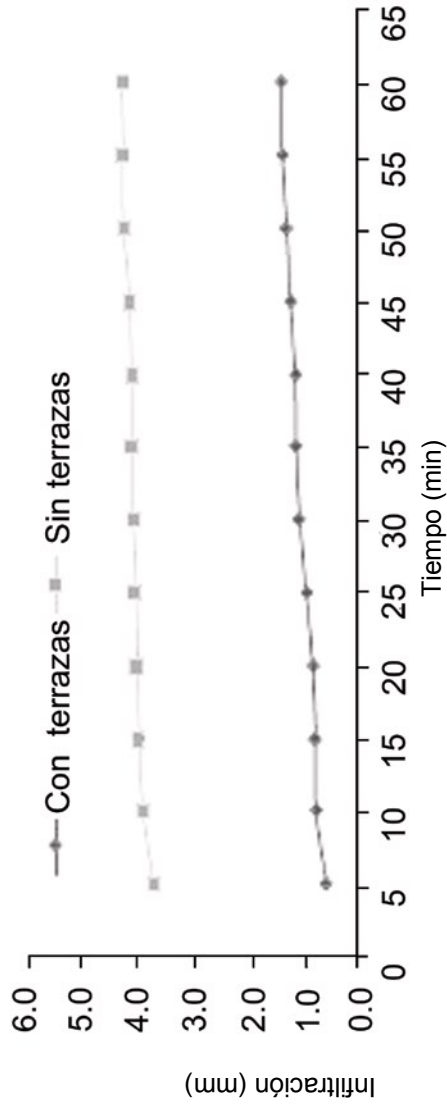


Figura 6. Comportamiento del escurrimiento superficial en lotes con y sin terrazas.

En cuanto a la producción de sedimentos, la tendencia fue similar a la del escurrimiento, el cual aumentó con la duración de la lluvia, lo que indica la capacidad de transporte de este material por el flujo superficial. Del mismo modo, el tratamiento sin terrazas presentó mayor producción en comparación a su similar con terrazas (Figura 7).

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

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

| Tratamientos   | Infiltración (mm) | Escurrecimiento superficial (mm) | Sedimentos (g m <sup>-2</sup> ) |
|----------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Con terrazas   | 9.95              | 1.05                             | 7.86                            |
| Sin terrazas   | 6.93              | 4.07                             | 14.7                            |
| Diferencia     | 3.02              | 3.02                             | 6.87                            |
| Eficiencia (%) | 43.6              | 74.2                             | 46.6                            |

Los datos anteriores destacan que las terrazas tuvieron una eficiencia de 43.6% en aumentar la infiltración, con respecto al tratamiento testigo. El escurrimiento superficial en el tratamiento con bancales disminuyó en 74.2%, eficiencia cercana a la reportada por Sharda *et al.* (2002), de 80% en terrazas de banco en clima subhúmedo. El coeficiente de escurrimiento para los bancales diseñados en el rancho Jesús María fue de 0.26. Finalmente, los lotes con terrazas redujeron la producción de sedimentos en 46.6%.

Con relación a la eficiencia de los bancales para reducir la erosión hídrica, los resultados se presentan en el Cuadro 2 que muestra la erosión estimada para antes y después de su construcción.

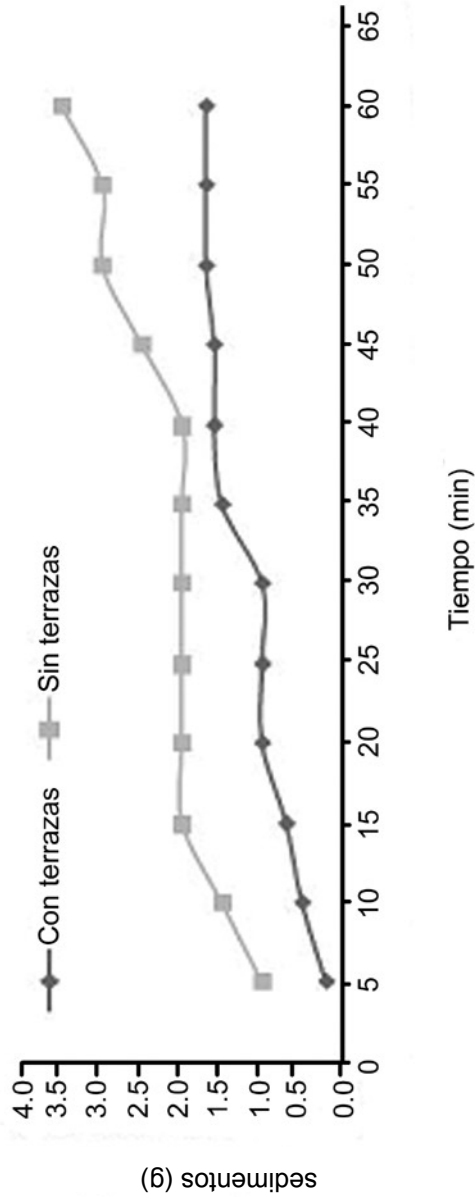


Figura 7. Comportamiento de la producción de sedimentos en lotes con y sin terrazas.

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

| Tratamientos                                | Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo |      |      |      |      | Erosión actual*** | Eficiencia de las terrazas para reducir la erosión hídrica (%) |
|---|---|------|------|------|------|-------------------|--|
|   | R*  | K**  | LS†  | C†   | P†   |                   |  |
| Sin terrazas de banco<br>15% de pendiente   | 2544.65   | 0.02 | 4.33 | 0.07 | 1    | 15.43             |  |
| Sin terrazas de banco<br>30% de pendiente   | 2544.65   | 0.02 | 9.07 | 0.07 | 1    | 32.31             |  |
| Con terrazas de banco y plantación forestal | 2544.65   | 0.02 | 0.11 | 0.02 | 0.17 | 0.19              | 99.09  |

†= Adimensional; \*(MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>); \*\*(ton ha h MJ<sup>-1</sup>mm<sup>-1</sup>); \*\*\*(ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>)

Antes del establecimiento de los bancales, en el terreno con 15% de pendiente se estimó una erosión de 15.43 ton ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>, mientras que en la parcela con 30% fue de 32.31 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Después de construir las terrazas para ambas, se calcularon 1.18 ton ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con lo cual se estimaron las eficiencias de 98.77 y 99.41% para reducirla, con promedio ponderado de 99.09%. Esto se atribuye a la reducción de la pendiente y a la longitud del terreno, lo cual se logra al construir los bancales, además de que disminuyen la concentración del escurrimiento superficial que es responsable del arrastre de las partículas de suelo.

### Evaluación financiera

Los beneficios generados por la venta de los 3,757 árboles para ornato ascienden a \$4'508,400.00, que fueron considerados como ingresos alcanzados el segundo año de trabajo en junio y julio de 2007, mismos que se proyectaron a un horizonte de seis años. En el Cuadro 3 se describen los costos.



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

| Rubro   | Unidad            | Cantidad | Costo unitario (\$) | Costo Anual (\$) |
|---|-------------------|----------|---------------------|------------------|
| Inversiones   |                   |          |                     |                  |
| Elaboración del proyecto de terrazas                  | proyecto          | 1.00     | 15,600.00           | 15,600.00        |
| Construcción de terrazas                              | m <sup>3</sup>    | 3,864.56 | 20.00               | 77,291.20        |
| Afinación de terrazas y taludes                       | ha                | 4.00     | 1,654.21            | 6,616.86         |
| Tierra  | ha                | 4.00     | 100,000.00          | 400,000.00       |
| Sistema de riego                                      | ha                | 4.00     | 105,000.00          | 420,000.00       |
| Subtotal  |                   |          |                     | 919,508.06       |
| Costos de Producción                                  |                   |          |                     |                  |
| Mano de obra  |                   |          |                     |                  |
| Mantenimiento de terrazas y plantación.               | jornales          | 791.00   | 100.00              | 79,100.00        |
| Mantenimiento de Plantación (fertilización)           | ton               | 0.31     | 9,575.00            | 3,015.49         |
| Plantación  | árboles           | 3,757.00 | 10.00               | 37,570.00        |
| Materiales  |                   |          |                     |                  |
| Plántulas   | plántula          | 3,757.00 | 300.00              | 1'127,100.00     |
| Administración  |                   |          |                     |                  |
| Supervisión de la plantación, manejo y mantenimiento. | técnico           | 12.00    | 8,000.00            | 112,000.00       |
| Riego (costo de electricidad )                        | kWh <sup>-1</sup> | 1,680.00 | 0.4                 | 672.00           |
| Imprevistos (5%)                                      | %                 | 5.00     | 93,948.00           | 72,948.28        |
| Subtotal  |                   |          |                     | 1'432,405.77     |
| Total   |                   |          |                     | 2'351,913.83     |

Los costos que se tomaron en cuenta fueron las inversiones, costos de producción, materiales, gastos de administración e imprevistos para el primer año. Para el segundo año y hasta el sexto, los costos fueron los mismos a excepción de la inversión realizada al inicio.

Con los costos y beneficios estimados para un periodo de seis años, se obtuvo una relación B/C de 2.37, un VAN de \$7'800,318.72 y una TIR de 129%, mayor a la tasa de interés del 12% anual del mercado, lo que indica la rentabilidad de esta plantación forestal como vivero comercial. Lu y Stocking (2000) reportan un VAN de 24,175.00 dólares y una TIR de 41% en terrazas de banco con cultivo en China. Los indicadores financieros de este proyecto son mayores que los obtenidos por los autores citados, lo que se explica por el grado de tecnificación con el que se construyeron las obras y el enfoque de un vivero comercial que oferta árboles a precios rentables por la demanda del mercado.

## CONCLUSIONES

La construcción de bancales con plantación forestal en el Rancho de Jesús María, Valle de Bravo, Edo. de Méx., es técnicamente eficiente porque, comparada con el terreno sin terrazas, la infiltración se incrementa 30.35%, el escurrimiento superficial se reduce 74%, la producción de sedimentos disminuye 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>. Esto prueba los servicios ambientales que generan las obras productivo-conservacionistas.

La plantación de árboles comerciales para ornato sobre el terreno con terrazas es un proyecto financieramente factible porque la relación B/C es de 2.39, el VAN es de \$7'800,318.72 y la TIR >12%, indicadores de rentabilidad que demuestran la viabilidad financieras de las inversiones para obras de conservación de suelos con enfoque de plantación forestal comercial.

## REFERENCIAS

- Delgado, J. A., C. A. Cox., F. J. Pierce and M. G. Dosskey. 2005. Precision conservation in North America. *Journal of Soil and Water Conservation* 60: 340-341.
- Faucette, L. B., C. F. Jordan., L. M. Risse, M. Cabrera M., D. C. Coleman and L. T. West. 2005. Evaluation of stormwater from compost and conventional erosion control practices in construction activities. *Journal of Soil and Water Conservation* 60: 288-341.
- Francia, M., M. Raya J. y R. Gutiérrez. 2000. Erosión en suelo de olivar en fuertes pendientes. Comportamiento de distintos manejos de suelo. S.E.C.S. Edafología. pp. 147-155.
- Lal, R. and B. A. Stewart. 1990. Soil erosion and land degradation: the global risks. *In*: Lal, R. and B. A. Stewart (Eds.). *Advances in Soil Science*, Vol. 11. Springer-Verlag. New York, NY. USA. pp. 129-172.

- Lal, R. and B. A. Stewart. 1992. Need for soil restoration. *In*: Lal, R. and B. A. Stewart (Eds.). Soil restoration. Advances in Soil Science, Vol. 17. Springer-Verlag. New York, NY. USA. pp. 1-9.
- Lu, Y. and M. Stocking. 2000. Integrating biophysical and socio-economic aspects of soil conservation on the Loess Plateau, China. Part III. The benefits of conservation. *Land Degradation and Development*, 11:153-165.
- Park, S. W., S. Mostaghimi, R. A. Cooke and P. W. McClellan. 1995. BMP impacts on watershed runoff, sediment and nutrients yields. *Water Res. Bull.* 30: 1011-1022.
- Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri and R. Blair. 1995. Environmental and economic cost of soil erosion and conservation benefits. *Science* Vol. 267(5201): 1117-1123
- Posthumus, H. and J. de Graaff. 2004. Cost-benefit analysis of bench terraces, a case study in Peru. *Land Degradation and Development*, Vol. 16 (1): 1-11.
- Ramírez-Cruz, M. E. y J. L. Oropeza-M. 2001. Eficiencia de dos prácticas productivo-conservacionistas para controlar erosión de laderas en el trópico. *Agrociencia* 35 (5): 489-495.
- Sang-Arun, J., M. Mihara, Y. Horaguchi and E. Yamaji. 2005. Soil erosion and participatory remediation strategy for bench terraces in northern Thailand. *Catena* 65(3): 258-264.
- Sharda, V. N., J. P. Juyal and P. N. Sing. 2002. Hydrologic and sedimentologic behavior of a conservation bench terrace system in a sub-humid climate. *Transaction of the ASAE* 45 (5): 1433-1441.
- Sharda, V. N. and B. L. Dhyani. 2004. Economic analysis of conventional and conservation bench terrace systems in a sub-humid climate. *Transaction of the ASAE*. 47(3): 711-720.
- Tejera G., R., F. García y R. García. 2006. Pérdida tolerable de suelo: modelo para su estimación en la ordenación de cuencas hidrográficas. *Ingeniería Agrícola en México* 21:33-41.
- Turrent F., A., N. Francisco N. y S. Uribe G. 2002. Pérdida de suelo y nutrientes en un entisol con prácticas de conservación en Los Tuxtlas, Veracruz, México. *Agrociencia* 36 (2): 161-168.
- Vergara S., M. A., J. D. Etchevers B. y M. Vargas H. 2004. Variabilidad del carbono orgánico en suelos de ladera del sureste de México. *Terra Latinoamericana* 22 (3): 359-367.
- Vergara S., M. A., J. D. Etchevers B. y J. Padilla C. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la Sierra Norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39 (3):259-266.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting rainfall erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for

soil and water conservation. USDA Handbook No. 282. Washington, DC. USA. 47 p.

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 Núm. 6, INIFAP-CIRGOC. Isla, Ver. México. 29 p.