

EROSIÓN HÍDRICA Y USO DE BARRERAS VIVAS EN EL CULTIVO DE PIÑA¹

José Isaac Mejía G.²; Edwin Valdés³; Germán De La Cruz⁴

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar las pérdidas de suelo por erosión hídrica en el cultivo de piña, usando barreras vivas como prácticas de conservación de suelo, se realizó un experimento entre julio de 2016 y diciembre de 2017, en la comunidad de Las Yayas, distrito de la Chorrera; provincia de Panamá Oeste. El ensayo incluyó cuatro tratamientos con cuatro repeticiones: piña con hierba limón, piña con vetiver, piña en siembra convencional y suelo desnudo. Se instalaron parcelas experimentales bajo un diseño completo al azar, con pendiente de 10%; 11 m de largo y 1,8 m de ancho. Cada colector de escorrentía y sedimento se instaló en la parte inferior de la parcela para estimar la pérdida de suelo. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($P < 0,01$) en los tratamientos evaluados. La mayor tasa de erosión fluctuó entre $420 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en suelo desnudo y $75,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ bajo siembra convencional, superando el umbral de tolerancia de $11 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. En las parcelas donde se implementó el uso de las barreras vivas de hierba limón y vetiver, el impacto de la erosión hídrica fue menor con $6,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ y $8,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Los valores de erosión hídrica generados por las prácticas de preparación del terreno y manejo del cultivo de piña demuestran la necesidad de implementar el uso de barreras vivas, como una alternativa efectiva de conservación de suelos y aguas.

Palabras claves: Conservación de suelos, hierba limón, pérdida de suelo, umbral de tolerancia, vetiver.

¹Recepción: 12 de mayo de 2022. Aceptación: 11 de febrero de 2023. Investigación realizada con fondos del Proyecto de Investigación e Innovación en el cultivo de piña con prácticas ecológicas. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

²IDIAP. Centro de Investigación Agropecuaria de Recursos Genéticos (CIARG). M.Sc. Manejo de Suelos y Aguas. e-mail: isaacmejia28@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2554-435X>

³Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias (FCA). Ing. en Manejo de Cuencas y Ambiente. e-mail: edwin_valdez-9@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2754-3075>

⁴Universidad de Panamá. FCA. Ing. en Manejo de Cuencas y Ambiente.

e-mail: german080410@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9052-2176>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

WATER EROSION AND USE OF LIVING BARRIERS IN PINEAPPLE FIELDS

ABSTRACT

In order to evaluate the soil loss by water erosion in a pineapple crop, using live barriers as soil conservation practices, an experiment was conducted between July 2016 and December of 2017 in the community of Las Yayas, district of La Chorrera; province of Panama Oeste. The study included four treatments with four repetitions: pineapple with lemon grass, pineapple with vetiver, pineapple with conventional sowing and a bare soil. Experimental plots were installed under a complete random design, with average slope of 10%; 11 m long and 1,8 m wide. Runoff and sediment collectors were installed in the lower part of the plot to estimate soil loss. In relation to soil loss, the analysis of variance showed differences ($P < 0,01$) among treatments. The highest erosion rate fluctuated between $420 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ in bare soil and $75,1 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ under conventional sowing, exceeding the tolerance threshold for soil loss established in $11 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$. In plots with live barriers of lemon grass and vetiver, the impact of water erosion was lowest with $6,2 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ and $8,8 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectively. The values of water erosion generated by land preparation practices and pineapple crop management demonstrate the need to implement the use of living barriers, as an effective alternative for soil and water conservation.

Key words: Soil conservation practices, lemon grass, soil loss, tolerance threshold, vetiver.

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es la causa más seria y frecuente en la degradación de los suelos, que puede ser acentuada por el cambio climático en las regiones tropicales. Esta situación se magnifica como resultado de la gran presión demográfica y la escasez de tierras agrícolas de primera calidad (Lal, 1993).

En la temporada lluviosa, el desprendimiento de sedimentos de la superficie del suelo es causado por el impacto de la gota de lluvia, la fuerza de arrastre del agua y la disolución de agentes cementantes del suelo a través de reacciones químicas (Foster et al., 1985; Lal, 2001). Estos sedimentos generados contribuyen a la colmatación de embalses, contaminación de las aguas superficiales y perjuicios en obras hidráulicas agua abajo (Carvalho, 2008).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

A nivel mundial, la tasa de erosión en los sistemas de producción convencional de piña se encuentran entre 348 y 16 Mg·ha⁻¹, la mayoría de los valores se presentan por encima de la erosión natural del suelo y del umbral de tolerancia de la pérdida de suelos (Abbasi y Jamal, 1999; Sakuma et al., 2002; Álvarez y Peña, 2013). En Tailandia, estudios por Putthacharoen et al. (1998) sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica en cultivos como la yuca, la caña de azúcar y el frijol obtuvieron valores de 77, 47 y 31 Mg·ha⁻¹, respectivamente, durante 50 meses de evaluación bajo una pendiente de 7%.

Panamá no escapa a la realidad que conllevan los procesos de erosión hídrica y el impacto que tenemos es el acumulativo y creciente proceso de degradación en una superficie de 20787,57 km² que corresponden a un 27% del territorio nacional (Autoridad Nacional del Ambiente [ANAM], 2009). Por un lado, el estudio de evaluación mundial de la degradación de las tierras para América Latina y el Caribe (GLADA) estimó para Panamá una pérdida de suelos de 14 millones de toneladas por año, con un costo de 140 millones de dólares (10 dólares/ha/año), lo que representa el 0,9% del PIB (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2008; Morales, 2012).

La producción de piña en Panamá Oeste ha pasado de 74 toneladas en el 2002, a 47 toneladas en el 2017, debido al aumento en la densidad de siembra (60 mil plantas/ha), ubicando al distrito de La Chorrera entre los principales productores y exportadores de fruta fresca (Ministerio de Desarrollo Agropecuario [MIDA], 2017). Para el 2017, el rubro de piña fresca obtuvo un Valor FOB de 3,120 (por USD 1000) que corresponde al 2% de las exportaciones (Instituto Nacional de Estadística y Censo [INEC], 2018). Las expectativas son positivas y esperan que el incremento en los negocios de exportación hacia China, Estados Unidos, Europa y a otros mercados emergentes se mantengan y superen los pronósticos.

Trabajos realizados para determinar la pérdida de suelo indican que los métodos directos son importantes para el diseño y establecimiento de prácticas de control de la erosión, manejo de la sedimentación y contaminación del agua (Blanco y Lal, 2008). Por otra parte, estudios sobre la degradación del suelo (Mutchler et al., 1994; Lal, 2001), señalan que las parcelas experimentales de escorrentía son un método de evaluación



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

directa de la erosión hídrica, para obtener datos de pérdida de suelo y validar el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) en condiciones locales y en cultivos bajo pendientes.

En La Chorrera en el cultivo de piña, las hileras de siembra las realizan a favor de la pendiente, lo que favorece la erosión hídrica. En épocas de fuertes lluvias los impactos derivados de la erosión pueden ser críticos, ya que el sistema radicular de la piña (0,15 m a 0,30 m de profundidad), otorga al suelo una limitada cobertura vegetal (Gratacós, 1991). En este sentido, el implementar el uso de barreras vivas como el vetiver y hierba limón en el cultivo tradicional de piña, es una alternativa económica para disminuir los impactos de erosión hídrica y mejorar el rendimiento del cultivo. Por todo lo expuesto, la investigación planteó como objetivo: evaluar la pérdida de suelos por erosión hídrica en un sistema de producción comercial de piña MD-2.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó entre julio del 2016 y diciembre del 2017, en un sistema de producción de piña comercial con pendiente promedio de 10%, en la comunidad de Las Yayas Afuera, distrito de La Chorrera provincia de Panamá Oeste, entre las coordenadas UTM 17 P, 626357 m Este y 986795 m Norte, a una altura de 131 msnm.

Según el sistema de clasificación de Holdridge (2000), el sitio experimental se encuentra dentro de la zona de vida correspondiente al Bosque Húmedo Tropical (Tosi, 1971) con temperatura media anual entre 24° y 26° C, y una precipitación promedio anual entre 1850 mm y 3400 mm, distribuidos en siete meses, de mayo a noviembre (ANAM, 2009). Este clima presenta típicamente dos estaciones distintas, la temporada seca de enero a abril y la lluviosa, a partir de mayo a diciembre. La selección del área obedeció, primero, a la uniformidad del grado y longitud de la pendiente y, en segundo lugar, por el alto riesgo de erosión dentro del predio.

Para la caracterización morfológica del sitio donde se instaló el ensayo, se utilizó la metodología propuesta en el manual para la caracterización del suelo, según el Soil Survey Staff (2014) y para la clasificación del suelo en orden, suborden, grande grupo, subgrupo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

y familia se realizó con la clave taxonómica del Soil Survey Staff (2010). Para ello se excavó una calicata a una profundidad de 1,60 m en condiciones naturales, se identificaron los horizontes genéticos y de diagnóstico, se tomaron cinco muestras para la clasificación taxonómica y se determinaron los parámetros físicos y químicos.

Velocidad de infiltración

Para la caracterización de la infiltración, se utilizó el método del doble anillo concéntrico (Musgrave, 1935) el cual es una técnica estándar para la medida directa de las tasas de infiltración del suelo (Johnson, 1991; Reynolds et al., 2002). Se realizaron tres lecturas para el horizonte superficial y tres para el horizonte subsuperficial, previamente identificados y bajo condiciones de capacidad de campo.

Las lecturas del nivel del agua, se efectuaron con tiempo, de cero minutos al inicio de la prueba y a los 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 120, 180 y 240 minutos (una vez por tiempo), de forma homogénea en todos los ensayos, para evitar valores erróneos que pudieran causar confusión al momento de realizar el trabajo de gabinete. Luego, se calculó la infiltración acumulada, instantánea, básica y promedio mediante la ecuación planteada por Kostiakov (1932) que expresa la infiltración en un punto.

Estabilidad de los agregados

Es un indicativo de la erodabilidad del suelo, cumpliendo su función de estabilizar el horizonte superficial. Para determinar la estabilidad de los agregados del suelo, se utilizó el Método de Kemper y Rosenau (1986), que cuantificó el porcentaje de agregados estables en el agua de tamaño menor a 0,25 mm, después de ser sometidos a un proceso de humectación y desagregación en agua. Los valores obtenidos se compararon para conocer la resistencia de los agregados del suelo del sitio experimental a desintegrarse por el impacto de las gotas de lluvias con muestras pertenecientes a tres órdenes de suelo Vertisol (Tonosí), Alfisol (Pedasí) y Molisol (Chiriquí).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Caracterización de la lluvia

El experimento se ubicó regionalmente en la vertiente del Pacífico y la precipitación se registró con un pluviómetro estándar de lectura directa con capacidad de 136 mm y un pluviógrafo operado por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) ubicado a 3830 m del sitio experimental, para determinar la erosividad de las lluvias.

Preparación del terreno y manejo agronómico de los materiales vegetativos

El laboreo excesivo del suelo para el cultivo de piña en laderas (Academy for Educational Development [AED], 2004), es uno de los principales factores que, contribuyen a la pérdida de suelo por erosión hídrica en zonas de Panamá Oeste con lluvias de alta intensidad. El orden de las labores de preparación del terreno fue el siguiente: limpieza del predio con un pase de arado de disco, dos pases con el subsolador a favor de la pendiente y el siguiente perpendicular al primero, dos pases con la rastra dejando el suelo suelto y finalmente, el encamado.

La variedad de piña utilizada fue (*Ananas comosus* (L.) Merr.) híbrido MD-2 o piña dorada, preferida por su dulzura, aroma y color en los mercados internos y de exportación. Se eligieron los hijos basales, como semilla, con un peso promedio de 500 g para la siembra. Con un mes de antelación a la realización del ensayo, las semillas fueron tratadas con Diazinon y Fosetil-Al, y sembradas manualmente, depositando el material en los hoyos, previamente dispuestos dentro de las camas, a una distancia de siembra de 0,30 m entre plantas, en doble hileras de 0,40 m y 1,10 m de distancia entre centro y centro de la cama, para obtener una densidad de 60,000 plantas:ha⁻¹.

Los materiales vegetativos que se utilizaron como barreras vivas fueron vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty) y hierba limón (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). En las parcelas experimentales, el largo de las camas de piña y surcos fue de 11,00 m, de modo que los plantones de vetiver y hierba limón fueron establecidos con una distancia de 1,80 m (ancho de la parcela), en el extremo inferior de las parcelas experimentales, paralelamente al colector metálico de escorrentía, sembradas en hilera sencilla con una distancia de separación de 0,15 m entre plantas y perpendicular a la pendiente.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Pérdida de suelos y lámina de escorrentía por erosión hídrica

Para cuantificar la pérdida de suelo y lámina de escorrentía por erosión hídrica en el cultivo de piña, bajo condiciones de lluvia natural se instalaron 16 parcelas experimentales de escorrentía con cuatro tratamientos, siguiendo el procedimiento establecido por Da Veiga y Do Prado (1993), ubicadas a favor de la pendiente y con una sola rasante.

Luego de cada evento erosivo, se colectaron escorrentía y sedimentos en botellas de un litro plásticas transparentes y en duplicado. Luego se procedió a decantar las muestras y a sifonear el agua del recipiente de un litro, una vez eliminada la parte líquida, el residuo sólido se traspasó a un vaso químico de 100 ml o 250 ml, según el volumen de residuo recolectado y fueron secadas al horno a 100° C; por dos días hasta que el agua se evaporó en su totalidad.

La masa de suelo seco fue pesada con una balanza digital para obtener los valores de pérdida de suelo para cada tratamiento. Finalmente, la información obtenida se extrapola a una superficie de una hectárea para determinar la pérdida total acumulada en megagramos por hectárea ($Mg \cdot ha^{-1}$) y lámina total acumulada de escorrentía en milímetros (mm). En total se realizaron 51 lecturas de escorrentía y pérdida de suelo. Los valores totales acumulados de pérdida de suelo y lámina de escorrentía por erosión hídrica corresponden a las etapas vegetativa, reproductiva y de vivero; es decir a los 5, 12 y 17 meses después de la siembra, respectivamente.

El experimento se inició con la etapa vegetativa, la cual duró cinco meses después de la siembra y comprendió la acumulación de la masa foliar que equivalió al 90% aproximadamente del peso fresco de la parte aérea de una planta de piña. En segundo lugar, estuvo la etapa reproductiva que comprendió desde la inducción floral, pasando por la floración hasta la cosecha con una duración de siete meses. Finalmente, se cosechó la fruta y se inició la etapa de vivero con una duración de cinco meses. En esa etapa, se realizó una poda a la planta madre para estimular la producción de semillas vegetativas (hijos medios, hijos basales, chupones y retoños) necesarias para el establecimiento de las siguientes plantaciones.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Diseño experimental

Para evaluar las diferentes variables de los tratamientos en un sistema de producción comercial de piña MD-2, se utilizó un diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, según el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + R_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde;

Y_{ijk} = es la observación del tratamiento

μ = media general

T_i = efecto del i-ésimo tratamiento (i=4)

R_j = efecto del j-ésima repeticiones (j=4)

ε_{ijk} = error experimental

Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza (ANOVA), prueba de hipótesis y comparación entre medias, usando la prueba de la Diferencia Mínima Significativa de Fisher (DMS) con un nivel de significancia del 95% (Steel et al., 1997).

Tratamientos

El experimento constó de cuatro tratamientos que se describen a continuación:

1. Parcelas de piña sembradas a favor de la pendiente con barreras vivas de hierba limón (*C. citratus*) sembradas al final de la parcela y perpendiculares a la pendiente,
2. Parcelas de piña sembradas a favor de la pendiente con barreras vivas de vetiver (*C. zizanioides*) sembradas al final de la parcela y perpendiculares a la pendiente,
3. Parcelas de piña sembradas a favor de la pendiente sin barreras vivas a modo de siembra convencional,
4. Parcelas con suelo desnudo libres de cobertura vegetal a modo de testigo o control (Figura 1).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



Figura 1. Tratamientos evaluados en el sitio del experimento. Cultivo de piña con barreras vivas de hierba limón (A), cultivo de piña con barreras vivas de vetiver (B), cultivo de piña con siembra convencional (C) y suelo desnudo (D).

Unidad experimental

La unidad experimental fue la parcela de escorrentía, de 11 m de largo por 1,80 m de ancho (19,80 m²), con una pendiente uniforme de 10% y dejando un espacio de 1 m a 2 m entre parcelas; según las recomendaciones para los diseños de experimentos de escorrentía (Lal, 1994). Se instalaron chapas de plástico, sobrepuestas a unos 0,30 m desde el nivel del suelo y con 0,15 m de profundidad para delimitar el área de la parcela.

En la parte inferior de la parcela, se instaló un colector metálico de sedimentos unido a dos tanques colectores de escorrentía de 1,00 m de altura por 0,58 m de diámetro, a través de una tubería de policloruro de vinilo (PVC) SDR 41 de 50 mm de diámetro nominal. A una altura de 0,80 m de la profundidad del primer tanque se instalaron tres conectores de salida de 50 mm de PVC, de los cuales solo uno entró al segundo tanque de manera que en episodios extremos lo que se recogió en el segundo tanque representó un tercio del total generado de la escorrentía.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Efectividad de control de suelo y escorrentía frente al testigo

Para evaluar la efectividad de control de suelo y escorrentía de los resultados encontrados, se calculó la efectividad de control relativa entre el valor del tratamiento con barreras vivas y el valor del testigo, y se expresó como porcentaje con la siguiente ecuación:

$$EC = \frac{PT - PB}{PT} \cdot 100$$

Donde;

EC, efectividad de control relativa (%),

PT, pérdida de suelo o escorrentía en el tratamiento testigo ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), (mm)

PB, pérdida de suelo o escorrentía en el tratamiento con barreras vivas ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), (mm)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción del perfil de suelo

La complejidad de la geología y el régimen de precipitación en la zona de estudio han definido los niveles de meteorización y lixiviación, produciendo suelos ácidos, lavados, con enriquecimiento de óxidos de hierro. Las características más importantes encontradas en el perfil de suelo, fueron la presencia de los horizontes genéticos Ap (laboreo), Bt (acumulación de arcilla) y C (material no consolidado). Además, un epipedón ócrico más oscuro por la presencia de materia orgánica, seguido por un endopedón argílico de acumulación de arcilla, evidenciando el proceso de iluviación (Figura 2).



Figura 2. Perfil de suelo con horizontes morfogenéticos y de diagnóstico en el sitio del experimento.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En el perfil de suelo estudiado, características como la presencia de un horizonte argílico, procesos de iluviación y saturación de bases menor del 35% a una profundidad de 1,60 m lo categorizaron en el Orden Ultisol. Luego, se agrupó en el suborden Humults, ya que presentó valores de Carbono orgánico entre $28,1 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ y $11,8 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ en los Horizontes Ap y Bt₁, respectivamente. A nivel de gran grupo, se clasificó en Haplohumult sin características diferenciadas dentro del grupo y Typic porque cumplió todos los requisitos que definen el concepto central del gran grupo (Soil Survey Staff, 2010). Finalmente, el perfil de suelo estudiado es un Ultisol Haplohumult Típico Serie Las Yayas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Descripción del perfil del suelo en Las Yayas afuera.

Clasificación del suelo	Soil Taxonomy: Serie Las Yayas (<i>Typic Haplohumult</i>) FAO: Haplic, Acrisols (humic, Eutric/Dystric)	
Material Parental	Rocas ígneas extrusivas basálticas, andesíticas de la formación Tucué	
Régimen de Humedad	Údico	
Régimen de temperatura	Isohipertérmico 27° C	
Horizontes de Diagnóstico	Epipedón Ócrico y Endopedón Argílico	
Descripción de los horizontes		
Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
Ap	0,0 – 0,30	Color pardo oscuro (7,5YR3/4) en húmedo; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares finos; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico, ligeramente adherente, no coherente en seco; poros abundantes y finos; raíces muy abundantes muy finas, finas, medias y gruesas; límite claro y plano.
B ₁₁	0,30 – 0,60	Color rojo amarillento (5YR4/6) en húmedo; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares fina; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y ligeramente adherente en mojado, poco compacto en seco; pocos poros medios; raíces frecuentes, muy finas, finas y medias; límite claro y ondulado.
B ₁₂	0,60 – 1,10	Color rojo amarillento (5YR4/6) en húmedo; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares fina; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y ligeramente adherente en mojado, poco compacto en seco; muy pocos poros finos; pocas raíces finas y medias; límite claro y ondulado.
B ₁₃	1,10 – 1,40	Color rojo (2,5YR4/6) en húmedo; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares fina; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y moderadamente adherente en mojado, compacto en seco; muy pocos poros finos; muy pocas raíces, finas y medias; límite claro y lobulado.
C	1,40 – 1,60	Color pardo oscuro (7,5YR5/6) en húmedo; textura franco arcillosa; estructura masiva; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y moderadamente adherente en mojado, muy compacto en seco; muy pocos poros finos; límite claro y discontinuo.

Fuente: United States Department of Agriculture [USDA], 2017.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Propiedades físicas y químicas del perfil del suelo

Las propiedades físicas y químicas del perfil de suelo se resumieron para cada horizonte evaluado y de acuerdo a su profundidad (Cuadro 2). En los datos de pH en agua, no se observó diferencias importantes en los horizontes estudiados. Estos registraron una reacción muy ácida y están dentro del rango óptimo para el cultivo de piña.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas del perfil de suelo en el sitio del experimento.

Parámetro	Unidades	Horizontes				
		Ap	Bt ₁	Bt ₂	Bt ₃	C
Profundidad	m	0,0-0,30	0,30-0,60	0,60-1,10	1,10-1,60	1,40-1,60
pH H ₂ O 1:2.5	-	5,32	5,45	5,44	5,32	5,1
Materia Orgánica	g·dm ⁻³	48,5	20,4	8,9	5,1	3,8
Arena	g·kg ⁻¹	320	30	50	50	250
Limo	g·kg ⁻¹	260	240	400	310	420
Arcilla	g·kg ⁻¹	420	730	550	640	330
Textura	Clase	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Franco Arcillosa
Densidad aparente (Da)	kg·dm ⁻³	1,03	1,22	1,33	1,31	1,45
Densidad real (Dp)	kg·dm ⁻³	2,44	2,42	2,41	2,38	2,23
Porosidad (E)	%	57,79	49,75	44,85	45,10	35,09

Laboratorio de suelos y nutrición FCA-UP, 2018.

Los horizontes estudiados presentaron una granulometría arcillosa, con 420 g·kg⁻¹ en el horizonte A. Luego, el contenido de arcilla se incrementó desde el horizonte Bt₁ con un valor de 730 g·kg⁻¹, para luego disminuir con la profundidad hasta el horizonte C con 330 g·kg⁻¹. Relacionando estos valores y la baja saturación de bases encontradas, pueden estar dominados por arcillas caolinitas, óxidos de hierro y aluminio.

Los valores de la densidad aparente variaron entre 1,03 y 1,45 kg·dm⁻³, en el horizonte Ap la densidad aparente tendió a ser menor con un valor de 1,03 kg·dm⁻³, debido al mayor contenido de materia orgánica. Luego, los valores fueron incrementando al profundizar en el perfil, indicando una mayor compactación en los horizontes Bt con respecto al Ap.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

El comportamiento de la porosidad a través del perfil de suelo, presentó un decrecimiento en los valores de esta propiedad a medida que se profundizó en el suelo, siendo mayor en el horizonte Ap con 57,79% debido al mayor contenido de materia orgánica y variando de 49,75% a 35,09% en los siguientes horizontes texturales. Estos resultados ponen en evidencia una mayor concentración de poros a nivel del horizonte superficial.

Velocidad de infiltración

Según las ecuaciones de Kostiakov (1932), las velocidades de infiltración instantánea y básica en la comunidad de Las Yayas Afuera (Figura 3). El mayor valor de infiltración básica se presentó en horizonte Ap con $84,35 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ se considera alta, en consecuencia, su baja densidad aparente, mayor contenido de arena, presencia de macroporos y alto contenido de materia orgánica, permite inferir que es un horizonte no compactado.

El horizonte Bt presentó la menor infiltración básica con un valor de $9,17 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$, debido principalmente a su alta densidad aparente, su alto contenido de arcilla, bajo contenido de arena, reducción de los macroporos y baja cantidad de materia orgánica en el perfil de suelo; lo que permite inferir que es un horizonte compactado. Indica que, al rebasar estos valores de infiltración básica por efecto de las lluvias intensas, propias de la temporada, se provocará escorrentía superficial y lavado de nutrientes.

La infiltración acumulada para los horizontes Ap y Bt₁ en el sitio de las Yayas Afuera, se especifican siguiendo los parámetros del modelo Kostiakov (1932) y el método de regresión lineal (Figura 4). Para el coeficiente de regresión (R^2) fueron altos entre 0,96 y 0,98, esto indicó que el modelo lineal utilizado fue el adecuado para describir la relación que existe entre la infiltración acumulada y el tiempo acumulado.

La tendencia de las curvas sugiere la existencia de variabilidad entre el horizonte Ap y el Bt₁ provocadas por las propiedades hidrofísicas del suelo como el contenido de humedad, la textura, la densidad aparente y nivel de compactación, los cuales están influyendo en la capacidad de los horizontes del suelo para retener e infiltrar el agua. Por lo que podemos inferir que el horizonte Bt₁ presenta un nivel de compactación más alto que el horizonte Ap.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

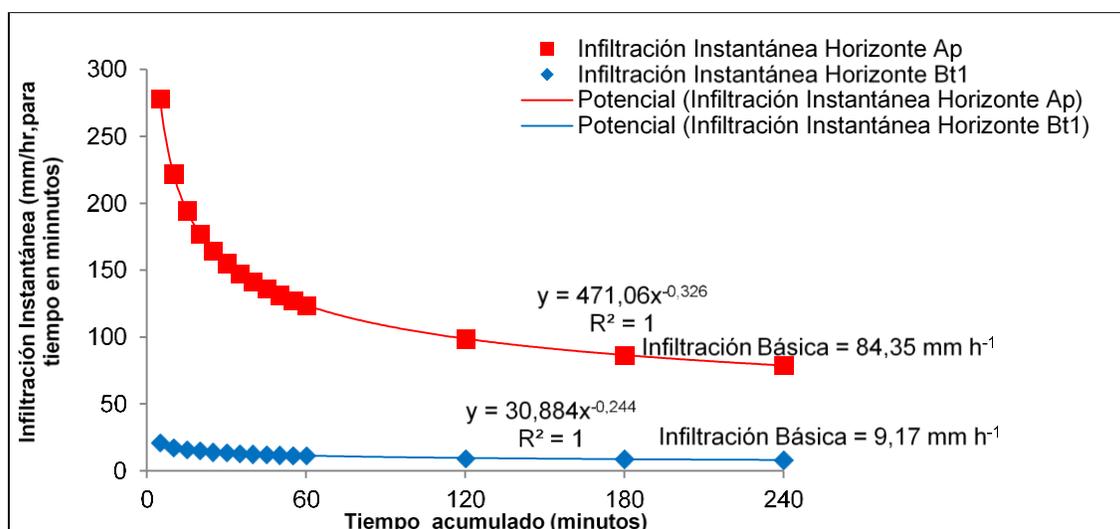


Figura 3. Infiltración instantánea e infiltración básica para los horizontes Ap y Bt₁ en Las Yayas afuera.

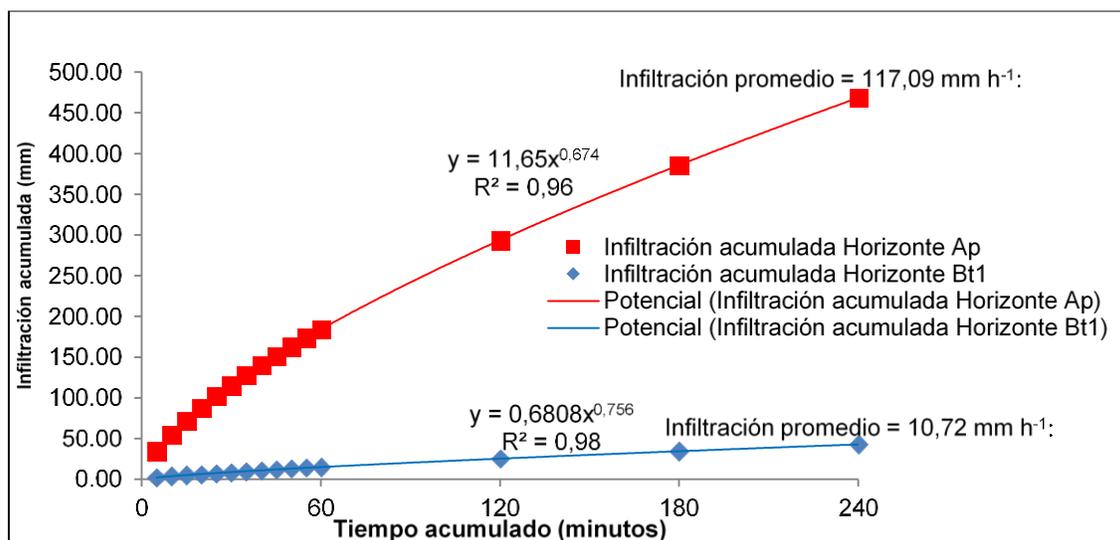


Figura 4. Infiltración acumuladas e infiltración promedio para los horizontes Ap y Bt₁ en Las Yayas afuera.

Para intervalos de tiempo entre cero y 240 minutos, la infiltración promedio total para todo el experimento en el horizonte Ap fue de 117,09 mm·h⁻¹, mientras que en el horizonte Bt₁ el valor encontrado fue de 10,72 mm·h⁻¹. Estos valores indican el efecto de la compactación del suelo en el horizonte evaluado y que los suelos con alto contenido de materia orgánica tienen altas tasas de infiltración. Cuando se aplicó el método del Número



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de Curva (United States Department of Agriculture National Resources Conservation Service [USDA-NRCS], 2004) en los horizontes estudiados, se clasificaron en el grupo hidrológico C, correspondientes a suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados.

Estabilidad de los agregados

El estudio revela que los suelos Ultisoles del área presentaron valores moderados de estabilidad. Asimismo, el horizonte Ap presentó mayor porcentaje de estabilidad de agregados del suelo con un valor de 63,83%, debido al alto contenido de materia orgánica, altos contenidos de hierro y aluminio como es de esperarse; en comparación con muestras de un Vertisol con alta estabilidad de 79,10%, un Alfisol con 33,50% y un Molisol con 25,60%, siendo ambos de baja estabilidad (Mejía, 2018).

En contraste, el horizonte Bt₁ presentó una baja estabilidad con un valor de 56,25% en consecuencia del mayor contenido de arcilla y poca materia orgánica. Estos suelos, tienen una estructura que los hace muy susceptibles a los procesos de erosión hídrica, ya que la erodabilidad del suelo aumenta a medida que la estabilidad de los agregados disminuye (Kemper y Rossenau, 1986).

Descripción de la lluvia acumulada

Se presentaron 147 eventos de precipitación, dando un total de 3382 mm (Figura 5). Los meses de octubre a noviembre fueron los más lluviosos, típico de la estación lluviosa. También, el 22 de noviembre de 2016 ocurrió la tormenta tropical Otto, que luego pasó a huracán de Categoría uno, se mantuvo por dos días y se registró una lluvia acumulada de 126 mm en la zona de estudio, lo que provocó un alto riesgo de erosión. Con respecto a la variabilidad climática, para el año 2016 las condiciones del fenómeno de El Niño persistieron hasta finales de julio. En los meses de agosto a noviembre de 2016 se registró una precipitación acumulada de 1098 mm.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

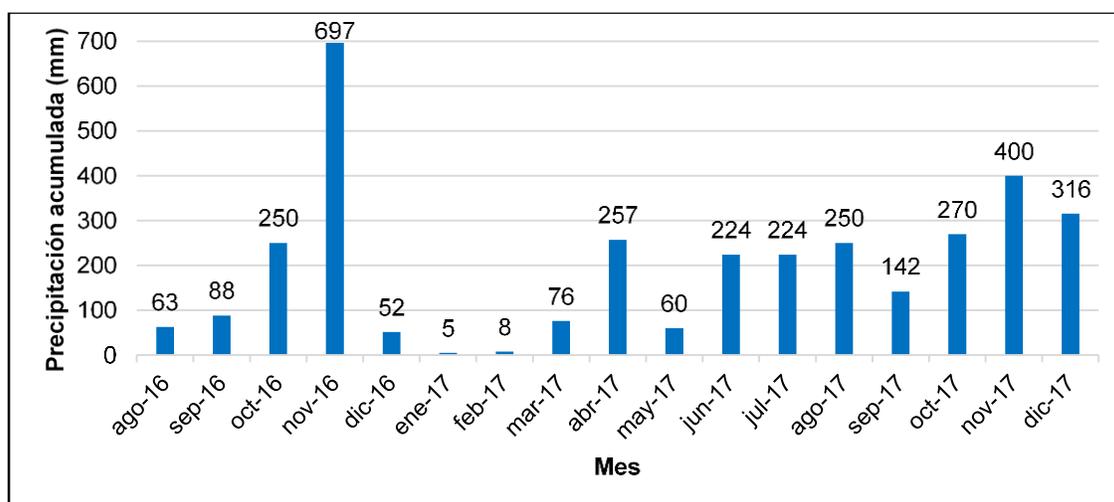


Figura 5. Registro de la lluvia acumulada en el sitio del experimento para los años 2016 y 2017.

Desde diciembre del 2016 hasta febrero del 2017 se verificaron menores incidencias de precipitaciones, con 65 mm acumulados, característico de la temporada seca en la vertiente del Pacífico. Luego, en marzo se inició la temporada lluviosa hasta diciembre con 2219 mm acumulados. Aunque el sistema oceánico y atmosférico continuó siendo consistente con ENSO-Neutral (El Niño-Southern Oscillation), se acercó a las condiciones de La Niña.

Erosividad de las Lluvias

Para dos años de registros (2016 y 2017) de información pluviográfica de la estación La Zanguenga, se obtuvieron los promedios de Intensidad de las Lluvias en 30 minutos, Energía Cinética y Erosividad de las Lluvias (Cuadro 3). La precipitación promedio osciló entre un valor mínimo de 6,50 mm para los meses de enero y febrero hasta un máximo de 446 mm para el mes de noviembre. Con respecto a la erosividad promedio anual de la lluvia o factor R, se presentó un valor de 14757,96 MJ·mm·h⁻¹·ha⁻¹ y se considera muy alto.

Por un lado, el valor más alto del índice de erosividad total de la lluvia ocurrió en el mes de noviembre con un valor de 2907,59 MJ·mm·h⁻¹·ha⁻¹ y la erosividad más baja se presentó en el mes de febrero con 7,35 MJ·mm·h⁻¹·ha⁻¹. Por otra parte, en la distribución



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

mensual de la erosividad de las lluvias los valores más altos se presentaron en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Cuadro 3. Valores medios mensuales e intervalos de confianza para precipitación, intensidad, energía cinética, erosividad mensual y anual para los años 2016 y 2017 en La Zanguenga.

Mes	\bar{X} ppt acum (mm)	I.C. ppt acum (mm)	\bar{X} I30 (MJ·mm·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)	I.C. I30 (MJ·mm·ha ⁻¹ ·h ⁻¹)	\bar{X} EC (MJ·ha ⁻¹ ·mm)	I.C. EC (MJ·ha ⁻¹ ·mm)	\bar{X} R mensual (MJ·mm·h ⁻¹ ·ha ⁻¹)	I.C. R mensual (MJ·mm·h ⁻¹ ·ha ⁻¹)	R anual (MJ·mm·h ⁻¹ ·ha ⁻¹)
Enero	6,50	±3,00	14,00	±4,00	0,54	±0,10	9,22	±8,00	
Febrero	6,50	±5,00	13,00	±10,00	0,51	±1,00	7,35	±3,00	
Marzo	14,50	±21,00	28,00	±43,00	0,88	±1,00	18,96	±33,00	
Abril	101,00	±122,00	176,00	±294,00	1,03	±1,00	2044,62	±3793,00	
Mayo	221,00	±4,00	293,00	±284,00	3,45	±0,20	1705,92	±1618,00	
Junio	112,50	±220,00	114,00	±223,00	2,19	±4,00	472,88	±927,00	14757,96
Julio	92,00	±180,00	100,00	±196,00	1,83	±4,00	338,63	±664,00	
Agosto	77,50	±152,00	77,00	±151,00	1,96	±4,00	259,27	±508,00	
Septiembre	225,50	±126,00	296,00	±51,00	3,18	±2,00	1643,41	±608,00	
Octubre	236,00	±35,00	330,00	±208,00	4,10	±1,00	2786,44	±3521,00	
Noviembre	446,00	±353,00	389,60	±233,00	5,06	±3,00	2907,59	±1788,00	
Diciembre	127,00	±245,00	254,00	±490,00	0,93	±2,00	2563,65	±5022,00	

\bar{X} : promedio, I.C: intervalo de confianza $\alpha=5\%$, ppt: precipitación acumulada, I30: Intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos, EC: energía cinética de la lluvia, R: erosividad de la lluvia,

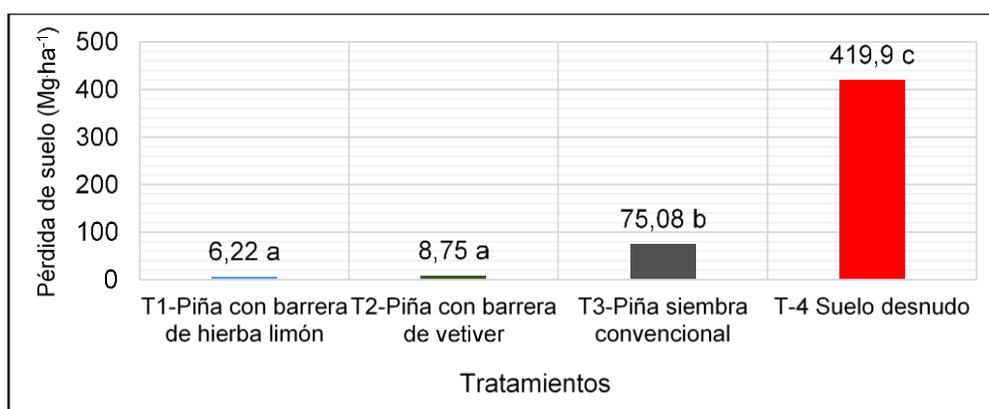
Pérdida de suelo y lámina de escorrentía por erosión hídrica

El análisis de varianza para las variables pérdida total acumulada de suelo y lámina total acumulada de escorrentía por erosión hídrica mostró diferencias altamente significativas ($P<0,0001$) entre los tratamientos, por efecto del uso de barreras vivas en el cultivo de piña con una pendiente del 10%, lo que hizo necesario efectuar una comparación de medias, utilizando para ello la prueba de DMS. Los valores de pérdidas total acumulada de suelo (Figura 6) y lámina total acumulada de escorrentía (Figura 7) por erosión hídrica mostraron diferencias ($P<0,05$) de las medias entre tratamientos, cuando se aplicó la prueba de DMS.



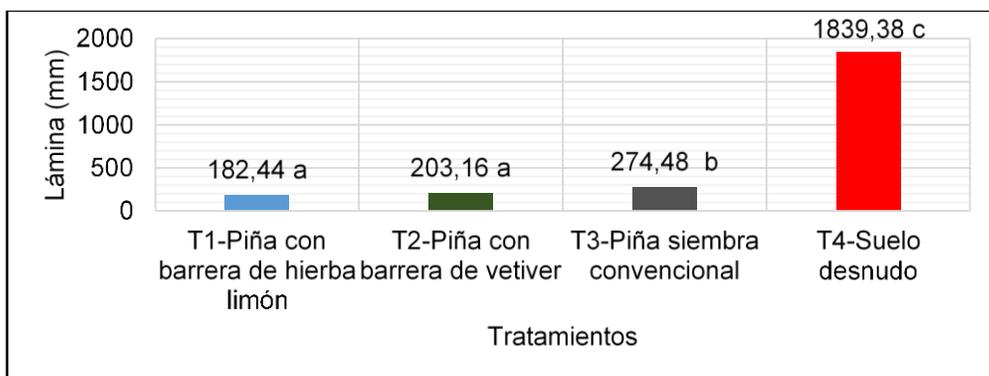
Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Por un lado, los valores de pérdida de suelo y lámina de escorrentía por erosión hídrica en el cultivo de piña donde se establecieron las barreras vivas de hierba limón y vetiver pueden considerarse bajos y; en la siembra convencional donde no se implementó ninguna estrategia de conservación de suelos y aguas fueron altos. En términos de pérdida de suelo por erosión hídrica, para el período de 17 meses que abarcó el experimento, en los tratamientos donde se estableció el cultivo de piña MD-2 en asociación con barreras vivas de hierba limón y piña con barreras vivas de vetiver, se obtuvieron valores bajos de pérdida de suelo con 6,20 Mg·ha⁻¹ y 8,80 Mg·ha⁻¹ de acuerdo al nivel de tolerancia “T”, internacionalmente permitido (Figura 6).



Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de DMS (P<0,05).

Figura 6. Pérdida total acumulada de suelo para cada tratamiento evaluado en el cultivo de piña MD-2.



Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de DMS (P<0,05).

Figura 7. Lámina total acumulada de escorrentía para cada tratamiento evaluado en el cultivo de piña MD-2.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En el tratamiento de piña con barreras de hierba limón se presentó la mayor cantidad de suelo conservado, esto se debe a la acumulación de materiales detrás de la barrera viva debido a que el hábito de crecimiento de los macollos es ramificado y decumbente.

En el caso de las parcelas de piña con barreras de vetiver, se observó una tendencia a perder mayor cantidad de suelo, debido a la formación de pequeñas fisuras entre los macollos, las cuales permitieron que el agua se filtrara y formara pequeños surcos dentro de las parcelas cuando se presentaron lluvias de alta intensidad.

La mayor tasa de suelo erosionado fluctuó entre $420,00 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ en suelo desnudo y $75,10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ bajo siembra convencional, considerado valores muy altos y superando el umbral de tolerancia de la pérdida de suelos establecido en $11 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Morgan, 2005; Brady y Weil, 2013).

Con respecto a la lámina de escorrentía, en el tratamiento de suelo desnudo la escorrentía fue significativamente mayor con un valor de 1839,38 mm y se relacionan con la pérdida del horizonte superficial Ap, un horizonte con mayor acumulación de arcilla iluvial (Bt), mayor compactación y baja capacidad de infiltración. Luego, en la siembra convencional de piña se encontró un valor de 274,49 mm. Sin embargo, en los tratamientos donde se implementó el uso de barreras vivas de vetiver y hierba limón presentaron valores menores de 203,17 y 182,45 mm, respectivamente, mostrando una clara diferencia entre los tratamientos y la importancia de la cobertura proporcionada por el cultivo de piña y el uso de barreras vivas (Figura 7).

Pérdida de suelo y lámina de escorrentía acumulada para cada etapa del cultivo

Después de 17 meses de evaluación, que incluyó la etapa vegetativa, reproductiva y de vivero en el cultivo de piña, las pérdidas de suelo acumuladas debido a la erosión hídrica fueron diferentes en comparación con el suelo desnudo, mientras que en cultivo de piña con barreras vivas de hierba limón y vetiver la pérdida de suelo fue similar.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

En la etapa vegetativa, que duro cinco meses después de la siembra a partir del mes de agosto hasta diciembre de 2016, las pérdidas de suelo y escorrentía se incrementaron principalmente en el suelo desnudo, seguido por el cultivo de piña convencional, debido principalmente a la máxima intensidad de las lluvias y precipitación acumulada registrada en ese periodo. Luego, en la etapa reproductiva, que coincidió con el inicio de una corta temporada seca, a partir de enero hasta marzo de 2017, la cobertura foliar cerró y protegió el suelo hasta la cosecha disminuyendo así la pérdida de suelo y escorrentía en los tratamientos del cultivo de piña con siembra convencional y con barreras vivas.

En el 2017, la temporada lluviosa inició en abril hasta diciembre, lo que causo un aumento de la pérdida de suelo y escorrentía en la etapa de vivero. Esto debido a la intensidad y cantidad de las lluvias, y por la poda realizada a la plantación, que redujo en un 50% la cobertura vegetal. Al finalizar el experimento, el grado de erosión hídrica en las parcelas de piña con hierba limón y vetiver se clasificaron de ligeras a moderadas (Morgan, 2005). Por otra parte, en las parcelas de piña con siembra convencional y suelo desnudo los niveles de pérdida de suelo por erosión hídrica se clasificaron en severas a muy severas respectivamente (Morgan, 2005).

En el caso de la parcela de suelo desnudo, la pérdida total de suelo acumulada fue seis veces mayor que en la de piña con siembra convencional y de 68 a 48 veces más que en las de piña con hierba limón y vetiver, respectivamente. Este comportamiento está asociado al método de preparación del terreno y a la dinámica de las gotas de lluvia que impactan directamente el horizonte argílico, con poca materia orgánica y baja estabilidad, seguido por una rápida disgregación y fragmentación de las partículas del suelo, que ayudados por la fuerza gravitacional, logran desplazar y acumular un gran volumen de suelo.

Se observó en las parcelas con tratamiento de suelo desnudo y de piña con siembra convencional los procesos descritos por Sugahara et al. (2001), referentes al sellamiento superficial y encostramiento, que provocaron la obstrucción de los poros del suelo por el depósito y acumulación de partículas finas de suelo después de la disgregación inducida



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

por el impacto de la gota de lluvia. Esta situación contribuyó a disminuir la infiltración del agua y aumentar la escorrentía superficial en ambas parcelas.

En contraste, la presencia de cobertura vegetal de piña y el uso de barreras vivas aumentó la resistencia hidráulica (Kervroëdan et al., 2018) y así disminuyó la velocidad de escorrentía y pérdida de suelo por erosión hídrica. Además, impidieron la formación de costras, el taponamiento de los poros y aumentaron la cantidad de sedimento retenido y la infiltración en el sitio del experimento.

Efectividad en el control de la pérdida de suelo y escorrentía por erosión hídrica

La efectividad en controlar la erosión hídrica en las parcelas de piña con el uso de las barreras vivas produjo una acumulación de suelo detrás de la barrera, cumpliendo la función esperada de retener el suelo transportado por la escorrentía. El cultivo de piña con el uso de barreras vivas presentó una efectividad promedio del 98% en el control de la pérdida de suelo y un 89% en el control de la escorrentía. Mientras que el cultivo de piña convencional produjo una efectividad de 82% en el control de la pérdida de suelo y un 85% en el control de la escorrentía (Cuadro 4).

Estos valores de efectividad de control de la erosión hídrica con el uso de barreras vivas en el cultivo de piña, son aproximados a los reportados por Broz et al. (2003) en función de la inclinación y longitud de la pendiente.

Cuadro 4. Porcentaje de efectividad del uso de barreras vivas para el control de pérdida de suelo y escorrentía por erosión hídrica en el cultivo de piña.

Tratamiento	Control de pérdida de suelo (%)	Control de escorrentía (%)
T-1 Piña con hierba limón	98,52	90,08
T-2 Piña con vetiver	97,91	88,95
T-3 Piña con siembra convencional	82,12	85,08
T-4 Suelo desnudo	0,00	0,00



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CONCLUSIONES

- Los valores encontrados ponen de manifiesto la magnitud del avance de los procesos de erosión hídrica generados por las prácticas de preparación de terreno, manejo del suelo y erosividad de las lluvias. Por lo tanto, combinar el cultivo de piña con el uso de barreras vivas, ya sea vetiver o hierba limón, son de alta efectividad en la reducción de la pérdida de suelos y escorrentía por erosión hídrica.
- Los índices de erosividad de las lluvias encontrados en La Zanguenga deben servir como elementos de juicio sobre el alto riesgo de erosión que ocurre en la zona.

REFERENCIAS

- Abbasi, M. A., y Jamal, T. (1999). Soil Loss and Runoff Measurement from Banana-Pineapple Intercropping System. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2(3), 689-692. <https://scialert.net/fulltext/?doi=pjbs.1999.689.692>
- Academy for Educational Development. (2004). *Caracterización de la actividad Piñera en las subcuencas de Los Hules Tinajones y Caño Quebrado*. Autoridad del Canal de Panamá. <http://www.cich.org/publicaciones/06/caracterizacion-actividad-pinera.pdf>
- Alfaro, O. (2009). *Plantas medicinales colectadas en Panamá*. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Ciudad de Panamá. <http://www.cich.org/publicaciones/01/IDIAP-2009-Plantas-medicinales-colectadas-en-Panama.pdf>
- Álvarez Rojas, M. y Peña, W. (2013). Estimación de niveles erosivos en suelos con cultivo de piña en Sarapiquí. *Repertorio Científico*, 16(1), 3-11. <https://doi.org/10.22458/rc.v16i1.594>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Autoridad Nacional del Medio Ambiente. (2009). *Atlas de las tierras secas y degradadas de Panamá. Unidad de Cambio Climático y desertificación*. Comité Nacional de Lucha contra la sequía y la Desertificación. https://edo.jrc.ec.europa.eu/gisdata/scado/land_degradation/pa/ATLAS_DESERTIFICACION.pdf

Blanco, H., y Lal, R. (2008). *Principles of Soil Conservation and Management*. Springer. http://water.lecture.ub.ac.id/files/2018/08/1.-Book_Principles-of-Soil-Conservation-and-Management.pdf

Brady, C. N. y Weil, R. R. (2013). *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. Trad. IF Lepsch. 3 ed. Bookman Editora, São Paulo, BRA. p. 551- 590.

Broz, B., Pfof, D. y Thompson, A. (2003). Controlling Runoff and Erosion at Urban Construction Sites. Mu Guide Soil and Water G 1509. University of Missouri-Columbia. <https://mospace.umsystem.edu/xmlui/bitstream/handle/10355/9480/ControllingRunoffErosion.pdf?sequence=3>

Carvalho, N. O. (2008). *Hidrossedimentologia Prática*. 2ª Edição. Interciência, Rio de Janeiro, BRA. p. 4-13.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2008). *Agricultura, desarrollo rural, tierra, sequía y desertificación: resultados, tendencias y desafíos para el desarrollo sostenible de América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas, Santiago, Chile. p. 45- 49. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3611/1/S2008295_es.pdf

Da Veiga, M., y Do Prado, W. (1993). *Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelos*. Documento de campo 1. Trad. Jeldre, D. I. FAO, Santiago, Chile https://www.researchgate.net/publication/260991331_Manual_para_la_instalacion_y_conduccion_de_experimentos_de_perdida_de_suelo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Foster, G. R., Young, R. A., y Neibling, W. H. (1985). Sediment composition for nonpoint source pollution analyses. *Transactions of the ASAE*, 28(1),133-0139.
- Gratacós, N. (1991). *Cultivo de Piña*. Manual de Técnico No. 8. Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), Ciudad de Panamá, PAN. 21 p.
- Grimshaw, G. R. y Helfer, L. (1995). *Vetiver grass for soil and water conservation, land rehabilitation, and embankment stabilization: a collection of papers and newsletters compiled by Vetiver Network (English)*. World Bank technical paper; no. WTP 273 Washington, D.C.: World Bank Group. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/378301468739764572/pdf/multi-page.pdf>
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA), San José, Costa Rica. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo. (2018). Exportación de mercaderías importantes de la República, por cantidad y valor: años 2014 -17. Contraloría General de la República, Ciudad de Panamá, PAN. https://www.contraloria.gob.pa/INEC/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=45&ID_PUBLICACION=699&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=17.
- Johnson, A. I. (1991). *A Field Method for Measurement of Infiltration*. U.S. Department of Interior. Geological Survey Water-Supply 1544-F. <https://pubs.usgs.gov/wsp/1544f/report.pdf>
- Kemper, W., y Rosenau, R. (1986). *Aggregate stability and size distribution*. In A. Klute, G.S. Campbell, R.D. Jacson, M.M. Mortland, and D.R. Nielsen. *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph. No. 9 (2nd Edition)*. American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/732/3/585.pdf>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Kervroëdan, L., Armand, R., Saunier, M., Ouvry, J. F. y Faucon, M. P. (2018). Plant functional trait effects on runoff to design herbaceous hedges for soil erosion control. *Ecological Engineering*, 118, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.04.024>
- Kostiakov, A. N. (1932). The Dynamics of the Coefficient of Water Percolation in Soils and the Necessity for Studying It from a Dynamic Point of View for Purpose of Amelioration. *Society of Soil Science*, 14,17-21.
- Lal, R. (1994). Soil erosion research methods. 2nd ed. International Society of Soil Science Subcommission of Soil Conservation and Environment. Soil and Water Conservation Society, St. Lucie Press, p. 352. <https://doi.org/10.1201/9780203739358>
- Lal, R. (1993). Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability. *Soil and Tillage Research*, 27,1-8. [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(93\)90059-X](https://doi.org/10.1016/0167-1987(93)90059-X)
- Lal, R. (2001). Soil Degradation by erosion. *Land Degradation and Development*, 12,519-539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Mejía, G., J. I. (2018). Evaluación de la pérdida de suelo y nutrientes por erosión hídrica en el cultivo de piña en La Chorrera, Panamá Oeste. [Tesis de maestría, Universidad de Panamá]. Repositorio institucional digital de la Universidad de Panamá. http://up-rid.up.ac.pa/1419/1/jose_mejia.pdf
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario. (2017). Serie histórica de producción y exportación de Piña MD-2 (20016-2017). Dirección Nacional de Agricultura. <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2021/08/2016-2017-CIERRE.pdf>
- Morales, C. (2012). *Los costos de la inacción ante la desertificación y degradación de las tierras en escenarios alternativos de cambio climático*. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4009/1/S2012077_es.pdf



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation*. 3rd ed. Blackwell Science, Bodmin Cornwall. https://svgaos.nl/wp-content/uploads/2017/02/Morgan_2005_Soil_Erosion_and_Conservation.pdf
- Musgrave, G. W. (1935). The Infiltration capacity of soils in relation to the control of surface runoff and erosion. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, 27(5), 336-345. <https://doi.org/10.2134/agronj1935.00021962002700050003x>
- Mutchler, C. K., Murphree, C. E., y McGregor, K. C. (1994). *Chapter 2: Laboratory and field plots for erosion research*. In R. Lal, editor, *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society. <https://doi.org/10.1201/9780203739358>
- Putthacharoen, S., Howeler, R. H., Jantawat, S. y Vichukit, V. (1998). Nutrient uptake and soil erosion losses in cassava and six other crops in a Psamment in eastern Thailand. *Field Crops Research*, 57(1), 113-126. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00119-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00119-6)
- Reynolds, W. D., Elrick, D. E. y Youngs, E. G. (2002). Single-ring and double- or concentric-ring infiltrometers. In: Dane, J., Topp, G.C. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods*. *Soil Science Society of America Book Series*, 5, 821-826.
- Sakuma, T., Toyomitsu, Y., Ogawa, S., Satoh, M., Maita, H., Kimura, M., Vudhivanich, V., Kwanyuen, B., Usaborisut, P. y Kumlungkheng, S. (2002). Soil Erosion in the pineapple fields in Ban Kha-Subdistrict. In *Workshop on Watershed Degradation and Restoration of Lam Phachi River Basin, Bangkok, Thailand*. https://tsukuba.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=144&file_id=17&file_no=1
- Soil Survey Staff. (2010). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Trad. C.A. Ortiz-Solorio, M.C. Gutiérrez-Castorena, E.V. Gutiérrez-Castorena. 11 ed. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service, Montecillo, Mexico. https://www.researchgate.net/publication/302946477_Claves_para_la_Taxonomia_de_Suelos_Undecima_edicion_Traduccion



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Soil Survey Staff. (2014). Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service (NRCS). <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/SSIR42-v6-pt1.pdf>

Steel, R., Torrie, J. y Dickey, D. (1997). Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd Edition. McGraw Hill, New York, USA.

Sugahara, K., Ohwaki, Y. y Banzai, K. (2001). Erosion Control in Pineapple Fields on the Island of Ishigaki. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 35(2),91-96. <https://doi.org/10.6090/jarq.35.91>

Tosi, J. (1971). Zonas de vida: Una base ecológica para las investigaciones silvícolas e inventariación forestal en la República de Panamá. Informe técnico 2. PNUD-FAO, Roma, ITA. 89 p.

United States Department of Agriculture. (2017). *Soil Survey Manual*. Agriculture Handbook No.18. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/The-Soil-Survey-Manual.pdf>

United States Department of Agriculture National Resources Conservation Service. (2004). Chapter 10: Estimation of direct runoff from storm rainfall. In Part 630: Hydrology: NRCS National Engineering Handbook. <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17752.wba>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)