



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**CAMPUS V**



**Capacidad de infiltración en suelos de uso ganaderos en  
ranchos de la REBISE de los municipios de Cintalapa y Jiquipilas,  
Chiapas.**

**TESIS**

Presentada como requisito parcial para obtener el título de  
**INGENIERO AGRÓNOMO EN GANADERÍA AMBIENTAL**

**Por**

**JUAN DANIEL MONZÓN GONZÁLEZ**

**JOSÉ REYNALDO PÉREZ INDILÍ**

**Director de tesis**

**M.SC. JOSÉ ANTONIO JIMÉNEZ TRUJILLO**

**Villaflores Chiapas. México; agosto 2022.**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, *CAMPUS V.*  
DIRECCIÓN



Villaflores, Chiapas  
22 de agosto de 2022  
Oficio N° D/689/22

**C. JUAN DANIEL MONZÓN GONZÁLEZ**  
PASANTE DE INGENIERO AGRÓNOMO EN GANADERIA AMBIENTAL  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS *CAMPUS V.*  
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado, designado para su evaluación profesional, de la tesis titulada: **“Capacidad de infiltración en suelos de usos ganaderos en ranchos de la REBISE de los municipios de Cintalapa y Jiquipilas, Chiapas”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo con los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE  
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”  
  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
  
AUTÓNOMA  
DIRECCIÓN  
**M. C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA**  
DIRECTOR

C.c.p. Archivo.

CAVS\*marh.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS, CAMPUS V.**  
**DIRECCIÓN**



Villaflores, Chiapas  
22 de agosto de 2022  
Oficio N° D/690/22

**C. JOSÉ REYNALDO PÉREZ INDILÍ**  
PASANTE DE INGENIERO AGRÓNOMO EN GANADERIA AMBIENTAL  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS *CAMPUS V.*  
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado, designado para su evaluación profesional, de la tesis titulada: **“Capacidad de infiltración en suelos de usos ganaderos en ranchos de la REBISE de los municipios de Cintalapa y Jiquipilas, Chiapas”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo con los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**   
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**



**M. C. CARLOS ALBERTO VELÁZQUEZ SANABRIA**  
DIRECTOR

C.c.p. Archivo.

CAVS\*marh.



FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V  
Agroforestería Pecuaria



## PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN GANADERÍA AMBIENTAL

### CUERPO ACADÉMICO DE AGROFORESTERÍA PECUARIA

La presente tesis titulada: **Capacidad de infiltración en suelos de usos ganaderos en ranchos de la REBISE de los municipios de Cintalapa y Jiquipilas, Chiapas**, registrada ante la coordinación de la investigación y Posgrado de la Facultad de Ciencias Agronómicas, fue dirigida por el M.Sc. José Antonio Jiménez Trujillo bajo la Línea de Generación y Aplicación de Conocimiento: Producción Animal, Ambiente e innovación Local, del Cuerpo Académico Agroforestería Pecuaria.



FACULTAD DE CIENCIAS AGRÓNOMICAS CAMPUS V  
Agroforestería Pecuaria



**PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN GANADERÍA AMBIENTAL**  
**CUERPO ACADÉMICO DE AGROFORESTERÍA PECUARIA**

La presente tesis titulada: **Capacidad de infiltración en suelos de usos ganaderos en ranchos de la REBISE de los municipios de Cintalapa y Jiquipilas, Chiapas**, realizada por el C. Juan Daniel Monzón González y el C. José Reynaldo Pérez Indilí, bajo la dirección y la asesoría indicada, ha sido aprobada y aceptada como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN GANADERÍA AMBIENTAL**

**DIRECTOR DE TESIS**

---

M.Sc. JOSÉ ANTONIO JIMÉNEZ TRUJILLO

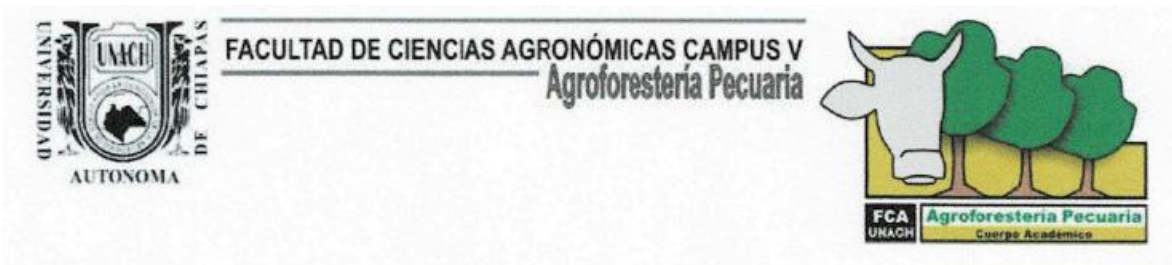
**ASESORES**

---

M.SC. JOSÉ NEY RÍOS RAMÍREZ

---

DRA. MARIELA BEATRIZ REYES SOSA



**PROGRAMA EDUCATIVO DE INGENIERO AGRÓNOMO EN GANADERÍA AMBIENTAL**  
**CUERPO ACADÉMICO DE AGROFORESTERÍA PECUARIA**

La presente tesis titulada: **Capacidad de infiltración en suelos de usos ganaderos en ranchos de la REBISE de los municipios de Cintalapa y Jiquipilas, Chiapas**, realizada por el C. Juan Daniel Monzón González y el C. José Reynaldo Pérez Indilí, bajo la dirección y la asesoría indicada, ha sido aprobada y aceptada como requisito para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN GANADERÍA AMBIENTAL**

**COMISIÓN REVISORA**

---

M.Sc. JOSÉ ANTONIO JIMÉNEZ TRUJILLO

---

M.C. LUIS FERNANDO MOLINA PANIAGUA

---

DRA. MARIELA BEÁTRIZ REYES SOSA

## DEDICATORIA

**A Dios**, fuente de eterna sabiduría, quien por Él todo fue posible.

**A la memoria de mis abuelitos:** Sr. Abigail Moguel Pascacio (Tío Viga)  
y Sra. Flor de América Consuegra Abarca (Tía Chata).

**A mi familia:** a quienes dedicaron todo el esfuerzo, sacrificio y amor para que  
lograra culminar este proyecto que es de ustedes.

*Juan Daniel Monzón González*

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios:** por la oportunidad de vivir esta etapa de mi vida. Por la oportunidad de haber concluido mi formación profesional, y siempre cuidar de mí en todo momento. Y que no existe palabras para agradecer todo lo que ha hecho por mí. **Y a mi Madre Santísima de Guadalupe**, por siempre cuidar de mí, *¡¡Totus tuus Mariae!!*

**A mis abuelitos: Sr. Abigail Moguel Pascacio† y Sra. Flor de América Consuegra Abarca†**, gracias por el gran cariño y aprecio que me tuvieron; y el tiempo que me regalaron, y que siempre quisieron verme ser un profesional. Muchas gracias hasta el cielo. Siempre los llevo presente. ¡¡Esta va por ustedes!!

**A mis papás: Sr. Oscar Alberto Monzón Moguel y Sra. Ma. Candelaria González Cañaverl**, por el gran apoyo que me dieron durante todo mi proceso de formación. Por los sacrificios y esfuerzos que hicieron para apoyarme a culminar mi carrera profesional, y por siempre estar cuando más los necesito ¡¡ahora soy Ingeniero!!

**A mis Hermanitos: Carlos y Fátima**, por el gran cariño y apoyo. Por formar parte importante de este proyecto. Y que esto sea de motivación para que ustedes también logren terminar una carrera. ¡¡Gracias por estar conmigo siempre!!

**A mi gran amigo y Hermano del alma: José Reynaldo Pérez Indilí**, por haber compartido este proyecto juntos, y sobre todo gracias por esta gran amistad que compartimos; por darnos ánimos para salir adelante, y por ese apoyo incondicional que siempre nos tenemos. Gracias por los buenos momentos que compartimos juntos Hermano ¡¡Vamos por más!!

**A mi director de tesis: M.Sc. José Antonio Jiménez Trujillo**, por brindarme su apoyo incondicional en la realización de este proyecto de tesis, por la disponibilidad de tiempo que siempre tuvo hacia mí, gracias por su buena amistad, consejos, exigencias y motivaciones durante este proyecto que me han servido para mi formación profesional. Gracias por seguir ayudando a fortalecer los conocimientos.



**A la Dra. Mariela Beatriz Reyes Sosa**, gracias por su apoyo, tiempo brindado como revisor de tesis, por sus comentarios y consejos constructivos para la mejora del trabajo.

**Al M.C. Luis Fernando Molina Paniagua**, por formar parte de mi formación, el aprendizaje durante la carrera, y también por formar parte del comité revisor de este trabajo.

**Al M.Sc. José Ney Ríos Ramírez**, por su apoyo, y por la capacitación para el trabajo de este proyecto.

**Al Ing. Jorge Alberto Pérez Pérez**, por todo el apoyo y su contribución a este proyecto, gracias por la buena amistad que me has brindado, y por el tiempo que me brindaste para terminar el proyecto.

**A mi *alma mater*, la Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V**, gracias por hacerme parte de esta gran Familia.

**A los profesores de la Facultad de Ciencias Agronómicas Campus V**, que fueron parte de mi formación: por todos sus conocimientos brindados, por sus consejos y apoyo como maestros, por el interés y empeño hacia nosotros.

**Al personal administrativo de esta Facultad**, gracias por todo el apoyo.

**Al cuerpo Académico de Agroforestería Pecuaria**, por formar parte de nuestra formación como IAGA, y la contribución al programa académico de nuestra formación como ingenieros.

**A la familia García Jiménez** por su gran apoyo durante este tiempo, y la bonita amistad que me brindaron. En especial a la **Sra. Guadalupe Jiménez**; gracias tía Lupita, por su gran amistad y todo el apoyo; y al **Ing. Jaime García**, gracias por su apoyo, y las anécdotas que siempre me dejaban un gran mensaje. Gracias por abrirme las puertas de su casa.

**Al Señor Salomón Pérez y la Sra. Francisca Indilí**, gracias por su gran amistad, por abrirme las puertas de su hogar, y por todo el apoyo que me brindaron. ¡¡Muchas Gracias!!

**Al Ing. Manuel Alejandro Vilchis López**, por compartir una gran amistad, el apoyo y compañerismo que nos tuvimos, gracias por formar parte de esta historia, y de darnos ánimos siempre. Y buscar siempre el apoyo mutuo. Muchas gracias mi buen amigo; ¡¡ahí seguimos siempre!!

**Al C.P Edwar de la Cruz**, por su gran amistad de años y los ánimos para seguir adelante. Y siempre estar presente en todo momento. Gracias mi buen amigo.

**A la Lic. Deysi Coutiño**, por la motivación para iniciar este proceso, gracias por tu bonita amistad.

**A Moisés Barrón**, por su gran amistad, y los ánimos que siempre me daba durante todo el proceso. Gracias por todo tu apoyo, viejo amigo.

**A Andrés Camacho y Emanuel Nafate**, por el apoyo y compañerismo que compartimos durante este proyecto en la fase de campo. Y la buena amistad durante la carrera.

**Al Médico José Guadalupe Niño Hernández**, por su apoyo durante el proceso de campo de este proyecto, y por su buena amistad que me brindo durante ese tiempo.

**A la Lic. Aurora Morales Coutiño**, por su bonita amistad y el apoyo por parte de su mamá. Gracias por todo el apoyo.

**A la Mtra. Eugenia Barrientos Niño**, por su amistad brindada, por los buenos consejos, y la paciencia que nos tuvo como nuestra tutora durante toda la carrera.

**Al Dr. Rene Pinto Ruíz**, por ser parte de mi formación, por las enseñanzas que nos brindó como docente durante el proceso, y como coordinador de IAGA,

**A mis compañeros y amigos** que formaron parte de esta formación y buenos momentos: Fernando Guillen, Karla Fernández, Fernando Cruz, Gabriela Ruíz

Ovando, Dania García, Cecilia García, Elsa Reyes, Carlos Samayoa, Mauro Aguilar, Rusbel Velázquez, Karla López y todos aquellos que de una u otra manera estuvieron conmigo. Muchas Gracias.

**Al proyecto IKI** del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (**BMU**) de Alemania.

Al proyecto: Promoviendo la conservación de la biodiversidad a través de prácticas agrosilvopastoriles climáticamente inteligentes en paisajes dominados por la ganadería de tres regiones de México (Mejor conocido como **BioPaSOS**: Biodiversidad de Paisajes Agrosilvopastoriles Sostenibles).

A la Dirección de la **Reserva de la Biosfera La Sepultura**, de la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (**REBISE-CONANP**), por el apoyo brindado. A los productores de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, que me apoyaron y dieron la oportunidad de realizar el estudio en sus ranchos, por su tiempo e información brindada para sustentar el trabajo y su amistad brindada.

*Juan Daniel Monzón González*

## DEDICATORIA

**A Dios** por haberme permitido cumplir una de mis metas, por regalarme salud y rodearme de personas que me quieren y celebran mis triunfos como si fueran de ellos.

**A mis padres Salomón Pérez y Francisca Indilí** por haber sido mi soporte y motivación a lo largo de este proceso, por su apoyo en todo momento, sus consejos y sobre todo su amor incondicional que me daba fuerzas para continuar cuando sentía que ya no podía más.

**A mis hermanas Viviana y Yesica** por ser mi ejemplo a seguir, quienes me enseñaron a no rendirme y salir adelante en los momentos difíciles.

**A mis amigos y familiares** por su apoyo y motivación día a día.

**A Daniel Monzón** porque a pesar de las circunstancias que pasamos logramos terminar juntos este proyecto, aunque durante el camino para lograrlo tuvimos altas y bajas, pero siempre nos apoyamos como los buenos amigos.

*José Reynaldo Pérez Indilí*

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios** por regalarme la vida, la sabiduría y fuerza para poder terminar este proyecto.

**Al Médico José Antonio Jiménez Trujillo** que siempre estuvo con nosotros apoyándonos hasta el final para que todo saliera bien, sus consejos realmente fueron de mucha ayuda para poder terminar este proyecto.

**A la Doctora Mariela Reyes Sosa** por ser parte de mi etapa de formación, por sus consejos y por ser fundamental para poder sacar adelante este proyecto.

**Al Maestro Luis Fernando Molina Paniagua** por haber ayudado a terminar este proyecto, por transmitirnos sus conocimientos y aconsejarnos a lo largo de esta etapa.

**A los profesores de la UNACH** que me ayudaron en mi formación académica, siempre voy a recordar sus consejos y enseñanzas.

**A mis papás Salomón Pérez y Francisca Indilí** por estar en todo momento conmigo, sé que se esforzaron mucho para que yo pudiera terminar esta etapa importante de mi vida, los amo y admiro mucho, realmente les agradezco todo lo que han hecho por mí, por los valores que me han inculcado y por siempre guiarme a ser una persona de bien.

**A mis hermanas Viviana y Yesica** quienes son personas muy importantes para mí, con quienes he compartido lo que va de mi vida y he aprendido mucho de ellas por ser personas inteligentes y de gran corazón.

**A mi abuelo** en paz descanse **Teodoro Indilí** quien quizás no está presente para verme terminar esta etapa, pero si lo estuvo en la primera parte, sé que desde el cielo está muy orgulloso de mí.

**A mi amigo y hermano del alma Daniel Monzón** con quien compartí esta etapa de mi vida y sin duda alguna realmente sabe lo mucho que me esforcé para sacar adelante este proyecto ya que siempre estuvo conmigo apoyándome y animándome.

**A mi amiga Berenice** quien siempre me dio ánimos para no rendirme y estuvo apoyándome en todo momento, especialmente en los más difíciles donde sus palabras de aliento fueron un impulso para poder continuar.

**A mi compa Kevin** que en todo momento estuvo conmigo a pesar de las caídas que hubo en el camino, realmente aprecio su apoyo que nunca me ha faltado y siempre ha sido de las personas que me han ayudado a continuar luchando por mis metas.

**A todos mis amigos y familiares** que siempre me apoyaron y me animaron en los momentos necesarios.

**Al proyecto IKI** del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear (**BMU**) de Alemania.

Al proyecto: Promoviendo la conservación de la biodiversidad a través de prácticas agrosilvopastoriles climáticamente inteligentes en paisajes dominados por la ganadería de tres regiones de México (Mejor conocido como **BioPaSOS**: Biodiversidad de Paisajes Agrosilvopastoriles Sostenibles).

A la Dirección de la **Reserva de la Biosfera La Sepultura**, de la Comisión de Áreas Naturales Protegidas (**REBISE-CONANP**), por el apoyo brindado. A los productores de la Reserva de la Biosfera La Sepultura, que me apoyaron y dieron la oportunidad de realizar el estudio en sus ranchos, por su tiempo e información brindada para sustentar el trabajo y su amistad brindada.

*José Reynaldo Pérez Indilí*

*¡¡Siembra una acción y cosecharas un hábito;  
siembra un hábito y cosecharas un carácter;  
siembra un carácter y cosecharas un destino¡¡*

**William James**

# CONTENIDO

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivos .....</b>	<b>3</b>
1.1.1 General .....	3
1.1.2 Específicos .....	3
1.2 Hipótesis .....	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Sistemas Silvopastoriles.....	4
2.1.1 Árboles dispersos en potreros .....	5
2.1.2 Cercas vivas.....	5
2.1.3 Bancos forrajeros proteicos.....	6
2.1.4 Ciclo hidrológico.....	7
2.1.5 La importancia del ciclo hidrológico en los procesos de infiltración .....	7
2.1.6 Proceso de Infiltración .....	8
2.2 La importancia de la vegetación en los procesos hidrológicos .....	9
2.3 Importancia de la estructura vegetal en los sistemas de producción .....	10
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>12</b>
3.1 Descripción del área de estudio.....	12
3.2 Usos de suelo evaluados .....	13
3.3 Establecimiento de las unidades de muestreo .....	13
3.4 Estimación de la capacidad de infiltración .....	14
3.4.1 Mediciones y cálculos.....	16
3.5 Caracterización vegetal.....	17
3.5.1 Caracterización de la diversidad vegetal de árboles dispersos en potreros.....	17
3.5.1.1 Estimación de cobertura arbórea en árboles dispersos en potreros .....	18
3.5.1.2 Determinación de la estructura vertical .....	19
3.5.2 Caracterización de las cercas vivas .....	19



3.5.3	Caracterización del componente arbóreo en bancos forrajeros proteicos	20
3.5.4	Caracterización de pastura en monocultivo.....	21
3.6	Estimación del índice de valor de importancia (IVI).....	22
3.7	Análisis de la información.....	24
3.8	Análisis de correlación entre el componente vegetal sobre la capacidad de infiltración.....	25
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>26</b>
4.1	Caracterización vegetal de árboles dispersos en potreros.....	26
4.1.1	Estimación del Índice de valor de importancia (IVI) en árboles dispersos en potreros.....	28
4.1.2	Densidad de árboles dispersos en potreros .....	29
4.1.3	Características de los árboles dispersos en potreros del área de estudio.	30
4.2	Caracterización vegetal de las cercas vivas .....	31
4.2.1	Estimación del Índice de Valor de Importancia (IVI) de árboles en cercas vivas	33
4.2.2	Densidad arbórea en cercas vivas .....	34
4.2.3	Características dasométricas de árboles identificados en cercas vivas.	35
4.3	Caracterización vegetal de los bancos forrajeros proteicos.....	36
4.3.1	Densidad arbórea identificados en el uso de bancos forrajeros proteicos.	36
4.3.2	Características dasométricas de los árboles en bancos forrajeros proteicos.....	37
4.4	Caracterización de pastura en monocultivo .....	38
4.4.1	Especies de pastos y maleza encontrados en el uso suelo de pastura en monocultivo.....	41
4.4.2	Altura promedio de pasto y maleza en uso de suelo de pastura en monocultivo.....	42
4.5	Estimación de la capacidad de infiltración en la primera pendiente en los diferentes usos de suelo ganaderos. ....	43

4.6	Estimación de la capacidad de infiltración en la segunda pendiente en los diferentes usos de suelo ganaderos. ....	46
4.7	Estimación de la capacidad de infiltración sin importar el nivel de pendiente en los diferentes usos de suelo ganaderos.....	48
4.8	Estimación del efecto del componente vegetal sobre la capacidad de infiltración de los usos de suelo ganaderos. ....	53
4.8.1	Efecto del número de árboles sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles. ....	53
4.8.2	Efecto de número de especies sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles .....	55
4.8.3	Efecto de la altura de los árboles sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles .....	56
4.8.4	Efecto del DAP de los árboles sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles .....	57
4.8.5	Efecto del porcentaje de oclusión sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles. ....	58
4.8.6	Estimación del efecto del componente vegetal y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles .....	60
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>63</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>65</b>

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1.</b> Ubicación del área de estudio .....	12
<b>Figura 2.</b> Anillos concéntricos para estimar capacidad de infiltración. ....	15
<b>Figura 3.</b> Esquema de la metodología para caracterizar árboles dispersos en potreros (Fuente: elaboración propia). ....	17
<b>Figura 4.</b> Planilla visual de sombra (Fuente: Farfán, 2015).....	18
<b>Figura 5.</b> Esquema de la metodología para caracterizar las cercas vivas (Fuente: elaboración propia). ....	19
<b>Figura 6.</b> Esquema de caracterización de banco forrajero proteico (Fuente: elaboración propia). ....	20
<b>Figura 7.</b> Esquema de la metodología para determinar la cobertura de malezas y pastos (Fuente: elaboración propia). ....	21
<b>Figura 8.</b> Cobertura en pastura en monocultivo en la pendiente de 7-15%.....	40
<b>Figura 9.</b> Cobertura en pastura en monocultivo en la pendiente de 16-25%.....	40
<b>Figura 10.</b> Estimación de la capacidad de infiltración en los usos de suelo ganaderos (Fuente: elaboración propia).....	45
<b>Figura 11.</b> Estimación de la capacidad de infiltración en los usos de suelo ganaderos en la segunda pendiente (Fuente: elaboración propia). ....	48
<b>Figura 12.</b> Estimación de la capacidad de infiltración en los usos de suelo ganaderos. ....	51

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Descripción de los usos de suelo evaluados.....	13
<b>Cuadro 2.</b> Formato para la toma de datos de infiltración (Fuente: elaboración propia).....	16
<b>Cuadro 3.</b> Presencia de especies encontradas en el uso de árboles dispersos en potrero en las dos zonas de estudios .....	27
<b>Cuadro 4.</b> Índice de valor de importancia en árboles dispersos en potreros. ....	28
<b>Cuadro 5.</b> Densidad de árboles dispersos en potrero por hectárea. ....	29
<b>Cuadro 6.</b> Características dasométricas y porcentaje de oclusión de los árboles dispersos en potreros.....	31
<b>Cuadro 7.</b> Presencia de especies encontradas en cercas vivas en la zona de estudio. ....	32
<b>Cuadro 8.</b> Índice de valor de importancia en cercas vivas .....	33
<b>Cuadro 9.</b> Densidad de árboles en cercas vivas en 100 metros lineales. ....	35
<b>Cuadro 10.</b> Características dasométricas y porcentaje de oclusión de los árboles en cercas vivas. ....	35
<b>Cuadro 11.</b> Densidad promedio de árboles en bancos forrajeros proteicos en las dos pendientes de estudios.....	37
<b>Cuadro 12.</b> Promedio de altura total y porcentaje de oclusión en bancos forrajeros proteicos en las dos pendientes de estudios. ....	38
<b>Cuadro 13.</b> Porcentaje de cobertura de pastura en monocultivo en la zona de estudio. ....	39
<b>Cuadro 14.</b> Presencia de especies de pasto encontrados en el uso de pastura monocultivo en las dos pendientes de estudio. ....	41
<b>Cuadro 15.</b> Presencia de especies de maleza encontrados en el uso de suelo de pastura en monocultivo en las dos pendientes de estudio.....	42
<b>Cuadro 16.</b> Promedio de altura de pasto y maleza en el uso de suelo de pastura monocultivo en las dos pendientes de estudio. ....	42

<b>Cuadro 17.</b> Infiltración de agua en diferentes usos de suelo ganaderos en la primera pendiente. ....	43
<b>Cuadro 18.</b> Infiltración de agua en diferentes usos de suelo ganaderos de la segunda pendiente.....	46
<b>Cuadro 19.</b> Infiltración de agua en diferentes usos de suelo ganaderos sin importar nivel de pendiente. ....	49
<b>Cuadro 20.</b> Estimación del análisis de correlación entre el número de árboles y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles. ....	55
<b>Cuadro 21.</b> Estimación del análisis de correlación entre el número de especies y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles. ....	56
<b>Cuadro 22.</b> Estimación del análisis de correlación entre la altura de los árboles y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles. ....	57
<b>Cuadro 23.</b> Estimación del análisis de correlación entre el DAP de los árboles y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles. ....	58
<b>Cuadro 24.</b> Estimación del análisis de correlación entre el porcentaje de oclusión y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles.....	60
<b>Cuadro 25.</b> Estimación del análisis de Correlación entre usos de suelo con presencia de árboles y la capacidad de infiltración en usos silvopastoriles. ....	62

## RESUMEN

La ganadería tradicional o convencional es considerada como una actividad que requiere de muchos recursos hídricos para su funcionamiento, además, representa una de los principales drivers que determinan el cambio del uso de la tierra. Esta transformación ejerce efectos perjudiciales en la disponibilidad hídrica local, en la fertilidad de los suelos, en la biodiversidad y en el cambio climático, es necesario rediseñar los sistemas ganaderos, en el cual, se siga produciendo proteína de origen animal, pero que sean más amigables con los recursos naturales. Actualmente los sistemas silvopastoriles (SSP) son una opción que ayudan a mitigar los impactos ambientales negativos de los sistemas de producción ganadero tradicional o convencional que se utiliza. Los SSP representan una alternativa de manejo de sistemas ganaderos, tienen la capacidad de mejorar las condiciones a los suelos en zonas de recarga, evitando la degradación del suelo, incrementando la infiltración y la retención de agua.

Ante lo mencionado, el objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar la capacidad de infiltración en diferentes usos de suelo (árboles dispersos en potreros, cercas vivas, y bancos forrajeros proteicos, *versus* pastura en monocultivo) en ranchos ganaderos de la REBISE; para lo cual se realizó la caracterización del componente vegetal en los diferentes usos ganaderos, estimando la abundancia y diversidad de especies arbóreas presentes; se estimó la capacidad de infiltración en los diferentes usos de suelo, utilizando un juego de anillos concéntricos en el que se midió el descenso de la lámina del agua hasta alcanzar las dos horas estimadas, con dos pendientes de estudios de 7-15% y 16-25%, y cuatro repeticiones por cada uso evaluado. Y de esta manera conocer el efecto del componente vegetal sobre la infiltración. Los resultados muestran que la implementación de SSP contribuyen a incrementar la infiltración del agua en los suelos, ya que la presencia arbórea a través de su sistema radicular representa un factor que ayuda en la infiltración. Asimismo, se encontró que estos usos de suelo, sin un manejo adecuado pueden presentar valores similares a los de pastura en monocultivo, principalmente por la compactación del suelo ocasionada por el sobrepastoreo de los animales.

**Palabras claves:** Infiltración, sistemas silvopastoriles, ganadería, sostenibilidad

## I. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas tienen interrelación e interdependencia con los sistemas bióticos y abióticos que integran su territorio, en ellas se desarrollan actividades ambientales, económicas y sociales; cuyos elementos naturales principales y básicos, como el agua, el suelo, la vegetación y el clima deben ser conocidos con la finalidad de poder entender los diferentes procesos biofísicos que en ella se desarrollan. En este proceso de actividades, el agua cumple un papel muy importante como recurso para entender los impactos y procesos hidrológicos de los cambios que se presentan en los usos de suelo. De esta manera, también se conoce el impacto económico en el entorno social en que se desarrollan. Los sistemas ganaderos forman parte de las actividades abióticas de impacto ambiental, económico y social que interactúa con las cuencas y la gestión integral del agua.

La ganadería a nivel mundial representa el 40% del producto interno bruto agrícola (PIBA), empleando 1.3 millones de personas, y crea medios de subsistencia para mil millones de personas de escasos recursos; los productos ganaderos aportan un tercio de la proteína ingerida por la población humana. Un fenómeno característico es que las poblaciones con ingresos crecientes demandan muchos productos pecuarios; por ello, se considera que la producción mundial de carne y leche será más del doble desde el período 1999-2001 al 2050, con la premisa de mayor volumen y menos impacto ambiental. En México, la ganadería bovina se ha convertido en una de las principales actividades del sector agropecuario, ya que contribuye a la oferta de productos cárnicos, ya que participa en la balanza comercial de México (BioPaSOS, 2019). Además, el sector ganadero representa una de las principales fuerzas que determinan el cambio del uso de la tierra. Esta transformación ejerce efectos perjudiciales en la disponibilidad hídrica local, en la fertilidad de los suelos, en la biodiversidad y en el cambio climático. Es más, el 20 % de los pastizales del mundo están degradados; esta tendencia cada vez más va en aumento, y esto

principalmente responde al crecimiento de la densidad animal por unidad de superficie (FAO, 2013).

Las actividades agropecuarias, representan una de las actividades económicamente más importantes para el estado de Chiapas; principalmente la explotación bovina ha sido muy atractiva para muchos productores. La producción de doble propósito y engorda, se ha convertido en una estrategia de sobrevivencia para muchas familias campesinas; representa seguridad de disposición de dinero efectivo cuando hay extrema necesidad económica, además juega un papel muy importante para la capitalización y en la cultura de muchos productores y ejidatarios, que es su mayoría son pequeños productores y la gran mayoría de ellos se dedican a estas actividades (CONAFOR, 2010). Actualmente los sistemas silvopastoriles son una opción que nos ayudan a mitigar los impactos ambientales negativos de los sistemas de producción ganadero tradicional o convencional que se utiliza en el estado.

La evaluación de los parámetros hidrológicos en los sistemas silvopastoriles y en los sistemas tradicionales o convencionales es de mucha importancia y son relevantes al conocer el impacto que tienen en la conservación de sistemas hidrográficos, y el medio ambiente.

El uso de los sistemas silvopastoriles representa una alternativa de manejo de sistemas ganaderos, ya que tienen la capacidad de brindar mejores condiciones a los suelos en zonas de recarga y por consiguiente influenciar en los caudales de nacientes y quebradas; esto se debe a que la presencia de árboles afecta la dinámica del agua de varias formas: actuando como barreras, las cuales controlan la escorrentía; como cobertura, la cual reduce el impacto de las gotas de lluvia, evitando a la degradación del suelo, incrementando la infiltración y la retención de agua (Ríos, 2006)



## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 General

Evaluar la capacidad de infiltración en diferentes usos de suelo (árboles dispersos en potreros, cercas vivas, y bancos forrajeros proteicos, *versus* pastura en monocultivo) en ranchos ganaderos de la Reserva de la Biosfera de La Sepultura.

### 1.1.2 Específicos

- a) Caracterizar el componente vegetal en los diferentes usos ganaderos (árboles dispersos en potreros, cercas vivas, bancos forrajeros proteicos *versus* pastura en monocultivo) en ranchos ganaderos de la Reserva de la Biosfera de La Sepultura.
- b) Estimar la capacidad de infiltración en diferentes usos de suelo (árboles dispersos en potreros, cercas vivas, bancos forrajeros proteicos, y pastura en monocultivo) en ranchos ganaderos en la Reserva de la Biosfera La Sepultura.
- c) Estimar el efecto del componente vegetal sobre la capacidad de infiltración de los usos de suelo ganaderos (árboles dispersos en potreros, cercas vivas, bancos forrajeros proteicos *versus* pastura en monocultivo) en ranchos ganaderos de la Reserva de la Biosfera de la Sepultura.

## 1.2 Hipótesis

La presencia de árboles en suelos ganaderos contribuye a mejorar la capacidad infiltración de agua debido a la densidad arbóreas presentes en los sistemas ganaderos silvopastoriles, comparado con los sistemas de pastura en monocultivo, lo cual tienen menor capacidad de infiltración.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Sistemas Silvopastoriles

De acuerdo a Pezo e Ibrahim (1998), se indica que los sistemas silvopastoriles (SSP) son una opción de producción pecuaria, en el cual se involucra la presencia de leñosas perennes (árboles y arbustos), que bajo un sistema de manejo integral interactúan con los componentes tradicionales (forrajeras herbáceas y animales).

Los SSP representan una alternativa para la restauración, mantenimiento y sostenibilidad de los recursos naturales en los paisajes ganaderos. Estos sistemas ofrecen beneficios tanto socioeconómicos como ecológicos que son evidenciados por diversos estudios científicos y experiencias exitosas de muchos productores dedicados a la producción de la ganadería (Ibrahim *et al.*, 2006). De acuerdo con Ospina (2011), se indica que la implementación y el buen manejo de los sistemas silvopastoriles permite mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

Musálem (2003), menciona que los SSP se han practicado a diferentes niveles de producción, desde grandes plantaciones arbóreas de manejos comerciales con inclusiones de ganado como complemento a la agricultura sustentable.

Los SSP han sido promocionados por su desarrollo mediante el manejo de tecnologías que han involucrado el progreso de los sistemas de producción ganaderos, promocionando al mismo tiempo beneficios medioambientales por medio de técnicas y estrategias que son empleadas en muchas de las diferentes actividades agropecuarias en las que se aprecian los árboles y/o arbustos como componentes esenciales para la explotación animal, tomando en cuenta que estos ayudan a aumentar el rendimiento y la calidad de los pastos en los potreros, contribuyen con el medio ambiente reduciendo las emisiones de gases efecto invernadero (GEI); esto a su vez, interceden conservando la biodiversidad, amparando las cuencas hidrográficas, enriqueciendo y mejorando las propiedades biológicas y fisicoquímicas de los suelos ganaderos (Arciniegas y Flórez, 2018).

### **2.1.1 Árboles dispersos en potreros**

El sistema de árboles dispersos en potreros, es una de las prácticas que más han sido extendida por los productores de ganado bovino con una amplia distribución y composición de diferentes especies arbóreas; esto consiste en dejar crecer o sembrar dispersamente árboles distribuidos al azar en áreas de pastoreo o potreros (Gordillo, 2019).

De acuerdo a Jiménez y Sepúlveda (2015), se menciona que el uso de árboles dispersos en potreros es uno de los sistemas que tradicionalmente han sido utilizados por los productores ganaderos; aunque de esto, se sabía poco de los beneficios que pueden brindar a la producción animal. Sencillamente, los ganaderos dejan crecer árboles o los arbustos que nacen de la regeneración natural en los potreros; estos árboles son distribuidos de manera dispersa o sin ningún arreglo en las áreas ganaderas. En los esquemas tradicionales, los productores ganaderos muy pocas veces siembran árboles en sus potreros.

De esta manera Lara (2019), menciona que estos árboles y los arbustos son retenidos en los potreros por los ganaderos, cumpliendo diversas funciones tanto para el productor, como para el medio ambiente; ya que ofrecen sombra, madera o leña, y forrajes proteicos; favoreciendo el hábitat de ciertas especies, y mejorando la conectividad que existe entre paisajes arbolados.

### **2.1.2 Cercas vivas**

De acuerdo a Chavarría (2010), se denomina cercas vivas al cultivo de árboles o arbustos en los perímetros o linderos de los potreros o las parcelas, también en las fincas y caminos. Principalmente el objetivo de las cercas vivas es delimitar las propiedades o áreas de trabajo, impidiendo el paso de los animales e incluso el acceso de las personas; por lo general siempre están complementadas con el uso de alambres de púas. La finalidad de implementar cercas vivas es la de delimitar la propiedad de la finca o marcar las divisiones que separan los diferentes usos de la

tierra como las áreas destinadas a las actividades agrícolas y pecuarias, como la división de potreros, y las áreas conservadas, como los bosques en una propiedad. Las cercas vivas están constituidas principalmente por especies leñosas, o por la combinación de leñosas con postes muertos (Casasola y Villanueva, 2015).

Dentro del uso de cercas vivas, existen dos tipos: las cercas simples y multiestratos. Las cercas simples son las que se emplea una o dos especies dominantes; comparadas con las cercas multiestratos: tienen más de dos especies de diferentes usos y alturas; las cuales pueden llegar a usarse como madera o leña, forraje proteico, entre otros usos (Gordillo, 2019).

### **2.1.3 Bancos forrajeros proteicos**

Vargas (2019), menciona que los bancos de proteína o bancos forrajeros proteicos son áreas sembradas con alta densidad de plantas leñosas; generalmente leguminosas, que suplementan proteína al consumo de pastos y/o forrajes durante todo el año, pero especialmente en épocas de escasez. Es deseable que el follaje comestible de la especie leñosa sembrada, ya sea leguminosa o no, tenga por arriba del 15% de proteína y 60% de digestibilidad de la materia seca.

Los bancos forrajeros proteicos o bancos de proteína son un espacio del predio o parcela del rancho, en el cual se siembran árboles, arbustos o pastos de corte, en gran número (altas densidades de 10,000 a 40,000 plantas por hectárea), produciendo alimento con alto contenido proteico, energético o ambos, que estratégicamente podrá ser utilizado como un buen suplemento para el ganado bovino en momentos críticos, principalmente en la época de seca, donde se tiene menor cantidad de forrajes (Riveros, 2020).

Los bancos forrajeros de leñosas perennes se prefieren el uso de especies capases de persistir bajo un manejo de podas o defoliaciones constantes e intensas; estas especies deben mostrar una alta tasa de rebrote, presentando una buena porción de hojas y con una buena calidad nutritiva aceptable. La buena calidad

nutritiva se manifiesta no solo en un alto contenido de nitrógeno o energía digerible, sino que también en una buena apetecibilidad o palatabilidad para el ganado (Pezo e Ibrahim,1998).

#### **2.1.4 Ciclo hidrológico**

El movimiento del agua sobre la Tierra es uno de los ciclos más importantes de la naturaleza (Erickson, 1994). De acuerdo con Ordoñez (2011), el ciclo hidrológico es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: la evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de las nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y la reevaporación. Este ciclo involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente; este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); y la segunda, se debe a que la gravedad terrestre que hace que el agua condensada descienda en forma de precipitación y escurrimiento.

#### **2.1.5 La importancia del ciclo hidrológico en los procesos de infiltración**

El agua es un elemento esencial para la subsistencia y desarrollo de los seres humanos, las sociedades y de todas las formas de vida que habitan en nuestro planeta, los cuales forma parte del ambiente y de los territorios (Barranco, 2018). La cantidad de agua que es almacenada en el suelo es importante en los sistemas de producción agropecuarios, teniendo una influencia directa en el incremento de la evapotranspiración, de la recarga del agua subterránea y la generación del escurrimiento (Jiménez, 2010).

El tema de la importancia del agua subterránea radica en ser una de las principales fuentes de agua para el abastecimiento del consumo humano; además

posee el papel ecológico fundamental del equilibrio de todos los ecosistemas, y en la subsistencia de todos los seres vivos que habitan la Tierra (Barranco, 2018).

Por esta razón, de acuerdo con la FAO (2015), los suelos funcionales desempeñan un papel clave en el abastecimiento de agua limpia y en la resiliencia ante las inundaciones y sequías. La infiltración de agua a través del suelo atrapa los contaminantes e impide que estos se filtren en el agua freática; el suelo captura y almacena agua, poniéndola a disposición de los cultivos para su absorción; reduciendo así, al mínimo la superficie de evaporación y maximiza la eficacia y productividad en el uso del agua.

Los cambios en los usos de los suelos afectan muchas veces de forma intensa a las aguas superficiales y subterráneas. Principalmente el talado de bosques y selvas afectan gravemente a la escorrentía e infiltración; pero sin duda alguna la actividad que más influye en los procesos hidrológicos es la agricultura, tanto en la ganadería y especialmente en la producción agrícola por medio de riegos (Sahuquillo, 2009). De esta manera durante la precipitación, el agua proveniente de la lluvia es infiltrada en el suelo a una velocidad máxima que depende principalmente de las características del suelo y de su saturación (Zapata y Manzano, 2008).

### **2.1.6 Proceso de Infiltración**

Dentro del ciclo hidrológico, el proceso más complejo en tiempo y espacio es el proceso de infiltración del agua a través del suelo. Proceso que se define como el paso que realiza el agua de lluvia a través de la superficie del suelo (Velásquez *et al.*, 2014). De acuerdo a Ríos (2006), nos dice que la infiltración es la entrada vertical del agua en perfil del suelo, cuando este no está saturado.

La infiltración del agua en el suelo ocurre gradualmente desde la superficie, teniendo dirección vertical hacia abajo. El agua entra uniformemente a través de toda la superficie cuando el suelo está inundado o mediante la precipitación (Soza *et al.*, 2018).

Velásquez *et al.*, (2014), mencionan que la capacidad de infiltración es la cantidad de agua que es absorbida por el suelo por unidad de tiempo; esto quiere decir que es el flujo que el perfil del suelo puede absorber a través de la superficie, cuando es mantenido en contacto con el agua a presión atmosférica; bajo esta condición el proceso de infiltración del agua es controlado por la fuerza capilar en la matriz del suelo.

La capacidad de infiltración del agua a través del suelo representa el flujo de agua que se penetra al perfil a través de la superficie cuando ingresa agua en la interfase de suelo atmósfera a la presión atmosférica (Soza *et al*, 2018).

## **2.2 La importancia de la vegetación en los procesos hidrológicos**

Cuando nos referimos al estudio de la interceptación del agua de la lluvia por el dosel de la vegetación, se entiende la gran importancia en el balance hídrico de las cuencas, ya que gran parte del agua retorna a la atmósfera a través de la evaporación (Luna *et al.*, 2010).

La presencia de la vegetación modifica la infiltración del agua de varias maneras, una de ellas es interceptando parcialmente el agua de lluvia, junto con el escurrimiento desde el dosel vegetal, modificando la intensidad y el diámetro de las gotas de lluvia que caen al suelo. A través de este proceso, reduce la intensidad de la lluvia y aumenta el diámetro de las gotas que caen al suelo, permitiendo así una mayor porción de agua infiltrada en el suelo (Zapata y Manzano, 2008).

La vegetación representa un factor muy importante en los procesos hidrológicos, ya que actúa como un regulador, interceptando las precipitaciones, capaz de variar el flujo y la distribución bajo el área de su cobertura (Luna *et al.*, 2010).

La presencia de la vegetación afecta la cantidad del agua que puede ser almacenada en el suelo, principalmente por medio de la influencia que la materia

orgánica (M.O), tiene sobre la capacidad de almacenar partículas y la profundidad del suelo (Ríos, 2006).

La cubierta vegetal tiene la capacidad de generar mayor infiltración, cuando a través del dosel reduce la intensidad de la lluvia, aumentando el diámetro de las gotas de agua, permitiendo mayor proporción de agua infiltrada. A pesar de su mayor diámetro, las gotas presentan una menor cantidad de energía cinética al impactar desde menor altura, produciendo una menor alteración superficial del suelo, manteniendo altos valores de la permeabilidad, pero esto no se mantendría si el suelo recibiera el impacto de las gotas de lluvia con toda su energía inicial que presenta (Zapata y Manzano, 2008).

### **2.3 Importancia de la estructura vegetal en los sistemas de producción**

La presencia de la vegetación o su ausencia, afecta el contenido de la humedad presente en el suelo, así también se ve afectado la escorrentía superficial y la cantidad del agua precipitada que alcanza el nivel del suelo (Zapata y Manzano, 2008).

La composición botánica, representa un indicador que influye en la producción de los sistemas silvopastoriles; esto a través de su evolución en el tiempo se ha relacionado con algunos principios de la explotación de este sistema, principalmente en la adecuada selección de especies arbóreas, el control de la sombra, manejo de cargas animal, el buen manejo de los recursos naturales y las disponibilidades que presentan estos sistemas de producción (Alonso, 2011).

Las principales características de la estructura vegetal, tales como la edad de los árboles, la orientación y forma de sus hojas, el ángulo de las ramas y las características de la corteza, manifiestan una correlación directa con los diferentes flujos en los que se distribuye el agua con respecto a las precipitaciones (Zapata y Manzano, 2008). De esta manera los árboles y arbustos contribuyen a la captación de agua de lluvia por el suelo, y son importantes para mantener las reservas en los



mantos freáticos; las características de los árboles para infiltrar el agua en el suelo se relacionan con la capacidad de reducir inundaciones cuando se producen precipitaciones copiosas en el corto periodo de tiempo (Fundación Gondwana, 2012). Los árboles y arbustos modifican las propiedades del suelo, la variación inducida es continua, entre los árboles y arbustos son alterados; indicando que el agua de la lluvia es interceptada por la presencia vegetal, y esto también depende de la intensidad y duración de las precipitaciones (Zapata y Manzano, 2008).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

Esta investigación se realizó en ranchos ganaderos de Cintalapa y Jiquipilas, municipios que conforman la Reserva de la Biosfera de La Sepultura (REBISE), perteneciente al estado de Chiapas. La REBISE, se localiza en la región suroeste de Chiapas, en la parte noroeste de la Sierra Madre. Limitando al norte y noreste con la Depresión Central del estado, al este con cumbres de la Sierra Madre, continuando hacia el Soconusco, al sur con la Planicie Costera del Pacífico de Chiapas y al lado oeste con las estribaciones de la misma Sierra Madre en su continuación hacia Oaxaca. La REBISE comprende parte de los municipios de Arriaga, Cintalapa, Jiquipilas, Tonalá, Villaflores y Villa Corzo, Chiapas; teniendo una superficie total de 167,309-86-25 hectáreas (ha), de estas 13,759-21-25 corresponden a cinco zonas núcleo discontinuas (Ruíz, 2010).

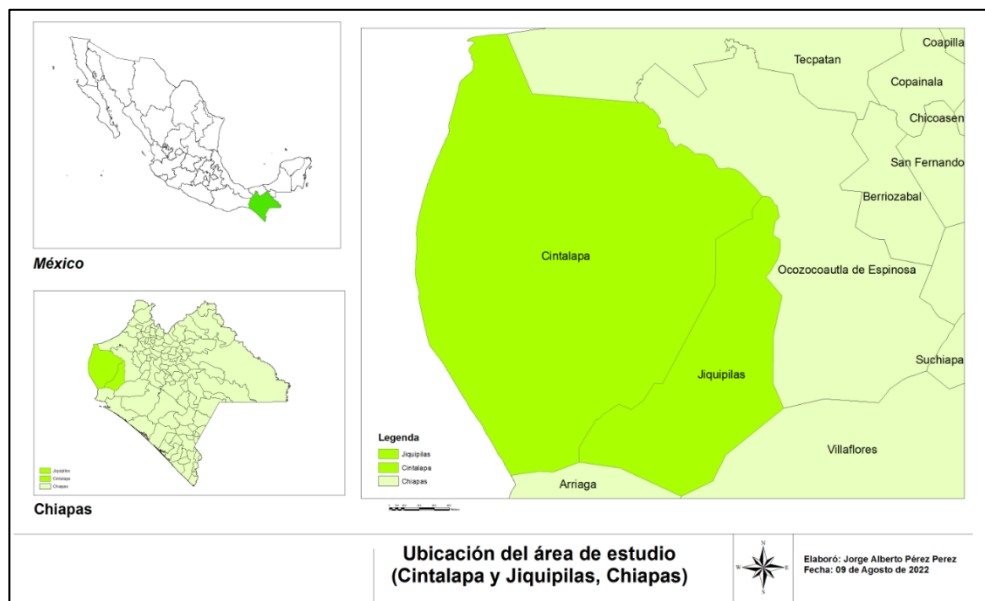


Figura 1. Ubicación del área de estudio

### 3.2 Usos de suelo evaluados

Con la finalidad de conocer la capacidad de infiltración en los paisajes ganaderos, y de acuerdo a lo reportado por Lara (2019), Trinidad (2020) y otros autores, se identificaron que los usos de suelo más representativos en ranchos ganaderos de la REBISE son: 1) árboles dispersos en potreros (ADP), 2) cercas vivas (CV), 3) bancos forrajeros proteicos (BFP) y 4) pastura en monocultivo (PM).

**Cuadro 1.** Descripción de los usos de suelo evaluados.

Uso de suelo	1er. % de pendiente	Repetición en cada pendiente por uso suelo	2do. % de pendiente	Repetición en cada pendiente por uso de suelo
ADP	7-15 %	4	16-25%	4
CV	7-15 %	4	16-25%	4
BFP	7-15 %	4	16-25%	4
PM	7-15 %	4	16-25%	4

### 3.3 Establecimiento de las unidades de muestreo

Los ranchos seleccionados se delimitaron mediante una imagen satelital, siendo corroborada en campo mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), y con la ayuda del productor o encargado del rancho se dibujó el predio o rancho, especificando el área actual de la ganadería, especificando los usos de suelo: árboles dispersos en poteros, cercas vivas, bancos forrajeros proteicos, y pastura en monocultivo.

### **3.4 Estimación de la capacidad de infiltración**

La infiltración se midió con un infiltrómetro de doble anillos (anillos concéntricos), controlando el volumen inicial, añadiendo y midiendo el descenso de la lámina de agua en función del tiempo hasta que se agotaba o hasta que la velocidad de infiltración sea sensiblemente constante (Zapata y Manzano, 2008).

Se instalaron dos anillos metálicos (o cilindros): un anillo interno de 30 cm de diámetro y 30 cm de altura y uno anillo externo de 50 cm de diámetro con una altura de 20 cm. El anillo externo se introdujo 5 cm en el suelo y el interno 10 cm, llenando con agua el anillo externo a una altura constante de 5 cm. Las mediciones se realizaron con ayuda de una regla graduada, midiendo a intervalos de 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos (Ríos, 2006).

Se colocó una franela sobre la superficie interna del suelo, esto para proteger la superficie del suelo durante la aplicación del agua para que no se compactará. El nivel de agua del anillo externo, se mantuvo a una altura constante de 5 cm; y el nivel del anillo interno se mantuvo una altura mínima de 7.5 cm.

Las pruebas de infiltración, se realizaron en los siguientes usos de suelo: arboles dispersos en potreros, cercas vivas, bancos forrajeros proteicos, y pastura en monocultivo; con dos niveles de pendiente que van de 7 a 15% y 16 a 25% en cada parcela, con la finalidad de obtener un dato representativo de cada uno de los sistemas o usos estudiados.



**Figura 2.** Anillos concéntricos para estimar capacidad de infiltración.

Se realizaron cuatro muestras, donde se utilizaron por cada una: tres juegos de anillos; se colocaron a diez metros de distancia aproximadamente cada anillo. Antes de instalar los anillos se localizaron los puntos con nivel de pendiente de 7 a 15 % y de 16 a 25 %. Para determinar la pendiente se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Pendiente} = \frac{H}{X} \times 100$$

Dónde:

*H*: representa la altura que se tomó, al sacar el nivel de pendiente.

*X*: representa la regla de 1.5 m.

Al final se multiplica por 100 (tomando en cuenta que está a nivel) y el resultado obtenido, es el nivel de pendiente del porcentaje establecido.

Posteriormente se localizaron las coordenadas con la ayuda de un GPS, con unidades geométricas en grados, minutos y segundos (ej. W 0.93.59651° y N 16.25417°).

### 3.4.1 Mediciones y cálculos

Para realizar el cálculo de la infiltración fue necesaria la obtención de mediciones básicas; estas mediciones se realizaron en los usos de suelo con la ayuda de una tabla de registro.

**Cuadro 2.** Formato para la toma de datos de infiltración (Fuente: elaboración propia).

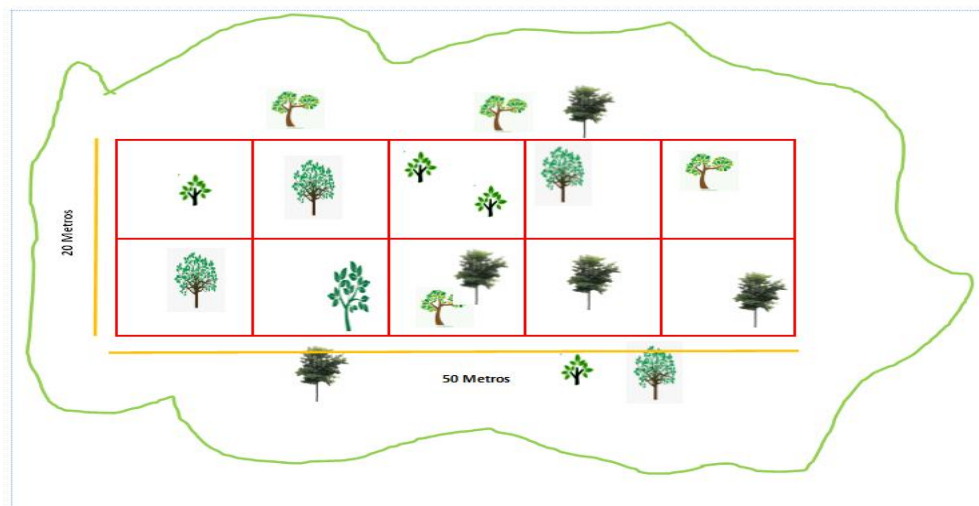
Lugar de la prueba _____		Fecha ____ / ____ / ____		Hora de prueba _____	
Sitio exacto de prueba _____		W _____		N _____	
		X		Y	
Nivel de pendiente _____ %		Textura de Suelo _____			
Uso de suelo _____				Luz _____ cm	
Rellenado	Tiempo de medición (minutos)	Lectura (cm)	Rellenado (minuto)	Lectura de relleno (cm)	
	1 minuto				
	2				
	3				
	4				
	5				
	10				
	20				
	30				
	45				
	60				
	90				
	120				

### 3.5 Caracterización vegetal

La estimación de la cobertura vegetal en los usos de suelo silvopastoriles se realizó mediante la estimación de la abundancia y diversidad de especies arbóreas; y de la cobertura de maleza y pasto en el uso de suelo de pastura en monocultivo.

#### 3.5.1 Caracterización de la diversidad vegetal de árboles dispersos en potreros

Para la caracterización de la diversidad vegetal de árboles dispersos en potreros, se realizó mediante la metodología recomendada por Ríos (2006), en la cual se trazó una parcela de 50 metros de largo por 20 metros de ancho en el área de estudio (Figura 2). Para esta caracterización, se estimó la diversidad de especies arbóreas, considerando todas las especies que se identificaron (en principio por sus nombres comunes) dentro de la parcela, y solo se consideraron los árboles que tuvieron un DAP (diámetro altura del pecho) mayor a 5 cm.

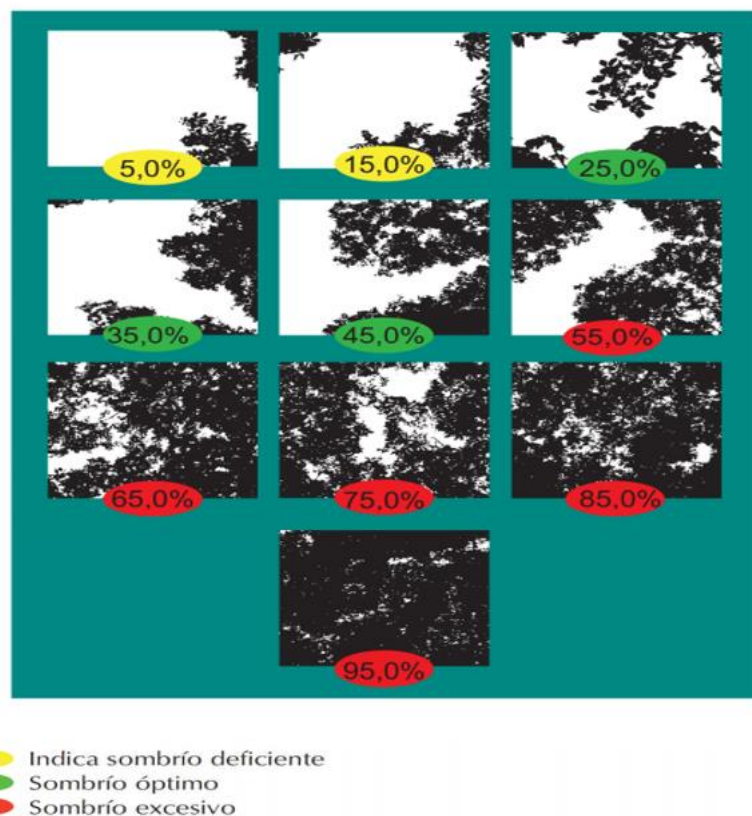


**Figura 3.** Esquema de la metodología para caracterizar árboles dispersos en potreros (Fuente: elaboración propia).

### 3.5.1.1 Estimación de cobertura arbórea en árboles dispersos en potreros

Para la estimación de cobertura arbórea, en cada subparcela se estimó el porcentaje de oclusión o sombra, la cual se realizó mediante fotografías del dosel, comparando con la planilla visual de sombra el porcentaje correspondiente (Figura. 3), el cual se tomaron cinco observaciones por cada subparcela, teniendo un total de 50 observaciones en cada parcela.

Para la evaluación de porcentaje de oclusión o sombra se utilizó la metodología utilizada por Farfán (2015), la cual se realizó mediante fotografías del dosel, comparando con la planilla visual y se ubicó el porcentaje de cobertura correspondiente, para lo cual, se apoyó de la siguiente plantilla:



**Figura 4.** Planilla visual de sombra (Fuente: Farfán, 2015)

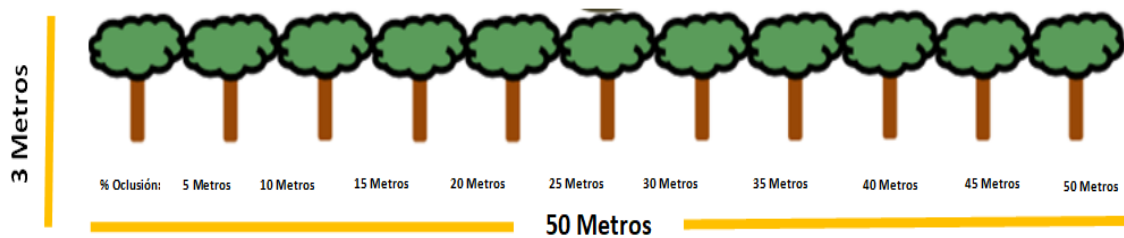


### 3.5.1.2 Determinación de la estructura vertical

La estructura vertical se estimó de acuerdo a la metodología de Ríos (2016), considerando cuatro estratos de altura (de 0 a 2 m, de 2.01 a 9 m, 9.01 a 20 m y mayor a 20 m), es decir en cada subparcela se ubicó toda la vegetación referente a los estratos y se estimó la estructura vertical.

### 3.5.2 Caracterización de las cercas vivas

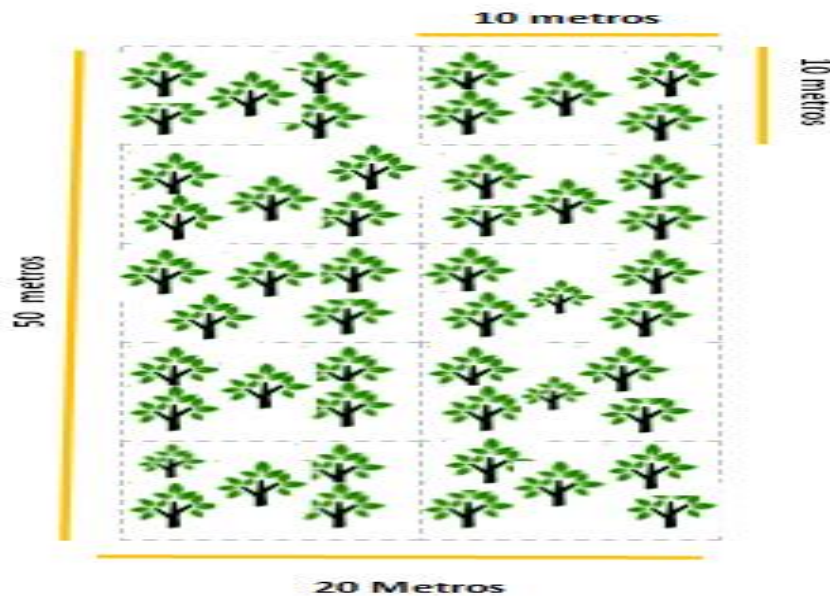
En lo que respecta a la caracterización del componente arbóreo en las cercas vivas se revisaron las metodologías recomendadas por Chavarría (2010) y Cerrud *et al.*, (2004). Estas se ajustaron de acuerdo a las características de los sitios de muestreo en la REBISE. Se ubicaron las parcelas donde había cercas vivas, y se enumeraron las cercas vivas y de manera aleatoria se seleccionó una, en la cual se estableció un transecto de 50 metros lineales. En cada transecto se registró la siguiente información: conteo e identificación de las especies, la altura total, el DAP (diámetro a la altura del pecho), y el porcentaje de oclusión a cada 5 metros del transecto.



**Figura 5.** Esquema de la metodología para caracterizar las cercas vivas (Fuente: elaboración propia).

### 3.5.3 Caracterización del componente arbóreo en bancos forrajeros proteicos

Para conocer la diversidad y características del componente arbóreo en los bancos forrajeros proteicos se ajustó y utilizó la metodología utilizada por Ríos (2006), donde se trazó una parcela de 20 metros de ancho por 50 metros de largo, y posteriormente, se dividieron en subparcelas de 10 por 10 metros y en cada subparcela se estimó el número de árboles, la especie, porcentaje de oclusión y la altura total de los árboles. En caso que el tamaño del banco forrajero proteico no fuera suficiente para trazar la parcela de 20 por 50 metros, se determinó el tamaño total de la parcela dedicada para bancos forrajeros proteicos y se realizó dicha caracterización, tomando en cuenta el número de árboles.

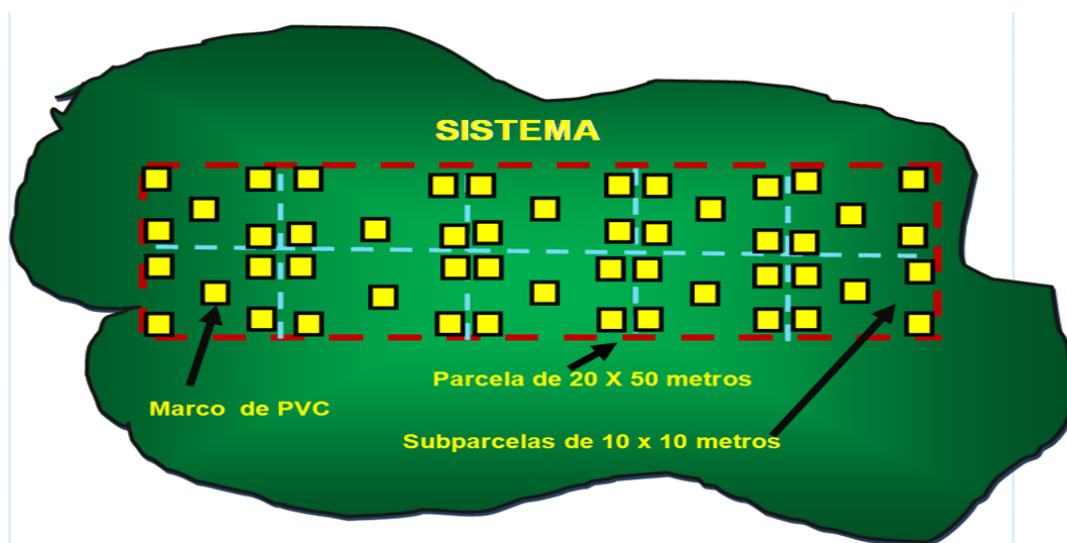


**Figura 6.** Esquema de caracterización de bancos forrajeros proteicos (Fuente: elaboración propia).

### 3.5.4 Caracterización de pastura en monocultivo.

Para la caracterización de pastura en monocultivo se utilizó la metodología de estimación de cobertura de maleza y pasto, recomendada por Ríos (2006), para esto se realizó lo siguiente: se trazó una parcela principal de 20 metros de ancho por 50 metros de largo, y se dividió en subparcelas con dimensiones de 10 por 10 metros. En cada subparcela con ayuda de un cuadrante de PVC de 0.50 por 0.50 metros, y mediante la observación se estimó el porcentaje de cobertura de pasto, maleza, hojarasca y suelo desnudo (suelo sin cobertura herbácea viva).

De la misma manera dentro de cada muestra realizada con el cuadrante se midió la altura del pasto y maleza, y se obtuvo su promedio. De manera que al final se obtuvieron 50 datos referentes al porcentaje de malezas, pastos y suelo desnudo y 10 datos referentes a la altura promedio de los pastos.



**Figura 7.** Esquema de la metodología para determinar la cobertura de malezas y pastos (Fuente: elaboración propia).

### 3.6 Estimación del índice de valor de importancia (IVI)

Para obtener el índice de valor de importancia (IVI), se utilizó la metodología de Trinidad (2020), en el cual el IVI define cuáles de las especies presentes, contribuyen en la estructura y el carácter de un ecosistema. El IVI es útil para comparar la importancia ecológica de las especies y es considerado una característica importante de la vegetación estudiada (Arias *et al.*, 2021).

Para obtener el IVI se estimaron: para los usos de suelo de árboles dispersos en potreros y cercas vivas, tomando en cuenta todas las especies e individuos por uso. Este valor se obtiene mediante la sumatoria de la frecuencia relativa (FRi), la abundancia relativa (ARi) y la dominancia relativa (DRi).

$$IVI = FRi + ARi + DRi$$

Donde:

IVI= Índice de valor de importancia

FRi= Frecuencia relativa

ARi= Abundancia relativa

DRi= Dominancia relativa

- **Frecuencia Relativa (ARi)**

Frecuencia: Es el número de veces que una especie se presenta en los puntos de muestreo (Gordillo, 2019).

$$FRi = \frac{Fa\ sp}{Fa\ spp} \times 100$$

Donde:

Fa sp= Frecuencia absoluta por especie

Fa spp= Frecuencia absoluta de todas las especies

- **Frecuencia Absoluta (Fa)**

$$Fa = \frac{N\ sp}{Nt} \times 100$$

$N\ sp$  = Número de cuadros en los que se presenta cada especie

$Nt$  = Número total de cuadros muestreados

- **Abundancia Relativa (ARi)**

Abundancia: Es el número de individuos por especie que se encuentran en las unidades de muestreo (Gordillo, 2019).

$$ARi = \frac{Aa\ spp}{Aas\ spp} \times 100$$

Donde:

$Aa\ sp$  = Abundancia absoluta por especie

$Aa\ spp$  = Abundancia absoluta de todas las especies

- **Abundancia absoluta (Aa)**

$$Aa = \frac{Ni\ sp}{\text{Área}} \times 100$$

Donde:

$Aa$  = Abundancia absoluta

$Ni\ sp$  = Número de individuos de una especie

Área = Área muestreada

- **Dominancia Relativa (DRi)**

Dominancia: Una especie es dominante cuando esta tiene una gran influencia sobre la composición y forma de la comunidad. Estas son especies de gran éxito ecológico y relativamente abundante dentro de la comunidad (Gordillo, 2019).

$$DRi = \frac{Da\ sp}{Da\ total\ spp} \times 100$$

Donde:

$Da\ sp$ = Dominancia absoluta de la especie

$Da\ total\ spp$ = Dominancia total de las especies

### **Dominancia Absoluta (Da)**

$$Da = \pi \left( \frac{DAP}{2} \right)^2$$

Donde:

$\pi$ =3.1416

$DAP$ = Diámetro a la altura del pecho

### **3.7 Análisis de la información**

Para obtener el análisis estadístico de los datos bajo un esquema de muestreo, se aplicó un análisis de varianza a los datos de infiltración, para los diferentes sistemas (3 muestras por sistema) y para los diferentes niveles de pendientes.

El modelo de análisis utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  es la variable de respuesta,  $\mu$  es la media general.  $S_i$  es el efecto del  $i$ ésimo sistema y  $E_{ij}$  es el término de error aleatorio.

Para conocer el efecto de la pendiente, se realizó un análisis de varianza a los datos de infiltración, para las diferentes pendientes (4 muestras por sistema) y para los diferentes niveles de pendientes.

El modelo de análisis fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + S_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  es la variable de respuesta,  $\mu$  es la media general,  $S_i$  es el efecto del  $i$ ésimo pendiente y  $E_{ij}$  es el término de error aleatorio.

En los casos que los modelos evidenciaron diferencias estadísticas entre sistemas de uso de la tierra, se aplicó una prueba de Tukey para comparar las medias.

### **3.8 Análisis de correlación entre el componente vegetal sobre la capacidad de infiltración.**

Para conocer la relación entre el componente vegetal y la capacidad de infiltración, se realizó un análisis de correlación estadístico de Pearson, para conocer el efecto del componente vegetal sobre la infiltración.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Capítulo 1. Caracterización de la cobertura vegetal en diferentes usos de suelo en ranchos ganaderos.

#### 4.1 Caracterización vegetal de árboles dispersos en potreros

De acuerdo a la caracterización vegetal en el uso de árboles dispersos en potreros se encontraron un total de 67 árboles, estos pertenecen a 16 especies, distribuidos en 10 familias, encontrándose que la familia Fabaceae es la más representativa con 29 árboles.

En lo que respecta a los estratos verticales se encontró que en el estrato de 2.01 a 9 metros se registraron 34 árboles, y 33 árboles en el estrato de 9.01 a 20 metros.

Se registró un promedio de 83.75 árboles dispersos en potreros hectárea<sup>-1</sup>, estos datos son similares a los reportados por Riveros (2020), quien encontró una densidad promedio de 100 árboles hectárea<sup>-1</sup>; pero difieren por lo encontrado por Gordillo (2019), el cual reporto una densidad de 34.5 árboles hectárea<sup>-1</sup>; y Grande y Maldonado (2010), quienes reportaron un promedio de 32 árboles hectárea<sup>-1</sup>. Sin embargo, se encontraron ranchos con una densidad arbórea de 18 a 113 árboles dispersos en potreros hectárea<sup>-1</sup>.

En lo que concierne a las especies arbóreas presentes en las parcelas caracterizadas, se encontraron 67 especies, siendo el cedro (*Cedrela odorata*) la especie con mayor frecuencia, seguido por lombricero (*Andira inermis*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*) e Ixcanal (*Acacia collinsi*); con 12, 9, 8 y 7 árboles respectivamente (cuadro 3).



**Cuadro 3.** Presencia de especies encontradas en el uso de árboles dispersos en potrero en las dos zonas de estudios

No	Nombre común	Nombre científico	Familia	No. de especies encontradas
1	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	<i>Meliaceae</i>	12
2	Lombricero	<i>Andira inermis</i>	<i>Fabaceae</i>	9
3	Guamúchil	<i>Pithecellobium dulce</i>	<i>Mimosácea</i>	8
4	Ixcanal	<i>Acacia collinsi</i>	<i>Fabaceae</i>	7
5	Quebracho	<i>Acacia millenaria</i>	<i>Fabaceae</i>	5
6	Plumajillo	<i>Schizolobium parahyba</i>	<i>Fabaceae</i>	4
7	Totoposte	<i>Licania arborea</i>	<i>Chrysobalanaceae</i>	3
8	Anona	<i>Annona squamosa</i>	<i>Annonaceae</i>	3
9	Ocote	<i>Pinus oocarpa</i>	<i>Pinaceae</i>	3
10	Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	<i>Malvaceae</i>	2
11	Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Fabaceae</i>	2
12	Mango	<i>Mangifera indica</i>	<i>Anacardiaceae</i>	2
13	Amate	<i>Ficus glabrata</i>	<i>Moraceae</i>	2
14	Caoba	<i>Swietenia macrophyllac</i>	<i>Meliaceae</i>	2
15	Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i>	<i>Fabaceae</i>	2
16	Talismecate	<i>Daphnopsis americana</i>	<i>Thymelaeaceae</i>	1
Total				67

#### 4.1.1 Estimación del Índice de valor de importancia (IVI) en árboles dispersos en potreros

El Índice de Valor de Importancia (IVI), muestra las especies que contribuyen en el carácter y estructura de un ecosistema. El siguiente cuadro (cuadro 4) muestra el IVI de las especies arbóreas encontradas en las áreas de estudio, donde el cedro (*Cedrela odorata*) representa 11.09 % del IVI, seguido del caulote (*Guazuma ulmifolia*) con 10.38 % y el amate (*Ficus glabrata*) con 10.31 % y siendo las especies de mango (*Mangifera indica*) y talismecate (*Daphnopsis americana*) las que presentaron el menor Índice de Valor de Importancia (2.58% y 1.77%, respectivamente), estos datos difieren por lo reportado por Trinidad (2020), en el que encontró que en el uso de árboles dispersos en potrero, las especies con mayor IVI fueron ixcanal (*Acacia collinsi*) con 7.89%, encino (*Quercus elliptica*) con 5.40%, caulote (*Guazuma ulmifolia*) con 4.84%, guanacaste blanco (*Albizia niopoides*) con 4.01%, guanacaste (*Enterolobium cyclocarpum*) con 3.91%, quebracho (*Acacia millenaria*) con 3.58%, guachipilín (*Diphysa robinoides*) con 3.51%, hormiguillo (*Platymiscium dimorphandrum*) con 3.37%, mulato (*Bursera simaruba*) con 3.29% y ocote (*Pinus oocarpa*) con 3.22%.

**Cuadro 4.** Índice de valor de importancia en árboles dispersos en potreros.

No	Nombre común	Nombre científico	FRi	Ari	DRi	IVI %
1	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	13.04	17.91	2.33	11.09
2	Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	4.34	2.99	23.82	10.38
3	Amate	<i>Ficus glabrata</i>	4.34	2.99	23.61	10.31
4	Guapinol	<i>Hymenaea courbaril</i>	4.34	2.99	21.17	9.50
5	Ixcanal	<i>Acacia collinsi</i>	13.04	10.44	0.76	8.08
6	Guamúchil	<i>Pithecellobium dulce</i>	6.52	11.94	3.01	7.15
7	Lombricero	<i>Andira inermis</i>	4.34	13.43	3.27	7.01
8	Plumajillo	<i>Schizolobium parahyba</i>	8.69	5.97	5.097	6.58

9	Quebracho	<i>Acacia milleniaria</i>	8.69	7.46	0.62	5.59
10	Caoba	<i>Swietenia macrophyllac</i>	4.34	2.99	6.43	4.59
11	Anona	<i>Annona squamosa</i>	6.52	4.47	2.39	4.46
12	Totoposte	<i>Licania arborea</i>	6.52	4.47	0.05	3.68
13	Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i>	4.34	2.99	3.66	3.66
14	Ocote	<i>Pinus oocarpa</i>	4.34	4.47	1.62	3.48
15	Mango	<i>Mangifera indica</i>	4.34	2.99	0.42	2.58
16	Talismecate	<i>Daphnopsis americana</i>	2.17	1.50	1.66	1.77
		<i>Total</i>	100%	100 %	100%	100%

\*Índice de valor de importancia (IVI), Frecuencia Relativa (FRi), Abundancia Relativa (ARi), Dominancia Relativa (DRi).

#### 4.1.2 Densidad de árboles dispersos en potreros

En lo que respecta a la densidad de árboles dispersos en potreros (Cuadro 5) se encontró que existe una densidad promedio de 83.75 árboles hectárea<sup>-1</sup>, sin importar la pendiente de estudio. Esto difiere con lo reportado por Gordillo (2019), quien encontró una densidad de 34.5 árboles hectárea<sup>-1</sup>; en este estudio el menor registro por individuos por unidad de muestreo fue de un árbol por hectárea y el mayor de 124 árboles hectárea<sup>-1</sup>. De igual manera esto difiere por lo mencionado por Grande y Maldonado (2010), en el cual reportaron una densidad promedio de 32 árboles hectárea<sup>-1</sup>.

**Cuadro 5.** Densidad de árboles dispersos en potrero por hectárea.

Uso de suelo	% de pendiente	Densidad arbórea (hectárea <sup>-1</sup> )
Árboles dispersos en potreros	7- 15 %	92.5 árboles hectarea <sup>-1</sup>
Árboles dispersos en potreros	16- 25 %	75 árboles hectarea <sup>-1</sup>
Promedio		83.75 árboles hectarea <sup>-1</sup>

#### **4.1.3 Características de los árboles dispersos en potreros del área de estudio.**

El Cuadro 6 muestra el promedio del diámetro a la altura del pecho (DAP), la altura total de árboles, y el porcentaje promedio de oclusión tomando en cuenta las dos pendientes de estudios considerando únicamente los árboles que tuvieron un DAP mayor a 5 cm.

Se encontró que el DAP promedio fue de 20.46 cm, lo cual difiere por lo reportado por Betanzos (2019), por Lara (2019) y Marinidou (2009), quienes encontraron un DAP promedio de 27.64 cm, 28 cm y 25 cm respectivamente.

Para el caso de la altura total, no existen diferencias en las dos pendientes de estudio. Para lo cual se registró una altura promedio de 9.51 metros, altura muy similar coincide con lo mencionado por Betanzos (2019), quien reporta un promedio de 8.71 metros, y por lo mencionado por Lara (2019), quien encontró árboles con un promedio de 8 metros de altura.

En lo que respecta al porcentaje de oclusión o cobertura de sombra se encontró un promedio de 29 %, sin representar diferencia considerable en las dos pendientes; estos datos coinciden con lo reportado por Quijano (2013), quien encontró un porcentaje de oclusión de 28.9 %; además menciona que este porcentaje de oclusión es el que permite la disminución en la temperatura del micro clima generando un mayor confort para los animales, generando óptimas condiciones para el desarrollo de la cobertura vegetal. Además, estos datos se encuentran dentro del rango reportado por Betanzos (2019), el cual indica que la cobertura de sombra se encuentra en un rango de 11.56 % a 35.79% de oclusión. Similar a esto IICA (2016), menciona que el porcentaje de oclusión óptimo producido por árboles, va entre 15 y 20% de sombra, y que esto no afecta la cantidad de pasto producido; además de que la sombra parcial sobre el pasto puede tener muchos otros beneficios: evita que se evapore rápido el agua de la lluvia que moja la tierra, y que las raíces de los árboles ayudan a mantener el agua en el suelo por más tiempo.

**Cuadro 6.** Características dasométricas y porcentaje de oclusión de los árboles dispersos en potreros.

<b>Variables</b>	<b>Pendiente 1</b>	<b>Pendiente 2</b>	<b>Promedio</b>
<b>Diámetro a la altura del pecho (cm)</b>	18.48	22.45	20.46
<b>Altura total (m)</b>	9.31	9.71 m	9.51
<b>Porcentaje de oclusión (%)</b>	27.50	30.50	29

#### **4.2 Caracterización vegetal de las cercas vivas**

De acuerdo a la caracterización de las cercas vivas en las zonas de estudio se encontraron un total de 95 árboles pertenecientes a 18 especies distribuidos en 12 familias, de las cuales la familia Fabaceae es la más representativa, con un total de 6 especies.

En lo que respecta a los estratos verticales, se encontró que en el estrato de 2.01 a 9 metros se encontraron 57 árboles, y 38 árboles en el estrato de 9.01 a 20 metros. En el cuadro 7 se presentan las especies encontradas en cercas vivas en ambas zonas y niveles de pendiente. Se reporta que las especies de piñón (*Jatropha curcas*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*) y matilisguate (*Tabebuia rosea*), son las más representativas en este uso de suelo. De acuerdo a Valero (2010), nos dice que el piñón (*Jatropha curcas*), representa una especie tradicionalmente muy utilizada por los productores como cercas vivas, además de ser una alternativa para la reforestación en suelos degradados por sus bajos requerimientos.

**Cuadro 7.** Presencia de especies encontradas en cercas vivas en la zona de estudio.

No.	Nombre común	Nombre científico	Familia	No. de especies
1	Piñón	<i>Jatropha curcas</i>	Euphorbiaceae	28
2	Guamúchil	<i>Pithecellobium dulce</i>	Mimosácea	17
3	Matiliguat	<i>Tabebuia rosea</i>	Bignoniaceae	11
4	Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae	9
x5	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	Meliaceae	5
6	Ixcanal	<i>Acacia collinsi</i>	Fabaceae	4
7	Quebracho	<i>Acacia milleriana</i>	Fabaceae	3
8	Nanguipo	<i>Cordia dentata</i>	Boraginaceae	3
9	Higo	<i>Ficus carica</i>	Moraceae	3
10	Guaje blanco	<i>Albizia niopoides</i>	Fabaceae	3
11	Anona	<i>Annona squamosa</i>	Annonaceae	2
12	Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae	1
13	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	Meliaceae	1
14	Sapote Negro	<i>Diospyros digyna</i>	Ebenaceae	1
15	Aguacate	<i>Persea americana</i>	Lauraceae	1
16	Mumo	<i>Piper auritum</i>	Piperaceae	1
17	Librillo	<i>Erythrina goldmanii</i>	Fabaceae	1
18	Totoposte	<i>Licania arborea</i>	Chrysobalanaceae	1
Total				95

#### 4.2.1 Estimación del Índice de Valor de Importancia (IVI) de árboles en cercas vivas

El siguiente cuadro (cuadro 8), muestra el IVI de especies arbóreas encontradas en las áreas de estudio, donde el piñón (*Jatropha curcas*) con 16.85 % representa la especie con mayor índice de valor de importancia, seguido del sapote negro (*Diospyros digyna*) con 9.86 % y el matilisguate (*Tabebuia rosea*) con 9.31%. Las especies que representaron menor índice se encontró el librilla (*Erythrina goldmanii*) con 1.61 % y matarratón (*Gliricidia sepium*) con 1.78; estos datos difieren por lo reportado por Trinidad (2020), quien encontró que las especies con mayor IVI fueron: piñón (*Jatropha curcas*) con 31.26%, encino (*Quercus elliptica*) con 5.01%, ocote (*Pinus oocarpa*) con 4.81%, caulote (*Guazuma ulmifolia*) con 4.69%, ixcanal (*Acacia collinsii*) con 4.22%, matarratón (*Gliricidia sepium*) con 3.02%, hormiguillo (*Platymiscium dimorphandrum*) con 2.74%, mulato (*Bursera simaruba*) con 2.73%, lengua de vaca (*Rumex mexicanus M*) con 2.22% y cerezo (*Ardisia paschalis*) con 2.11%.

De igual manera estos datos difieren con lo registrado por Gordillo (2019), donde reporta que las especies con el más alto valor de IVI, se encuentra el carnero (*Coccoloba uvifera*) presentando un total de 77 individuos, dando el 35.77% de IVI. Mientras que las especies de caoba (*Swietenia macrophylla*), mango (*Mangifera indica*), guamúchil (*Pithecellobium dulce*) tienen 17.52%, 15.79%, 14.64% de IVI respectivamente.

**Cuadro 8.** Índice de valor de importancia en cercas vivas

No.	Nombre común	Nombre científico	FRI	Ari	DRi	IVI %
1	Piñón	<i>Jatropha curcas</i>	18.18	29.47	2.91	16.85
2	Sapote Negro	<i>Diospyros digyna</i>	3.03	1.06	25.51	9.86
3	Matilisguate	<i>Tabebuia rosea</i>	12.12	11.57	4.23	9.31
4	Guamúchil	<i>Pithecellobium dulce</i>	3.03	17.90	1.83	7.58
5	Caulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	9.09	9.47	2.95	7.17

6	Totoposte	<i>Licania arborea</i>	3.03	1.06	15.07	6.38
7	Quebracho	<i>Acacia milleriana</i>	6.06	3.15	9.55	6.25
8	Ixcanal	<i>Acacia collinsi</i>	12.12	4.21	1.54	5.95
9	Aguacate	<i>Persea americana</i>	3.03	1.06	9.09	4.39
10	Nanguipo	<i>Cordia dentata</i>	6.06	3.15	3.27	4.16
11	Higo	<i>Ficus carica</i>	3.03	3.15	6.25	4.14
12	Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	3.03	5.26	2.89	3.72
13	Caoba	<i>Swietenia macrophylla</i>	3.03	1.06	6.96	3.68
14	Mumo	<i>Piper auritum</i>	3.03	1.06	3.55	2.54
15	Guaje	<i>Leucaena leucocephala</i>	3.03	3.15	1.20	2.46
16	Anona	<i>Annona squamosa</i>	3.03	2.10	1.09	2.07
17	Matarratón	<i>Gliricidia sepium</i>	3.03	1.06	1.27	1.78
18	Librillo	<i>Erythrina goldmanii</i>	3.03	1.06	0.75	1.61
Total			100%	100 %	100%	100%

\*Índice de valor de importancia (IVI), Frecuencia Relativa (FRi), Abundancia Relativa (ARi), Dominancia Relativa (DRi).

#### 4.2.2 Densidad arbórea en cercas vivas

Para el caso de la densidad de árboles en las cercas vivas, se encontraron 23.75 árboles en 100 metros lineales, estos datos difieren por lo reportado por Grande y Maldonado (2010), los cuales encontraron una densidad promedio de 76 árboles en 100 metros lineales, y de acuerdo a esta investigación, se encontraron entre 33 árboles mínimo a 187 árboles máximo por cada 100 metros lineales en cercas vivas. De igual manera estos datos difieren con lo reportado por Betanzos (2019), quien registro un promedio 11.7 árboles en 100 metros lineales.

Con respecto a la estructura vertical de árboles en cercas vivas se encontró que el estrato que presentó mayor densidad de árboles fue el estrato de 2.01 a 9 metros con 57 árboles, seguido del estrato de 9.01 a 20 metros con únicamente 38 árboles.



**Cuadro 9.** Densidad de árboles en cercas vivas en 100 metros lineales.

Uso de suelo	% de pendiente	Densidad arbórea (100 metros lineales)
Cercas vivas	7- 15 %	24 árboles
	16- 25 %	23.5 árboles
Promedio		23.75 árboles

#### 4.2.3 Características dasométricas de árboles identificados en cercas vivas.

El siguiente cuadro (cuadro 10) muestra el promedio del diámetro a la altura del pecho (DAP) en cercas vivas, en el cual se tiene un promedio de 23.74 cm, datos similares son los encontrados por Lara (2019), donde menciona que el DAP promedio encontrados en cercas vivas en zonas de la REBISE fue de 25 cm de DAP.

En lo que concierne a la altura total de los árboles de cercas vivas se encontró que la altura promedio es de 9.41 m, similar a lo encontrado por Lara (2019), quien menciona que los árboles presentes en las cercas vivas presentaron una altura promedio de 7.69 m.

Con respecto al porcentaje de oclusión, se encontró que los árboles presentes en las cercas vivas generan un 38.18 % de oclusión, con una diferencia entre la primera y la segunda pendiente, de 30.87% y 45.5 % respectivamente.

**Cuadro 10.** Características dasométricas y porcentaje de oclusión de los árboles en cercas vivas.

Variable	Pendiente 1	Pendiente 2	Promedio
Diámetro a la altura del pecho (cm)	24.16 cm	23.16 cm	23.74 cm
Altura total (m)	10.70 m	8.12 m	9.41 m
Porcentaje de oclusión (%)	30.87 %	45.5 %	38.18 %

### **4.3 Caracterización vegetal de los bancos forrajeros proteicos.**

De acuerdo a la caracterización de los bancos forrajeros proteicos, en la zona de estudio se encontró que la especie más utilizada es de matarratón (*Gliricidia sepium*). Esto se debe a que es la especie que ha sido promovido por diversas instituciones en el territorio. Esto coincide por lo reportado por Pinto *et al.*, (2005), quien menciona que la *Gliricidia sepium* es de las especies más preferidas por los productores, siendo así la Fabaceae la familia más representativa; de acuerdo a Gordillo (2019), nos indica que esta especie representa cualidades óptimas para el establecimiento y buena adaptabilidad, ya que son especies resistentes y que no requieren para los productores cuidados específicos, además de estar disponibles y accesibles en la zona.

#### **4.3.1 Densidad arbórea identificados en el uso de bancos forrajeros proteicos.**

En cuanto a la densidad arbórea, en bancos forrajeros proteicos en la zona de estudio, se encontró en promedio 8,595 árboles hectárea<sup>-1</sup>, información similar a lo reportado por Gordillo (2019), en la investigación de prácticas silvopastoriles realizadas en la REBISE; el cual menciona que en estos arreglos silvopastoriles existen una densidad de 10,000 árboles hectárea<sup>-1</sup>. Es importante hacer mención que la densidad varía de acuerdo a los siguientes factores: necesidades de biomasa que se requiere, número de animales y la superficie que tiene cada productor. De igual manera, los resultados encontrados en esta investigación, coinciden con lo encontrado por Riveros (2020), y Zepeda *et al.*, (2021), quienes mencionan que la población de árboles en banco de proteína es de 2,000 a 40,000 árboles hectárea<sup>-1</sup>.

En el cuadro 11, se puede observar la densidad promedio de árboles estimados en bancos forrajeros proteicos, en el cual se encontró que existe menor densidad arbórea en parcelas con pendientes de 7 a 15 % y mayor en parcelas con pendientes que van de 16 a 25 %; esto nos indica que a menor pendiente puede presentar disminución del desarrollo vegetal de especies forrajeras.

**Cuadro 11.** Densidad promedio de árboles en bancos forrajeros proteicos en las dos pendientes de estudios.

Uso de suelo	% de pendiente	Densidad arbórea (árboles hectárea <sup>-1</sup> )
Bancos forrajeros proteicos	7-15 %	7,840 árboles hectárea <sup>-1</sup>
Bancos forrajeros proteicos	16-25%	9,350 hectárea <sup>-1</sup>
Promedio		8,595 hectárea <sup>-1</sup>

#### 4.3.2 Características dasométricas de los árboles en bancos forrajeros proteicos

De acuerdo a las características dasométricas de los árboles en bancos forrajeros proteicos, se encontró que la altura promedio fue de 2.03 metros. Encontrando árboles de 0.23 metros hasta de 2.99 metros. Se puede observar que la altura de los árboles no es la recomendada por Lara (2019) y Riveros (2020), quienes mencionan que la altura de los árboles en bancos forrajeros debe estar entre 0.22 a 1 metro, sin embargo, esta diferencia en las alturas, se debe a que los productores no han realizado las podas de manejo agronómico correspondiente en estos árboles.

Para el caso del porcentaje de oclusión, se encontró un promedio de 20.65 %, sin embargo, para la primera pendiente se encontró 11.94% de oclusión y 29.37% para la segunda pendiente. Esta diferencia se debe principalmente a la poda de manejo agronómico que los productores dan a los árboles forrajeros.

**Cuadro 12.** Promedio de altura total y porcentaje de oclusión en bancos forrajeros proteicos en las dos pendientes de estudios.

<b>Variable</b>	<b>1er. Pendiente</b>	<b>2da. Pendiente</b>	<b>Promedio</b>
<b>Altura total (m)</b>	1.23	2.84	2.03
<b>Porcentaje de oclusión (%)</b>	11.94	29.37	20.65

#### **4.4 Caracterización de pastura en monocultivo**

Con la finalidad de caracterizar el uso de pastura en monocultivo, se evaluó la composición y el porcentaje de cobertura de pastos, malezas, hojarasca y suelo desnudo (suelo sin cobertura herbácea viva).

Se encontró que en los potreros evaluados, la cobertura promedio de pastos es de 37.67 %, sin embargo, comparando la cobertura de pasto en ambas pendientes, se encontró que los potreros con pendiente de 7 a 15 % presentan mayor cobertura de pasto, comparado con los potreros que presentaban la pendiente de 16 a 25 % (45.8% y 29.54 % de cobertura de pasto, respectivamente); esto nos indica que la pendiente en los terrenos dedicados a la ganadería influyen sobre la cobertura de pasto en los potreros. Datos que se corroboran en esta investigación, encontrando que a mayor pendiente en los terrenos existe menor cobertura vegetal de pasto, por lo tanto, a mayor pendiente y a menor cobertura de pasto, hay una mayor escorrentía y menor infiltración y percolación de agua. Estos datos se confirman con lo mencionado por Cervantes (1996), quien encontró que, a mayor pendiente, inicia la escorrentía y aumenta la velocidad y el volumen del agua que escurre pendiente abajo y por lo tanto aumenta su poder erosivo.

Para el caso de la maleza, se encontró una cobertura promedio de 15.03 %, sin embargo, entre ambas pendientes, existen diferencias, siendo los potreros con la pendiente de 7 a 15 % los que presentaron menor cobertura de maleza comparado a los terrenos con la pendiente de 16 a 25 % (4.95% y 25.11% de cobertura de

malezas, respectivamente), con estos valores, se puede deducir que a mayor pendiente existe menor capacidad de crecimiento vegetativo de gramíneas y mayor crecimiento de malezas.

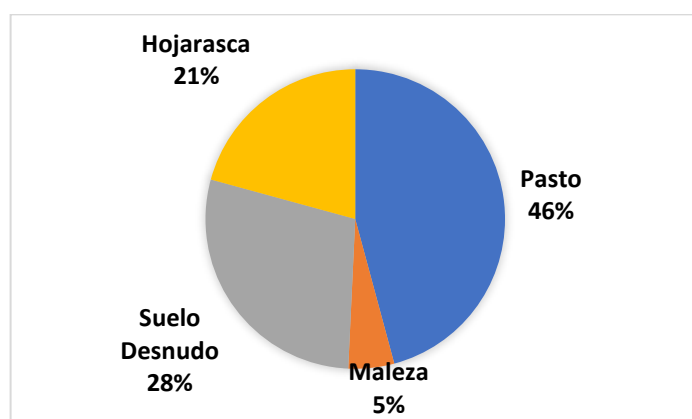
Para el caso del porcentaje de suelo desnudo y de hojarasca, se encontró que en los potreros evaluados tienen el 28.73% de suelo desnudo, esto nos indica que en una hectárea de potrero (10,000 metros cuadrados), se tiene más de  $\frac{1}{4}$  de hectárea sin presencia de pasto; es decir 2873 metros cuadrados. Para el caso de hojarasca se tiene un promedio de 18.56 % sin presentar una diferencia en las dos pendientes (Cuadro 13); estos datos difieren con lo reportado por Ríos (2006), en el cual evaluó la cobertura vegetal de pasto, maleza y suelo sin cobertura herbácea viva, registrando un mayor porcentaje en suelo desnudo con 59 % de cobertura, pasto con 19 % y maleza con 22 %; por lo cual se representa como signos evidentes de erosión y compactación de suelo; por lo tanto, este uso de suelo es un indicativo que existe menor capacidad de infiltración.

De la misma manera estos datos difieren con lo reportado por Urbina *et al.*, (2018), en una investigación realizada en potreros degradados en comunidades ganaderas de áreas naturales protegidas de Chiapas; en el cual nos presenta un promedio de la cobertura vegetal en sistemas de pastizales mejorados con un porcentaje menor de 51.6 % y en pasturas naturalizadas con 58 %; y con respecto al suelo desnudo, presenta en sistemas mejorados 48.4 % y 42 % en sistema naturales.

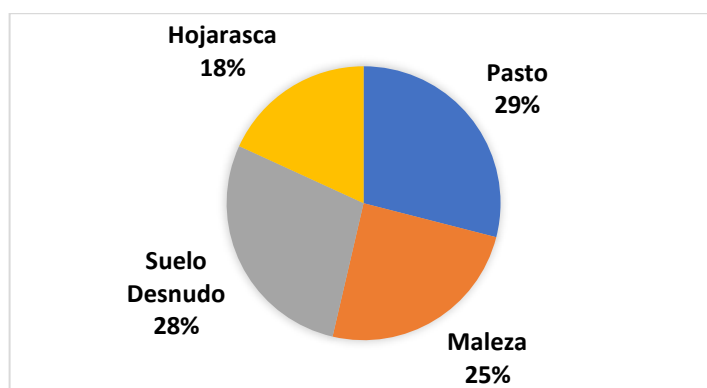
**Cuadro 13.** Porcentaje de cobertura de pastura en monocultivo en la zona de estudio.

Porcentaje de cobertura	Pasto	Maleza	Suelo desnudo	Hojarasca	Total
<b>1er. Pendiente</b>	45.8	4.95	28.50	20.75	100 %
<b>2da. Pendiente</b>	29.54	25.11	28.97	16.38	100 %
<b>Promedio (%)</b>	37.67	15.03	28.73	18.56	100%

Las Figuras 8 y 9 representan de manera gráfica los resultados encontrados de cobertura vegetativa en la caracterización de pastura en monocultivo, en las cuales se pueden observar la diferencia que tienen de acuerdo al nivel de pendiente. Esto indica que la pendiente es un factor que influye de manera directa sobre la cobertura de pasto, maleza, hojarasca y suelo desnudo, ya que, en los resultados encontrados, los valores antes mencionados difieren entre ambas pendientes. Encontrando que, a mayor pendiente, la cobertura de pasto y maleza disminuye y el porcentaje de suelo desnudo aumenta, cosa contraria sucede a los potreros con menor pendiente, en el cual la cobertura de pasto es mayor.



**Figura 8.** Cobertura en pastura en monocultivo en la pendiente de 7-15%.



**Figura 9.** Cobertura en pastura en monocultivo en la pendiente de 16-25%.

#### 4.4.1 Especies de pastos y maleza encontrados en el uso suelo de pastura en monocultivo.

Para el caso de especies de pasto encontrados en la pastura monocultivo se reportan cuatro especies, encontrándose con mayor frecuencia en las parcelas el zacate Brizanta (*Brachiaria brizantha*) representando un 62.5 % de los pastos encontrados, y en menor frecuencia se encuentran el zacate CT-115 (*Pennisetum purpureum*), Mombaza (*Panicum máximum*) y Llanero (*Brachiaria dictyoneura*), representando cada uno 12.5 % de las especies encontradas en las parcelas caracterizadas; las cuales pertenecen a la familia de las Poaceae.

**Cuadro 14.** Presencia de especies de pasto encontrados en el uso de pastura monocultivo en las dos pendientes de estudio.

No	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	Mombaza	<i>Panicum máximum</i>	Poaceae
2	Zacate CT-115	<i>Pennisetum purpureum</i>	Poaceae
3	Brizanta	<i>Brachiaria brizantha</i>	Poaceae
4	Llanero	<i>Brachiaria dictyoneura</i>	Poaceae

Para el caso de los datos de maleza, se registran siete especies distribuidas en seis familias, de esta la familia Fabaceae se registra como la familia más representativa. Dentro de esto el Malbarisco (*Sida rhombifolia*) es la especie más frecuente dentro de las malezas presentes en los potreros, representando un 38.46 % de las especies encontradas en las parcelas. Las especies de Bejuquillo (*Ipomoea purpurea*) y Flor amarilla (*Melampodium divaricatum*) representan cada uno un 15.39 % de las especies encontradas en potreros, y con 7.69 % cada uno las especies de Coquillo (*Cyperus esculentus L.*), Cardo santo (*Argemone mexicana*) y Duérmete pancho (*Mimosa púdica*).

**Cuadro 15.** Presencia de especies de maleza encontrados en el uso de suelo de pastura en monocultivo en las dos pendientes de estudio.

No.	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	Malbarisco	<i>Sida rhombifolia</i>	<i>Malvaceae</i>
2	Bejuquillo	<i>Ipomoea purpurea</i>	<i>Convolvulaceae</i>
3	Flor amarilla	<i>Melampodium divaricatum</i>	<i>Asteraceae.</i>
4	Ixcanal	<i>Acacia cornigera</i>	<i>Fabaceae</i>
5	Coquillo	<i>Cyperus esculentus L.</i>	<i>Cyperaceae</i>
6	Cardosanto	<i>Argemone mexicana</i>	<i>Papaveraceae</i>
7	Duérmete pancho	<i>Mimosa púdica</i>	Fabaceae

#### 4.4.2 Altura promedio de pasto y maleza en uso de suelo de pastura en monocultivo

El cuadro 16 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización de pastura en monocultivo, en el que se expresa la altura de pasto y maleza de acuerdo a cada repetición realizada en las dos pendientes de estudios. En esto se tiene un promedio mayor en pasto de 146.9 cm y menor de 18.34 cm. Para los valores de maleza, se tiene un promedio mayor de 89 cm y la menor de 2.4 cm; de acuerdo a estos datos, se entiende que a mayor pendiente disminuye la infiltración, aumentando la escorrentía superficial.

**Cuadro 16.** Promedio de altura de pasto y maleza en el uso de suelo de pastura monocultivo en las dos pendientes de estudio.

	1er. Pendiente	2da. Pendiente	Promedio
<b>Pasto (cm)</b>	93.75	47.46	70.61cm
<b>Maleza (cm)</b>	29.25	24.35	26.80 cm



## Capítulo 2. Capacidad de infiltración en diferentes usos de suelo ganaderos.

### 4.5 Estimación de la capacidad de infiltración en la primera pendiente en los diferentes usos de suelo ganaderos.

De acuerdo a la estimación de la capacidad de infiltración en los usos suelo ganaderos, se encontró que, para el primer nivel de pendiente, los valores de infiltración tienden a ser más altos en el uso de árboles dispersos en potreros con  $22.13 \text{ mm h}^{-1}$ , seguido del uso de cercas vivas con  $21.76 \text{ mm h}^{-1}$ , comparado al uso de pastura en monocultivo y bancos forrajeros proteicos que solo tuvieron  $10.89 \text{ mm h}^{-1}$  y  $10.77 \text{ mm h}^{-1}$ , respectivamente. Sin embargo, a pesar que hay diferencias numéricas, no existen diferencias estadísticas significativas entre usos de suelo.

**Cuadro 17.** Infiltración de agua en diferentes usos de suelo ganaderos en la primera pendiente.

Uso de suelo	Infiltración ( $\text{mm h}^{-1}$ )	Desviación estándar
Árboles dispersos en potreros (ADP)	$22.13^a$	13.83
Cercas vivas (CV)	$21.76^a$	16.45
Bancos forrajeros proteicos (BFP)	$10.77^a$	4.88
Pastura en monocultivo (PM)	$10.89^a$	9.75

\* Letras distintas en la columna son diferentes significativamente ( $P \leq 0.05$ , Tukey).

A pesar que no hubo diferentes estadísticas significativas entre los usos de suelos, se puede observar que los usos: ADP y CV, usos en los cuales los árboles están más desarrollados con respecto a su biomasa aérea y subterránea, la infiltración es mayor comparado en el uso de PM y BFP, usos en los cuales no hay presencia de árboles o bien estos árboles no tienen un buen desarrollo. Estos datos coinciden con lo reportado por Ríos (2006), el cual hace mención, que la diferencia entre los usos de suelo con y sin árboles, es principalmente al espacio poroso en los suelos generado por el desarrollo del sistema radicular de los árboles.

Por otro lado, es importante mencionar que los usos de suelo sin presencia de árboles como el uso de PM, la compactación por el pastoreo y/o sobrepastoreo del suelo es mayor, lo cual afecta a la disminución de los poros en el suelo, disminuyendo los niveles de infiltración.

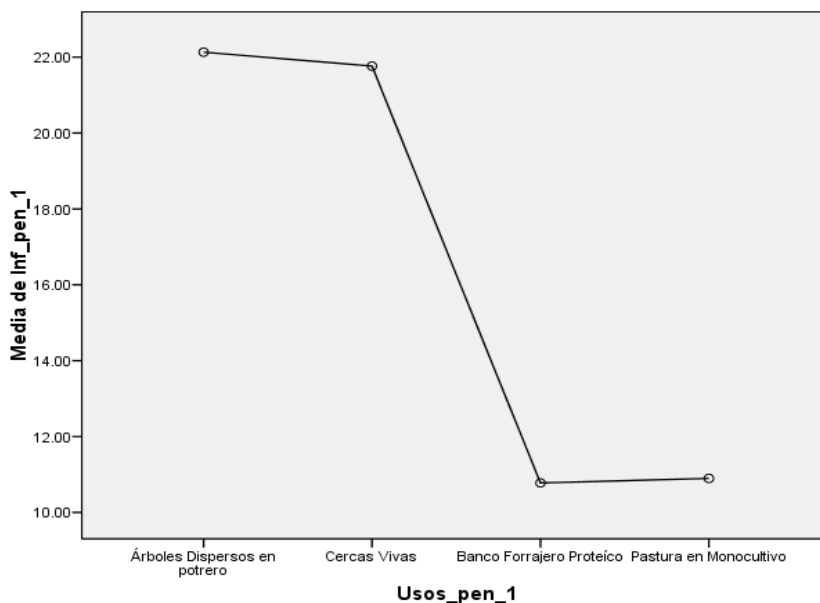
Tanto Úbeda y Delgado (2018) hacen mención que la vegetación a través del sistema radicular, generan suelos más porosos, protegiendo el suelo del estancamiento de la precipitación, evitando que los huecos naturales del suelo se cierren, pero además evitan la compactación del suelo (suelos más sueltos). De igual manera Villerreyna (2016), menciona que la presencia de árboles, ayudan a proteger el suelo de la erosión, y conservar su fertilidad, a través de la cantidad de materia orgánica (hojas y ramas) que estos aportan al sistema; por esta razón se prevé que los árboles contribuyen a evitar la escorrentía, por tener raíces profundas que cruzan los horizontes de deslizamiento.

Para el caso de la infiltración en los BFP ( $10.77 \text{ mm h}^{-1}$ ), a pesar que es un uso de suelo con presencia de árboles, este presentó el menor valor de infiltración, esto posiblemente se deba a lo que nos reporta Zapata y Manzano (2008), los cuales mencionan que la infiltración depende de las características de la estructura vegetal, tanto en las características de la corteza, como la orientación y formas de las hojas y ramas. Por ello, se cree que el comportamiento de la infiltración en este uso fue menor a los usos ADP, CV y similar al uso PM, debido a que únicamente se encontró con la presencia de árboles de la especie de matarratón (*Gliricidia sepium*), pero además estos árboles presentaban: un continuo ramoneo y pastoreo por los animales, una diversidad de alturas (de 30 cm hasta dos metros de altura) y presentaban características de sobrepastoreo, condiciones que influyen sobre la estructura vegetal y la infiltración.

Además, Cuervo *et al.*, (2013), reportan que los árboles que son establecidos por estacas (material vegetativo), las raíces se desarrollan de manera superficial, las cuales al ser pisoteadas por los animales por el sobre pastoreo, no logran desarrollarse, ocasionando que el suelo se compacte. Por tal motivo, consideramos que estos árboles de matarratón fueron establecidos por varetas (material

vegetativo), lo cual pudo influir sobre la capacidad de infiltración en este suelo. Esto lo corrobora Betanzos *et al.*, (2021) quienes indican que, si bien la cobertura arbórea favorece valores altos de infiltración, los sistemas sin un manejo adecuado (sobrepastoreo), como es el caso de las BFP, pueden presentar valores de capacidad de infiltración similares a los de PM.

De las evidencias anteriores, y comparando los valores de infiltración del BFP y de PM (10.89 mm h<sup>1</sup>) el cual representa uno de los usos con menor capacidad de infiltración, nos indica que este suelo sufren sobrepastoreo y al no presentar cobertura vegetal, existe mayor escorrentía superficial; de esta manera se afirma lo reportado por Ríos (2006), y Ríos *et al.*, (2016), los cuales mencionan, que, a este tipo de suelo ganaderos; un factor que afecta la capacidad de infiltración se debe principalmente a la compactación de suelo por sobre pastoreo del ganado, y genera una compactación de los suelos y disminuyen los espacios porosos y la capacidad de infiltración, logrando así bajos valores de infiltración.



**Figura 10.** Estimación de la capacidad de infiltración en los usos de suelo ganaderos (Fuente: elaboración propia).

#### 4.6 Estimación de la capacidad de infiltración en la segunda pendiente en los diferentes usos de suelo ganaderos.

Los valores de infiltración encontrados en la segunda pendiente (16 a 25 %) en los diferentes usos de suelo ganaderos, evidencian que hubo diferencias estadísticas significativas, siendo el uso de suelo de ADP, el uso que presentó mayor infiltración comparado a CV, BFP y PM, sin embargo, entre los usos de suelo de CV, BFP y PM no hubo diferencias estadísticas significativas (Cuadro 19).

**Cuadro 18.** Infiltración de agua en diferentes usos de suelo ganaderos de la segunda pendiente.

Uso de suelo	Infiltración (mm h <sup>-1</sup> )	Desviación estándar
Arboles dispersos en potreros (ADP)	30.55 <sup>a</sup>	16.75
Cercas vivas (CV)	5.15 <sup>b</sup>	2.22
Bancos forrajeros proteicos (BFP)	7.08 <sup>b</sup>	5.28
Pastura en monocultivo (PM)	11.88 <sup>b</sup>	11.70

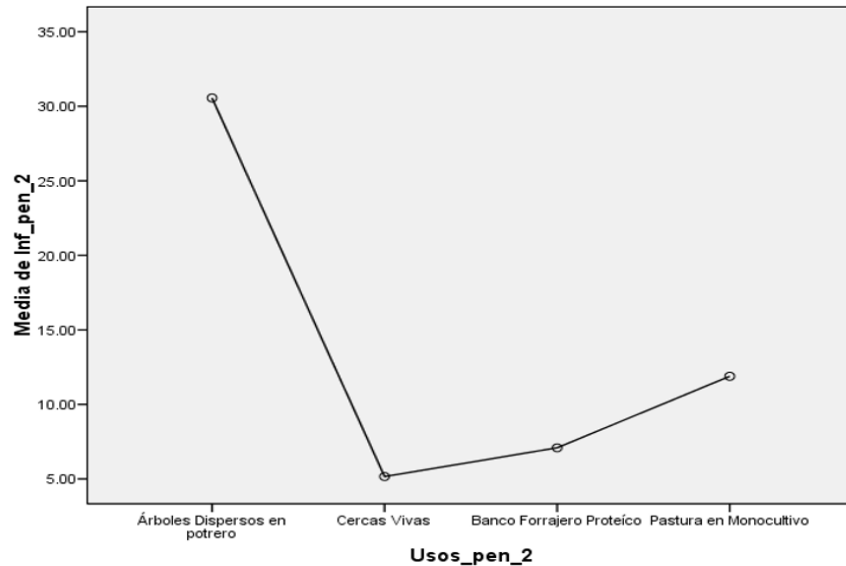
\* Letras distintas en la columna son diferentes significativamente ( $P \leq 0.05$ , Tukey).

Con respecto al uso de suelo de ADP (30.55 mm h<sup>-1</sup>), el cual presentó mayor capacidad de infiltración, se corrobora que la presencia de árboles favorece la capacidad de infiltración. Esto lo confirman Ríos *et al.*, (2006), quienes indican que la presencia de árboles actúa como barrera que reduce la escorrentía, y que, además, la cobertura reduce el impacto de las gotas de lluvia. Además, esto lo confirma Villarreyna (2016), quien menciona que el efecto de los árboles disminuye la energía cinética de la lluvia, lo que está relacionado con las características diferentes en cuanto copa, lo que permite interceptar más lluvia y distribuir a lo largo de las ramas y del tronco, lo que con lleva a su vez a disminuir el impacto sobre el suelo, y así generar mayor cantidad de agua infiltrada a través del suelo.

La diferencia estadística significativa que existen entre ADP y los usos de CV, BFP y PM nos indica que el nivel de pendiente representa un factor que determina la capacidad de infiltración de agua en suelo ganaderos, sin embargo, esta capacidad de infiltración puede ser influenciada por la presencia de árboles. Esto coincide con lo que mencionan Zapata y Manzano (2008), quienes describen que a mayor pendiente el agua de lluvia tiende a incrementar la velocidad de la escorrentía y disminuir los niveles de infiltración.

Esto nos indica que los suelos con baja cobertura arbórea o sin cobertura arbórea como son los usos de CV, BFP y PM, tienden a disminuir el nivel de infiltración en los suelos e incrementar los niveles de escorrentía, a manera que incrementa el nivel de pendiente. Esto se corrobora con los datos de infiltración encontrada en el uso ADP en esta investigación, el cual no se ve afectado a pesar que incrementa el nivel de pendiente, pero además se coincide con lo mencionado por Ríos, (2006) y por Ríos *et al.*, (2006), quienes reporta que los sistemas con mayor cobertura presentan los mínimos valores de escorrentía y los valores más altos de infiltración, lo cual se debe posiblemente por el efecto de esponja del suelo. De igual manera Stadtmüller (1994), menciona que la densa red de raíces de una cobertura vegetal tiene la capacidad de conservar el suelo, mejorando las características del suelo, los cuales ayudan mejorar la capacidad de infiltración de agua en tiempos de lluvia

Por otro lado, Betanzos *et al.*, (2021), mencionan que, si bien la cobertura arbórea favorece los procesos de infiltración, no garantiza tener valores altos de infiltración. Esto explica los datos encontrados en el uso de CV y BFP, en donde a pesar que hay presencia de árboles, la infiltración de agua en el suelo fue similar al uso de PM, esto se debe principalmente al mal manejo de los potreros, lo cual genera la compactación por el sobrepastoreo (Figura 11).



**Figura 11.** Estimación de la capacidad de infiltración en los usos de suelo ganaderos en la segunda pendiente (Fuente: elaboración propia).

#### **4.7 Estimación de la capacidad de infiltración sin importar el nivel de pendiente en los diferentes usos de suelo ganaderos.**

A continuación, se presentan los datos estimados sobre la capacidad de infiltración en los diferentes usos de suelo evaluados sin importar la pendiente (cuadro 19). Los valores encontrados indican que, sin importar la pendiente, existen diferencias significativas en la infiltración, siendo el uso de suelo de árboles dispersos en potreros el que presentó mayor capacidad de infiltración, comparado a las cercas vivas, bancos forrajeros proteicos y pastura en monocultivo, aunque en estos últimos usos de suelo las diferencias de infiltración no fueron diferentes estadísticamente significativas (Cuadro 19). Esto se confirma de acuerdo a lo mencionando por Betanzos *et al.*, (2021), que los valores de capacidad de infiltración, son mayores en suelos con mayor densidad de árboles, pero además que estos árboles tienen un mayor desarrollo en la copa, por lo que mejoran la recepción de la lluvia, por las características que tienen.

**Cuadro 19.** Infiltración de agua en diferentes usos de suelo ganaderos sin importar nivel de pendiente.

Uso de suelo	Infiltración (mm h <sup>-1</sup> )	Desviación estándar
Árboles dispersos en potreros (ADP)	26.34 <sup>a</sup>	15.63
Cercas vivas (CV)	13.46 <sup>b</sup>	14.27
Bancos forrajeros proteicos (BFP)	8.93 <sup>b</sup>	5.32
Pastura en monocultivo (PM)	11.39 <sup>b</sup>	10.54

\* Letras distintas en columna son diferentes significativamente ( $P \leq 0.05$ , Tukey).

Los valores obtenidos de infiltración en el uso de suelo de ADP, se encontró un promedio de 26.34 mm h<sup>-1</sup>, datos similares a lo mencionado por Ríos (2006), quien reporto 23 mm h<sup>-1</sup> de infiltración, sin embargo, difiere por a lo reportado por Betanzos *et al.* (2021), quienes presentaron un promedio de infiltración de 6.03 mm h<sup>-1</sup>. La razón principal a que estos usos de suelo tienden a tener poca capacidad de infiltración se debe al mal uso manejo del pastoreo, que conlleva a una compactación del suelo (Betanzos *et al.*, 2021).

Los valores de infiltración encontrados en el uso de árboles dispersos en potrero, evidencian que este es el uso con mayor capacidad de infiltración, esto se debe a que la presencia de árboles en los potreros, favorecen la capacidad de infiltrar agua. De acuerdo a Zapata y Manzano (2008), la presencia de la cubierta vegetal implica mayor capacidad de infiltración, cuando a través del dosel reduce la intensidad de la lluvia, aumentando el diámetro de las gotas, de esta manera permite que una mayor porción del agua de lluvia se infiltre en los suelos. De acuerdo a Villarreyna (2016), menciona que el efecto de los árboles disminuye la energía cinética de la lluvia, lo que está relacionado con las características diferentes en cuanto a la copa, lo que permite interceptar más lluvia y distribuir a lo largo de las ramas y del troco, lo que conlleva a su vez a disminuir el impacto sobre el suelo, y así generar mayor cantidad de agua infiltrada a través del suelo.

Para los valores de la capacidad de infiltración en CV, BFP y PM, los cuales no presentaron diferencias estadísticas significativas entre ellos, se debe a que estos suelos han sido mayormente compactados por el sobrepastoreo, ya que de acuerdo a Betanzos (2021), nos dice que la capacidad baja de infiltración, se debe principalmente al sobrepastoreo, debido principalmente a la compactación de los suelos y disminuyendo el espacio poroso y la capacidad de infiltración.

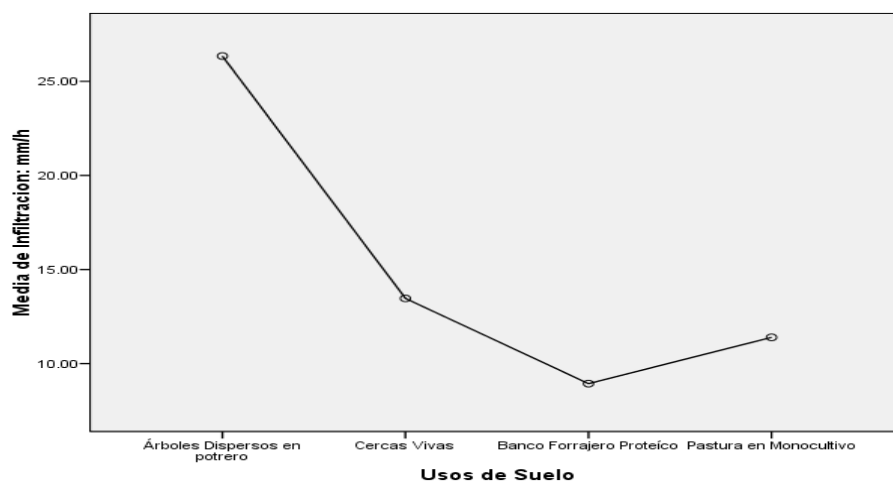
Los valores obtenidos para CV, se tiene un promedio de 13.46 mm h<sup>-1</sup>. Estos datos son diferentes por lo reportado por Betanzos *et al.*, (2021), quienes presentaron una capacidad de infiltración de 17.73 mm h<sup>-1</sup>, para este suelo estudiado. Aunque no representa similitud estadística con el uso de ADP, la capacidad de infiltración de este uso representa el segundo uso con mayor capacidad de infiltración, esto se debe a la presencia de árboles que contribuyen a infiltrar mayor cantidad de agua. Pero por la compactación de este, ha representado bajos valores de infiltración.

La estimación de la capacidad de infiltración en de BFP, presentó un promedio de 8.93 mm/h, estos datos difieren por lo reportado por Betanzos *et al.*, (2021), quien estimó un promedio de 14.44 mm h<sup>-1</sup> de la capacidad de infiltración de este uso. Dado que este uso debería presentar uno de los suelos con mayor capacidad de infiltración por tener presencia de especies arbóreas, ha representado bajos valores, esto se debe a que en las parcelas caracterizadas presentaban compactación del suelo por sobrepastoreo. Esto lo confirman Úbeda y Delgado (2018), quienes indican que cuando un suelo es demasiado compactado, pierde su capacidad de infiltración o baja su nivel de infiltración. Además, aunque la presencia de árboles favorece los valores de infiltración, los sistemas sin un manejo adecuado, como es el caso del sobre pastoreo, pueden presentar valores de capacidad de infiltración similares a los de PM (Betanzos *et al.*, 2021).

Para los valores obtenidos en el uso de suelo de PM se estimó un promedio de 11.39 mm h<sup>-1</sup> de la capacidad de infiltración, estos datos difieren por lo reportado por Velázquez *et al.*, (2014), quienes estimaron en promedio una tasa de infiltración de 50.4 mm h<sup>-1</sup>; Ríos (2006), reporto 7 mm h<sup>-1</sup> y Betanzos *et al.*, (2021), reportaron un



promedio de  $5.57 \text{ mm h}^{-1}$  de la capacidad de infiltración. De acuerdo a Gómez *et al.*, (2014), nos dicen que suelos de pastoreo sin presencia de árboles presentan la menor tasa de infiltración, en comparación con suelos con presencia de árboles, esto se debe a que en los suelos sin presencia de árboles, la presencia vegetal está constituida mayormente por gramíneas, además de que esos suelos se practican comúnmente quemas con el fin de aprovechar el rebrote; dichas prácticas reducen la tasa de infiltración en estos suelos; además, de estar compactados, disminuyen la tasa de infiltración. La figura 12 muestra la capacidad de infiltración de agua en los diferentes usos de suelos ganaderos evaluados.



**Figura 12.** Estimación de la capacidad de infiltración en los usos de suelo ganaderos.

Los resultados nos muestran que la infiltración es mayor en los usos de suelo de árboles dispersos en potreros ( $26.34 \text{ mm h}^{-1}$ ), seguido del uso de cercas vivas ( $13.46 \text{ mm h}^{-1}$ ), esto nos indica que la presencia de árboles en los suelos ganaderos, presenta una mayor capacidad de infiltración de agua en el suelo en épocas de lluvia, debido a la densidad de especies arbóreas presentes en los sistemas ganaderos. Esto representa de acuerdo a lo mencionado por Ríos (2006), que los suelos con mayor cobertura de especies arbóreas presentan los mejores valores de capacidad

de infiltración debido al efecto de esponja del mulch que se encuentra en el suelo; lo que respaldado por Zapata y Manzano (2008), quienes mencionan que la vegetación reduce la intensidad de la lluvia y aumenta el diámetro de las gotas, permitiendo una mayor porción de infiltración sobre el agua caída.

### **Capítulo 3: Estimación del componente vegetal sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo ganaderos silvopastoriles *versus* pastura en monocultivo.**

#### **4.8 Estimación del efecto del componte vegetal sobre la capacidad de infiltración de los usos de suelo ganaderos.**

Para estimar el efecto del componente vegetal sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles (árboles dispersos en potreros, cercas vivas y bancos forrajeros proteicos), se estimó por medio de un análisis estadístico de correlación de Pearson, en el cual se analizó la correlación que existe entre las características de la composición vegetal (número de árboles, número de especies, altura, DAP y porcentaje de oclusión), con la capacidad de infiltración existente en los diferentes usos de suelo ganaderos.

##### **4.8.1 Efecto del número de árboles sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles.**

De acuerdo al análisis de correlación de Pearson se encontró que, para los usos de suelo silvopastoriles, no se encontraron correlación entre el número de árboles y la capacidad de infiltración (cuadro. 20); de acuerdo a esto, el número de árboles en este uso no representa un factor que influya en la infiltración del agua.

Estos datos difieren por lo reportado por Ríos (2006), en el que indica que existe una correlación positiva entre en la presencia arbórea y la capacidad de infiltración. Sin embargo, podemos entender que la infiltración en las áreas ganaderas se debe a varios factores, tales como lo mencionan Rivero *et al.*, (2018), quienes indican que los factores que afectan la dinámica de la infiltración son la estructura del suelo, tipo de vegetación, temperatura y contenido de agua en el suelo; y la intensidad de las precipitaciones; estos factores influyen importantemente en la infiltración. De igual

manera Zapata y Manzano (2008), indican que la infiltración se ve modificada por características de la estructura de los árboles, como la orientación y la forma de sus hojas, el ángulo de las ramas y las características de la corteza; lo que contribuye a mejorar los valores de infiltración del agua. De igual modo Luna *et al.*, (2010) mencionan que la presencia arbórea representa un factor importante para los procesos hidrológicos, principalmente las características de su cobertura.

Además, de acuerdo a Zapata y Manzano (2008), nos dice que no solo la presencia de árboles influye en la infiltración, sino que también depende de dos factores importantes, como la intensidad y la duración de las precipitaciones; de esta manera podemos entender los resultados del análisis de correlación. Además, también se puede deducir que estos suelos estudiados tenían un mal manejo por el sobrepastoreo y a pesar de que se tenía presencia de árboles, estos no representan un factor de correlación con la infiltración; esto lo confirma Betanzos *et al.*, (2021), quienes indican que, aunque en los suelos de usos ganaderos tenga presencia de árboles, estos al tener sobre pastoreo presentan valores bajo de capacidad de infiltración; similares al uso de pastura en monocultivo.

Alonso (2011), no dice que la presencia arbórea de sistemas silvopastoriles, representa un indicador que influye en la infiltración, pero a través del tiempo, con el mal manejo de las áreas ganaderas, se ve afectado como un proceso de transformación de la estructura del suelo, ya que la compactación por sobre carga animal, aumenta los niveles de escorrentía superficial. Por lo tanto, muchos de estos factores pueden generar cambios en la correlación que existe entre los árboles y la infiltración de agua en época de lluvia.

Por lo tanto, se puede decir que, de acuerdo al análisis estadístico, la presencia de árboles en suelos ganaderos no es un factor que influya en la infiltración de agua; pero podemos entender que, para conocer más los procesos de infiltración, se necesitaría entender como otros factores influyen en la dinámica hídrica.

**Cuadro 20.** Estimación del análisis de correlación entre el número de árboles y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles.

Usos de suelo	Variable independiente	Variable dependiente	Descripción	Correlación
Árboles dispersos en potreros	Número de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	-.393
Cercas vivas	Número de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	0.55
Bancos forrajeros proteicos	Número de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	.370

#### 4.8.2 Efecto de número de especies sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles

De acuerdo a los resultados estimados en el análisis de correlación de Pearson, nos indica que no existe correlación entre el número de especies y la capacidad de infiltración en los usos silvopastoriles (cuadro. 21).

Con respecto al uso de bancos forrajeros proteicos, de acuerdo al análisis de correlación de Pearson, este uso no tiene valores de estimación, el cual se pueda ser interpretado como un factor que influya en el proceso de infiltración, esto se debe a que solo se tiene una especie caracterizada, para lo cual se comprende que, para conocer la influencia de las especies en este análisis, se debería caracterizar para este uso, otras especies que nos ayude a comprender si posiblemente se encuentra alguna relación. Por lo que, de acuerdo a lo mencionado por Zapata y Manzano (2008), quienes nos indican que el número de especies es un factor que ayuda a mejora las condiciones de mayor infiltración de agua en época de lluvia. Pero, por otra parte, estos autores suponen que la relación de la infiltración va más al tipo de especies vegetales, que al número de las especies que pudieran estar presentes. De esta manera, se puede entender que el número de especies no es un factor de correlación de la capacidad de infiltración, si no que más bien va referido a el tipo de especie que pudiera estar presente en el uso de cercas vivas. Por lo tanto, de acuerdo

al análisis de correlación de Pearson, el número de especies presentes no es un factor que nos indique que exista mayor capacidad de infiltración en suelo ganaderos.

**Cuadro 21.** Estimación del análisis de correlación entre el número de especies y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles.

Usos de suelo	Variable independiente	Variable dependiente	Descripción	Correlación
Árboles dispersos en potreros	Número de especies	Infiltración	Correlación de Pearson	-.426
Cercas vivas	Número de especies	Infiltración	Correlación de Pearson	.542
Bancos forrajeros proteicos	Número de especies	Infiltración	Correlación de Pearson	A

A. No se puede calcular por al menos una variable es constante

#### 4.8.3 Efecto de la altura de los árboles sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles

De acuerdo al análisis estadístico de correlación de Pearson, entre la altura de los árboles y la capacidad de infiltración en los usos silvopastoriles se encontró que no existe correlación entre estos factores (cuadro. 22), para lo cual se comprende que de acuerdo al análisis estadístico la altura de los árboles no influye en la capacidad de infiltración en los usos de suelos silvopastoriles; lo cual de acuerdo a Villarreyña (2016), nos indica que, el efecto de los árboles sobre la capacidad de infiltración va más referente a las características de la copa de los árboles, lo cual supone que tal característica permite interceptar más a la lluvia y ser distribuido a lo largo de sus ramas, lo cual permite que conlleve a disminuir el impacto de las gotas de la lluvia, y así se genere mayor infiltración. Por lo tanto, de acuerdo Villarreyña (2016), sería necesario comprender otros factores relacionados a las características de los árboles que, de manera relacionada con la altura, estos puedan influir de manera positiva en la infiltración. Y para el uso de bancos forrajeros proteicos, nos indica que para este uso la altura de los árboles no es un indicativo que influya en la

infiltración, además de acuerdo a lo caracterizado, la altura de los árboles en bancos forrajeros proteicos en muchos casos se encontró con altura menor a 1 metro; esto nos indica que los valores de infiltración pueden ser independientes de otros factores, como la altura de los árboles.

**Cuadro 22.** Estimación del análisis de correlación entre la altura de los árboles y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles.

Usos de suelo	Variable independiente	Variable dependiente	Descripción	Correlación
Árboles dispersos en potreros	Altura de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	0.42
Cercas vivas	Altura de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	.499
Bancos forrajeros proteicos	Altura de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	.130

#### 4.8.4 Efecto del DAP de los árboles sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles

De acuerdo a los resultados estadísticos de correlación de Pearson entre el DAP entre la capacidad de infiltración presente en suelo silvopastoriles (cuadro. 23), se encontró que no existe significancia entre este factor de estudio, para lo cual se comprende que el DAP para estos usos, no es un factor que pueda indicar un efecto en la capacidad de infiltración del suelo. Por lo tanto, podemos deducir que la presencia de los árboles en los procesos de infiltración, las características que más pueden influir son la orientación y formas de sus ramas y hojas; la estructura de la corteza y la cobertura arbórea (Zapata y Manzano, 2008; Luna *et al.*, 2010). De tal manera que podemos entender que el DAP no es un indicador que manifieste la modificación de los procesos de infiltración; pero si, las características estructurales de la biomasa aérea.

**Cuadro 23.** Estimación del análisis de correlación entre el DAP de los árboles y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles.

Usos de suelo	Variable independiente	Variable dependiente	Descripción	Correlación
Árboles dispersos en potreros	Altura de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	.209
Cercas vivas	Altura de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	.381
Bancos forrajeros proteicos	Altura de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	A

A. No se puede calcular por al menos una variable es constante

#### 4.8.5 Efecto del porcentaje de oclusión sobre la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles.

De acuerdo al análisis de correlación de Pearson entre el porcentaje de oclusión y la capacidad de infiltración (cuadro. 24), se encontró que, para el uso de árboles dispersos en potreros y el uso de bancos forrajeros proteicos, no existe correlación, lo cual nos indica que este factor no influye el proceso de infiltración.

Para lo cual se comprende que el porcentaje de oclusión para estos usos, no es un factor que pueda indicar que exista capacidad de infiltración, para lo cual también se comprende que, para el uso de árboles dispersos en potreros, el área espacial que representa la dispersión de los árboles, hace que no presente un porcentaje de oclusión deseable el cual pueda representar un factor para la capacidad de infiltración y que además se tendría que relacionar con otras características de los árboles, para entender la posible correlación con los procesos de infiltración.

Con respecto a los resultados estimados en el análisis estadístico de correlación de Pearson, se encontró que existe correlación significativa (inversamente proporcional) a los valores analizados para el uso de cercas vivas entre el porcentaje



de oclusión y la capacidad de infiltración. Esto nos indica que las cercas vivas, al tener un mayor porcentaje de oclusión, se debe a que tienen una mayor biomasa aérea, lo que representa que el porcentaje de sombra influye de gran manera en la humedad del suelo, permitiendo que el agua de lluvia al caer al suelo no evapore tan rápido por la presencia de la luz solar, lo que permite que infiltre mayor cantidad de agua de lluvia por efecto de la gravedad. De esta manera se deduce que la humedad por efecto de buen porcentaje oclusión proporcionado por la biomasa aérea, presenta una correlación al uso de cercas vivas, con respecto a la capacidad de infiltración en este uso; lo que de acuerdo a Ríos (2006), nos indica que la cobertura vegetal con respecto al porcentaje de sombra que proporciona, representa uno de los principales factores de infiltración.

Por otra parte, la correlación significativa que existe entre el porcentaje de oclusión y la capacidad de infiltración en el uso de cercas vivas se deba a que este sistema silvopastoril, representa un sistema de carácter espacial definido, esto quiere decir que existe un orden en establecimiento; el cual, de acuerdo a De la Ossa (2013), nos indica que las cercas vivas presentan características tanto de conservación y regeneración de áreas degradadas que generan barreras para evitar valores altos de escorrentía, y que la composición de especies por lo general es diversificada; por lo cual esto representa diversidad de estratos arbóreos que generan mayor porcentaje de oclusión o sombra. De igual manera Betanzos *et al.*, (2021), indica que los valores de infiltración son mayores en suelos con mayor densidad arbórea, ya que estos árboles tienen un mayor desarrollo de copa. Por lo cual se genera un mayor porcentaje de oclusión y esto hace que exista mayor capacidad de infiltración por la menor cantidad de luz solar que atraviesa al suelo. De esta manera de acuerdo a Alonso *et al.*, (2006), nos indican que la radiación solar que llega al estrato herbáceo influye de manera significativa en la absorción o infiltración del agua por el perfil del suelo; ya que los sistemas silvopastoriles, y en este caso las cercas vivas reducen la radiación solar que llega a los estratos, generando menor evaporación y mayores valores de infiltración. Además, para entender la correlación entre el porcentaje de sombra que emite los árboles y la capacidad de infiltración en las cercas vivas, se relaciona a la cantidad de biomasa aérea presente en las cercas vivas, y lo cual, de

acuerdo a Alonso *et al.*, (2006) indican que en sistemas silvopastoriles la presencia de la biomasa aérea genera mejores condiciones edáficas; por lo tanto, mejora los valores de infiltración. POSAF (2006), indica que la sombra emitida por la copa de los árboles disminuye de 2 a 3 °C la temperatura, lo que ayuda a evitar que la humedad evapore tan rápido, permitiendo que logre infiltrar más agua al suelo. De tal manera de acuerdo a Alonso *et al.*, (2006), indican que las condiciones edáficas se relacionan a la sombra proporcionada a través de la biomasa aérea de los árboles; lo cual favorece las condiciones de mayor conservación de agua en el suelo (Ríos, 2006).

**Cuadro 24.** Estimación del análisis de correlación entre el porcentaje de oclusión y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles.

Usos de suelo	Variable independiente	Variable dependiente	Descripción	Correlación
Árboles dispersos en potreros	Porcentaje de oclusión	Infiltración	Correlación de Pearson	.314
Cercas vivas	Porcentaje de oclusión	Infiltración	Correlación de Pearson	-.710*
Bancos forrajeros proteicos	Porcentaje de oclusión	Infiltración	Correlación de Pearson	-.403

\*La correlación es significativa al 0,05

#### 4.8.6 Estimación del efecto del componente vegetal y la capacidad de infiltración en los usos de suelo silvopastoriles

De acuerdo a la estimación de la correlación estadística de Pearson se encontró que no existe correlación entre la presencia arbórea y la infiltración (cuadro. 25).

Esto datos difieren por lo reportado por Luna *et al.*, (2010), quienes indican que la presencia de los árboles es un factor muy importante en la intercepción del agua de lluvia, lo cual genera mayores valores de infiltración. Además, Ríos (2006), hace mención que la presencia vegetal arbórea afecta la cantidad de agua que puede ser

almacenada en el suelo; asimismo, la presencia de árboles afecta la dinámica del agua de varias formas, actuando como barrera que reduce la escorrentía; como cobertura, reduciendo el impacto de las gotas, y mejorando el suelo, incrementando los niveles de infiltración. Por lo tanto, de acuerdo al análisis de correlación de Pearson, la presencia de árboles en suelo ganaderos no es un indicativo de la capacidad de infiltración de agua.

De tal manera, para poder entender esta parte, podemos deducir que la capacidad de infiltración en suelo ganadero, no depende solamente de la presencia de los árboles, sino que también depende de la intensidad y duración de las precipitaciones (Zapata Y Manzano, 2008); influencia de materia orgánica (Ríos, 2006), presión atmosférica y fuerza capilar (Velásquez *et al.*, 2014); y características del suelo y su saturación (Zapata y Manzano, 2008). Además, de acuerdo a otros autores, la interrelación de las cuencas hidrográficas, tienen relación con factores abióticos, tales como la estructura de los suelos y la composición de minerales y rocas. De acuerdo a Rivero *et al.*, (2018), no dice que la capacidad de infiltración del agua de lluvia al suelo, se da principalmente por dos factores: la gravedad de la acción capilar; y esto a su vez se ve afectado por las características del suelo como la facilidad de estrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo. Por lo tanto, podemos deducir que no solo la presencia de árboles actúa como indicativos de mayores tasas de infiltración en contexto a la correlación estadística estos dos factores de estudio, y que, además, todos los factores actúan de manera holística, para poder entender los procesos de infiltración. Ya que, en la capacidad de infiltración del agua, desempeña un papel importante: la textura y estructura de los suelos, además los tipos de vegetación, el contenido de agua en el suelo, la temperatura y la intensidad de las precipitaciones; por ejemplo, los suelos porosos crean suelos mejor estructurados, protegiendo al suelo del estancamiento, y permitiendo que el agua de lluvia se infiltre más rápido.

**Cuadro 25.** Estimación del análisis de Correlación entre usos de suelo con presencia de árboles y la capacidad de infiltración en usos silvopastoriles.

<b>Usos de suelo</b>	<b>Variable independiente</b>	<b>Variable dependiente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Correlación</b>
Sistemas silvopastoriles	Presencia de árboles	Infiltración	Correlación de Pearson	-.386

## V. CONCLUSIONES

- Dentro de los datos en los usos silvopastoriles, la familia más representativa es la fabácea, para lo cual podemos decir que las especies de esta familia se adaptan a las condiciones de los establecimientos de SSP.
- Las especies más utilizadas en ranchos ganaderos para el manejo de diferentes tipos de sistemas silvopastoriles son: cedro, caulote, piñón y guamúchil.
- El uso de árboles dispersos en potreros puede presentar valores de infiltración similares a los valores de pastura en monocultivos, cuando estos no tienen un manejo adecuado de pastoreo; ya que el sobrepastoreo ocasiona compactación del suelo.
- Para el caso de pastura en monocultivo, los datos estimados representan signos evidentes de erosión y compactación de suelo, por ello, indica que existe una menor capacidad de infiltración de agua.
- El porcentaje de oclusión es un indicador sobre la capacidad de infiltración en el uso de cercas vivas, ya que esta va en relación a la densidad arbórea en la estructura de su implementación.
- La presencia de los árboles no representa los únicos factores de infiltración, si no también otros factores como la gravedad, temperatura y estructura de los suelos; la acción capilar, la velocidad y tiempo de lluvia.
- El establecimiento de sistemas silvopastoriles representa una buena opción para restaurar zonas degradadas y la conservación de recursos naturales.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar estudios complementarios como la textura de los suelos que nos permitan respaldar los resultados encontrados.
- Para conocer más de la capacidad de infiltración en suelo silvopastoriles, se recomienda estudiar el grado de degradación y compactación del suelo por sobre carga animal.
- Es recomendable evaluar otras variables hidrológicas como la escorrentía superficial y la estimación de precipitación que inciden en sistemas silvopastoriles, con la finalidad de conocer más a detalle su ciclo hidrológico y poder estimar con mayor detalle los procesos de infiltración.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre Mendoza Z., 2013. Guía de Métodos para Medir la Biodiversidad. Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables.
- Alonso, J.; Febles, G.; Ruiz, T.E.; Achang, G., 2006. Efecto de la sombra en la gramínea asociada en un sistema silvopastoril de leucaena-guinea durante sus diferentes etapas. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 40, núm. 4, pp. 503-511 Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba, Revista Cubana de Ciencia Agrícola ISSN: 0034-7485.
- Arciniegas-Torres S.P., Flórez-Delgado 2018. Estudio de los sistemas silvopastoriles como alternativa para el manejo sostenible de la ganadería. Ciencia y Agricultura.
- Arias R. A., Lombo O. F., Caballero, L. R., Rivera R. M., y Burbano E. E., 2021. Caracterización y diversidad de árboles dispersos en pasturas de un paisaje de bosque seco tropical en el Caribe Colombiano.
- Alonso, J. 2011. Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 45, núm. 2. Instituto de Ciencia Animal La Habana, Cuba
- Barranco S. A., 2018. El agua subterránea y su importancia socioambiental. Colegio de san Luis. Agua: tesoro subterráneo.
- Betanzos, J. E, 2019. Análisis del componente arbóreo y su relación con la productividad de las unidades de producción ganadera en cuatro municipios de la reserva de la biosfera la sepultura Chiapas, México. Artículo1: Caracterización de las unidades de producción ganadera y su relación con la cobertura arbórea en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas, México. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Betanzos - Simón J E., Ríos J. N., Benegas N. L., Jiménez T. J. A., Pérez S. E., Martínez S. A., y Sepúlveda L. C., 2021. Comportamiento de la infiltración del recurso hídrico en diferentes usos de suelo en paisajes ganaderos. CATIE - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 30501, Turrialba, Costa Rica. Avances de Investigación Agropecuaria - Revista de investigación científica agropecuaria.

BioPaSOS (Biodiversidad de Paisajes Ganaderos Agrosilvopastoriles Sostenibles), 2019. Características de la ganadería bovina del Estado de Chiapas.

Casasola C. F., y Villanueva N. C., 2015. Buenas prácticas para la mitigación al cambio climático de los sistemas de producción de leche en Costa Rica /. – 1º ed. – Turrialba, C.R: CATIE, 2015. 128 p: il. – (Serie técnica. Manual técnico / CATIE; no. 129). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Programa de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente Turrialba, Costa Rica.

Cervantes Cordero A. A., 1999. Disminución de la escorrentía superficial debido a variaciones en el uso de suelo. Informe de trabajo de graduación. Escuela de Ingeniería Civil. San José, Costa Rica

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal), 2010. Sistemas Silvopastoriles. Paquete Tecnológico. Uso de árboles en potreros en Chiapas.

Cuervo J. A., Narváez S. W., Han V., C., 2013. Características Forrajeras de la especie *Gliricidia Sepium* (Jacq) Stend, Fabaceae. Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural. Universidad de Caladas. Vol. 17. No. 1

Chavarría Oseguera, 2010. Incidencia de la legislación forestal en el recurso maderable de fincas agroforestales con énfasis en sistemas silvopastoriles de Copán, Honduras, Tesis Magister Scientiae, 175.

De la Ossa Lacayo A., 2013. Cercas Vivas y su importancia ambiental en la conservación de Avifauna Nativa. Revista Colombiana de Ciencia Animal.



Universidad de Sucre Caribe, Maestría en Ciencias Ambientales, Grupo de Investigadores en Biodiversidad Tropical.

Erickson. Jon. 1994. El efecto invernadero, el desastre de mañana, hoy. Serie McGraw-Hill de Divulgación científica.

Farfán V. F., 2015. Instrumento para estimar el porcentaje de sombra en el cafetal. Boletín técnico Cencicafé.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 2013. El Ganado y lo Paisajes. Vías de Sostenibilidad. <http://www.fao.org/3/ar591s/ar591s.pdf>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2015. Los suelos almacenan y filtran agua.

Fundación Gondwana para el desarrollo sostenible, 2012. Principales especies y características para la arborización de las zonas agrarias; Guía 4.

Grande D., y Maldonado M., 2010. Los Sistemas Silvopastoriles del Estado de Tabasco. Agroforestería Pecuaria en México. Alternativas para una reconversión ganadera sustentable; No 1.

Gordillo G. H., 2019. Caracterización del componente arbóreo en ranchos ganaderos de cuatro municipios en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas.

Gómez G. C., Munive C.R., Mallma C., Orihuela V. C., 2014. Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. Universidad Continental.

Hernández L. J. D; Espinosa C. F; Rodríguez J. E; Chacón R. J; Toloza S. C. A; Arenas T. Marlly K; Carrillo S; Sandra M; Bermúdez P; Valmore J., 2018. Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica, vol. 37, núm. 5.

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2016. Establecimiento y uso de sistemas silvopastoriles en República Dominicana Presaac (programa de préstamos al sector agropecuario, agroindustrial y comercial) Ministerio compromiso de Agricultura República Dominicana. United States Department of Agriculture usda. Ministerio de Economía Planificación y Desarrollo. Programa de apoyo al mejoramiento de la productividad y competitividad del sector Agropecuario. Santo Domingo, República Dominicana.
- Ibrahim M., Villanueva C., Casasola F. y Rojas J., 2006. Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos. Grupo de Ganadería y Manejo del Medio Ambiente Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Turrialba, Costa Rica. Pastos y Forrajes, Vol. 29, No. 4,
- Jiménez C. B., Torregrosa M., Aboites A, L. 2010. El agua en México: cauces y encauces. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos. Primera edición. Academia Mexicana de Ciencias. México. p 546.
- Marinidou Eleni, 2009. Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología en Chiapas, México. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Martínez de Azagra. P. A., 2006. Particularización al método de los coeficientes de escorrentía. Métodos de los coeficientes de escorrentía. Mauco Generalizado.
- Musálem M. A., 2003. Sistemas Agrosilvopastoriles: una alternativa de desarrollo rural sustentable para el trópico mexicano. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente
- Luna L., Moreno F., Cañas J. I., Cienfuegos H., 2010. Influencia de la vegetación en el balance hídrico superficial de la cuenca hidrológica de “El Cabril” Lourdes Luna Ramos. ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos) y la Universidad de Córdoba.

- Ochoa O. E., 2011. Implementación de un banco mixto de forraje proteico en un sistema de producción de ganadería Brahman puro. Corporación Universitaria Lasallista. Ciencias Administrativas y Agropecuarias Industriales Pecuarías Caldas. Antioquia.
- Ordoñez. G, J, J., 2011. Ciclo hidrológico. Cartilla técnica: Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. Sociedad geográfica de Lima, Perú. pp 9 y 25.
- Ospina A. J. 2011. Rehabilitación de praderas mediante el uso de sistemas silvopastoriles utilizando cercas vivas en matarratón (*gliricidia sepium*) y bancos mixtos de forraje en maralfalfa (*pennisetum sp*) y botón de oro (*tithonia diversifolia*).
- Pezo D., Ibrahim M., 1998. Sistemas Silvopastoriles. Colección Módulos de Enseñanza Agroforestal: Módulo de Enseñanza Agroforestal No 2. Materiales de enseñanza No. 40. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica. p 4.
- Pinto-Ruiz, R.; Gómez, H.; Martínez, B.; Hernández, A.; Medina, F.J.; Gutiérrez, R.; Escobar, E.; Vázquez, J., 2005. Árboles y arbustos forrajeros del sur de México Pastos y Forrajes, vol. 28, núm. 2, pp. 87-97. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey" Matanzas, Cuba.
- Quijano C. G. A., 2013, 2013. Evaluación comparativa del pastoreo bovino en un monocultivo con gramíneas y un arreglo silvopastoril con yopo (*anadenanthera peregrina*) en el piedemonte del meta. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarías y del Medio Ambiente (ECAPMA). Ingeniería Agroforestal, Colombia.
- Ríos N., Andrade H., y Ibrahim M. 2008. Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Zootecnia Trop., 26. Sitio Argentino de Producción Animal.

- Ríos N., Cárdenas A., Andrade H., Ibrahim M., Jiménez F; Sanchos F; Ramírez E; Reyes B; y Woo A., 2006. Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica. *Agroforestería en las Américas* N° 45. Avances de Investigación.
- Ríos Ramírez, J., 2006. Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga hídrica de la subcuenca del Río Jabonal, cuenca del Río Barranca, Costa Rica. Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación.
- Riveros-Cañas, R. A., 2020. Caja de herramientas para promover el desarrollo de la ganadería sustentable / R. Antonio Riveros-Cañas. – 1a ed. – Turrialba, Costa Rica: CATIE.
- Ruíz L. R., 2010. Estimación y Actualización al 2009 de la Tasa de Transformación del Hábitat de las Áreas Naturales Protegidas SINAP I y SINAP II del FANP. Reserva de la Biosfera La Sepultura. Fondo Nacional para la Conservación de Áreas Naturales Protegidas.
- Sahuquillo H. A., 2009. La importancia de las aguas subterráneas. X Programa de la Cultura Científica y Tecnológicas. *Rev. R. Academia de Ciencia. Exact. Fís. Nat.* (Esp) Vol. 103, N° 1, pp 97-114.
- Soza E., Mené S., y Bertoia P., 2018. Dinámica de la infiltración en un pastizal natural: el impacto de la disímil cobertura de suelo alterada por corte mecánico. Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias Universidad de Moró. *Rev. Fac. Agronomía y Cs. Agroalimentarias UM - Vol. IX.*
- Trinidad Pérez M. I., 2020. Relación de la diversidad florística y la productividad ganadera en cuatro municipios de Chiapas, México. Tesis grado maestría en Ciencias en Producción Agropecuaria Tropical. Facultad de Ciencias Agronómica. Universidad Autónoma de Chiapas.

Úbeda Rivera Ú. J S; Delgado D. Y., 2018. La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua.

Urbina F., Aranda M., Pinto R. R., Guevara F., Ley A., Apolonio J., Raj A. D., 2018. Degradación de potreros en comunidades ganaderas de áreas naturales protegidas en Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma de Chiapas. Programa educativo de Ingeniero Agrónomo en Ganadería Ambiental. 5to Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria 21 y 23 de marzo de 2018 Roque, Celaya, Guanajuato.

Velásquez V. M. A., Sánchez C. I., Gutiérrez L. R., Muñoz V. J., Macías R. H., 2014. Impacto hidrológico del cambio de uso del suelo de un pastizal nativo a praderas de Zacate Buffel (*Pennisetum ciliare* L). Revista Chapingo - Serie Zonas Áridas, vol. XIII, núm. 2, pp. 47-58 Universidad Autónoma Chapingo Durango, México.

Villarreyña Acuña R. A., 2016. Efecto de los árboles de sombra sobre el suelo, en sistemas agroforestales con café, incluyendo la fenología y fisiología de los cafetos. Informe: Proyecto Cascada. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Zapata S. A., Manzano, A. F. 2008. Influencia de seis especies arbóreas en la infiltración de agua en el suelo. Agrociencia vol.42 no.7

Zepeda R. M., Nahed J., y Velasco M. E., 2021. Evaluación de unidades ganaderas e índice de desarrollo de sistemas silvopastoriles en el municipio de Mezcalapa, Chiapas. Avances en Investigación Agropecuaria.