

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**EVALUACIÓN DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN COMO  
MÉTODO DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN PASTO  
(*Panicum maximun* cv BRS Zuri), CULTIVO DE FRIJOL (*Vigna  
sinensis*) Y PLANTACIÓN JUVENIL DE MANGOS, FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS – SEDE CHIRIQUÍ**

**KAREN EDITH MIRANDA BATISTA  
4-778-861**

**DAVID, CHIRIQUÍ  
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2018**

**EVALUACIÓN DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN COMO  
MÉTODO DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN PASTO  
(*Panicum maximun* cv BRS Zuri), CULTIVO DE FRIJOL (*Vigna  
sinensis*) Y PLANTACIÓN JUVENIL DE MANGOS, FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS – SEDE CHIRIQUÍ**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL  
TÍTULO DE INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y  
AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O  
PARCIAL DEBE SER OBTENIDO DE LA FACULTAD DE  
CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**APROBADO:**

**M.Sc. NOÉ AGUILAR**

\_\_\_\_\_  
**DIRECTOR**

**M.Sc. JUAN MIGUEL OSORIO**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**M.Sc. EFRAÍN STAFF**

\_\_\_\_\_  
**ASESOR**

**DAVID, CHIRIQUÍ**

**REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2018**

## AGRADECIMIENTO

*Quiero agradecer, primero a Dios, por darme la salud y sabiduría necesarias para realizar este trabajo.*

*A mis padres Martín Miranda y Edilma Batista; mis hermanas Cinthya, Yaneisi y Deleinis; mi tío Miguel Batista y mi primo Julio César; y a todos mis familiares que de alguna u otra forma me ayudaron.*

*A mi director de trabajo de grado, el profesor Noé Aguilar, por su orientación, tiempo y paciencia.*

*A mis asesores de tesis, los profesores Efraín Staff y Juan Miguel Osorio, por su disponibilidad de colaboración.*

*A los profesores Alexis Samudio y José Pineda por su tiempo y valiosos consejos.*

*A mis amigos: Jessica Montero, Laura Valdés, Arianis Santos, Lisly Pittí, Joaquín Salinas; y al Señor Narciso Contreras, por su apoyo para lograr cumplir esta meta.*

# EVALUACIÓN DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN COMO MÉTODO DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN PASTO (*Panicum maximum* cv BRS Zuri), CULTIVO DE FRIJOL (*Vigna sinensis*) Y PLANTACIÓN JUVENIL DE MANGOS, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS – SEDE CHIRIQUÍ.

Miranda Batista, KE. 2018. Evaluación de las zanjas de infiltración como método de cosecha de agua de lluvia en pasto (*Panicum maximum* cv BRS Zuri), cultivo de frijol (*Vigna sinensis*) y plantación juvenil de mangos, Facultad de Ciencias Agropecuarias – Sede Chiriquí. Tesis de Ingeniería en Manejo de Cuencas y Ambiente. Chiriquí, PA. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá. 115 p.

## RESUMEN

Se determinó el efecto de las zanjas de infiltración en la humedad del suelo y la producción de biomasa en pasto (*Panicum maximum* cv BRS Zuri), cultivo de frijol (*Vigna sinensis*) y plantación juvenil de mangos, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí, durante la época seca (diciembre 2017 – mayo 2018).

Las dimensiones de las zanjas para el pasto fueron de cinco m de largo, 0,28 m de base, 0,96 m de ancho superior, 0,34 m de profundidad, y un área transversal de 0,21 m<sup>2</sup>. Mientras que para frijol y mangos fue de 10 m de largo, 0,45 m de base, 1,53 m de ancho superior, una profundidad de 0,54 m, y el área de la sección transversal de 0,53 m<sup>2</sup>.

Para evaluar el efecto en la humedad del suelo, se realizaron muestreos del mismo cada 15 días hasta una profundidad de 30 centímetros en las parcelas de pasto y frijol, y 50 centímetros en la parcela de mangos. A partir de la humedad gravimétrica y la densidad aparente, la cual se determinó mediante el método de los cilindros, se determinó la lámina de agua del suelo. La lámina de agua promedio al utilizar zanjas fue de 9,68 cm, 8,81 cm y 12,77 cm; y sin zanjas se tuvo una media de 9,44 cm, 8,34 cm y 13,34 cm para pasto, frijol, y mangos respectivamente, siendo mayor para el cultivo de frijol y el pasto al utilizar la obra, pero no así para la parcela de mangos.

Para determinar el rendimiento del pasto se realizaron muestreos al azar cada 21 días. La biomasa promedio fue de 9,54 t/ha con zanjas de infiltración, un 33,96% más que la parcela sin zanjas. Para el cultivo de frijol, se realizó un muestreo antes de la floración, y se registró una biomasa de 41,25 t/ha con zanjas; siendo mayor en un 10,30% en relación a la parcela sin zanjas. En la plantación de mangos se midió el diámetro basal y la altura total y se obtuvo un indicador de biomasa. Esta medición se realizó al inicio y final de la época seca. En la última medición se registró una biomasa promedio de 11,60 x10<sup>3</sup> cm<sup>3</sup> con zanjas, con un incremento de 62,07% respecto a la primera medición; mientras que para la parcela sin zanjas fue de 9,71 x10<sup>3</sup> cm<sup>3</sup>, con un aumento del 52,32%.

**PALABRAS CLAVES:** cambio climático, cosecha de agua, adaptación al cambio climático, zanjas de infiltración, lluvia, humedad del suelo, biomasa, pasto Zuri.

# EVALUATION OF THE INFILTRATION DITCHES AS A METHOD OF HARVESTING OF RAIN WATER IN PASTO (*Panicum maximum* cv BRS Zuri), CULTIVATION OF BEAN (*Vigna sinensis*) AND JUVENILE PLANTATION OF MANGOES, FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES - CHIRIQUÍ AREA.

Miranda Batista, KE. 2018. Evaluation of infiltration ditches as a method of harvesting of rain water in pasture (*Panicum maximum* cv BRS Zuri), bean cultivation (*Vigna sinensis*) and juvenile plantation of mangoes, Faculty of Agricultural Sciences-Chiriqui Area. Thesis of Engineering in Watershed Management and Environment. Chiriquí, PA. Faculty of Agricultural Sciences, University of Panama. 115 p.

## ABSTRACT

The effect of infiltration ditches on soil moisture and grass biomass production (*Panicum maximum* cv BRS Zuri), bean crop (*Vigna sinensis*) and juvenile mango plantation was determined at the Faculty of Agricultural Sciences, Chiriquí Area, during the dry season (December 2017 – May 2018).

The dimensions of the ditches for the pasture were five m long, 0,28 m deep, 0,96 m wide top, 0,34 m deep, and a cross sectional area of 0,21 m<sup>2</sup>. While for beans and mangoes it was 10 m long, 0,45 m deep, 1,53 m wide top, a depth of 0,54 m, and the cross sectional area of 0,53 m<sup>2</sup>.

To evaluate the effect on soil moisture, samplings were carried out every 15 days to a depth of 30 centimeters in the pasture and bean plots, and 50 centimeters in the mango plot. From the gravimetric humidity and the apparent density, which was determined by the method of the cylinders, the water sheet of the soil was determined. The average water sheet when using trenches was 9,68 cm, 8,81 cm and 12,77 cm; and without ditches, an average of 9,44 cm, 8,34 cm and 13,34 cm was used for grass, beans and mangoes respectively, being higher for bean and grass crops when using the work, but not for the mango parcel.

To determine the performance of the grass, random sampling was done every 21 days. The average biomass was 9,54 t/ha with infiltration ditches, 33,96% more than the plot without trenches. For the bean crop, a sampling was carried out before flowering, and a biomass of 41,25 t/ha was recorded with ditches; being greater by 10,30% in relation to the plot without ditches. In the mango plantation, the basal diameter and the total height were measured and a biomass indicator was obtained. This measurement was made at the beginning and end of the dry season. In the last measurement an average biomass of 11,60 x10<sup>3</sup> cm<sup>3</sup> was registered with trenches, with an increase of 62,07% with respect to the first measurement; while for the plot without ditches it was 9,71 x10<sup>3</sup> cm<sup>3</sup>, with an increase of 52,32%.

**KEY WORDS:** climate change, water harvest, adaptation to climate change, infiltration ditches, rain, soil moisture, biomass, Zuri grass.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Antecedentes .....	2
1.3. Justificación.....	6
1.4. Objetivos .....	7
1.4.1. General .....	7
1.4.2. Específicos.....	7
1.5. Hipótesis.....	7
1.5.1. Hipótesis de investigación.....	7
1.5.2. Hipótesis nula.....	7

1.6. Alcances y limitaciones del estudio .....	8
1.6.1. Alcances .....	8
1.6.2. Limitaciones .....	8
2. MARCO TEÓRICO .....	9
2.1. Variabilidad y cambio climático y su impacto sobre el recurso hídrico .....	9
2.1.1. Principales efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos	10
2.2. Medidas de adaptación y mitigación al cambio climático .....	11
2.2.1. Adaptación .....	11
2.2.2. Mitigación .....	13
2.3. Técnicas de cosecha y siembra de agua .....	14
2.3.1. Formas de cosecha de agua .....	17
2.3.2. Zanjas de infiltración .....	19
2.3.2.1. Funciones de las zanjas de infiltración .....	20
2.3.2.2. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración .....	20
2.3.2.3. Ventajas y desventajas de las zanjas de infiltración .....	23
2.4. Perspectivas para Panamá .....	24
3. MARCO METODOLÓGICO .....	28
3.1. Descripción del área de estudio .....	28
3.1.1. Localización geográfica .....	28
3.1.2. Climatología .....	28

3.1.3. Suelos .....	29
3.2. Metodología.....	30
3.2.1. Diseño experimental .....	30
3.2.2. Establecimiento de la parcela de cultivo de frijol ( <i>Vigna sinensis</i> ) .....	31
3.2.2.1. Preparación del terreno .....	32
3.2.2.2. Siembra .....	32
3.2.2.3. Manejo .....	32
3.2.3. Realización de la obra en base al suelo, cultivo y clima .....	33
3.2.3.1. Obtención de las características climáticas, topográficas, edáficas y de vegetación del sitio de estudio.....	33
3.2.3.2. Determinación del coeficiente de escorrentía .....	33
3.2.3.3. Estimación de la precipitación efectiva .....	34
3.2.3.4. Cálculo de la superficie de la sección transversal de la zanja a partir del distanciamiento predeterminado entre zanjas ...	34
3.2.3.5. Construcción de las zanjas de infiltración .....	35
3.2.4. Medición del efecto de la obra en el rendimiento de los cultivos.....	36
3.2.4.1. Determinación del rendimiento del pasto ( <i>Panicum maximun</i> cv BRS Zuri) .....	36
3.2.4.2. Determinación del rendimiento del cultivo de frijol ( <i>Vigna</i> <i>sinensis</i> ) .....	37



3.2.4.3. Determinación del efecto de la obra en la plantación de mangos.....	38
3.2.4.4. Medición del efecto de la obra en la humedad del suelo .....	39
4. RESULTADOS .....	44
4.1. Realización de la obra en base al suelo, cultivo y clima.....	44
4.1.1. Determinación del coeficiente de escurrentía .....	44
4.1.2. Estimación de la precipitación efectiva .....	44
4.1.3. Cálculo de la superficie de la sección transversal (Az) de la zanja a partir del distanciamiento predeterminado entre zanjas.....	47
4.1.3.1. Cálculo de la superficie y los componentes de la sección transversal de la zanja (parcela de pasto) .....	47
4.1.3.2. Cálculo de la superficie y los componentes de la sección transversal de la zanja (parcelas de mangos y frijol Vigna) .....	51
4.2. Efecto de la obra en el rendimiento de los cultivos .....	55
4.2.1. Rendimiento del pasto ( <i>Panicum maximun</i> cv BRS Zuri).....	55
4.2.2. Rendimiento del cultivo de frijol ( <i>Vigna sinensis</i> ) .....	57
4.2.3. Efecto de la obra en la plantación de mangos .....	59
4.2.3. Efecto de las zanjas de infiltración en la humedad del suelo .....	64
4.2.4. Análisis estadístico de comparabilidad de hipótesis (prueba t de Student) .....	71

5. CONCLUSIONES..... 72

6. RECOMENDACIONES..... 73

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 74

ANEXOS..... 83

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
I. DATOS DE ENTRADA PARA DETERMINAR LA MÁXIMA PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS. ....	45
II. TALUDES RECOMENDADOS PARA LA SECCIÓN TRAPEZIAL DE UN CANAL. ....	48
III. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DE LA ZANJA. PARCELA DE PASTO. ....	51
IV. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DE LA ZANJA. PARCELA DE FRIJOL Y MANGOS. ....	54
V. BIOMASA Y MATERIA SECA PRODUCIDA POR EL PASTO ( <i>Panicum maximun</i> cv BRS ZURI) CON Y SIN ZANJAS DE INFILTRACIÓN (2017 – 2018). ....	55
VI. BIOMASA Y MATERIA SECA PRODUCIDA POR EL CULTIVO DE FRIJOL ( <i>Vigna sinensis</i> ) CON Y SIN ZANJAS DE INFILTRACIÓN (2017 – 2018) ....	57
VII. BIOMASA PRODUCIDA POR LOS ÁRBOLES DE MANGO. PARCELAS CON ZANJAS DE INFILTRACIÓN (DICIEMBRE 2017–MAYO 2018). ....	59
VIII. BIOMASA PRODUCIDA POR LOS ÁRBOLES DE MANGO. PARCELAS SIN ZANJAS DE INFILTRACIÓN (DICIEMBRE 2017- MAYO 2018). ....	60
IX. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO. PARCELAS DE PASTO, FRIJOL Y MANGOS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ. ....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1. Arreglo: parcelas y subparcelas del diseño experimental. ....	31
2. Esquema de la sección trapezoidal de la zanja de infiltración. Parcela de pasto. ....	50
3. Esquema de la sección trapezoidal de la zanja de infiltración. Parcela de frijol y mangos. ....	54
4. Quemaduras en las hojas de los árboles de mango. Parcela sin zanjadas de infiltración. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (2018). ....	63
5. Quemaduras en las hojas de los árboles de mango. Parcela sin zanjadas de infiltración. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (2018). ....	63
6. Amarillamiento de las hojas de los árboles de mango. Parcela sin zanjadas de infiltración. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (2018). ....	63
7. Producción de hojas de los árboles de mango. Parcela con zanjadas de infiltración. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (2018). ....	64
8. Producción de hojas de los árboles de mango. Parcela con zanjadas de infiltración. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (2018). ....	64
9. Lámina de agua almacenada en el suelo y Lluvia acumulada. Parcela de pasto ( <i>Panicum maximun</i> cv BRS Zuri). Diciembre 2017-Mayo 2018. ....	67
10. Lámina de agua almacenada en el suelo y Lluvia acumulada. Parcela de frijol ( <i>Vigna sinensis</i> ). Diciembre 2017 – Mayo 2018. ....	68
11. Lámina de agua almacenada en el suelo y Lluvia acumulada. Parcela de mangos (Diciembre 2017 - Mayo 2018). ....	70

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
1. ESTIMACIÓN DE LA PERMEABILIDAD A PARTIR DE LA TEXTURA. ....	83
2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA, SEGÚN LA COBERTURA VEGETAL, LA PERMEABILIDAD DEL SUELO Y LA PENDIENTE. ...	83
3. CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS PARA UN PERÍODO DE 10 AÑOS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ. ....	84
4. DATOS DE PRECIPITACIÓN. ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (DICIEMBRE 2017 – MAYO 2018). ....	87
5. ANÁLISIS DE SUELO. PARCELAS 15-2 (CULTIVO DE FRIJOL Y PLANTACIÓN DE MANGOS) y 21-1 (PASTO ZURI EN ASOCIO CON ÁRBOLES DE COCOBOLO), FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS – SEDE CHIRIQUÍ. ....	88
6. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN. PARCELA DE PASTO ( <i>Panicum maximun</i> cv BRS Zuri). FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2018). ....	89
7. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN. PARCELAS DE FRIJOL ( <i>Vigna sinensis</i> ) Y MANGOS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2018). ....	90
8. DATOS DE LÁMINA DE AGUA EN EL SUELO. PARCELA DE PASTO ( <i>Panicum maximun</i> cv BRS Zuri). FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2017-2018). ....	92
9. DATOS DE LÁMINA DE AGUA EN EL SUELO. PARCELA DE FRIJOL. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2017-2018). ....	92
10. DATOS DE LÁMINA DE AGUA EN EL SUELO. PARCELA DE MANGOS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2017 - 2018). ....	93

11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONTRASTE O COMPARABILIDAD DE HIPÓTESIS (PRUEBA ESTADÍSTICA t DE STUDENT). .....	93
12. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL PASTO ( <i>Panicum maximum</i> cv ZURI). PARCELA 21-1, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2016). .....	96
13. IMÁGENES DE LAS LABORES DE ESTABLECIMIENTO DE LA PARCELA DE FRIJOL ( <i>Vigna sinensis</i> ). .....	97
14. IMÁGENES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN. ....	98
15. IMÁGENES DE LA CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA EN LAS ZANJAS. ....	99
16. IMÁGENES DEL MUESTREO DE PASTO. ....	99
17. IMÁGENES DE LA MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS DE LA PLANTACIÓN DE MANGOS. ....	100
18. IMÁGENES: REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN. ...	100
19. IMÁGENES DE LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE CAPACIDAD DE CAMPO. ....	101

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

La escasez de agua es un problema que aqueja a muchas regiones y personas en el mundo. La tierra, con sus diversas y abundantes formas de vida, que incluyen a más de 7 000 millones de seres humanos, y que se estima que llegue a 9 700 millones en 2050, se enfrenta con una grave crisis del agua (ONU, 2014). Todas las señales parecen indicar que la crisis se agrava y que continuará haciéndolo, a no ser que se emprenda una acción correctiva. Por supuesto, la escasez afecta también muchas actividades productivas del hombre, entre las que destacan la producción agrícola y pecuaria (UNESCO, 2003; citado por MAG, Ministerio de Agricultura de Costa Rica, 2010).

Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), con el avance del cambio climático, América Latina se verá afectada cada vez más por fenómenos meteorológicos extremos: en algunas regiones, las sequías afectan la agricultura, en otras, las lluvias causan inundaciones. Según las proyecciones, la intensidad y variabilidad crecientes de la precipitación agravarían el riesgo de inundaciones y sequías en numerosas áreas (Bates *et al.*, 2008).

Bajo la perspectiva del calentamiento global, el problema de la escasez de agua tiende a empeorar en aquellas regiones en las que ya se presenta déficit, sea por la tendencia de reducción de los niveles de precipitación o por el aumento de los niveles de evaporación y transpiración. De esta manera, el problema en la región

podría extenderse y agudizarse, alcanzando zonas actualmente subhúmedas y húmedas (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013).

## **1.2. Antecedentes**

Existen evidencias de captación de agua utilizadas hace miles de años en Jordania, Irak, Palestina e Israel. En este último país, en el desierto de Negev, se encuentra una de las instalaciones de cosechas de escorrentía más temprana y perfectamente documentada. Las áreas productoras de escorrentía que tenían estos sistemas eran laderas limpias de vegetación y con suelo alisado para incrementar el escurrimiento y unas zanjas cavadas según curvas de nivel conducían el agua recogida para el riego de los campos. Estos sistemas permitían una agricultura de cereales en zonas con una precipitación anual media de 100 mm (Evenari *et al.*, 1964; citado por Martínez & Mongil, 2007).

La recolección de agua de lluvia ha estado presente por muchas generaciones, como una forma de suplir las necesidades de agua para diferentes usos como la agricultura, la atención de animales y el uso doméstico. Aunque por mucho tiempo ha sido relegada como una fuente de agua para las diversas actividades, en los últimos años esta práctica ha venido recobrando fuerza (MAG, Ministerio de Agricultura de Costa Rica, 2010).

En países latinoamericanos como Perú, se han aplicado diversas prácticas conservacionistas, donde destaca los resultados obtenidos con las zanjas de infiltración, las cuales son recomendadas como una técnica para la captación del



agua de escorrentía. Al utilizar zanjas de infiltración, la cobertura vegetal en las zonas tratadas se incrementó de 10 a 40% en tres años. Así, en el Parque Demostrativo Aylambo, en años lluviosos con 750 mm/año, la cobertura vegetal herbácea que inicialmente abarcaba menos del 10% del área tratada, se incrementó después al 70% (Flores *et al.* 2004b). Por otra parte, en este país, las zanjas de infiltración se aplican tanto en zonas de cultivo como en zonas de pastos y especies forestales (Flores *et al.*, 2008).

Según el autor anteriormente citado, en Bolivia, el proyecto JALDA en la ciudad de Sucre, ha permitido masificar las zanjas de infiltración como una de las técnicas de conservación de aguas y suelos más utilizadas por los agricultores en laderas descubiertas de vegetación. Las zanjas son excavadas sobre el terreno, siguiendo las curvas de nivel. Su propósito principal es interceptar y acumular el agua de escurrimiento. También, en Chile, la práctica de construir zanjas de infiltración está culturalmente internalizada en las empresas forestales y progresivamente en los medianos y pequeños propietarios agrícolas y forestales. Así, existe un aumento anual de la superficie con obras de conservación de suelos acogidas a bonificación por el programa de recuperación de suelos de CONAF y SAG (Corporación Nacional Forestal y Servicio Agrícola Ganadero).

Un estudio realizado en zonas semiáridas del secano costero de la región del Maule, Chile; en el cual se comparaba dos prácticas de conservación, las zanjas de infiltración y el subsolado, determina que la técnica más recomendable son las zanjas de infiltración, ya que mejoran el establecimiento y permiten aumentar los volúmenes de pino insigne (*Pinus radiata*) hasta cuatro veces (con respecto a un

sector sin zanjas), a la edad de 7 años (Saavedra, 1998; citado por Flores *et al.*, 2008).

Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2014), en Chile, debido a la conformación geográfica y el tipo de régimen pluviométrico, la erosión hídrica es una de las formas más importantes de degradación del suelo. En este sentido, la construcción de obras para la captura de aguas de lluvia, en particular las zanjas de infiltración, ha permitido proporcionar una técnica adecuada para reducir los índices de desertificación, y también propiciar el proceso de infiltración de las aguas de lluvia bajo condiciones edafoclimáticas desfavorables, de tal forma que permitan el cultivo o la forestación de zonas de secano y la recarga artificial de napas freáticas.

En el año 2015, las autoridades panameñas ligadas al sector primario, identificaron la captación de agua de lluvia y la creación de reservorios del recurso hídrico como la alternativa para asegurar la sostenibilidad del agro (Caballero E, 2015). Esto debido a las variaciones climáticas y la escasez de agua, que se dio no solo en la Región del Arco Seco sino también en otras regiones del país como lo fue la región oriental de la Provincia de Chiriquí.

De hecho ese mismo año, el Ministerio de Desarrollo Agropecuario de Panamá (MIDA), impartió seminarios a los productores acerca de las "medidas de adaptación y mitigación a los embates del cambio climático y sistemas de captación de aguas lluvias". Sin embargo, hasta la fecha no se tiene datos

concretos acerca de la implementación de obras de cosecha de agua para uso en cultivos y los resultados que se han obtenido.

Para inicios del año 2016, debido al fenómeno de el Niño, el sector agropecuario registró pérdidas que superaron los 72 millones de balboas, y se estimó que podría llegar hasta 102 millones de balboas. En la región del Arco Seco (Capira-Panama, Coclé, Herrera, Los Santos y parte de Veraguas) fue donde la sequía afectó con mayor intensidad la producción de alimentos, donde se registró la pérdida de miles de hectáreas de maíz; y la cría de animales, donde se registró la muerte de más de 600 reses. Sin embargo, en el sector pecuario, la sequía no solo impactó en la muerte del ganado, sino también en la producción de leche, la destrucción de la pastura, la reproducción de los animales (Tejera, 2016).

El mismo autor menciona que el Gobierno de Panamá destinó para el plan de emergencia del sector agropecuario 14,5 millones dólares, los cuales se asignaron a tres componentes básicos: suplementación alimenticia, salud animal e infraestructuras. Además, el Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA), resaltó la importancia de que los productores reciban capacitación y transferencia de tecnología para que aprendan a producir con el cambio climático: a través de la reforestación, el manejo adecuado de suelo, y la captación de agua (principalmente la construcción de abrevaderos y reservorios para hacer un mejor uso del recurso hídrico).

### 1.3. Justificación

El agua desempeña un papel crucial en la producción regional y mundial de alimentos; más de un 80% de las tierras agrícolas del mundo depende de la lluvia; en esas regiones, la productividad de los cultivos depende únicamente de una precipitación suficiente para satisfacer la demanda evaporativa y la consiguiente distribución de humedad del suelo (Bates *et al.* 2008). Una de las soluciones, para hacer frente al problema de la escasez de agua, lo constituye el aprovechamiento eficiente de la precipitación pluvial o agua de lluvia.

El agua es un recurso natural limitado, de utilización amplia y esencial para la vida, razón por la cual debe ser preservada en cualquier circunstancia de suministro que se presente. Si el agua del planeta cumple un ciclo, no utilizarla de manera racional significa tener problemas en otras fases del ciclo, en la actualidad o en el futuro. Por lo tanto, el concepto de “uso racional, optimizado y responsable” del agua debe prevalecer siempre, aunque los aportes sean abundantes durante todo el año (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013).

La producción agrícola bajo condiciones de secano o temporal se basa en gran medida, en la relación que existe entre la cantidad de agua requerida por las plantas para su óptimo desarrollo y la cantidad de lluvia disponible (Anaya, 1998). La justificación principal de las zanjas de infiltración se basa en el efecto que producen sobre la estabilización del suelo; es decir, son agentes propiciadores de almacenamiento de humedad para los vegetales, a través del almacenamiento temporal de escorrentías superficiales (Flores *et al.*, 2004a).

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. General**

Evaluar el método de zanjas de infiltración como alternativa para almacenar agua de lluvia en el suelo, para su posterior uso por los cultivos, durante la temporada seca en la Facultad de Ciencias Agropecuarias – Sede Chiriquí.

### **1.4.2. Específicos**

- Establecer la parcela de cultivo de frijol (*Vigna sinensis*).
- Realizar la obra de zanjas de infiltración en base al suelo, cultivo y clima.
- Medir el efecto de la obra en el rendimiento de los cultivos.
- Medir el efecto de la obra en la humedad del suelo.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis de investigación**

Las parcelas de cultivo establecidas con zanjas de infiltración presentan un mayor rendimiento y humedad del suelo en época seca, respecto a las parcelas sin método de cosecha de agua de lluvia.

### **1.5.2. Hipótesis nula**

Las parcelas de cultivo establecidas con zanjas de infiltración no presentan un mayor rendimiento y humedad del suelo en época seca, respecto a las parcelas sin método de cosecha de agua de lluvia.

## **1.6. Alcances y limitaciones del estudio**

### **1.6.1. Alcances**

Mediante esta investigación se evaluaron las zanjas de infiltración como método de cosecha de agua de lluvia para el uso de los cultivos en temporada seca, en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, un sitio que presenta un clima tropical húmedo con período seco de cinco meses (desde diciembre hasta abril). Con el estudio se determinó el efecto de la obra tanto en el rendimiento del cultivo como en la humedad del suelo.

### **1.6.2. Limitaciones**

La cosecha de agua de lluvia, es una técnica innovadora en el país, pero extendida en otras regiones. Sin embargo, existe poca información para comparar los resultados obtenidos en la investigación, principalmente en relación al pasto y el cultivo de frijol.

En otro aspecto, la falta de equipo para determinar la humedad del suelo de forma expedita, no permitió evaluar de manera idónea el comportamiento de esta variable.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Variabilidad y cambio climático y su impacto sobre el recurso hídrico

El cambio climático según lo define la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, 1992), citado por Ibrahim & Ríos (2008), es un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial y que se añaden a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Este cambio en el clima ha ocasionado considerables daños a la agricultura, inundaciones, problemas en la salud humana y de acceso al agua que hace que los recursos hídricos sean afectados en gran manera.

Los recursos hídricos disponibles por la humanidad provienen de un desequilibrio en los continentes, entre el agua de precipitación y la que se evapora o evapotranspira, claramente favorable a la primera que los hace excedentarios. Los recursos hídricos potenciales de que dispone la humanidad para cubrir sus necesidades de todo tipo, depende precisamente de estos excedentes en los continentes (Estrela *et al.*, s.f.).

El autor anteriormente citado menciona que, el clima gobierna el ciclo del agua y por tanto los cambios climáticos arrojan necesariamente cambios en el tiempo y en el espacio de los recursos hídricos disponibles. De este modo, cambios en la precipitación condicionan directamente el agua que cae sobre los continentes y

cambios en las temperaturas modifican los valores de evaporación y evapotranspiración quedando alterada la cantidad y característica de las escorrentías. El cambio climático tiene, en consecuencia, una influencia directa y de suma importancia sobre los recursos hídricos; que se manifestará no solo en la variación de la cantidad sino también en la alteración de la calidad y en su distribución temporal.

### **2.1.1. Principales efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos**

RIMISP (Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 2012), menciona que, con el cambio y la variabilidad climática el mundo enfrenta la paradoja de abundancia y escasez de agua en función de la zona o época de impacto.

Según Ibrahim & Ríos (2008), los principales efectos del cambio climático sobre el recurso agua son los siguientes:

- **Alteraciones en la cantidad, distribución y calidad del recurso hídrico**

El incremento de las tormentas o lluvias generan un aumento de la escorrentía superficial, produciendo un mayor impacto en paisajes fragmentados, deforestados y de poca cobertura. Bates *et al.* (2008), menciona que el calentamiento global modifica al ciclo hidrológico; lo cual significa cambios en los regímenes de precipitación, en su intensidad y en los extremos, y también en la humedad en el suelo y en el escurrimiento.



- **Aumento en eventos atmosféricos extremos**

La variabilidad climática se ve reflejada en aumentos potenciales en el número y la severidad de las tormentas tropicales que aumentan a la vez el número de eventos extremos como huracanes, deslizamientos, derrumbes, suelos desérticos, etc.

- **Alteraciones en el nivel del mar**

Las planicies costeras se afectan a causa del incremento del nivel del mar y de las desembocaduras de ríos.

## **2.2. Medidas de adaptación y mitigación al cambio climático**

El cambio climático representa una externalidad negativa global que está generando alteraciones climáticas significativas, las cuales están dando como resultado impactos económicos, sociales y ambientales importantes. Asimismo, existe evidencia de que los fenómenos climáticos y sus impactos asociados se intensificarán en el futuro. En este sentido se hace esencial la instrumentación de estrategias de políticas públicas que contribuyan a los procesos de adaptación al cambio climático y de mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2017).

### **2.2.1. Adaptación**

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático, 2001), citado por RIMISP (Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 2012), define la capacidad de adaptación como la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los cambios extremos) a fin de moderar los

daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas.

La adaptación al cambio climático se refiere entonces al desarrollo de capacidades para responder y ajustarse a los impactos actuales y potenciales del cambio climático, de manera que se reduzcan los riesgos y los daños o se aprovechen las oportunidades que el cambio climático puede presentar (RIMISP, 2012).

Según el IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, 2007), citado por Alvarado et al. (2013), la adaptación al cambio climático puede darse por cualquier iniciativa dentro de tres tipos:

- **Anticipadora:** Producida antes de que puedan observarse los impactos del cambio climático. También se denomina adaptación proactiva.
- **Autónoma:** No es una respuesta consciente a los estímulos climáticos, sino que es provocada por cambios ecológicos en los sistemas naturales, cambios en el mercado o en el bienestar de los sistemas humanos.
- **Planificada:** Resulta de una decisión política deliberada, basada en la comprensión de que las condiciones han cambiado o están por cambiar y que se requieren medidas para volver a un estado deseado.

Existe un gran número de opciones de adaptación al cambio climático para diferentes sectores como agricultura, sector salud, sector hídrico, frente a la alza del nivel del mar, biodiversidad y ecosistemas y retroceso de los glaciares (Reyes & Sánchez, 2015).

Según Alvarado *et al.* (2013), en cuanto al recurso hídrico, entre las medidas de adaptación están las siguientes:

- Incrementar la captación de aguas lluvias.
- Mejorar su almacenamiento y la conservación.
- Implementar sistemas de reutilización de aguas grises, es decir, aguas residuales generadas por las actividades domésticas.
- Crear programas de desalinización de aguas.
- Lograr mayor eficacia en el uso del agua e irrigación de cultivos.
- Evitar que el agua salada llegue a los cuerpos de agua dulce costeros.

### **2.2.2. Mitigación**

La mitigación hace referencia a las políticas, tecnologías y medidas tendientes a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar los sumideros de los mismos (UNFCCC, Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1992; citado por CIIFEN, Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño, 2016).

Según CIIFEN (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño, 2016), como las circunstancias difieren según los países y las regiones, y diversos obstáculos impiden actualmente el desarrollo y la implantación de esas tecnologías y prácticas, ninguna medida bastará por sí sola para la elaboración, adopción y difusión oportunas de opciones de mitigación. Se necesitará más bien una combinación de medidas adaptada a las condiciones nacionales, regionales y locales.

Los procesos de mitigación se han enfocado principalmente en los sectores energético, transporte, agropecuario, forestal y residuos, sectores que disponen de mayores potencialidades y oportunidades para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2017).

Según el autor anteriormente citado, entre las medidas de mitigación destacan:

- **Acciones relacionadas con la implementación de Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)** para impulsar proyectos de mayor eficiencia y cambios en la matriz energética, contribuyendo de esta manera a la reducción de los gases de efecto invernadero.
- **Mecanismos como la reducción de emisiones generadas por la deforestación y la degradación de bosques (REDD):** Se han establecido fondos y fideicomisos verdes con la finalidad de financiar diferentes medidas de mitigación a través de la adquisición de nuevas tecnologías aplicables a los sectores productivos que generan mayor contaminación.

### **2.3. Técnicas de cosecha y siembra de agua**

Ante el avance del cambio climático, cada vez cobra mayor importancia la adaptación, es decir, el ajuste de los sistemas naturales y humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados. La adaptación es vital en diversos sectores: agua, agricultura, infraestructura, salud, energía, entre otros (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, 2007; citado por Alvarado *et al.*

2013). En el aspecto del agua, destaca la captación y almacenamiento de agua de lluvia o cosecha de agua.

Según FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013), como técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, se entiende la práctica capaz de aumentar la disponibilidad de agua en la finca, para uso doméstico, animal o vegetal. Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, de manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia.

Existen diversas formas de clasificación de lo que se considera cosecha de agua, lo cual depende del autor, y en muchas ocasiones hay divergencias en cuanto a lo que se considera o no cosecha de agua.

Boers & Ben Asher (1982), citado por Martínez & Mongil (2007), definen la cosecha de agua como el método para inducir, recoger, almacenar y conservar escorrentía local y superficial para la agricultura en regiones áridas y semiáridas.

La recolección de escorrentía puede realizarse de dos formas diferentes:

- **Cosechas de agua con microcuencas (microcatchment water harvesting):** Es un método para recoger la escorrentía superficial desde un área de contribución que conduce el flujo a una distancia inferior a 100 metros y almacenarlo para uso consuntivo en la zona radical adyacente a una poceta de infiltración.

- **Cultivo por cosecha de agua (runoff farming water harvesting):** Es un método para recoger la escorrentía superficial desde un área de captación, utilizando canales, presas y sistemas de desviación, y almacenarla en un depósito de superficie o en la zona radical de un área de cultivo para un uso consuntivo directo.

En sentido más amplio, Critchley & Siegert (1991), citado por Martínez & Mongil (2007), definen cosecha de agua como la recolección de escorrentía para su uso productivo. Además diferencian entre las formas de recoger la escorrentía:

- **Cosecha de agua de lluvia o rainwater harvesting:** Cuando se cosecha agua de lluvia desde áreas de captación. En el caso de que la captura de agua y su infiltración se realiza en el mismo sitio, se estaría tratando de "In situ rainwater harvesting".
- **Cosecha de agua desde cursos de agua intermitentes y efímeros (floodwater harvesting):** Donde se recoge y almacena el agua desde cauces naturales, normalmente en épocas con excedentes. En esta modalidad se puede actuar de dos maneras: reteniendo el agua y almacenándola en los materiales permeables del fondo del valle (riegos por inundación), o desviando el agua a otras zonas permeables.

Por otro lado, Frasier (1994), citado por Fernández & Novo (2013), define a la "siembra y cosecha de agua" como el proceso de recolección de agua a partir de un área de infiltración de escorrentías; esta agua podría ser almacenada, para su posterior uso en abastecimiento de agua o riego.

### 2.3.1. Formas de cosecha de agua

Según el Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia (2017), las formas de cosecha de agua comúnmente utilizadas son las siguientes:

- **Qochas:** Son pequeños depósitos temporales de agua, ubicados en las laderas y formados por diques de tierra compactados que retienen y represan el agua de lluvia. En muchos casos, las qochas son reservorios de agua que se infiltran para permitir que el agua continúe su recorrido en el subsuelo.

Las qochas conviene ubicarlas en las cabeceras de cuencas y cumbres, aprovechando las depresiones naturales; y en las partes altas de manantiales y acuíferos, por la interconexión hidráulica; recarga de aguas subterráneas, que mantiene los manantiales (MINAGRI, Ministerio de Agricultura y Riego de Perú, 2013).

- **Atajados:** Son qochas grandes, construidas generalmente con maquinaria. La excavación se hace en sitios con suelo arcilloso, arcillo limoso o arcillo arenoso. En todo caso, el material del lugar debe ser mayor a 30% de arcilla.
- **Micropresas:** En muchos casos, el terreno de una quebrada seca puede servir para construir una pequeña presa de tierra. A lo largo de la quebrada se recomienda buscar un sitio garganta, es decir, con algún lugar angosto donde se pueda hacer fácilmente la excavación y construcción de un dique

de tierra. Para la construcción del dique, el suelo debe ser arcilloso con alguna pedregosidad angular para que se compacte bien.

- **Cosecha de agua por techos:** El agua de lluvia generalmente es de muy buena calidad y sólo requiere de una filtración simple antes de almacenarla. La captación de agua de lluvia es una de las opciones más reales para proporcionar agua a aquellas comunidades que no cuentan con este recurso. Se puede establecer sistemas de captación para consumo humano a nivel familiar y a nivel comunal.
- **Zanjas de infiltración:** Son canales sin desnivel, contruidos en las laderas del área tributaria de la qocha, con el objetivo de captar el agua de escorrentía producto de las lluvias. Evitan procesos erosivos de manto, permitiendo la infiltración del agua en el suelo.

### **Captación "in situ"**

Los sistemas de captación del agua de lluvia dedican una parte del terreno a la escorrentía del agua y otra parte del terreno para almacenar el agua que previamente escurrió. Ambas áreas deben estar acondicionadas para que cumplan con sus objetivos eficientemente (Anaya, 1998).

Según Anaya (1998), la microcaptación *in situ* del agua de lluvia, se diferencia de la captación general básicamente en tres aspectos:



- Porque el sistema de captación se realiza exclusivamente para emplearlo en cultivos básicos, forrajeros, industriales, vegetación nativa, árboles, arbustos y frutales.
- Porque el área de esorrentía, está formada por microcaptaciones que aportan cantidades adicionales de agua y no tienen que conducirla a grandes distancias, ya que dicha área está adyacente al área destinada al almacenamiento.
- Porque el área de almacenamiento incluye el mismo suelo, en el cual se desarrollan las raíces de los cultivos.

Para establecer un sistema de captación *in situ* del agua de lluvia, es necesario obtener información sobre algunos factores tales como la cantidad y distribución de la lluvia en el año, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, las necesidades hídricas de cultivo que se ha seleccionado para la zona donde se trabaje y finalmente, con qué recursos se cuenta para establecer los diferentes sistemas de captación *in situ* que mejor pueden adaptarse a las condiciones del área de trabajo (Anaya, 1998).

### **2.3.2. Zanjas de infiltración**

Las zanjas de infiltración son excavaciones que se realizan en el terreno en forma de canales de sección rectangular o trapezoidal, que se construyen a curvas de nivel para detener la esorrentía de las lluvias y almacenar agua para los pastos y cultivos instalados debajo de las zanjas (MINAGRI, Ministerio de Agricultura y Riego de Perú, 2014).

### **2.3.2.1. Funciones de las zanjas de infiltración**

Según el autor anteriormente citado, las zanjas de infiltración cumplen las siguientes funciones importantes:

- Acortar la longitud de la pendiente, disminuyendo de esta manera los riesgos de grandes escorrentías, que causan erosión, y que se producen en las laderas durante la época de lluvias.
- Detener o depositar el agua de escorrentía de las laderas favoreciendo su infiltración en el terreno para mantener la humedad en beneficio de cultivos, pastos y plantaciones forestales.

### **2.3.2.2. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración**

Según Flores *et al.* (2004a), el diseño de las obras de conservación y aprovechamiento de suelos y aguas, debe considerar previamente cuatro conceptos hidrológicos: el período de retorno y las curvas intensidad-duración-frecuencia de la lluvia máxima, la velocidad de infiltración de los suelos, y el coeficiente de escorrentía, para así diseñar las obras que favorecen la infiltración de aguas lluvias en condiciones desfavorables. Esta situación permite trabajar con un margen de seguridad, el cual minimiza el riesgo de que las obras sean sobrepasadas, de tal manera que permitan diseños confiables y efectivos para la ingeniería hidrológica.

Según Pizarro *et al.* (2004), citado por Flores *et al.* (2004a), el diseño de zanjas de infiltración debe atender fundamentalmente dos criterios:

- El espaciamiento entre zanjas debe ser tal que permita un control adecuado de la erosión.
- La capacidad de captura de agua de las zanjas debe permitir el almacenaje de un determinado volumen de escorrentía producido por la lluvia de diseño.

El principio fundamental para diseñar las zanjas de infiltración, corresponde a que la cantidad de agua de lluvia en la zona de captación, debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja. Es decir, la capacidad de ésta no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan (Pizarro *et al.*, 2003; citado por Flores *et al.*, 2004b). Lo anterior está expresado en la siguiente ecuación:

$$V_e = V_o + V_i$$

Donde

$V_e$ : Volumen de escorrentía aportada por la zona de impluvio.

$V_o$ : Volumen de captación de la obra.

$V_i$ : Volumen de infiltración.

Para determinar el volumen de escorrentía aportada por la zona de impluvio, se deben realizar los siguientes análisis:

- Definir el período de retorno (10 años).
- Determinar la intensidad máxima de precipitación en una hora (milímetro/hora).
- Determinar la velocidad de infiltración (milímetro/hora).

- Definir el coeficiente de escorrentía (adimensional).
- Definir la configuración geométrica de las zanjas.

### **Cálculo de la precipitación efectiva para cosecha**

Según Lemus & Navarro (2003), la precipitación efectiva es, básicamente, la diferencia entre la lluvia caída y el agua infiltrada. Es decir, el agua escurrida. En un sistema de zanja corresponderá a la escorrentía proveniente del área de impluvio de la zanja. Para el cálculo de la precipitación efectiva se requiere del siguiente procedimiento:

- **Máxima precipitación en una hora**

Millán (2000), citado por Lemus & Navarro (2003), con un período de retorno de 10 años. El período de retorno es el intervalo promedio de tiempo dentro del cual cierta magnitud o intensidad de lluvia se iguala o excede una vez. Para el análisis de precipitaciones, la información básica es un registro anual de máximas precipitaciones en 24 horas, valor de entrada para el estudio de lluvias asociadas a un período de retorno, utilizándose la distribución de valores extremos o Gumbel, comúnmente usada para el análisis de frecuencia de variables hidrológicas.

- **Obtención del coeficiente de escorrentía a partir de las características del terreno**

El coeficiente de escorrentía superficial expresa la relación (proporción o porcentaje) entre la magnitud de escorrentía (expresada en mm de lámina de agua) y una determinada magnitud de lluvia (también expresada en mm de lámina de agua) correspondiente a un evento o un período lluvioso en una cuenca o área

de captación determinada (FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013).

Chow *et al.* 1994, citado por Flores *et al.* (2004b), define el coeficiente de escorrentía, como la parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo de agua en el suelo. Su dimensión varía entre 0 y 1, y está inversamente correlacionado con la capacidad de infiltración, es decir, son superficies impermeables las que tienen el más alto coeficiente de escorrentía (VER ANEXOS 1 Y 2).

### **Dimensiones de la zanjas de infiltración**

Se recomienda que las características geométricas de las zanjas de infiltración a construir, posean un perfil de 30 cm de profundidad x 20 cm de base, mientras que éstas tienen un largo variable. El diseño considera un rebaje en el borde aguas arriba para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes (Flores *et al.*, 2004b).

### **2.3.2.3. Ventajas y desventajas de las zanjas de infiltración**

Según MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego de Perú, 2014), entre las ventajas y desventajas de las zanjas de infiltración se encuentran:

#### **Ventajas**

- Es una práctica de fácil realización.
- Intercepta el agua de escorrentía y facilita su infiltración al suelo, contribuyendo a la recarga de manantiales.

- En laderas muy degradadas permite regenerar la vegetación natural y recuperar dichas laderas.
- En terrenos de pastos o plantaciones permanentes, favorece el crecimiento rápido de las plantas por la mayor disponibilidad de humedad.

### **Desventajas**

- Si no se realiza la limpieza periódica del canal, puede provocar el desborde del agua almacenada y la formación de cárcavas laderas abajo.
- Las zanjas de infiltración muy profundas pueden constituir obstáculos al normal tránsito del ganado

### **2.4. Perspectivas para Panamá**

Según Honty (2011), citado por RIMISP (Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, 2012), las perspectivas que enfrentará América Latina y El Caribe en los próximos años son las siguientes:

- Los países andinos verán afectada su provisión de agua como consecuencia de la acelerada reducción de los glaciares. Esto provocará una reducción de la producción agrícola y de la capacidad de generación de hidroelectricidad.
- Las zonas costeras bajas sufrirán los efectos del aumento del nivel del mar. Esto provocará el desplazamiento de poblaciones y daños en las infraestructuras afectando la economía del sector turismo.
- Los países amazónicos perderán buena parte de sus selvas. Dependiendo de los escenarios previstos de aumento de temperatura (2 a 4 grados

centígrados) entre un 40 un 85 por ciento de la Amazonia podría perderse hacia el año 2100, lo cual tendrá consecuencias en los regímenes pluviométricos de esos países pero además tendría consecuencias para el sistema climático global.

- Los cambios en los regímenes de lluvia producirán sequías e inundaciones afectando a las poblaciones ribereñas, la producción agropecuaria y la generación de electricidad en la mayoría de los países.
- Los eventos climáticos extremos afectarán a todos los países, especialmente aquellos más sensibles a las variaciones de los fenómenos de El Niño y La Niña.

En cuanto a Panamá, las proyecciones al año 2050 reflejan un aumento generalizado de las temperaturas entre 0,5 y 2 grados centígrados con un aumento de la variabilidad de los patrones de lluvia (CATHALAC, 2016; citado por el Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica, 2016).

Según el Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica (2016), los principales impactos del cambio climático en Panamá están relacionados con:

- La ocurrencia de eventos extremos de precipitación y las consiguientes inundaciones y deslizamientos sobre pendientes inestables;
- Los eventos de escasez de agua productos de fenómenos como El Niño;
- El aumento de la incidencia de las enfermedades relacionadas con el agua y transmitidas por vectores como el dengue, zika, chikungunya, malaria, hantavirus, entre otras.

Los modelos sobre los efectos adversos del cambio climático prevén para mediados de este siglo, anomalías extremas en los patrones de lluvia y temperatura con un comportamiento errático bipolar en la distribución de las anomalías de precipitación, o sea valores negativos en regiones donde los registros históricos muestran un nivel alto de precipitaciones, con valores positivos (o sea aumento de las lluvias) en regiones como la Pacífico Central donde se registra el menor número de precipitaciones (Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica, 2016).

Según el autor antes mencionado, en cuanto a las acciones a desarrollar para hacer frente a los efectos del cambio climático, se busca aumentar la capacidad de la disponibilidad del recurso hídrico mediante la construcción de reservorios multipropósitos que permitan el almacenaje de agua para satisfacer las necesidades actuales y futuras en tanto el consumo de agua potable, la producción de alimentos, la generación de energía, la industria, el transporte, la recreación, los ecosistemas; otros. A corto plazo se estarán realizando estudios e investigaciones que evalúen y demuestren la viabilidad para aumentar la disponibilidad de agua, y posteriormente, a mediano plazo, la construcción de la infraestructura para conservar agua, caso de los reservorios multipropósitos, cosechas de agua de lluvia, siembra de nubes y reservas de agua para la agricultura.

Según CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2010), al ser Panamá un país donde los habitantes del sector rural representan el 32,4 por ciento de la población total y que dependen en gran medida de la agricultura, es



importante señalar la trascendencia que tienen y tendrán las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, debido a que, de no generarlas, se podría poner en serio riesgo el desarrollo y la subsistencia de las pequeñas poblaciones rurales que están subordinadas al sector. Lo anterior hace necesario un mayor financiamiento y transferencia de tecnología.

### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Descripción del área de estudio**

##### **3.1.1. Localización geográfica**

La Facultad de Ciencias Agropecuarias está ubicada en el Corregimiento de Chiriquí, Distrito de David, Provincia de Chiriquí. El predio tiene una extensión de aproximadamente 824 hectáreas. Geográficamente está situado entre los 8° 23' 35,16" y 8° 24' 29" de Latitud Norte y los 82° 19' 17,4" y 82° 19' 52,45" de Longitud Oeste. Colinda al norte con la Carretera Panamericana; en dirección este colinda con el poblado del Corregimiento de Chiriquí, hacia el oeste limita con el Río Chiriquí, y al sur con otras fincas. La Facultad de Ciencias Agropecuarias se encuentra dentro de la Cuenca del Río Chiriquí (Cuenca N° 108).

Las parcelas y sus respectivas subparcelas de estudio se ubican, específicamente, en la Parcelas N° 15-2 y 21-1, de la finca experimental de la Institución, en las cuales está establecida una plantación de mangos y un sistema agroforestal de pasto en asocio con Cocobolo (*Dalbergia retusa*) respectivamente.

##### **3.1.2. Climatología**

Según datos de Caballero L (2015), el área donde se encuentra la Facultad de Ciencias Agropecuarias presenta un clima Tropical Húmedo con período seco de cinco meses (desde diciembre hasta mayo).

Según registros del Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CEIACHI), recopilados por Aguilar (1998), los datos climáticos del sitio son los siguientes:

La temperatura promedio anual registrada para el área es de 26,8 grados centígrados. El promedio anual de temperatura máxima se registra en 31,6 grados centígrados; y de temperatura mínima 21,1 grados centígrados.

La precipitación pluvial mantiene un promedio anual de 2828,6 milímetros y una distribución anual marcadamente estacional que define una estación seca de cinco meses.

En cuanto a la humedad relativa, esta fluctúa entre el 80 por ciento y 90 por ciento para los meses de mayor precipitación y entre 66 por ciento y 78 por ciento durante los meses de menos lluvias (Caballero L, 2015).

### **3.1.3. Suelos**

Según Caballero L (2015), las Parcelas N° 15-2 y 21-1, pertenecen según la Metodología de Clasificación de Suelos de Costa Rica, a la Clase IV, la cual se caracteriza por una fertilidad del suelo muy baja. Además, se presentan variables como relieve ligeramente ondulado, erosión sufrida del suelo leve a moderada, suelo moderadamente profundo, textura del suelo moderadamente fina a moderadamente gruesa, drenaje moderadamente excesivo y período seco fuerte.

## **3.2. Metodología**

### **3.2.1. Diseño experimental**

El diseño experimental que se utilizó para realizar la investigación fue de bloques completos al azar. Se aplicaron tres tratamientos: el pasto (*Panicum maximum* cv BRS Zuri), el cultivo de frijol (*Vigna sinensis*), la plantación juvenil de mangos. Se utilizó el arreglo de parcelas divididas; cada parcela se dividió en subparcelas, a continuación se detallarán cada una de los tratamientos correspondientes.

#### **➤ Parcelas:**

Las parcelas estuvieron conformadas por los sitios con sus respectivos cultivos. Comprenden tres parcelas: el sistema silvopastoril de pasto Zuri en asocio con Cocobolo (*Dalbergia retusa*), el cultivo de frijol (*Vigna sinensis*), y la plantación juvenil de mangos.

#### **➤ Subparcelas:**

Las subparcelas se establecieron dividiendo las parcelas de cultivo de frijol *Vigna*, plantación de mangos, y pasto Zuri en dos secciones: con y sin zanjas de infiltración.

#### **➤ Tamaño de las unidades experimentales**

Se establecieron tres parcelas de 1 200 metros cuadrados, divididas en dos subparcelas de 600 metros cuadrados (30 metros x 20 metros), cada una. Se realizó una repetición del diseño experimental anteriormente propuesto para tener un grado de libertad. Se realizó un análisis estadístico de contraste o comparabilidad de hipótesis, mediante la prueba estadística t de Student.

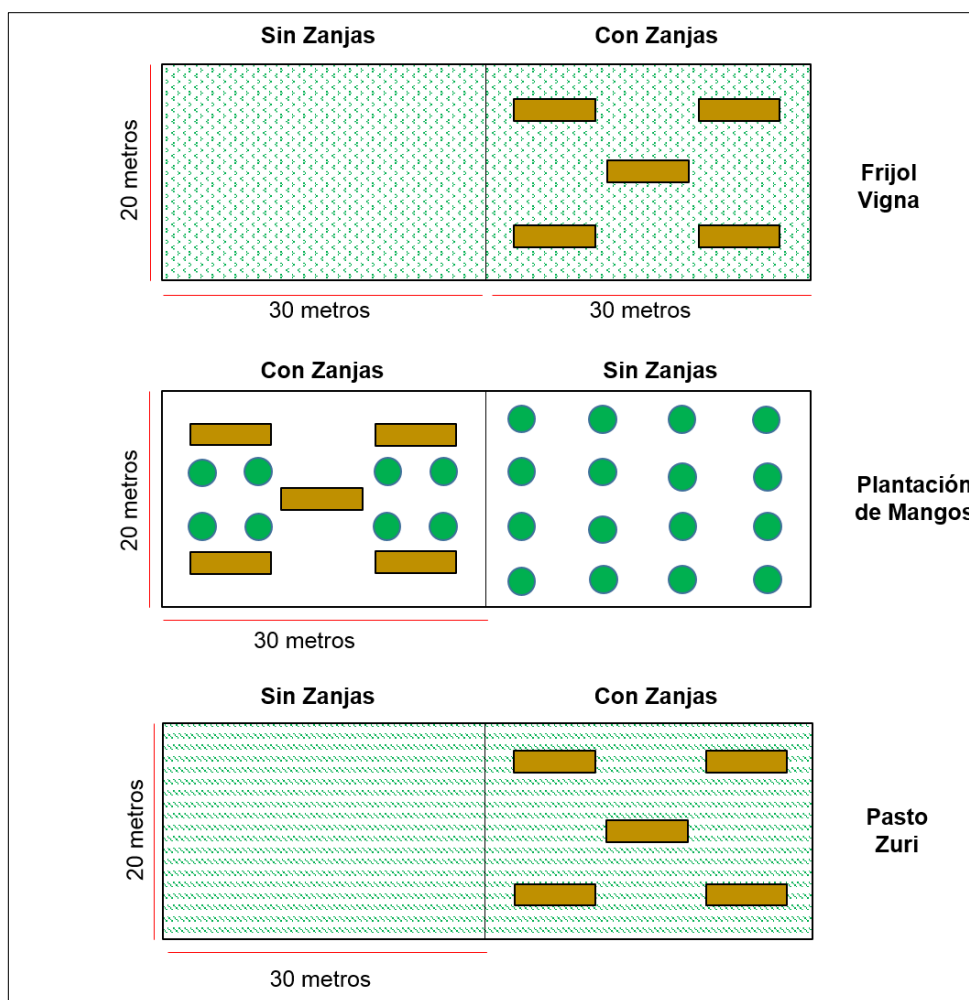


Figura 1. Arreglo: parcelas y subparcelas del diseño experimental.

### 3.2.2. Establecimiento de la parcela de cultivo de frijol (*Vigna sinensis*)

Para el establecimiento y manejo del cultivo de frijol *Vigna* en las parcelas experimentales, se llevaron a cabo las siguientes labores:

### **3.2.2.1. Preparación del terreno**

Se realizó primero la limpieza manual del terreno, y después de forma mecanizada se le dio un pase de rastra, con la finalidad de mullir bien el suelo y hacerlo apropiado para la siembra.

### **3.2.2.2. Siembra**

Primero se realizó una prueba de germinación de las semillas de frijol *Vigna* para determinar su porcentaje de germinación. La labor de siembra se realizó de forma manual al voleo, con una densidad de siembra recomendada de 17 kilogramos/hectárea.

Las semillas se protegieron para prevenir el ataque de hongos e insectos. Para ello se utilizó un producto específico (Brigadier 3 FS - Bifentrina), en una dosis de 100 mililitros por cuatro kilogramos de semilla.

Es importante señalar que las zanjas de infiltración, se construyeron antes de la siembra para evitar causar daño al cultivo.

### **3.2.2.3. Manejo**

Se realizó una aplicación de fertilizante al suelo a los ocho días después de la siembra, en dosis de 30 kilogramos/hectárea de nitrógeno, 60 kilogramos/hectárea de  $P_2O_5$  y 30 kilogramos/hectárea de  $K_2O$ , a partir del fertilizante 12-24-12 (NPK). Se aplicó la mezcla cuidando que no quemara las plántulas, según lo recomendado por Albán (2012).

Se realizó un control de malezas a los 35 días después de la siembra (antes del período crítico de floración y llenado de granos), mediante la aplicación de herbicida (Select 12 EC - Clethodim) en una dosis de 100 mililitros por 20 litros de agua. También se aplicó el insecticida Nomolt 15 SC (Teflubenzuron), en la misma dosis antes mencionada.

### **3.2.3. Realización de la obra en base al suelo, cultivo y clima**

#### **3.2.3.1. Obtención de las características climáticas, topográficas, edáficas y de vegetación del sitio de estudio**

Para la realización de las zanjas de infiltración se consideraron las características climáticas, topográficas (pendiente), edáficas y la cobertura vegetal del sitio donde se desarrolló el ensayo, a partir de las siguientes características: cobertura vegetal presente en el lugar, textura del suelo, datos de P24 (lluvia máxima en 24 horas) de un registro de 10 años, topografía del terreno (pendiente) y uso de la tierra.

Los datos de la precipitación se obtuvieron de los registros del Centro de Enseñanza e Investigación Agropecuaria de Chiriquí (CEIACHI); y la información sobre el tipo de suelo se obtuvo de Caballero L (2015).

#### **3.2.3.2. Determinación del coeficiente de escorrentía**

Se determinó el coeficiente de escorrentía, el cual está en función de las características edáficas, topográficas y el tipo de cobertura. El coeficiente de escorrentía, se define como la proporción de la precipitación que se presenta en forma de flujo de agua en el suelo. Su dimensión varía entre cero y uno, y está

inversamente correlacionado con la capacidad de infiltración, es decir, son superficies impermeables las que tienen el más alto coeficiente de escorrentía (Chow *et al.* 1994; citado por Flores *et al.* 2004b).

### **3.2.3.3. Estimación de la precipitación efectiva**

Se determinó la precipitación efectiva (PE), la cual según FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013), corresponde a la lluvia que es útil o utilizable por quedar el agua almacenada en el suelo, dentro de la zona radicular de las plantas, en niveles de energía de retención que las raíces puedan absorberla (agua disponible).

Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó la metodología de Millán *et al.* (2000), citado por Lemus & Navarro (2003):

- Se determinó la máxima precipitación en una hora con un período de retorno de 10 años, mediante la función de Gumbel. El período de retorno es el intervalo promedio de tiempo dentro del cual cierta magnitud o intensidad de lluvia se iguala o excede una vez.
- Se obtuvo el coeficiente de escorrentía a partir de las características del terreno (VER ANEXOS 1 Y 2).

### **3.2.3.4. Cálculo de la superficie de la sección transversal de la zanja a partir del distanciamiento predeterminado entre zanjas**

Para el cálculo de la superficie de la sección transversal de la zanja se consideró el distanciamiento de los cultivos o esquema de la plantación. La zanja debe ser



capaz de retener la escorrentía que recibirá del área de impluvio resultante del distanciamiento predeterminado (Lemus & Navarro, 2003).

La superficie de la sección transversal se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$Az = \frac{D * Pe}{1000}$$

Donde:

Az = Superficie de la sección transversal.

D = Distancia entre zanjas

Pe = Precipitación efectiva (milímetros).

Luego de determinar el área de la sección transversal, se calcularon sus componentes: base (b), altura (H), ancho superior (a<sub>s</sub>), talud superior e inferior (Z<sub>sup</sub>, Z<sub>inf</sub>), longitudes de talud superior e inferior (L<sub>sup</sub>, L<sub>inf</sub>).

### **3.2.3.5. Construcción de las zanjas de infiltración**

Una vez determinadas las dimensiones y el espaciamiento adecuado entre las zanjas de infiltración, se trazaron las líneas a nivel o las guías para excavar las zanjas, siguiendo la dirección de la pendiente, empezando desde la parte más alta del terreno.

Se demarcaron las líneas mediante estacas y la excavación de las zanjas se hizo de forma mecanizada en las parcelas de frijol y mangos; y de forma manual (con herramientas) en la parcela de pasto.

### **3.2.4. Medición del efecto de la obra en el rendimiento de los cultivos**

#### **3.2.4.1. Determinación del rendimiento del pasto (*Panicum maximun* cv BRS Zuri)**

Para la estimación de la producción de forraje verde y materia seca se utilizó un método destructivo de corte, secado y pesado (Gaekel & Ledesma, 1985). El muestreo fue al azar. El muestreo se realizó cada 21 días, durante un período de seis meses.

Para el muestreo se siguió la metodología de Gaekel & Ledesma (1985):

- Se ubicaron dos puntos a muestrear al azar dentro de cada subparcela (con zanjas y sin zanjas).
- En cada punto a muestrear, se delimitó un área de cuatro metros cuadrados (2 m x 2 m), utilizando unas estacas de madera e hilo de nylon.
- Se extrajo el material vegetativo presente dentro del área delimitada, se colectó en una bolsa plástica y se pesó.
- De la materia verde extraída, se sacaron submuestras de 200 gramos (peso húmedo o fresco), y se colocaron en bolsas de papel debidamente identificadas.
- Las muestras se dejaron secar en el horno a una temperatura de 80 grados Celsius por 48 horas.
- Se sacaron las muestras del horno y se registró su peso (peso seco).
- Se realizaron los cálculos para determinar el contenido de materia seca.

### **3.2.4.2. Determinación del rendimiento del cultivo de frijol (*Vigna sinensis*)**

Para la estimación de biomasa y materia seca del frijol, se realizó un muestreo destructivo al azar durante el período de floración (a los 40 días después de la siembra, aproximadamente), se calculó la materia verde, y mediante el método de secado y pesado, la materia seca, según la metodología de López *et al.* (2014).

Para ello se realizaron las siguientes actividades:

- Se ubicaron dos puntos a muestrear al azar dentro de cada subparcela (con zanjas y sin zanjas).
- En cada punto a muestrear, se delimitó un área de un metro cuadrado, utilizando unas estacas de madera e hilo de nylon.
- Se extrajo el material vegetativo presente dentro del área delimitada, se colectó en una bolsa plástico y se pesó.
- De la materia verde extraída, se sacaron submuestras de 200 gramos (peso húmedo o fresco), y se colocaron en bolsas de papel debidamente identificadas.
- Las muestras se dejaron secar en el horno a una temperatura de 80 grados Celsius por 48 horas.
- Se sacaron las muestras del horno y se registró su peso (peso seco).
- Se realizaron los cálculos para determinar el porcentaje de materia seca del frijol.

A los 90 días después de la siembra, se cosechó y cuantificó la producción del grano por cada parcela. Se extrapoló los resultados para una hectárea para determinar el rendimiento del frijol Vigna.

### **3.2.4.3. Determinación del efecto de la obra en la plantación de mangos**

Se calculó el índice de biomasa, a partir del indicador de biomasa según Higuera (2004), citado por Flores *et al.* (2008). El mismo está dado por:

$$\text{Biomasa (cm}^3\text{)} = D^2 * H$$

Donde:

D = Diámetro a la altura del cuello (centímetros).

H = Altura total de la planta (centímetros).

Las mediciones se realizaron al inicio y final de la época seca (meses de diciembre del año 2017 y mayo del año 2018). También se consideraron síntomas visuales, para evaluar cualitativamente la salud de los árboles y el efecto del estrés hídrico, como producción de hojas, marchitez, enrollamiento, senescencia y caída de hojas (Saavedra, 2015).

A partir de los datos obtenidos de diámetro, altura total y biomasa, se calculó el incremento absoluto y relativo de estas variables, mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Incremento absoluto} = \text{Valor final (mayo)} - \text{Valor inicial (diciembre)}$$

$$\text{Incremento relativo} = (\text{Incremento absoluto} / \text{Valor inicial}) * 100$$

#### **3.2.4.4. Medición del efecto de la obra en la humedad del suelo**

Se determinó el contenido de humedad del suelo mediante el método gravimétrico (Forsythe, 1974). La humedad gravimétrica es la forma más básica de expresar la humedad del suelo y se entiende por ella la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Frecuentemente se expresa como un porcentaje (International Society of Soil Science; citado por Forsythe, 1974). La humedad del suelo se midió cada quince días, durante un período de seis meses.

Para el muestro de humedad de suelo se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Se ubicaron dos puntos a muestrear al azar dentro de cada subparcela (con zanjas y sin zanjas).
- Se eliminó la vegetación en el punto para no contaminar la muestra.
- Se extrajeron las muestras de suelo utilizando el barreno, y se guardaron en bolsas plásticas selladas para evitar pérdida de humedad.
- Se sacaron muestras de 0 a 15 centímetros y de 15 a 30 centímetros de profundidad. En la parcela de mangos se extrajeron muestras hasta los 50 centímetros, debido a la mayor profundidad que alcanzan las raíces de los arbolitos.
- Inmediatamente se llevaron las muestras al laboratorio, donde se pesaron submuestras de 30 gramos de suelo (peso húmedo) y se colocaron en potes químicos.
- Las muestras se dejaron secar en el horno a una temperatura de 100 grados Celsius por 24 horas.

- Se sacaron las muestras del horno y se registró su peso (peso seco).
- Se realizó el cálculo para determinar la humedad gravimétrica:

$$\% \text{ de humedad gravimétrica} = \frac{\text{Masa suelo húmedo} - \text{Masa suelo seco}}{\text{Masa suelo seco}} * 100$$

La humedad gravimétrica se transformó en humedad volumétrica, mediante la siguiente fórmula:

$$H_v = \rho_a / \rho_{ag} \times H_g$$

Donde:

$H_g$  = humedad gravimétrica

$H_v$  = humedad volumétrica (mililitros agua/100 mililitros suelo)

$\rho_a$  = densidad aparente del suelo (gramos/militros)

$\rho_{ag}$  = densidad del agua (gramos/militros)

Consecuentemente se calculó la lámina de agua en el suelo, al considerar la profundidad de muestreo.

Otras variables que se midieron fueron: la velocidad de infiltración del agua en el suelo, según el método de cilindros infiltrómetros; la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, las cuales se determinaron según la metodología de García *et al.* (2012).

La velocidad de infiltración se refiere a la relación entre una lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo y se expresa en centímetros por hora (cm/h) o milímetros por hora (mm/h). Este movimiento está condicionado a la

textura, humedad y estructura de los suelos, por lo que presenta amplias variaciones en el espacio y en el tiempo (Valverde, 2000).

Gavande (1976), define la capacidad de campo como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se le deja drenar libremente. En un suelo bien drenado, se llega a este punto, aproximadamente 48 horas después de irrigar. Por otra parte, el punto de marchitez permanente es el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo extrajo toda el agua utilizable (García *et al.* 2012).

Para determinar la velocidad de infiltración del agua en el suelo se siguió el siguiente procedimiento (Valverde, 2000):

- Se seleccionó un sitio dentro de la parcela, el cual no estuviera compactado o disturbado anormalmente.
- Se introdujo el cilindro exterior con golpes firmes y secos del martillo hasta una profundidad de 10 centímetros.
- Luego se introdujo el cilindro interior en forma concéntrica hasta una profundidad de 15 centímetros.
- Se colocó un plástico dentro del cilindro interior y se llenó con agua hasta 10 centímetros.
- Se llenó el cilindro exterior con agua hasta una altura un poco menor que la del cilindro interior, y se retiró el plástico del mismo para empezar con las mediciones del descenso del nivel del agua con una regla fijada.

- Se realizaron lecturas periódicas durante dos horas, cuidando que el nivel del agua del cilindro interior no bajara más de tres centímetros.

La metodología de García *et al.* (2012), que se siguió para determinar la capacidad de campo y punto de marchitez permanente fue la siguiente:

- Se seleccionó un sitio dentro de cada subparcela (con zanjas y sin zanjas).
- Se marcó una superficie de 1 m x 1 m. Con una azada se eliminó la vegetación y los primeros centímetros de suelo.
- Se construyó un bordo de tierra apisonada de 10 cm de altura, rodeando el cuadrado.
- Se aplicó agua abundantemente hasta saturar el perfil del suelo, aproximadamente, ya que se realizó en época de lluvias, por lo que no fue necesario aplicar mucha agua.
- Se cubrió el cuadrado con un plástico de aproximadamente 2 x 2 metros para evitar pérdidas por evaporación. Los bordes y el centro del plástico se cubrieron con suelo para evitar la evaporación y que lo levantara el viento.
- Después de 72 horas se retiró el plástico y se sacaron las muestras utilizando cilindros metálicos, los cuales se envolvieron con papel de aluminio y se guardaron en bolsas plásticas selladas, para evitar la pérdida de humedad.
- Se sacaron muestras de 0 a 15 centímetros y de 15 a 30 centímetros de profundidad. Además, en la parcela de mangos se extrajo muestras hasta los 50 centímetros, debido a la mayor profundidad que alcanzan las raíces de los arbolitos.



- Las muestras, inmediatamente de extraídas se llevaron al laboratorio, donde se pesaron para obtener su peso húmedo, y se dejaron en el horno a una temperatura de 100 grados centígrados por 24 horas.
- Después de secas las muestras, se volvieron a pesar para registrar su peso seco.
- Se calculó el contenido de agua a capacidad de campo (%HP CC) mediante la siguiente fórmula:

$$\%HP \text{ CC} = (\text{Peso fresco a CC} - \text{Peso suelo seco}) / \text{Peso Suelo Seco} * 100$$

- Se calculó el punto de marchitez permanente (%HP PMP), mediante la ecuación de Silva *et al.* (1988), citado por García *et al.* (2012):

$$\%HP \text{ PMP} = (\%HP \text{ CC} * 0,74) - 5$$

Durante el desarrollo de la investigación, se registró la precipitación diaria medida en la Estación Meteorológica de la Facultad de Ciencias Agropecuaria, Sede Chiriquí.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Realización de la obra en base al suelo, cultivo y clima

#### 4.1.1. Determinación del coeficiente de escorrentía

- **Parcela de pasto**

El coeficiente de escorrentía está en función de las características edáficas, topográficas y el tipo de cobertura. Este coeficiente para la parcela de pasto es **0,40**, debido al tipo de vegetación que allí se encuentra (pasto *Panicum maximum* cv BRS Zuri), la textura del suelo es franco arcillo arenoso, y la pendiente varía entre 2-5% (VER ANEXOS 1 Y 2). Este valor (0,40) da a entender que el 40% de la precipitación se transforma en escorrentía superficial y que el 60% se infiltra y es almacenada en el suelo.

- **Parcela de frijol y mangos**

En el caso de las parcelas de cultivos (frijol Vigna y mangos), el coeficiente de escorrentía es **0,50**. La plantación de mangos se encuentra en sus primeros años, la textura del suelo es franco arcilloso arenoso, y la pendiente es más pronunciada que en la parcela de pasto (varía de 5-20%) (VER ANEXOS 1 Y 2). Este valor (0,50) da a entender que el 50% de la precipitación se transforma en escorrentía superficial y que el otro 50% se infiltra y es almacenada en el suelo.

#### 4.1.2. Estimación de la precipitación efectiva

Según FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2013), la precipitación efectiva corresponde a la lluvia que es útil o

utilizable por quedar el agua almacenada en el suelo, dentro de la zona radicular de las plantas, en niveles de energía de retención que las raíces puedan absorberla (agua disponible).

Para el cálculo de la precipitación efectiva se utilizó la metodología de Millán *et al.* (2000), citado por Lemus & Navarro (2003):

- **Máxima precipitación en 24 horas con un período de retorno de 10 años (función de Gumbel):**

CUADRO I. DATOS DE ENTRADA PARA DETERMINAR LA MÁXIMA PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS.

Precipitación máxima promedio (X)		131,06 mm/día
Desviación estándar (S)		37,40 mm/día
Parámetros de Gumbel	$\alpha$	0,0294
	$\beta$	112,92
Desviación estándar reducida ( $\sigma$ )		1,1004
Promedio reducido ( $\mu$ )		0,5332
$\eta - 1$		27 años

(VER ANEXO 3).

$$\text{Ppt max} = \beta - \frac{1}{\alpha} * \ln \left[ \left( \frac{10}{10-1} \right) \right]$$

$$\text{Ppt max} = 112,92 - \frac{1}{0,0294} * \ln \left[ \ln \left( \frac{10}{10-1} \right) \right]$$

**Ppt max en 24 horas = 189,46 milímetros/día para 10 años de período de retorno.**

- **Máxima precipitación en 1 hora en un período de 10 años**

Aplicando la fórmula de T.C. Sheng.

$$I = \frac{P_{24}}{24} * \left(\frac{24}{T_c}\right)^{0,6}$$

Donde:

$P_{24}$  = Ppt max/24 horas para un Tr de 10 años.

$T_c$  = 1 hora

$$I = \frac{189,46}{24} * \left(\frac{24}{1}\right)^{0,6}$$

**I = 53,14 milímetros/hora**

### **Precipitación efectiva (Pe)**

- **Parcela de pasto**

**Pe = Precipitación máxima en una hora para Tr de 10 años \* coeficiente de escorrentía**

$$Pe = 53,14 \text{ mm/h} * 0,40$$

**Pe = 21,26 milímetros/hora**

- **Parcela de cultivos (frijol Vigna y mangos)**

**Pe = Precipitación máxima en una hora para Tr de 10 años \* coeficiente de escorrentía**

$$Pe = 53,14 \text{ mm/h} * 0,50$$

**Pe = 26,57 milímetros/hora**

### 4.1.3. Cálculo de la superficie de la sección transversal (Az) de la zanja a partir del distanciamiento predeterminado entre zanjas

#### 4.1.3.1. Cálculo de la superficie y los componentes de la sección transversal de la zanja (parcela de pasto)

En este caso se busca tener las dimensiones de las zanjas, que sea capaz de retener la escorrentía que recibirá de área de impluvio resultante del distanciamiento predeterminado.

$$Az = \frac{D+Pe}{1000}$$

Dónde:

Az = Superficie de la sección transversal.

Pe = Precipitación efectiva = 21,26 mm/h

D = Distanciamiento entre zanjas = 10 metros

$$Az = \frac{10 \text{ m} * 21,26 \text{ mm/h}}{1000}$$

**Az = 0,21 m<sup>2</sup> (metros cuadrados)**

#### **Diseño de la sección transversal de la zanja de infiltración (componentes de la sección transversal):**

Una vez conocida la superficie de la sección transversal, se calculan sus parámetros, teniendo en consideración como valores de referencia los contenidos en el CUADRO II.

CUADRO II. TALUDES RECOMENDADOS PARA LA SECCIÓN TRAPEZIAL DE UN CANAL.

Terreno	Talud (Z)
Roca	Casi vertical
Turba	0,25
Arcilla y revestimiento de hormigón	0,5-1
Tierra	1
Suelo arenoso	2

(Fuente: Ministerio de Obras Públicas de Chile, 1981; citado por Lemus & Navarro, 2013).

- **Tirante hidráulico (h):**

Si el talud (H:V) es de proporción 1:1, entonces el ángulo  $(\theta) = \tan^{-1}(1/2) = 45^\circ$ .

$$h = \sqrt{\frac{Az \cdot \cos \theta}{2 - \operatorname{sen} \theta}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0,21 \text{ m}^2 \cdot \cos 45^\circ}{2 - \operatorname{sen} 45^\circ}}$$

$$h = 0,34 \text{ metros}$$

- **Base o plantilla de la sección (b):**

$$\frac{b}{y} = 2 * \tan \left( \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\frac{b}{y} = 2 * \tan \left( \frac{45^\circ}{2} \right)$$

$$\frac{b}{y} = 0,8284$$

$$b = 0,8284 \text{ y}$$

$$b = 0,8284 (0,34 \text{ m})$$

$$b = 0,28 \text{ metros}$$

- **Perímetro mojado (p):**

$$p = b + 2y \sqrt{1 + z^2}$$

$$p = 0,28 \text{ m} + 2 (0,34 \text{ m}) \sqrt{1 + 1^2}$$

$$p = 0,28 \text{ m} + 2 (0,34 \text{ m}) \sqrt{2}$$

$$p = 0,28 \text{ m} + 0,96 \text{ m}$$

$$p = 1,24 \text{ metros}$$

- **Radio hidráulico (R)**

$$R = \frac{Az}{p}$$

$$R = \frac{0,21 \text{ m}^2}{1,24 \text{ m}}$$

$$R = 0,17 \text{ metros}$$

- **Espejo de agua o ancho superior (a<sub>s</sub>):**

$$a_s = b + 2 zy$$

$$a_s = 0,28 \text{ m} + 2 (1) (0,34 \text{ m})$$

$$a_s = 0,28 \text{ m} + 0,68 \text{ m}$$

$$a_s = 0,96 \text{ metros}$$

- **Longitudes de los taludes (Lz)**

$$Lz = \sqrt{h^2 + (h * z)^2}$$

$$Lz = \sqrt{(0,34 \text{ m})^2 + (0,34 \text{ m} * 1)^2}$$

$$Lz = 0,48 \text{ metros}$$

- Volumen de agua generado en el área de impluvio vs volumen en de agua almacenado en la zanja de infiltración (comprobación).

Área de impluvio	Zanja de infiltración
<p>Área = 5 m * 10 m = 50 m<sup>2</sup></p> <p>Escorrentía generada (Eg)</p> <p>Eg = precipitación efectiva * área</p> <p>Eg = 21,26 mm * 50 m<sup>2</sup></p> <p>Eg = 1063 litros</p> <p>Eg = 1,0 m<sup>3</sup></p>	<p>Área transversal de la zanja = 0,21 m<sup>2</sup></p> <p>Largo de la zanja = 5 m</p> <p>Volumen almacenado = 0,21 m<sup>2</sup> * 5 m</p> <p>Volumen almacenado = 1,0 m<sup>3</sup></p>

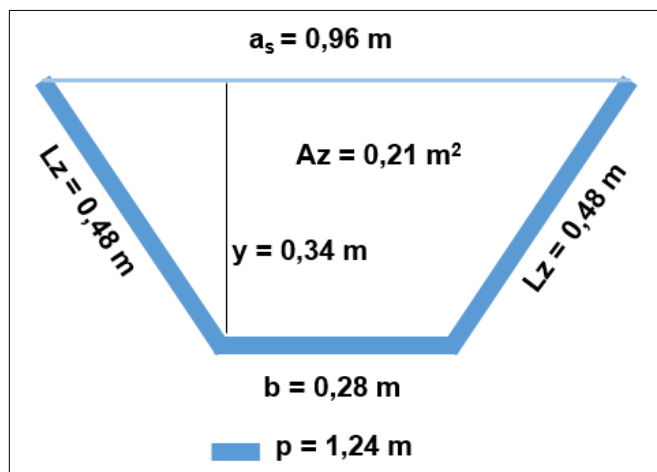


Figura 2. Esquema de la sección trapezoidal de la zanja de infiltración. Parcela de pasto.



CUADRO III. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DE LA ZANJAS. PARCELA DE PASTO.

Largo de la zanja	5 metros
Profundidad de la zanja (y)	0,34 metros
Base de la zanja (b)	0,28 metros
Ancho superior (a <sub>s</sub> )	0,96 metros
Perímetro mojado (p)	1,24 metros
Ángulo de inclinación del talud (θ)	45°
Talud (z) (recomendado en tierra)	1
Área transversal de la zanja	0,21 m <sup>2</sup>
Radio hidráulico	0,17 metros

En el caso de la parcela de pasto, por cada parcela (1200 metros cuadrados), se construyeron 24 zanjas de infiltración. Lo anterior significa que por hectárea sería necesario construir 200 zanjas de infiltración, en el caso del sitio donde se realizó la investigación. El área ocupada por las zanjas sería de 960 metros cuadrados.

#### 4.1.3.2. Cálculo de la superficie y los componentes de la sección transversal de la zanja (parcelas de mangos y frijol Vigna)

$$Az = \frac{D+Pe}{1000}$$

Dónde:

Az = Superficie de la sección transversal.

Pe = Precipitación efectiva = 26,57 mm/h

D = Distanciamiento entre zanjas = 20 metros

$$Az = \frac{20 \text{ m} * 26,57 \text{ mm/h}}{1000}$$

$$Az = 0,53 \text{ m}^2$$

- **Tirante hidráulico (h):**

Si el talud (H:V) es de proporción 1:1, entonces el ángulo  $(\theta) = \tan^{-1}(1/2) = 45^\circ$

$$h = \sqrt{\frac{Az \cdot \cos \theta}{2 - \sin \theta}}$$

$$h = \sqrt{\frac{0,53 \text{ m}^2 \cdot \cos 45^\circ}{2 - \sin 45^\circ}}$$

**h = 0,54 metros**

- **Base o plantilla de la sección (b):**

$$\frac{b}{y} = 2 * \tan \left( \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\frac{b}{y} = 2 * \tan \left( \frac{45^\circ}{2} \right)$$

$$\frac{b}{y} = 0,8284$$

**b = 0,8284 y**

b = 0,8284 (0,54 m)

**b = 0,45 metros**

- **Perímetro mojado (p):**

$$p = b + 2y \sqrt{1 + z^2}$$

$$p = 0,45 \text{ m} + 2 (0,54 \text{ m}) \sqrt{1 + 1^2}$$

$$p = 0,45 \text{ m} + 2 (0,54 \text{ m}) \sqrt{2}$$

$$p = 0,45 \text{ m} + 1,53 \text{ m}$$

**p = 1,98 metros**

- **Radio hidráulico (R)**

$$R = \frac{Az}{p}$$

$$R = \frac{0,53 \text{ m}^2}{1,98 \text{ m}}$$

$$R = 0,27 \text{ metros}$$

- **Espejo de agua o ancho superior (a<sub>s</sub>):**

$$a_s = b + 2 zy$$

$$a_s = 0,45 \text{ m} + 2 (1) (0,54 \text{ m})$$

$$a_s = 0,45 \text{ m} + 1,08 \text{ m}$$

$$a_s = 1,53 \text{ metros}$$

- **Longitudes de los taludes (Lz)**

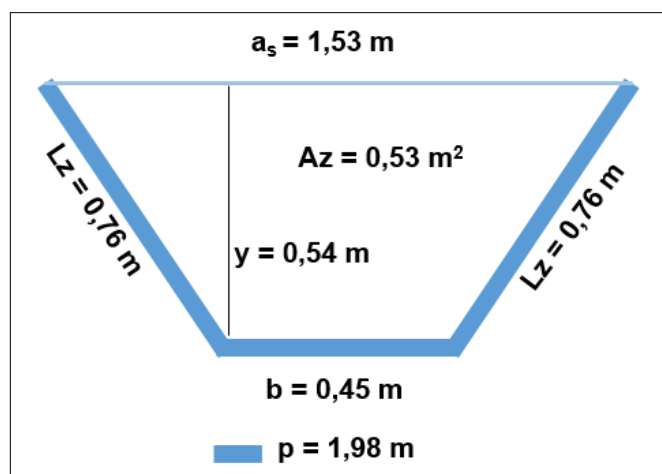
$$Lz = \sqrt{h^2 + (h * z)^2}$$

$$Lz = \sqrt{(0,54 \text{ m})^2 + (0,54 \text{ m} * 1)^2}$$

$$Lz = 0,76 \text{ metros}$$

- **Volumen de agua generado en el área de impluvio vs volumen de agua almacenado en la zanja de infiltración (comprobación).**

Área de impluvio	Zanja de infiltración
Área = 10 m * 20 m = 200 m <sup>2</sup> Escorrentía generada (Eg) Eg = precipitación efectiva * área Eg = 26,57 mm * 200 m <sup>2</sup> Eg = 5314 litros Eg = 5,3 m <sup>3</sup>	Área transversal de la zanja = 0,53 m <sup>2</sup> Largo de la zanja = 10 m Volumen almacenado = 0,53 m <sup>2</sup> *10 m Volumen almacenado = 5,3 m <sup>3</sup>



**Figura 3. Esquema de la sección trapezoidal de la zanja de infiltración. Parcela de frijol y mangos.**

**CUADRO IV. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL DISEÑO DE LA ZANJAS. PARCELA DE FRIJOL Y MANGOS.**

Largo de la zanja	10 metros
Profundidad de la zanja ( $y$ )	0,54 metros
Base de la zanja ( $b$ )	0,45 metros
Ancho superior ( $a_s$ )	1,53 metros
Perímetro mojado ( $p$ )	1,98 metros
Ángulo de inclinación del talud ( $\theta$ )	45°
Talud ( $z$ ) (recomendado en tierra)	1
Área transversal de la zanja	0,53 m <sup>2</sup>
Radio hidráulico	0,27 metros

En el caso del cultivo de frijol y la plantación de mangos, por cada parcela (1200 metros cuadrados) se construyeron 6 zanjias de infiltración, así que sería necesario construir 50 zanjias/hectárea. El área ocupada por las zanjias sería de 765 metros cuadrados.

## 4.2. Efecto de la obra en el rendimiento de los cultivos

### 4.2.1. Rendimiento del pasto (*Panicum maximum* cv BRS Zuri).

El rendimiento del pasto se estimó a partir de la producción de biomasa y materia seca, cada 21 días, durante los meses de diciembre, enero, abril y mayo. En los meses de febrero y marzo, no se realizaron mediciones, debido a la falta de lluvias, por lo que el pasto no pudo recuperarse y no alcanzó un nivel óptimo para muestreo. Durante esos meses el ganado se mantuvo en pastoreo en las parcelas y se le suministró pacas de heno.

CUADRO V. BIOMASA Y MATERIA SECA PRODUCIDA POR EL PASTO (*Panicum maximum* cv BRS ZURI) CON Y SIN ZANJAS DE INFILTRACIÓN (2017 – 2018).

Mes	Parcela	Biomasa producida (t/ha)	Porcentaje de materia seca (%)	Materia seca (t/ha)	Precipitación acumulada mensual (mm)
Diciembre (8 - 29 diciembre)	Con zanjás	9,33	25,80	2,41	28,7
	Sin zanjás	5,70	15,90	0,91	
Enero (16 enero – 5 febrero).	Con zanjás	13,89	20,30	2,82	56,50
	Sin zanjás	7,34	18,88	1,39	
Febrero	Pastoreo				0,50
Marzo	Pastoreo				17,00
Abril (17 abril - 8 mayo)	Con zanjás	7,15	21,73	1,55	132,00
	Sin zanjás	5,69	22,08	1,26	
Mayo (9 - 29 mayo)	Con zanjás	7,78	25,76	2,00	431,30
	Sin zanjás	6,46	26,36	1,70	

**\*\*Observación:** En el caso de la parcela con zanjás, se considera un área efectiva de 9040 metros cuadrados, debido al espacio que se pierde al realizar la obra.

El CUADRO V muestra que la producción de biomasa del pasto (*Panicum maximum* cv BRS Zuri) fue mayor en las parcelas con zanjas de infiltración, durante todas las mediciones que se hicieron. De hecho, la producción de biomasa siempre fue mayor en todas las subparcelas con zanjas, para las dos repeticiones que se hicieron del ensayo. En los meses de diciembre y enero cuando las lluvias eran esporádicas, la diferencia fue más marcada, que en los meses de abril y mayo cuando las lluvias eran más abundantes. Esto resalta el efecto de las zanjas para captar y almacenar el agua de lluvia por más tiempo, evitando que se pierda por escorrentía, y posibilitando su posterior uso por el pasto.

El rendimiento promedio del pasto en la parcela con zanjas fue de 9,54 toneladas/hectárea en 21 días, es decir, un 33,96% (3,24 toneladas/hectárea) más que la producción de la parcela sin zanjas, la cual fue de 6,30 toneladas/hectárea.

En cuanto al porcentaje de materia seca del pasto Zuri, los valores estuvieron dentro de un rango de 15–26% característico de la especie, durante los meses de época seca, mostrando variaciones en cuanto a si era mayor en las parcelas con o sin zanjas de infiltración.

En el mes de mayo se dio un aumento en el porcentaje de materia seca, debido a que el pasto tenía una edad más avanzada, a diferencia del muestreo que se realizó en abril, donde estaba rebrotando con las primeras lluvias después del período seco. Según García *et al.* (2009), este incremento pudo deberse principalmente a que con la edad de la planta aumenta el proceso fotosintético y con ello la síntesis de carbohidratos.

La parcela con zanjas tuvo una producción promedio de materia seca de 2,20 toneladas/hectárea, un 40 por ciento más que la de la parcela sin zanjas, la cual produjo 1,32 toneladas/hectárea.

En ANEXO 12, se muestra un análisis bromatológico del pasto Zuri, con los parámetros analizados a partir de la materia seca.

#### 4.2.2. Rendimiento del cultivo de frijol (*Vigna sinensis*)

CUADRO VI. BIOMASA Y MATERIA SECA PRODUCIDA POR EL CULTIVO DE FRIJOL (*Vigna sinensis*) CON Y SIN ZANJAS DE INFILTRACIÓN (2017 – 2018).

Parcela	Biomasa producida (t/ha)	Porcentaje de materia seca (%)	Materia seca (t/ha)
Con zanjas	41,25	9,32	3,84
Sin zanjas	37,00	9,44	3,49

**\*\*Observación:** En el caso de la parcela con zanjas, se considera un área efectiva de 9235 metros cuadrados, debido al espacio que se pierde al realizar la obra.

La producción de biomasa o materia verde por el cultivo de frijol fue de 41,25 toneladas/hectárea para la parcela con zanjas de infiltración; siendo mayor en un 10,30 por ciento que la producida por la parcela sin zanjas (37,00 toneladas/hectárea).

En cuanto a la materia seca, la parcela sin zanjas presentó un mayor porcentaje (9,44 por ciento), en relación a la parcela con zanjas (9,32 por ciento), lo que indica que las plantas de esta última parcela presentaban un mayor contenido de agua.

En relación a la producción de materia seca, la parcela con zanjas produjo un 9,11 por ciento más que la parcela sin zanjas. Sin embargo, ambas parcelas se encuentran dentro de los rangos de producción de materia seca del frijol Vigna, que van de 3 a 8 toneladas de materia seca/hectárea (CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2005).

La producción de grano por el cultivo de frijol fue de **48,33 kilogramos/hectárea** para la parcela con zanjas de infiltración; y de **23,67 kilogramos/hectárea** para la parcela sin zanjas. Sin embargo, no se consideró este aspecto en la investigación, debido a problemas en la germinación de las semillas, ya que por falta de lluvias se dio una germinación discontinua.



#### 4.2.3. Efecto de la obra en la plantación de mangos

CUADRO VII. BIOMASA PRODUCIDA POR LOS ÁRBOLES DE MANGO. PARCELAS CON ZANJAS DE INFILTRACIÓN (DICIEMBRE 2017 – MAYO 2018).

Número Árbol	Diciembre 2017			Mayo 2018			Incremento Diámetro		Incremento Altura	
	Diámetro a la altura de cuello (cm)	Altura total (m)	Biomasa (cm <sup>3</sup> ) (x10 <sup>3</sup> )	Diámetro a la altura de cuello (cm)	Altura total (m)	Biomasa (cm <sup>3</sup> ) (x10 <sup>3</sup> )	Absoluto (cm)	Relativo (%)	Absoluto (m)	Relativo (%)
1	2,99	1,36	1,22	5,40	1,90	5,54	2,41	80,60	0,54	39,71
2	3,31	0,92	1,01	4,65	1,74	3,76	1,34	40,48	0,82	89,13
3	4,90	1,82	4,37	7,16	2,10	10,77	2,26	46,12	0,28	15,38
4	3,44	1,22	1,44	4,11	1,65	2,79	0,67	19,48	0,43	35,25
5	5,70	2,24	7,28	8,75	2,35	17,99	3,05	53,51	0,11	4,91
6	5,22	1,30	3,54	8,09	1,95	12,76	2,87	54,98	0,65	50,00
7	5,67	2,26	7,27	8,44	2,35	16,74	2,77	48,85	0,09	3,98
8	4,27	1,84	3,35	6,81	2,25	10,43	2,54	59,48	0,41	22,28
9	4,27	1,55	2,83	6,33	2,05	8,21	2,06	48,24	0,50	32,26
10	5,95	2,12	7,51	8,56	2,50	18,32	2,61	43,87	0,38	17,92
11	5,22	2,15	5,86	7,83	2,45	15,02	2,61	50,00	0,30	13,95
12	5,44	2,40	7,10	8,21	2,50	16,85	2,77	50,92	0,10	4,17
<b>PROM.</b>	<b>4,70</b>	<b>1,76</b>	<b>4,40</b>	<b>7,03</b>	<b>2,15</b>	<b>11,60</b>	<b>2,33</b>	<b>49,59</b>	<b>0,38</b>	<b>21,77</b>

CUADRO VIII. BIOMASA PRODUCIDA POR LOS ÁRBOLES DE MANGO. PARCELAS SIN ZANJAS DE INFILTRACIÓN (DICIEMBRE 2017 – MAYO 2018).

Número Árbol	Diciembre 2017			Mayo 2018			Incremento Diámetro		Incremento Altura	
	Diámetro a la altura de cuello (cm)	Altura total (m)	Biomasa (cm <sup>3</sup> ) (x10 <sup>3</sup> )	Diámetro a la altura de cuello (cm)	Altura total (m)	Biomasa (cm <sup>3</sup> ) (x10 <sup>3</sup> )	Absoluto (cm)	Relativo (%)	Absoluto (m)	Relativo (%)
1	4,97	1,83	4,52	6,94	2,00	9,63	1,97	39,64	0,17	9,29
2	8,24	2,33	15,82	11,11	2,50	30,86	2,87	34,83	0,17	7,30
3	3,31	1,38	1,51	4,74	1,60	3,59	1,43	43,20	0,22	15,94
4	5,00	1,64	4,10	7,32	1,85	9,91	2,32	46,40	0,21	12,80
5	5,63	1,92	6,09	7,61	2,32	13,44	1,98	35,17	0,40	20,83
6	2,93	1,46	1,25	4,52	1,65	3,37	1,59	54,27	0,19	13,01
7	5,47	1,73	5,18	7,51	2,04	11,51	2,04	37,29	0,31	17,92
8	5,28	1,88	5,24	7,99	2,00	12,77	2,71	51,33	0,12	6,38
9	3,88	1,30	1,96	5,51	1,60	4,86	1,63	42,01	0,30	23,08
10	4,11	1,15	1,94	5,57	1,25	3,88	1,46	35,52	0,10	8,70
11	6,27	1,74	6,84	7,64	1,80	10,51	1,37	21,85	0,06	3,45
12	2,93	1,25	1,07	4,01	1,38	2,22	1,08	36,86	0,13	10,40
<b>PROM.</b>	<b>4,84</b>	<b>1,63</b>	<b>4,63</b>	<b>6,71</b>	<b>1,83</b>	<b>9,71</b>	<b>1,87</b>	<b>38,69</b>	<b>0,20</b>	<b>12,14</b>

La primera medición de las características dasométricas de la plantación de mangos (diciembre de 2017), dio como resultado que los árboles de la parcela con zanjas presentaban un diámetro basal de 4,70 centímetros y una altura media de 1,76 metros. En cuanto a la parcela sin zanjas de infiltración, el diámetro basal promedio fue superior (4,84 centímetros); no así en altura, la cual fue de 1,63 metros.

La biomasa promedio fue  $4,40 \times 10^3$  y  $4,63 \times 10^3$  centímetros cúbicos para la parcela con zanjas y sin zanjas, respectivamente.

A los seis meses, al terminar la época seca (mayo de 2018), se realizó otra medición, la cual arrojó diferencias marcadas en cuanto a estos valores. Los árboles de la parcela con zanjas de infiltración presentaron un diámetro basal promedio de 7,03 centímetros, lo que supone un incremento de 2,33 centímetros (49,59%); y una altura media de 2,15 metros, que representa un incremento de 0,38 metros (21,77%), en relación a la primera medición. La biomasa promedio fue de  $11,60 \times 10^3$  centímetros cúbicos y tuvo un aumento del 62,07 % respecto a la primera medición.

Por otro lado, los árboles de la parcela sin zanjas, presentaron un diámetro basal promedio de 6,71 centímetros, con un incremento de 1,87 centímetros (38,69%); y una altura de 1,83 metros, lo que representa un aumento en 0,20 metros (12,14%). La biomasa promedio fue de  $9,71 \times 10^3$  centímetros cúbicos, lo que representó un incremento de 52,32%.

Los valores reflejan que los árboles de la parcela con zanjas de infiltración tuvieron un mayor incremento en cuanto al diámetro basal, altura, lo que supone una mayor producción de biomasa, en relación a las parcelas sin zanjas de infiltración.

Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en la Región de Maule en Chile, donde se evaluó el efecto de las zanjas en el desarrollo de una plantación de siete años de *Pinus radiata*. En el estudio se concluyó que las zanjas de infiltración presentan una alta eficiencia en la captura de humedad, lo que lleva a un desarrollo más rápido y sostenido de los árboles. El sector con zanjas presentó valores superiores a la zona testigo en todas las variables (diámetro, altura y volumen promedio). El diámetro promedio de los arboles con zanjas, a los siete años, fue de 16,34 centímetros, mientras que en el sector sin zanjas fue de 12,70 centímetros. En cuanto a la altura promedio, en el sector con zanjas fue de 18,9 metros y sin zanjas fue de 13,7 metros (Flores, 2004).

En cuanto a la evaluación cualitativa del estrés hídrico, es decir, a través de los síntomas visuales; se observó que los árboles de la parcela sin zanjas de infiltración, presentaban una mayor incidencia de amarillamiento y quemaduras en las hojas (Ver figuras 4, 5 y 6). Otro aspecto a resaltar es la producción de hojas, donde fue mayor en los árboles de la parcela con zanjas de infiltración.



**Figuras 4 y 5. Quemaduras en las hojas de los árboles de mango. Parcela sin zanjas de infiltración. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (2018).**



**Figura 6. Amarillamiento de las hojas de los árboles de mango. Parcela sin zanjas de infiltración. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (2018).**



**Figuras 7 y 8. Producción de hojas de los árboles de mango. Parcela con zanjas de infiltración. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (2018).**

#### **4.2.3. Efecto de las zanjas de infiltración en la humedad del suelo**

El efecto de las zanjas en la humedad del suelo no fue muy diferenciable, lo que puede estar explicado porque el contenido de agua del suelo es muy variable a lo largo del tiempo, ya que recibe agua de las lluvias o por riego, pero la pierde por escorrentía superficial, por drenaje a las capas profundas, por evaporación y transpiración de las plantas. Esto lleva a que se produzcan cambios continuos en la humedad del suelo (Valverde, 2000). Además, la humedad del suelo va a estar ligada a una serie de características, que se mencionan en el CUADRO IX.

CUADRO IX. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL SUELO. PARCELAS DE PASTO, FRIJOL Y MANGOS.

Parcela	Subparcela	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Vel. de infiltr. final (mm/h)	Capacidad de campo		Punto de marchitez permanente	
				%	mm	%	mm
Pasto	Con zanjas	1,21	1,15	32,27	96,81	18,88	56,64
	Sin zanjas	1,18	1,15	33,43	100,29	19,74	59,22
Frijol	Con zanjas	1,26	0,49	34,41	103,23	20,46	61,38
	Sin zanjas	1,26	0,49	31,44	94,32	18,27	54,81
Mango	Con zanjas	1,08	0,49	34,05	170,25	20,20	101,00
	Sin zanjas	1,18	0,49	32,85	164,25	19,31	96,55

**\*\*Observación:** Para las parcelas de pasto y frijol se consideró una profundidad de 30 centímetros, mientras que para el cultivo de mangos fue de 50 centímetros

El suelo del sitio donde se llevó a cabo la investigación presenta una textura franco arcillo arenosa, lo que influye en las características de densidad aparente, la velocidad de infiltración y la capacidad de campo.

La densidad o peso específico aparente del suelo, está dentro de un rango de 1,00-1,30 gramos/centímetros cúbicos, lo cual es característico de los suelos con textura arcillosa y que permite una buena retención de humedad, ya que posee un mayor espacio poroso (Valverde, 2000).

La velocidad de infiltración final, también está influenciada por la textura, y para el suelo en estudio está dentro de un rango de 1 a 5 milímetros/hora. Cabe mencionar que este valor es muy variable, dependiendo de la temporada en que se realice la prueba, por el contenido de humedad que pueda tener el suelo en ese momento (Gavande, 1976).

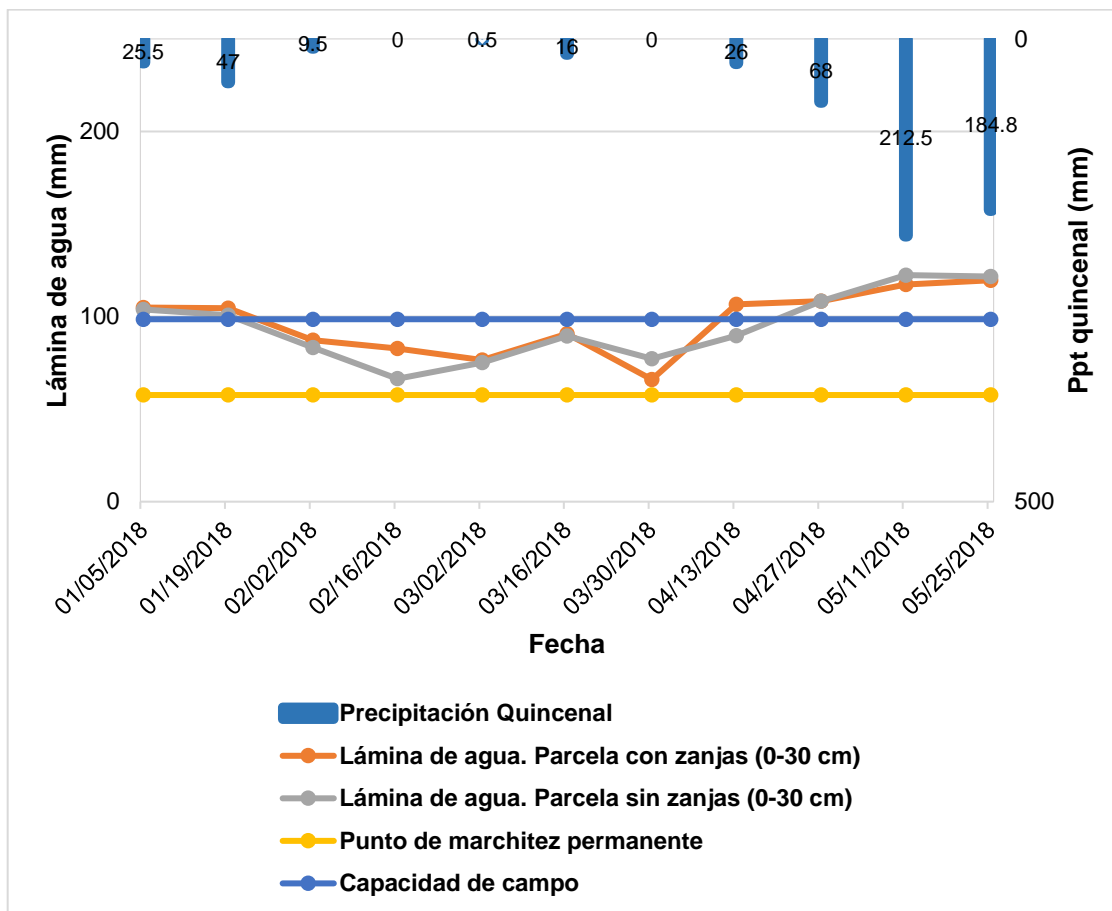
En relación al contenido de agua a capacidad de campo (CC) y a punto de marchitez permanente (PMP), para un suelo franco arcilloso, se encuentran dentro de un rango de 27-35% y 13-17%, respectivamente (Grassi, 1976; citado por Valverde, 2000). Lo anterior se puede observar en el CUADRO IX, donde se presentan las características físicas del suelo donde se realizó la investigación y que fueron calculadas en campo.

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente son mayores en suelos arcillosos, debido a que tienen un mayor porcentaje de poros de menor diámetro lo cual hace que drenen más lento, a diferencia de los suelos arenosos, que poseen un mayor porcentaje de poros de mayor diámetro. De la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente depende la humedad disponible o agua aprovechable, la cual para suelos arcillosos puede ser de 3 a 15% o más (Valverde, 2000).

En relación a los datos de lluvia registrados en la Estación Meteorológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, que se muestran en ANEXO 4, se determinó que durante los meses de diciembre a mayo, ocurrieron 55 eventos de lluvia, de los cuales: un 18 por ciento correspondió a lluvias mayores de 25 milímetros, el 16 por ciento fue de lluvias entre 10 y 25 milímetros, y un 65 por ciento a eventos de lluvias menores de 10 milímetros.



- Parcela de pasto

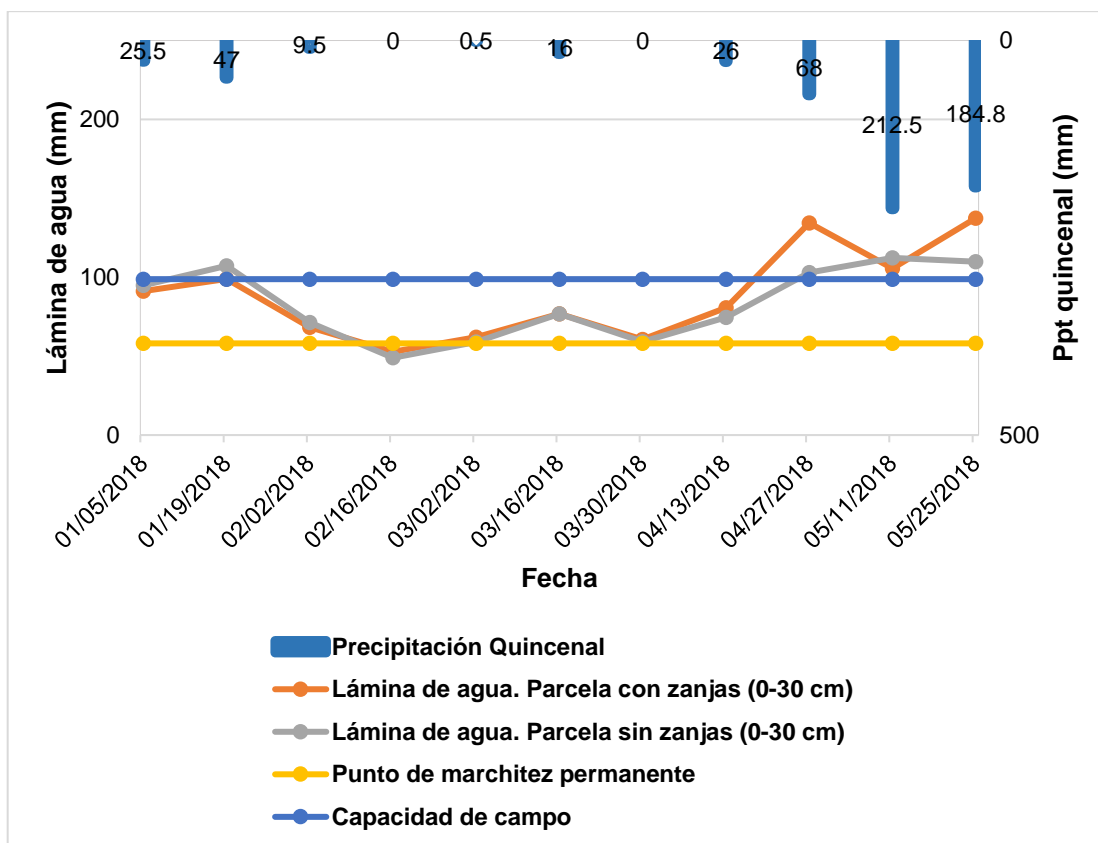


**Figura 9.** Lámina de agua almacenada en el suelo y Lluvia acumulada. Parcela de pasto (*Panicum maximun* cv BRS Zuri). Diciembre 2017 – Mayo 2018.

La Figura 9 muestra que la lámina de agua aumenta o disminuye según lo hace la precipitación. Cuando la lluvia es de mayor magnitud, la lámina de agua de ambas parcelas (con y sin zanjas), se mantiene similar, como ocurre en los dos primeros y últimos meses de la época seca. En los meses intermedios, cuando las lluvias son muy esporádicas, se dan diferencias en la lámina, favoreciendo a la parcela con zanjas de infiltración. En ninguna de las parcelas se llegó al punto

de marchitez permanente. De hecho en varias fechas de muestreo estuvieron a capacidad de campo, según lo que se expresa en el CUADRO IX.

- Parcela de frijol



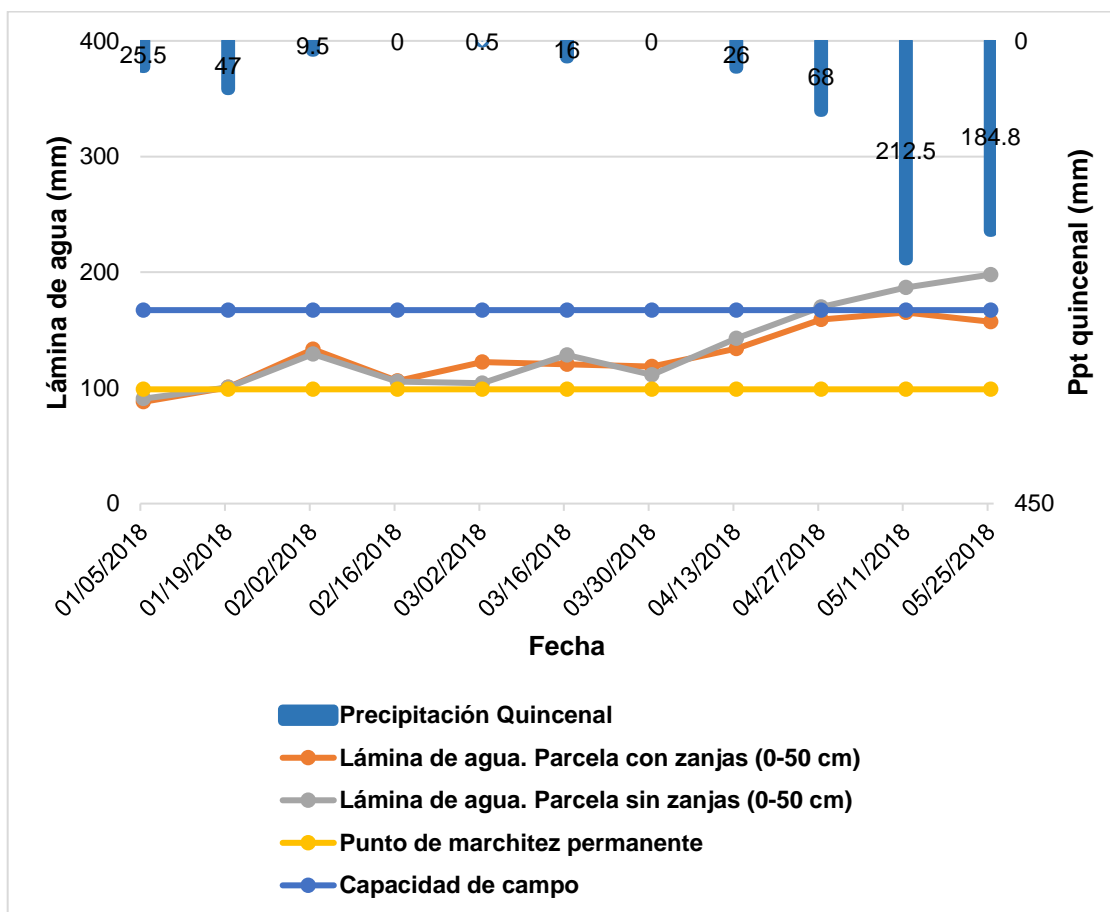
**Figura 10. Lámina de agua almacenada en el suelo y Lluvia acumulada. Parcela de frijol (*Vigna sinensis*). Diciembre 2017 – Mayo 2018.**

La Figura 10 muestra que la lámina de agua en la parcela con zanjadas y sin zanjadas, sigue una tendencia similar, durante los cuatro primeros meses de la época seca. Se puede observar que en febrero y marzo, en ambas parcelas se consumió gran parte del agua útil, lo que se debe a la ausencia de lluvias en esos meses.

Al iniciar el mes de abril, donde se dieron eventos de lluvia de mayor magnitud, se dio un aumento en la lámina de agua de la parcela con zanjas; lo que llevo a que en las mediciones de los dos últimos meses, se registraran diferencias de 31,6 y 27,5 milímetros en la lámina de agua en el suelo, respecto a la parcela sin zanjas.

Es importante mencionar que para estos meses, las plantas de frijol ya habían finalizado su ciclo vital, por lo que el suelo estaba descubierto, favoreciendo así la escorrentía. Considerando lo anterior, se puede resaltar el efecto de las zanjas para captar y almacenar agua en terrenos con poca cobertura vegetal.

- Parcela de mangos



**Figura 11. Lámina de agua almacenada en el suelo y Lluvia acumulada. Parcela de mangos (Diciembre 2017 – Mayo 2018).**

La figura anterior muestra que en la parcela de mangos fue donde menos se notó un efecto en la lámina de agua del suelo al utilizar zanjas de infiltración. De hecho, los valores, al igual que en la parcela del cultivo de frijol, se mantuvieron similares en los cuatro primeros meses, empezando a variar en abril, donde la parcela sin zanjas fue la que mostró una lámina de agua mayor.

La humedad del suelo es muy variable y puede verse afectada por diversos factores. Relacionado a este aspecto de la cobertura vegetal, la parcela donde se encuentran los mangos, presenta sitios donde el suelo está totalmente descubierto, lo que pudo influir en una mayor evaporación.

#### **4.2.4. Análisis estadístico de comparabilidad de hipótesis (prueba t de Student)**

La prueba estadística t de Student que se realizó, no mostró diferencias significativas en las variables consideradas (humedad del suelo y producción de biomasa) para los tres cultivos, en cuanto a si se utilizaban o no zanjas de infiltración, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula (VER ANEXO 11). Sin embargo, para el estudio, es necesario la recolección de datos por un período de tiempo más prolongado, para lograr resultados concluyentes.

En el pasto fue donde hubo un mayor efecto en la producción de biomasa, al utilizar las zanjas de infiltración, reflejándose un aumento al utilizar la obra.

Al analizar los datos de la lámina de agua medida en las tres parcelas, mostrados en ANEXOS 8, 9 y 10, se dedujo que la parcela de frijol mostró un mayor efecto al utilizar las zanjas de infiltración, pero no es muy diferenciable.

## 5. CONCLUSIONES

La producción de biomasa fue mayor en la parcela con zanjas para los tres cultivos o tratamientos, con diferencia mínima del 10 por ciento, lo que pone de manifiesto el efecto favorable de las zanjas para almacenar agua y su posterior uso por las plantas, incrementando su desarrollo. Los resultados más sobresalientes en fueron en pasto y la plantación de mangos. El menor efecto en frijol, puede deberse a que es un cultivo de época seca, por lo que no es tan sensible a la humedad del suelo.

La humedad del suelo fue muy variable para los tres cultivos, en cuanto a si era mayor en las parcelas con o sin zanjas de infiltración. Estas variaciones pueden estar relacionadas con el período de muestreo, de cada 15 días, lo que representa un lapso de tiempo considerable, donde la humedad del suelo varía por las entradas (lluvias) y salidas (escorrentía, percolación, evapotranspiración) que pueden producirse en ese tiempo, y que no permitió notar un efecto de la obra.

## 6. RECOMENDACIONES

Se debe promover la investigación en las técnicas de cosecha y siembra de agua, principalmente en las regiones con menor precipitación anual del país; a fin de que se tengan referencias sobre cuál es la técnica más adecuada para aprovechar las lluvias, ya sea para actividades agrícolas o pecuarias.

Es necesario capacitar a los productores y promover el uso de las técnicas de cosecha de agua en sus fincas, de manera que puedan adaptarse a la variabilidad que supone el cambio climático, reduciendo riegos como la pérdida de cultivos y animales.

Sería conveniente volver a repetir la investigación durante todo el año, para obtener datos más concluyentes, debido a la variabilidad de las lluvias. Además, se deberían incluir otras variables a evaluar como la ganancia de peso en los animales y la producción de leche.

Se recomienda muestrear la humedad del suelo a intervalos de tiempo más cortos (mínimo cada siete días), utilizando herramientas como el tensiómetro, los bloques de resistencia eléctrica o el emisor de neutrones, para tener datos más precisos del comportamiento y la variabilidad de la misma.

Debido a los datos tan variables obtenidos en cuanto al porcentaje de materia seca del pasto, sería conveniente, tomar un mayor número de muestras, utilizando cuadrantes más pequeños (1 m x 1 m).

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, N. 1998. Estudio Climático del Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí. Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 25 p.

Albán, M. 2012. Manual de cultivo de frijol caupí (en línea). Consultado 3, oct. 2017. Disponible en: [http://www.swisscontact.org/fileadmin/user\\_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf](http://www.swisscontact.org/fileadmin/user_upload/COUNTRIES/Peru/Documents/Publications/CAUPI.pdf)

Alvarado, J; Andrade, H; Canal, D; Feria, M; Gómez, M; Marín, M; Ortiz, I; Segura, M; Sierra, E. 2013. Estrategias de Adaptación al Cambio Climático en Sistemas de Producción Agrícola y Forestal en el Departamento del Tolima, Ibagué, Colombia (en línea). Consultado 29, jul. 2018. Disponible en: [http://www.ejecutortolima.gov.co/modulos/subprogramas/archivos\\_evidencias/AdaptacionGobernacion%20\(1\).pdf](http://www.ejecutortolima.gov.co/modulos/subprogramas/archivos_evidencias/AdaptacionGobernacion%20(1).pdf)

Anaya, M. 1998. Sistemas de captación de agua de lluvia en América Latina y el Caribe: base para el desarrollo sostenible. Manual Técnico (en línea). Consultado 21, set. 2017. Disponible en: <https://www.ircwash.org/sites/default/files/213.1-98SI-15514.pdf>



Bates, B; Kundzewicz, Z; Palutikof, J; Wu, S. eds. 2008. El cambio climático y el agua. Documento Técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaria del IPCC, Ginebra. 224 p.

Caballero, E. 2015. Productores ponen a esperanza en la cosecha de agua. Periódico La Estrella de Panamá (en línea). Consultado 27, set. 2017. Disponible en: <http://laestrella.com.pa/economia/productores-ponen-esperanzas-cosecha-agua/23888753>

Caballero, L. 2015. Actualización de la Capacidad de Uso de la Tierra, en las Parcelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,8, 9, 10, 11 B, 14,15,16-3, y 19 de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Provincia de Chiriquí. Tesis Ing. Manejo de Cuencas y Ambiente. Chiriquí, Panamá, UP. 118 p.

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010. Panamá: efectos del cambio climático sobre la agricultura (en línea). Consultado 24, sep. 2018. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25926/1/lcmexl971.pdf>

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2017. Síntesis de Políticas Públicas sobre Cambio Climático. Medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe (en línea). Consultado 4, ago. 2018. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39781/S1501265_es.pdf)

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2005. Caupí (*Vigna unguiculata*), una leguminosa multipropósito (en línea). Consultado 20, sep. 2018. Disponible en: [http://ciat-library.ciat.cgiar.org/forrajes\\_tropicales/pdf/Brochures/008%20Vigna%20Unguiculata%202005.pdf](http://ciat-library.ciat.cgiar.org/forrajes_tropicales/pdf/Brochures/008%20Vigna%20Unguiculata%202005.pdf)

CIIFEN (Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño). 2016. Adaptación y mitigación frente al Cambio Climático (en línea). Consultado 4, ago. 2018. Disponible en: [http://www.ciifen.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=102&Itemid=341&lang=es](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=102&Itemid=341&lang=es)

Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica. 2016. Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos. Panamá, República de Panamá (en línea). Consultado 4, ago. 2018. Disponible en: <http://www.oas.org/en/sedi/dsd/iwrm/Documentspot/Primer%20Plan%20Nacional%20de%20Seguridad%20Hidrica%20de%20la%20Republica%20de%20Panama.pdf>

Estrela, T; Gallart, F; Iglesias, A. s.f. Impacto del Cambio Climático en España (en línea). Consultado 3, ago. 2018. Disponible en: [http://hisagua.cedex.es/sites/default/files/hisagua\\_documento/07\\_recurso\\_hidricos\\_2\\_tcm7-12423.pdf](http://hisagua.cedex.es/sites/default/files/hisagua_documento/07_recurso_hidricos_2_tcm7-12423.pdf)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Santiago, Chile). 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia:

opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe (en línea). Consultado 4, set. 2017. Disponible en: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/captacion\\_agua\\_de\\_lluvia.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_lluvia.pdf)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Santiago, Chile). 2014. Sistematización de prácticas de conservación de suelos y aguas con enfoque de adaptación al cambio climático. Metodología basada en WOCAT para América Latina y el Caribe (en línea). Consultado 30, jul. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3741s.pdf>

Fernández, R & Novo, J. 2013. ¿Qué es la siembra y cosecha de aguas? (en línea). Consultado 30, jul. 2017. Disponible en: <http://sembraragua.blogspot.com/2013/11/que-es-la-siembra-y-cosecha-de-aguas.html>

Flores, J. 2004. Diseño de zanjas de Infiltración bajo criterios de ingeniería hidrológica. Seminario Internacional Restauración Hidrológico Forestal para la conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos (en línea). Consultado 22, sep. 2018. Disponible en: <https://docplayer.es/90652980-Disenos-de-zanjas-de-infiltracion-bajo-criterios-de-ingenieria-hidrologica.html>

Flores, J; Martínez, E; Pizarro, R; Sangüesa, C. 2004a. Zanjas de infiltración (en línea). Consultado 4, set. 2017. Disponible en: <http://eias.atalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/Zanjas.pdf>

Flores, J; García, J; Martínez, E; Pizarro, R; Sangüesa, C. 2004b. Canales de desviación de aguas lluvias. Diseño de obras para la conservación de aguas y suelo. Proyecto FDI – CORFO Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos, para la mantención e incremento de la productividad silvícola (en línea). Consultado 1, oct. 2017. Disponible en: [http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/disenio\\_de\\_obras\\_para\\_la\\_conservacion\\_de\\_aguas\\_y\\_suelos.pdf](http://eias.entalca.cl/Docs/pdf/Publicaciones/libros/disenio_de_obras_para_la_conservacion_de_aguas_y_suelos.pdf)

Flores, J; León, L; Martínez, E; Pizarro, R; Sangüesa, C. 2008. Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile (en línea). Consultado 20, oct. 2017. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0717-92002008000200006](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002008000200006)

Forsythe, W. 1974. Manual de Laboratorio de Física de Suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica. 212 p.

Gaekel, H & Ledesma, R. 1985. Manual Práctico de Manejo de Pastos y Ganado. Secretaria de Recursos Naturales. Tegucigalpa, Honduras. 95 p.

García, M; Hayashi, R; Morales, P; Puppo, L. 2012. Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo. Consultado 25, oct. 2017. Disponible en: <http://www.grupodesarrolloriego.uy/pdf/2-seminario->

[2012/Metodologia-para-determinar-los-parametros-hidricos-de-un-suelo-a-campo.pdf](#)

García, F; Leonard, I; Ramírez, J; Verdecia, D. 2009. Potencialidades agro productivas de dos cultivares de *Panicum maximum* (c.v Mombaza y Uganda) en la provincia Granma, Cuba. Revista electrónica de Veterinaria (en línea). Consultado 23, sep. 2018. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n050509/050901.pdf>

Gavande, S. 1976. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. 2 ed. México, D.F. 351 p.

Ibrahim, M & Ríos, N. 2008. Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos (en línea). Boletín técnico CATIE no. 30. Consultado 3, ago. 2018. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A5380e/A5380e.pdf>

López, E; Rodríguez, J; Tosquy, O. 2014. Producción de materia seca de frijol en cinco fechas de siembra durante el ciclo otoño-invierno en el norte de Veracruz (en línea). Consultado 5, oct. 2017. Disponible en: <http://132.248.9.34/hevila/RevistabiologicoagropecuariaTuxpan/2014/no/40.pdf>

Lemus, M & Navarro, G. 2003. Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelo. Canal de desviación – sistema de zanja de infiltración (en línea). Consultado 5, oct. 2017. Disponible en: <http://www.oasification.com/archivos/Manual%20de%20Mauco.pdf>

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). 2010. Compendio con información de las opciones técnicas de cosecha de agua aplicadas a nuestro medio (en línea). Consultado 4, set. 2017. Disponible en: <http://www.cemede.una.ac.cr/index.php/produccion-academica/category/41-rigoberto-rodriguez-q?download=88:compendio-con-informacion-de-las-opciones-tecnicas-de-cosecha-de-agua-aplicadas-a-nuestro-medio>

Martínez, A & Mongil, J. 2007. Técnicas de recolección de agua y de oasisificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas (en línea). Consultado 5, ago. 2018. Disponible en: <http://www.ugr.es/~cuadgeo/docs/articulos/040/040-004.pdf>  
<http://www.ugr.es/~cuadgeo/docs/articulos/040/040-004.pdf>

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). 2013. Seminario Nacional de Siembra y Cosecha de Agua “Una estrategia de adaptación frente al cambio climático”. Técnica y metodologías para la siembra y cosecha de agua (en línea). Consultado 29, jul. 2018. Disponible en: [http://www.dracusco.gob.pe/wp-content/uploads/2015/06/PPT%20Siembra%20y%20Cosecha%20de%20Aguas%20Cusco%2022\\_06\\_2015.pdf](http://www.dracusco.gob.pe/wp-content/uploads/2015/06/PPT%20Siembra%20y%20Cosecha%20de%20Aguas%20Cusco%2022_06_2015.pdf)

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). 2014. Cartillas para la conservación del suelo, zanjas de infiltración (en línea). Consultado 20, set. 2017. Disponible en:

[http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/zanjas\\_infiltracion.pdf](http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/zanjas_infiltracion.pdf)

Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia. 2017. Sistemas de cosecha de agua de lluvia (en línea). Consultado 29, jul. 2018. Disponible en: <http://bibliotecadelagua.sirh.gob.bo/docs/pdf/155.pdf>

ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2014. La situación demográfica en el mundo, 2014 (en línea). Consultado 23, sep. 2018. Disponible en: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>

Reyes, O & Sánchez, L. 2015. Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (en línea). Consultado 4, ago. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/017/i2498s/i2498s05.pdf>

RIMISP (Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural). 2012. Impactos del Cambio Climático en el Uso y Gestión del Agua: Respuestas de las Poblaciones Rurales de América Latina (en línea). Consultado 4, ago. 2018. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/download/7806/7453>

Saavedra, R. 2015. Una guía para el riego de árboles II (en línea). Consultado 27, oct. 2017. Disponible en: <http://www.clubdelarbolta.ca.cl/wp-content/uploads/2015/12/Una-gu%C3%ADa-para-el-riego-de-%C3%A1rboles-2.pdf>

Tejera, A. 2016. Sector Agropecuario, en delicada situación. \$102 millones en pérdidas por El Niño. La Prensa, Panamá (en línea). Consultado 12, ago. 2018. Disponible en: [https://www.prensa.com/economia/El\\_Nino-MIDA\\_0\\_4399060142.html](https://www.prensa.com/economia/El_Nino-MIDA_0_4399060142.html)

Valverde, JC. 2000. Riego y Drenaje. San José, C.R., UNED. 248 p.



## ANEXOS

### ANEXO 1. ESTIMACIÓN DE LA PERMEABILIDAD A PARTIR DE LA TEXTURA.

Textura	Mínima Tasa de Infiltración	Permeabilidad
Arenosa, Arenoso Franco	7,62 – 11,43 milímetro/hora	Muy permeable
Franco Arenoso, Franco, Franco Limoso, Franco Arcilloso	1,27 – 7,62 milímetro/hora	Semipermeable
Arcilloso	0 – 1,27 milímetro/hora	Impermeable

(Fuente: Martínez, 1996; citado por Lemus & Navarro, 2003).

### ANEXO 2. COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA, SEGÚN LA COBERTURA VEGETAL, LA PERMEABILIDAD DEL SUELO Y LA PENDIENTE.

Cobertura Vegetal	Tipo de Suelo	Pendiente				
		>50%	20-50%	5-20%	1-5%	0-1%
Sin Vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,55	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, Vegetación Ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, Grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, Vegetación Densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

(Fuente: Benítez *et al.* 1980; citado por Lemus & Navarro, 2003).

**ANEXO 3. CÁLCULO DE LA MÁXIMA PRECIPITACIÓN EN 24 HORAS PARA UN PERÍODO DE 10 AÑOS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ.**

Registros de la máxima precipitación en 24 horas. Estación Meteorológica de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Sede Chiriquí (período 1986–2013).

<b>Año</b>	<b>Ppt máxima/ 24 horas (mm)</b>
1986	165,0
1987	159,0
1988	169,0
1989	85,5
1990	104,0
1991	88,0
1992	82,2
1993	124,5
1994	128,5
1995	123,3
1996	150,6
1997	139,8
1998	204,0
1999	100,0
2000	118,0
2001	121,4
2002	170,0
2003	127,4
2004	119,0
2005	241,7
2006	140,0
2007	104,8
2008	105,0
2009	85,0
2010	134,0
2011	146,0
2012	149,4
2013	84,5

$$\text{Ppt max} = \beta - \frac{1}{\alpha} * \ln \left[ \left( \frac{10}{10-1} \right) \right]$$

$$\alpha = \frac{1,1004}{37,40}$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{S}$$

$$\alpha = 0,0294$$

$$\beta = X - \frac{\mu}{\alpha}$$

$$\beta = 131,06 - \frac{0,5332}{0,0294}$$

$$\beta = 112,92$$

$$\text{Ppt max} = 112,92 - \frac{1}{0,0294} * \ln \left[ \ln \left( \frac{10}{10-1} \right) \right]$$

$$\text{Ppt max en 24 horas} = 189,46 \text{ milímetros}$$



**ANEXO 4. DATOS DE PRECIPITACIÓN. ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (DICIEMBRE 2017 – MAYO 2018).**

Día	Precipitación (milímetros)					
	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,5
6	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,5
7	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	4,0
8	27,0	0,0	0,0	0,0	0,5	45,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	1,5
10	25,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
11	4,0	0,0	0,0	0,0	5,5	5,5
12	1,0	0,0	0,0	0,0	0,5	17,5
13	0,0	0,0	0,0	15,5	36,5	9,5
14	0,0	45,0	0,0	0,5	0,0	13,0
15	0,0	1,0	0,0	0,0	9,0	0,0
16	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,5
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0
21	0,0	2,0	0,5	0,0	0,0	45,0
22	0,0	7,5	0,0	0,0	10,5	4,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5
25	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	7,5
26	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	1,5
27	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	3,5
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0
29	0,0	0,0		0,0	1,5	54,5
30	0,0	0,0		0,0	22,0	3,0
31	25,5	0,0		1,0		0,0
<b>Total</b>	<b>84,00</b>	<b>56,50</b>	<b>0,50</b>	<b>17,00</b>	<b>132,00</b>	<b>431,30</b>
<b>N° días de lluvia</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>16</b>	<b>23</b>
<b>N° eventos &gt; 25 mm</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>6</b>
<b>N° eventos 10-25 mm</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>N° eventos &lt;10 mm</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>13</b>

**ANEXO 5.** ANÁLISIS DE SUELO. PARCELAS 15-2 (CULTIVO DE FRIJOL Y PLANTACIÓN DE MANGOS) y 21-1 (PASTO ZURI EN ASOCIO CON ÁRBOLES DE COCOBOLO), FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS – SEDE CHIRIQUÍ (2016).

N°	Arcilla	Arena	Limo	CLAF. TEXTURAL	pH (H <sub>2</sub> O)	P	K	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	Ca	Mg	Acidez	Al	Mat. Org.
	%				(1:2:5)	ppm = (mg/L) = (mg/kg)							Meq/100 g			%	
1	29,5	55,4	15,1	Franco arcillo arenoso	4,8	6,17	54,9	3,61	175,2	6,0	127,2	2,7	5,38	0,57	0,05	0,00	1,95
					mA	b	m	b	a	m	a	b	a	b	b	b	b
2	31,8	53,3	15,0	Franco arcillo arenoso	4,4	1,62	27,1	3,05	116,4	6,7	80,2	0,1	0,64	0,33	0,10	0,00	2,68
					mA	b	b	b	a	a	a	b	b	b	b	b	b
3	29,2	55,9	15,0	Franco arcillo arenoso	4,0	2,78	85,0	3,05	137,4	10,1	117,1	8,5	0,68	0,33	1,65	1,10	3,17
					mA	b	m	b	a	a	a	m	b	b	m	m	m
4	32,1	52,7	15,1	Franco arcillo arenoso	3,9	3,59	68,8	2,93	86,9	9,1	52,9	7,9	0,36	0,26	1,05	0,80	1,95
					mA	b	m	b	a	a	a	m	b	b	m	m	b

mA = Muy Ácido    A = Ácido    pA = Poco ácido    N = Neutro    Alc = Alcalino    mAlc = Muy alcalino    a = alto    m = medio    b = bajo

*Laboratorio de Suelos y Agua, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá (Sede Chiriquí).*

**ANEXO 6.** CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN. PARCELA DE PASTO (*Panicum maximun* cv BRS Zuri). FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2018).

Tiempo (min)	Velocidad Infiltración (cm/hr)	Log X	Log Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X.Y
7	1,71	0,8451	0,2330	0,7142	0,0543	0,1969
15	1,20	1,1761	0,0792	1,3832	0,0063	0,0931
25	1,44	1,3979	0,1584	1,9542	0,0251	0,2214
35	1,37	1,5441	0,1367	2,3841	0,0187	0,2111
45	1,20	1,6532	0,0792	2,7331	0,0063	0,1309
60	1,10	1,7782	0,0414	3,1618	0,0017	0,0736
75	1,04	1,8751	0,0170	3,5159	0,0003	0,0319
90	0,93	1,9542	-0,0315	3,8191	0,0010	-0,0616
105	0,86	2,0212	-0,0655	4,0852	0,0043	-0,1324
120	0,85	2,0792	-0,0706	4,3230	0,0050	-0,1468
130	0,83	2,1139	-0,0809	4,4688	0,0065	-0,1711
<b>Σ</b>		<b>18,4382</b>	<b>0,4963</b>	<b>32,5426</b>	<b>0,1294</b>	<b>0,4472</b>
<b>Promedio</b>		<b>1,6762</b>	<b>0,0451</b>	<b>2,9584</b>	<b>0,0118</b>	<b>0,0407</b>

- Cálculo de la pendiente, n, en la ecuación

$$\text{Vel. Inf.} = Kt^n \quad \text{Log Vel. Inf.} = \text{Log } k + n \text{ Log } t$$

$$n = \frac{\sum X.Y - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}$$

$$n = \frac{0,4472 - 0,8319}{32,5426 - 30,9061}$$

$$n = \frac{0,4472 - \frac{18,4382 * 0,4963}{11}}{32,5426 - (18,4382)^2 / 11}$$

$$n = \frac{-0,3847}{1,6365}$$

$$n = - 0,2351$$

- Cálculo del valor del término constante, k

$$\text{Si } \bar{Y} = k + n\bar{X}, \text{ entonces } k = \bar{Y} - n\bar{X},$$

$$k = \text{ANTI LOG } [0,0451 - (-0,2351) (1,6762)]$$

$$k = \text{ANTI LOG } (0,4392)$$

$$k = 2,75$$

### Ecuación de infiltración del suelo analizado

$$\text{Vel. Inf.} = 2,75 t^{-0,2351}$$

### Ecuación de lámina de infiltración: Lam. Inf.

$$\text{Lam. Inf.} = k' t^{n+1}$$

$$k' = \frac{k}{(n+1)60}$$

$$k' = 0,060$$

$$\text{Lam. Inf.} = 0,060 t^{0,7649}$$

$$k' = \frac{2,75}{(-0,2351+1)60}$$

$$k' = \frac{2,75}{0,7649 * 60}$$

### ANEXO 7. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN. PARCELAS DE FRIJOL (*Vigna sinensis*) Y MANGOS. FACULTAD DE CIENCIA AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2018).

Tiempo (min)	Vel. Infiltración (cm/hr)	Log X	Log Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X.Y
30	0,40	1,4771	-0,3979	2,1819	0,1584	-0,5878
45	0,53	1,6532	-0,2757	2,7331	0,0760	-0,4558
65	0,55	1,8129	-0,2596	3,2867	0,0674	-0,4707
88	0,55	1,9445	-0,2596	3,7810	0,0674	-0,5049
108	0,56	2,0334	-0,2518	4,1348	0,0634	-0,5120
128	0,52	2,1072	-0,2840	4,4403	0,0807	-0,5984
<b>Promedio</b>		<b>11,0284</b>	<b>-1,7287</b>	<b>20,5578</b>	<b>0,5133</b>	<b>-3,1297</b>
$\Sigma$		<b>1,8381</b>	<b>-0,2881</b>	<b>3,4263</b>	<b>0,0855</b>	<b>-0,5216</b>

- Cálculo de la pendiente, n, en la ecuación

$$\text{Vel. Inf.} = Kt^n \quad \text{Log Vel. Inf.} = \text{Log } k + n \text{ Log } t$$

$$n = \frac{\Sigma X.Y - \frac{\Sigma X \Sigma Y}{n}}{\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n}}$$

$$n = \frac{-3,1297 - (-3,1775)}{20,5578 - 20,2709}$$

$$n = \frac{-3,1297 - \frac{11,0284 * -1,7287}{6}}{20,5578 - (11,0284)^2/6}$$

$$n = \frac{0,0478}{0,2869}$$

$$n = 0,1666$$



- **Cálculo del valor del término constante, k**

Si  $\bar{Y} = k + n\bar{X}$ , entonces  $k = \bar{Y} - n\bar{X}$ ,

$$k = \text{ANTI LOG} [-0,2881 - (0,1666) (1,8381)]$$

$$k = \text{ANTI LOG} (-0,5943)$$

$$\mathbf{k = 0,254}$$

**Ecuación de infiltración del suelo analizado**

$$\mathbf{\text{Vel. Inf.} = 0,254 t^{0,1666}}$$

**Ecuación de lámina de infiltración: Lam. Inf.**

$$\mathbf{\text{Lam. Inf.} = k' t^{n+1}}$$

$$k' = \frac{k}{(n+1)60}$$

$$k' = \frac{0,254}{(0,1666+1)60}$$

$$k' = \frac{0,254}{1,1666 * 60}$$

$$\mathbf{k' = 0,00363}$$

$$\mathbf{\text{Lam. Inf.} = 0,00363 t^{1,1666}}$$

**ANEXO 8.** DATOS DE LÁMINA DE AGUA EN EL SUELO. PARCELA DE PASTO (*Panicum maximun* cv BRS Zuri). FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2017-2018).

Fecha	Precipitación almacenada (mm)	Parcela con zanjas (0-30 cm)		Parcela sin zanjas (0-30 cm)	
		cm	mm	cm	mm
5/1/18	25,5	10,48	104,8	10,39	103,9
19/1/18	47,0	10,45	104,5	10,07	100,7
2/2/18	9,5	8,73	87,3	8,32	83,2
16/2/18	0,0	8,27	82,7	6,64	66,4
2/3/18	0,5	7,65	76,5	7,52	75,2
16/3/18	16,0	9,07	90,7	8,95	89,5
30/3/18	0,0	6,60	66,0	7,72	77,2
13/4/18	26,0	10,66	106,6	8,97	89,7
27/4/18	68,0	10,83	108,3	10,84	108,4
11/5/18	212,5	11,73	117,3	12,24	122,4
25/5/18	184,8	11,96	119,6	12,16	121,6
<b>Promedio</b>		<b>9,68</b>	<b>96,75</b>	<b>9,44</b>	<b>94,38</b>

**ANEXO 9.** DATOS DE LÁMINA DE AGUA EN EL SUELO. PARCELA DE FRIJOL. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2017-2018).

Fecha	Precipitación quincenal (mm)	Parcela con zanjas (0-30 cm)		Parcela sin zanjas (0-30 cm)	
		cm	mm	cm	mm
5/1/18	25,5	9,13	91,3	9,49	94,9
19/1/18	47,0	9,89	98,9	10,72	107,2
2/2/18	9,5	6,83	68,3	7,13	71,3
16/2/18	0,0	5,28	52,8	4,9	49,0
2/3/18	0,5	6,21	62,1	5,89	58,9
16/3/18	16,0	7,68	76,8	7,69	76,9
30/3/18	0,0	6,07	60,7	5,91	59,1
13/4/18	26,0	8,07	80,7	7,46	74,6
27/4/18	68,0	13,45	134,5	10,29	102,9
11/5/18	212,5	10,57	105,7	11,23	112,27
25/5/18	184,8	13,74	137,4	10,99	109,9
<b>Promedio</b>		<b>8,81</b>	<b>88,11</b>	<b>8,34</b>	<b>83,36</b>

**ANEXO 10.** DATOS DE LÁMINA DE AGUA EN EL SUELO. PARCELA DE MANGOS. FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2017-2018).

Fecha	Precipitación almacenada (mm)	Parcela con zanjas (0-50 cm)		Parcela sin zanjas (0-50 cm)	
		cm	mm	cm	mm
5/1/18	25,5	8,80	88,0	9,07	90,7
19/1/18	47,0	10,05	100,5	10,05	100,5
2/2/18	9,5	13,33	133,3	12,93	129,3
16/2/18	0,0	10,61	106,1	10,55	105,5
2/3/18	0,5	12,24	122,4	10,42	104,2
16/3/18	16,0	12,05	120,5	12,85	128,5
30/3/18	0,0	11,85	118,5	11,14	111,4
13/4/18	26,0	13,39	133,9	14,28	142,8
27/4/18	68,0	15,91	159,1	17,00	170,0
11/5/18	212,5	16,52	165,2	18,69	186,9
25/5/18	184,8	15,73	157,3	19,80	198,0
<b>Promedio</b>		<b>12,77</b>	<b>127,71</b>	<b>13,34</b>	<b>133,44</b>

**ANEXO 11.** ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONTRASTE O COMPARABILIDAD DE HIPÓTESIS (PRUEBA ESTADÍSTICA t DE STUDENT).

**Lámina de agua en el suelo**

- Parcela de Pasto

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<b>Con zanjas</b>	<b>Sin zanjas</b>
Media	9,6755 cm	9,4382 cm
Varianza	2,9786	3,4698
Observaciones	11	11
Coeficiente de correlación de Pearson	0,8972	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	10,0000	
Estadístico t	0,9543	
P(T<=t) una cola	0,1812	
Valor crítico de t (una cola)	1,8125	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	<b>0,3624</b>	
Valor crítico de t (dos colas)	2,2281	

- Parcela de Frijol

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Con zanjas</i>	<i>Sin zanjas</i>
Media	8,8109 cm	8,3364 cm
Varianza	8,2674	5,2566
Observaciones	11	11
Coeficiente de correlación de Pearson	0,8964	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	10,0000	
Estadístico t	1,2050	
P(T<=t) una cola	0,1280	
Valor crítico de t (una cola)	1,8125	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	<b>0,2559</b>	
Valor crítico de t (dos colas)	2,2281	

- Parcela de Mangos

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Con zanjas</i>	<i>Sin zanjas</i>
Media	12,7709 cm	13,3436 cm
Varianza	6,2852	13,5249
Observaciones	11	11
Coeficiente de correlación de Pearson	0,9423	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	10,0000	
Estadístico t	-1,2176	
P(T<=t) una cola	0,1257	
Valor crítico de t (una cola)	1,8125	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	<b>0,2513</b>	
Valor crítico de t (dos colas)	2,2281	

### Producción de biomasa por los cultivos

- Parcela de Pasto

Prueba t para medias de dos muestras emparejadas		
	<i>Con zanjas</i>	<i>Sin zanjas</i>
Media	9,1775	6,2975
Varianza	11,4092	0,6131
Observaciones	4,0000	4,0000
Coeficiente de correlación de Pearson	0,7718	
Diferencia hipotética de las medias	0,0000	
Grados de libertad	3,0000	

Continúa en la siguiente página.

Estadístico t	2,0442	
P(T<=t) una cola	0,0668	
Valor crítico de t (una cola)	2,3534	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	<b>0,1335</b>	
Valor crítico de t (dos colas)	3,1824	

- **Parcela de Frijol**

<b>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas</b>		
	<b>Con zanjas</b>	<b>Sin zanjas</b>
Media	41,2500 t/ha	37,0000 t/ha
Varianza	861,1250	98,0000
Observaciones	2	2
Coeficiente de correlación de Pearson	-1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	0,1532	
P(T<=t) una cola	0,4516	
Valor crítico de t (una cola)	6,3138	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	<b>0,9033</b>	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062	

- **Parcela de Mangos**

<b>Prueba t para medias de dos muestras emparejadas</b>		
	<b>Con zanjas</b>	<b>Sin zanjas</b>
Media	7998,3000 cm <sup>3</sup>	7169,2525 cm <sup>3</sup>
Varianza	25931233,2	12927620,9
Observaciones	2	2
Coeficiente de correlación de Pearson	1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
Estadístico t	0,7833	
P(T<=t) una cola	0,2885	
Valor crítico de t (una cola)	6,3138	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	<b>0,5770</b>	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062	

$\alpha = 0,05$

$p > 0,05$  = No hay diferencias significativas.

$p < 0,05$  = Existen diferencias significativas.

**ANEXO 12.** ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DEL PASTO (*Panicum maximun* cv BRS ZURI). PARCELA 21-1, FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS, SEDE CHIRIQUÍ (2016).

Parámetros	Unidad Expresada	MES				
		Nov. 2017	Dic. 2018	Ene. 2018	Feb. 2018	Mar. 2018
Materia Seca	%	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Materia Orgánica	%	90,63	88,86	89,61	88,83	89,03
Ceniza	%	9,37	11,14	10,39	11,17	10,97
Fibra Cruda	%	40,15	36,65	33,17	31,62	32,65
Extracto Etéreo (Grasa)	%	1,71	0,93	2,35	2,03	1,68
Extracto No Nitrogenado	%	36,87	43,97	43,89	44,45	45,43
Proteína (N X 6.25)	%	11,90	7,31	10,20	10,73	9,27
Humedad	%	0	0	0	0	0
Calcio	%	0,69	1,15	1,05	1,16	1,24
Magnesio	%	0,58	0,75	0,55	0,64	0,54
Fósforo	%	0,18	0,16	0,20	0,19	0,14
Potasio	%	1,82	1,56	2,01	2,08	1,60
Sodio	%	0,13	1115	650	724	652
Hierro	ppm	140	303	158	137	189
Cobre	ppm	5,5	3	5	5	3
Manganeso	ppm	148	240	223	247	310
Zinc	ppm	21,5	24	21	20	10

Laboratorio de Suelos y Nutrición, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá (Campus).

**ANEXO 13.** IMÁGENES DE LAS LABORES DE ESTABLECIMIENTO DE LA PARCELA DE FRIJOL (*Vigna sinensis*).



**ANEXO 14. IMÁGENES DE LA CONSTRUCCIÓN DE LAS ZANJAS DE INFILTRACIÓN.**





**ANEXO 15. IMÁGENES DE LA CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA EN LAS ZANJAS.**



**ANEXO 16. IMÁGENES DEL MUESTREO DE PASTO.**



**ANEXO 17. IMÁGENES DE LA MEDICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS DE LA PLANTACIÓN DE MANGOS.**



**ANEXO 18. IMÁGENES: REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE INFILTRACIÓN.**



**ANEXO 19. IMÁGENES DE LA REALIZACIÓN DE LA PRUEBA DE CAPACIDAD DE CAMPO.**

