

# **Análisis hidrológico para recolección y almacenamiento de agua lluvia en la Finca Agroecológica de Zamorano, Honduras**

**Santiago Ismael Curimilma Ojeda**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano  
Honduras**

Noviembre, 2020

ZAMORANO  
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Análisis hidrológico para recolección y almacenamiento de agua lluvia en la Finca Agroecológica de Zamorano, Honduras**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniero en Ambiente y Desarrollo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Santiago Ismael Curimilma Ojeda**

**Zamorano, Honduras**

Noviembre, 2020

## **Análisis hidrológico para recolección y almacenamiento de agua lluvia en la Finca Agroecológica de Zamorano, Honduras**

**Santiago Ismael Curimilma Ojeda**

**Resumen.** Los análisis hidrológicos para captar agua lluvia e implementar estructuras de almacenamiento son una alternativa para reducir los efectos de la variabilidad climática, principalmente para zonas con bajas precipitaciones. El estudio se basa en la identificación de sitios de almacenamiento de agua e implementación de un sistema con Línea Clave para mejorar las condiciones de drenaje y a su vez, disponer del recurso hídrico en época seca en la Finca Agroecológica de Zamorano en Honduras. Mediante el análisis de imágenes satelitales, coberturas de suelo, elevación y visitas de campo, se delimitó áreas de captación con la identificación de la dirección de flujo. Se estimó el potencial de escorrentía mediante el método de Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos. Este método utiliza las características del suelo y datos de precipitación para la estimación de escorrentía. La implementación de Línea Clave se realizó para una zona prioritaria de la finca, con el objetivo de evacuar agua de una zona de inundación, hacia un sitio de almacenamiento para su posterior uso en parcelas productivas. El diseño hidrológico involucra un área de captación de 26.28 ha, en donde el potencial de escurrimiento para un total de precipitación de 292 mm es de 13,042.78 m<sup>3</sup>.

**Palabras clave:** Cosecha de agua lluvia, diseño hidrológico, línea clave, número de curva.

**Abstract.** Hydrological analyses for capturing rainwater and implementing storage structures present options for reducing the effects of climate variability, especially in areas with low rainfall. This study is based on the identification of water storage sites and the implementation of a keyline system to improve drainage conditions and, in turn, make water resources available in the dry season at the Zamorano Agroecological Farm in Honduras. Through analysis of satellite images, ground cover, elevation, and field visits, catchment areas were delimited and flow direction identified. Runoff potential was estimated using the US Soil Conservation Service curve number method. This method uses soil characteristics and precipitation data to estimate runoff. The implementation of the keyline was carried out for a priority area of the farm, with the aim of evacuating water from a flood zone to a storage site for later use in agricultural production. The hydrological design involves a catchment area of 26.28 ha, where the runoff potential for a total precipitation of 292 mm is 13,042.78 m<sup>3</sup>.

**Key words:** Curve number, hydrological design, keyline, water harvesting.

## ÍNDICE GENERAL

Portadilla .....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen.....	iii
Índice General .....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos .....	v
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>31</b>
<b>5. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>32</b>
<b>6. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>33</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Clasificación de pendientes.....	6
2. Condición de humedad antecedente (CHA). ....	10
3. Grupo hidrológico de suelo.....	10
4. Condición hidrológica. ....	10
5. Número de curva para complejos hidrológicos de suelo y cobertura. ....	12
6. Usos y coberturas de la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras .....	17
7. Rangos de pendiente de la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras. ....	17
8. Áreas de captación y sitios de almacenamiento.....	20
9. Resumen de eventos de precipitación. ....	23
10. Área de los usos de la tierra de la zona de captación A.....	25
11. Número de curva para usos de la tierra del área A.....	26
12. Asignación de número de curva. ....	27
13. Cálculo de escorrentía. ....	27

Figuras	Página
1. Mapa de la Finca Agroecológica de Zamorano, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.....	4
2. Número de curva para la relación entre precipitación y escorrentía. ....	8
3. Punto y Línea Clave del diseño hidrológico del terreno. ....	14
4. Mapa de usos y coberturas de la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras.....	16
5. Mapa de pendientes de la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras.....	18
6. Mapa de suelos.....	19
7. Mapa de delimitación de áreas de captación y sitios almacenamiento. ....	21
8. Mapa de zonas inundables y zonas con alta demanda de agua. ....	22
9. Uso de la tierra según clasificación de la metodología de número de curva. ....	25
10. Diagrama de flujo para selección de Número de Curva. ....	26
11. Mapa de características generales del área de diseño hidrológico para la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras.....	29
12. Mapa de la propuesta de diseño hidrológico para la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras. ....	30

Anexos	Página
1. HOBO “Data Logging Rain Gauge” (Metric). ....	37
2. Nivel automático Sokkia B40A WS087688. ....	37
3. GPS Garmin Etre x 10. ....	38

# 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se presenta una crisis alrededor del mundo relacionada con la disponibilidad de los recursos naturales como suelo y agua. La relación de estos factores con la población, resultan en uno de los causantes de pobreza, inseguridad alimentaria, degradación de los ecosistemas naturales, entre otros efectos (Sepúlveda L., 2009).

Honduras, conforma el 41% del Corredor Seco Centroamericano (CSC), lo cual representa más de la mitad de su territorio. La región se caracteriza por su exposición a eventos hidrometeorológicos extremos, principalmente de sequía (González, 2012). En el CSC, dos tercios de la población rural se encuentran en pobreza y tres cuartas partes de esta, subsisten con nutrición insuficiente. El sector rural, principalmente se dedica actividades relacionadas con el agro, por lo que se ven fuertemente afectadas por los eventos climáticos extremos (Calvo, Quesada, Hidalgo y Gotlieb, 2018). El informe por parte de la organización “Germanwatch”, define a Honduras, Puerto Rico y Myanmar, como los países más afectados por los eventos del cambio climático desde 1998 hasta 2017. Además, se demuestra con claridad que los países menos desarrollados poseen una mayor vulnerabilidad a estos eventos con respecto a los países desarrollados (Eckstein, Hutfils y Wings, 2018).

Para Honduras, las condiciones climáticas se presentan con alta variabilidad. Por lo tanto, la disponibilidad del recurso hídrico para suplir la demanda de consumo humano u otros usos como la agricultura cambia significativamente de un año a otro (Monserrate et al., 2016). La vulnerabilidad ocasionada por los eventos extremos de cambio climático afecta principalmente al sector primario (agricultores, ganaderos y pequeños artesanos), que no cuenta con la tecnología ni conocimiento adecuado para competir en el mercado mundial (Calvo et al., 2018). Por lo tanto, los eventos de sequía son una gran amenaza para la población dedicada a la agricultura, ya que dependen directamente de lluvia para poder tener buenos rendimientos productivos (Banco Mundial, 2020).

La agricultura en general, a pequeña y gran escala, es una de las actividades con mayores impactos ambientales negativos (Clements, Haggard, Quesada y Torres, 2011). En el estudio contribución del sector agrícola al cambio climático, se determinó que sus actividades aportan un 24% del total de gases de efecto invernadero de origen antropogénico (Lenka, Lenka, Sejian y Mohanty, 2015). La producción en el sector agropecuario mediante sistemas convencionales ocasiona productos negativos como lo son el dióxido de carbono, óxido de nitrógeno y metano. Por lo tanto, se define que el aumento de producción mediante sistemas tradicionales no es sostenible ni adecuado en el largo plazo (Baumgard, Gaughan, Prasad y Sejian, 2015). Las malas prácticas agrícolas, generan pérdida de suelo, disminución de la calidad y disponibilidad del agua, infertilidad en el suelo, entre otras afectaciones (Vera, 2017).

Los principales rubros laborales del sector rural de la región son la base económica y proveedora de alimentos para sus respectivos países. En un posible escenario futuro, se puede implicar graves afectaciones debido a la escasez de agua. Por lo tanto, los cultivos de subsistencia como el frijol y maíz son los productos que se encuentran con un mayor grado de riesgo. Consecuentemente, existe la posibilidad de un incremento de vulnerabilidad social y económica (Bouroncle et al., 2017).

Debido a la creciente problemática por el cambio climático, América Central se ha considerado como una zona potencial que requiere de técnicas de cosecha y almacenamiento de agua. En el estudio para la región, se determinó que la disponibilidad de agua en el sistema de cada zona es relativamente fija, es decir, la cantidad de agua se mantiene en el ciclo hidrológico. La causante de problemas relacionados con escasez de agua se debe a que, comúnmente no se ha buscado maximizar la efectividad en el uso de este recurso (Valencia, 2018).

Las estrategias se basan en el análisis de información biofísica y socioeconómica con el fin de crear políticas adecuadas que impulsen el desarrollo de pequeños y medianos agricultores. Como resultado en el análisis del estudio, se determinó que se debe considerar todas las variables biofísicas, para lograr objetivos de adaptación al cambio climático de acuerdo a las condiciones de cada lugar (Bouroncle et al., 2017).

La escasez de agua y eventos climatológicos extremos, son acontecimientos cada vez más variables por lo que es necesaria la implementación de sistemas que permitan adaptabilidad a esos cambios (Eitzinger et al., 2017). Los diseños hidrológicos tradicionales responden eficientemente al abastecimiento de agua (Ali, Oweis, Rashid, El-Naggar y Aal, 2007). No obstante, son sistemas que no son aplicables por la población rural de la región. La evaluación de la implementación de distintos tipos de sistemas de cosecha de agua, estipula que la relación costo-beneficio es altamente retribuyente con respecto a los costos de implementación. Sin embargo, el plazo de recuperación o percepción de estos beneficios para infraestructuras tradicionales, no es reflejado en los primeros años (Liniger, 2013).

El agua es uno de los componentes esenciales para el desarrollo. La escasez del recurso hídrico aumenta la vulnerabilidad económica y la inseguridad alimentaria. En comunidades rurales, que son dependientes de las lluvias para subsistir (Aldana, 2014). La realización de un proyecto tradicional de riego resulta no viable en la región, debido a los altos costos del equipo, instalación y aplicación (Barah y Sudhakar, 1993). Por esta razón, es preciso que las alternativas propuestas sean factibles tanto para la región como para los productores. Consecuentemente, es necesario generar un modelo a bajo costo, y altamente aplicable para pequeños y medianos agricultores de zonas rurales.

Las alternativas de solución se enfocan en reducir problemas como la disponibilidad de suministros de agua potable, saneamiento básico, entre otros inconvenientes relacionados con el recurso hídrico. Por lo tanto, alternativas buscan aplicar técnicas como recolección de agua de lluvia y su posterior almacenamiento, mediante diversos métodos. El Número de Curva, es una metodología creada por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, estima el potencial de cosecha de agua según las características biofísicas del terreno. La aplicación del número de curva sirve como referencia para estimar el potencial de escorrentía de un evento de precipitación que se escurre después de una tormenta (Lavao, 2014).

La implementación del sistema con Línea Clave como diseño hidrológico, es un ejemplo que permite la captación de agua de lluvia y el mejoramiento de las características de suelo, agua y rendimiento productivo de los cultivos. La metodología Línea Clave, permite potenciar el desarrollo social, económico y ambiental de las zonas en donde se implementa (Hill, 2016). En varias regiones de América Central, la Línea Clave como herramienta metodológica para el diseño hidrológico de los terrenos, ha respondido efectivamente. Es una alternativa viable, debido a que

incluye una visión holística y aprovechamiento de los componentes del paisaje para potenciar los beneficios que conlleva la implementación de esta metodología (Cortés y Ramírez, 2013).

La construcción de infraestructuras para el almacenamiento del agua recolectada, independientemente del método, depende directamente del volumen que se quiere almacenar. El potencial de escorrentía de un área de captación se puede medir con un índice de factibilidad de cosecha de agua. Las variables que influyen directamente en el diseño de reservorios son la cobertura vegetal, el tipo de suelo, clima y topografía del terreno (Monserrate et al., 2016).

Mediante esta base, este estudio pretende afrontar uno de los problemas principales para el sector agrícola de Honduras, el cual es la escasez de agua en zonas de baja precipitación. Por lo tanto, los valores del análisis de precipitación y características biofísicas de un área se muestran en una propuesta de diseño hidrológico. La alternativa de sistema con Línea Clave permite que los terrenos maximicen la disponibilidad del recurso hídrico, siendo el enfoque del método tanto para evacuar agua de zonas de inundación o, dirigirla hacia un punto de alta demanda hídrica (Yeomans, 1981).

La alta vulnerabilidad del sector agrícola y ganadero en el CSC, demanda de un modelo de gestión del recurso hídrico, que implemente estrategias de adaptación y mitigación de los efectos de las sequías (Calvo et al., 2018). El propósito del estudio es aumentar la productividad de este sector, para poder combatir la pobreza de zonas rurales, conflictos sociales, migración hacia ciudades y mejorar las condiciones de vida de pequeños y medianos productores rurales. Para ello se proponen los siguientes objetivos:

- Identificar la ubicación óptima de sitios de almacenamiento de agua de escorrentía en la Finca Agroecológica Zamorano.
- Estimar el potencial de escorrentía de agua mediante el método del Número de Curva desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos para un área prioritaria de la Finca Agroecológica.
- Proponer un diseño hidrológico mediante el método de Línea Clave en un área prioritaria de la Finca Agroecológica.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en la Finca Agroecológica de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano (EAP), desde mayo hasta septiembre de 2020. La finca se ubica en la aldea Santa Inés, Valle de Yegüare, municipio San Antonio de Oriente, departamento Francisco Morazán, Honduras. Comprende un área de 40.3 hectáreas, con una altitud de 780 msnm, en la cual se presenta una precipitación media anual de 1,100 mm y una temperatura promedio anual de 24 °C (Griffith y Rodríguez, 2014).

El uso de la finca principalmente está destinado a la producción de frutales, granos y animales a pequeña escala, en sistemas basados en los principios de la agroecología. Sus sistemas productivos, cuentan con una visión integral y holística, un sistema agro productivo diverso y resiliente, que busca la eficiencia energética, rentabilidad y soberanía alimentaria (Chou, Crespo, Fernández, Rosales y Garlobo, 2016).

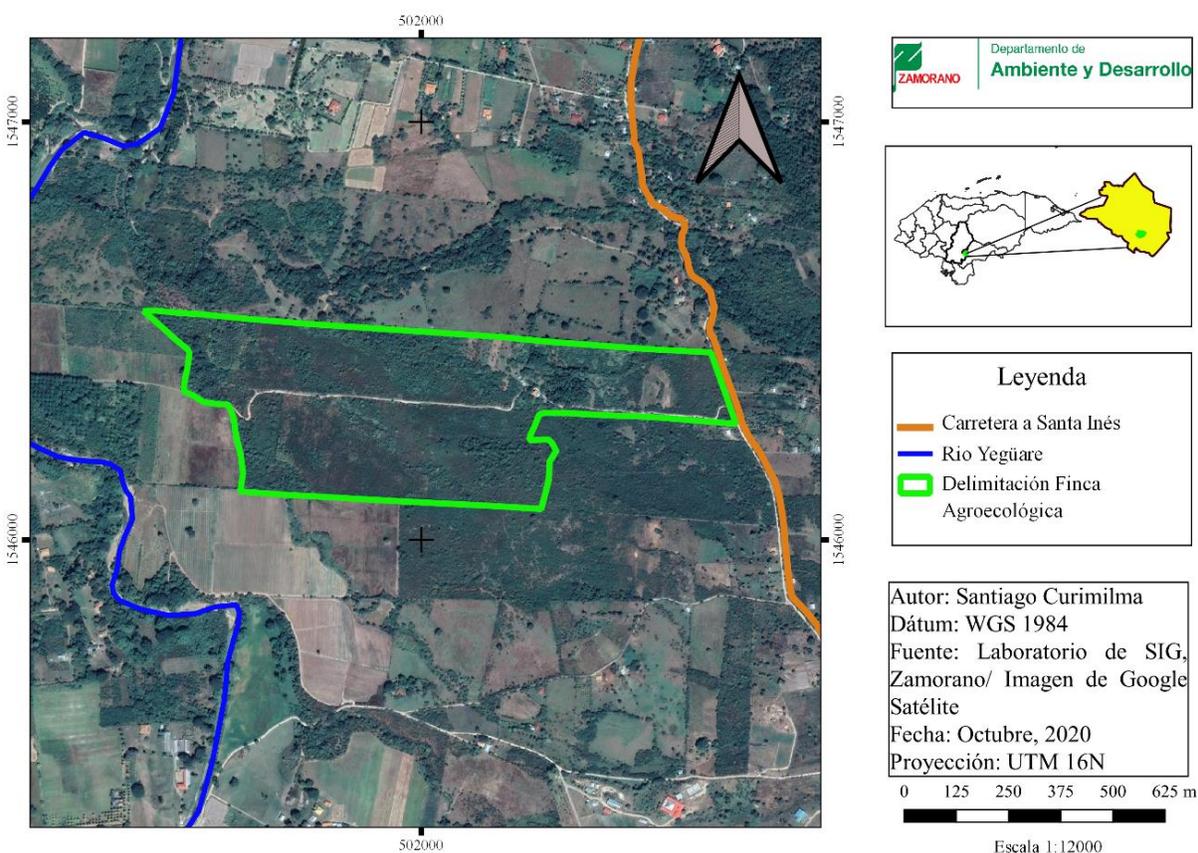


Figura 1. Mapa de la Finca Agroecológica de Zamorano, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

Fuente: (Laboratorio de SIG de Zamorano y Google Satélite, 2020).

## **Ubicación óptima de sitios de almacenamiento de agua**

**Caracterización de campo.** Se realizó la lectura del paisaje en una visita exploratoria de campo, la cual consistió en la observación de las características del sitio. El propósito fue identificar las zonas de acumulación de agua o inundables, áreas con cárcavas o evidencias de flujos naturales. Una vez realizado el reconocimiento preliminar del sitio, se identificaron posibles áreas que aportan escorrentía hacia los sitios de acumulación. Esta etapa sirve para comprobar los resultados digitales con los reales.

El estudio incluye el análisis e interpretación de múltiples variables. Algunas, fueron tomadas en campo, como la precipitación y los datos de suelos. Cabe mencionar que, los datos de suelos fueron tomados en 2017 por personal de campo de la Finca Agroecológica y caracterizados por el Laboratorio de Suelos de Zamorano. Asimismo, se generó análisis de ciertas variables a partir de bases de datos satelitales. Se aplicó un Modelo Digital de Elevación (MDE), con el fin de extraer las curvas de nivel para definir la pendiente y la dirección del flujo de agua en la finca. Mediante esta información, se identificó los sitios más adecuados para los objetivos mencionados anteriormente. Se determinó el uso y cobertura del suelo mediante clasificación supervisada y con imágenes satelitales.

Luego, con todas las variables de insumo, se definió el potencial de captación y almacenamiento de agua de lluvia. Además, se determinó que el sitio de captación permita la distribución del recurso hacia las parcelas de producción mediante gravedad. De esta manera, se muestra una alternativa del manejo de los recursos hídricos naturales presentes en el área de estudio, además de beneficiar los sistemas productivos presentes en la misma.

**Identificación de características generales para el diseño hidrológico.** Las características generales del sitio son fundamentales para determinar zonas con mayor demanda de recurso hídrico, como lo son áreas agrícolas o pecuarias. Para identificar zonas potenciales para el diseño hidrológico, es necesario conocer la pendiente. El mapa de pendientes, en conjunto con la lectura de paisaje previa y un mapa de usos y coberturas, son variables indispensables para determinar la ubicación de los sitios potenciales para captación o evacuación de agua lluvia.

**Mapeo de usos y coberturas de suelo.** El potencial de escorrentía está ligado a la cobertura del sitio, siendo mayor en zonas con poca cobertura y menor en coberturas más densas. Por lo tanto, para caracterizar áreas potenciales para captación o evacuación de agua de lluvia, es determinante realizar un mapa de usos y coberturas. En la identificación, se utilizó imágenes satelitales de “Google” Satélite 2015 de la interfaz de “QGIS®” (versión 3.12.2) y se comprobó la información por medio de clasificación supervisada. Este método consiste en la comprobación de la interpretación que se realizó teóricamente con la información de campo. Para esto, se recibió colaboración del personal de apoyo de la Finca Agroecológica. De esta manera, se comprobó los resultados obtenidos de la interpretación teórica, con los tipos de usos y coberturas observados en campo.

**Análisis de la pendiente del terreno.** El mapa de pendientes es ideal como una herramienta de apoyo para corroborar la información de la lectura de paisaje. La elaboración del mapa utilizó el MDE. Los datos fueron descargados de la base Alaska Alos Palsar, con 12.5 m de resolución (Alaska Satellite Facility, 2015). Esta información se procesó en “QGIS®”. La pendiente se

clasificó según el Manual de Laboratorio de Suelos (Arévalo y Gauggel, 2018). Se utilizó esta clasificación con el fin de obtener una mayor apreciación de la variación de pendientes en el área de estudio. Los rangos están expresados en porcentaje y se cuenta con siete categorías de pendientes (Cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de pendientes.

Pendiente (%)	Interpretación
0 - 3	Plano
3 - 7	Ligeramente plano
7 - 12	Ligeramente inclinado
12 - 25	Inclinado
25 - 50	Ligeramente escarpado
50 - 100	Escarpado
> 100	Muy escarpado

Fuente: Manual de Laboratorio de Suelos (Arévalo y Gauggel 2018).

**Identificación y delimitación de áreas de captación.** Para delimitar las áreas de captación de agua lluvia, es necesario conocer el flujo natural del agua, el cual se obtuvo a partir del MDE. Se utilizó las herramientas de QGIS® para realizar el proceso de dirección de flujo y se delimitó manualmente las áreas de captación. El flujo de agua toma en cuenta la diferencia altitudinal del MDE y genera una capa de puntos, la cual se realizó a 1 metro de equidistancia, es decir, cada punto representa la dirección del flujo en 1 m<sup>2</sup>. Este proceso, permitió delimitar las áreas que drenan hacia dentro de la finca. Después, se determinó las áreas de captación y sus respectivos sitios de almacenamiento. Para la identificación de los sitios de almacenamiento de agua correspondientes a cada área, se ubicó una zona de salida en cada área de captación. Se descartaron sitios tomando en cuenta la distancia entre estos y las parcelas productivas, dimensión del área de escorrentía, los usos y coberturas de suelo.

Posteriormente, se comprobó en campo la ubicación y la diferencia de altura entre los puntos usando un receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) (GARMIN Etrex 10®) con precisión de  $\pm 3$  metros y un nivel automático (SOKKIA B40A WS087688®) para lo cual se necesitó el apoyo del personal de la Finca Agroecológica. Este proceso, se realizó con el objetivo de generar información precisa sobre la ubicación y diferencia de alturas entre las posibles zonas para cosecha de agua.

### **Estimación del potencial de escorrentía**

Las variables para la estimación de la escorrentía son múltiples características del terreno y de los eventos de precipitación. El Índice de Factibilidad de Cosecha de Agua (IFC), muestra que para definir sitios potenciales para cosecha de agua lluvia, se debe tomar en cuenta la fracción de escorrentía, pendiente, porcentaje de arcilla, índice topográfico de humedad y la curvatura del terreno. El IFC busca ubicar sitios en donde el agua drene en épocas lluviosa y pueda ser almacenada y utilizada en época seca (Monserrate et al., 2016).

Las variables del IFC, son referentes para realizar proyectos de construcción de reservorios para cosecha de agua lluvia. Sin embargo, para la estimación de los valores de escorrentía, se utilizó la metodología de número de curva. Este método, con coeficientes de mayor aplicabilidad para zonas en donde se cuenta con una cantidad reducida de información. Para calcular la escorrentía mediante el número de curva, se utilizó el mapa de la delimitación de las áreas de captación con sus respectivos sitios de almacenamiento, características de suelos, usos de suelo y datos de precipitación.

**Caracterización de suelos.** Se elaboró un mapa de suelos de la finca a partir de los datos de un muestreo realizado por Martínez y el personal técnico de campo de la Finca Agroecológica de la EAP. El procesamiento y análisis de las muestras de suelos, se realizó a partir de la información generada con los datos de cuatro calicatas y 11 barrenaciones, las cuales abarcan dispersamente toda el área de la finca (Laboratorio de Suelos de Zamorano, No publicado/2017) La representación gráfica de las características de suelos se realizó mediante interpolación con el método Distancia Inversa Ponderada (IDW) en QGIS®. El mapa se realizó con las familias texturales de suelo, por lo que se le atribuyó a cada punto de muestreo su familia textural correspondiente. Esto permite, definir características importantes del suelo, como es el porcentaje de arcilla, el cual influye directamente en el potencial de escorrentía y almacenamiento de agua.

**Registro de datos de precipitación.** El registro de la precipitación se llevó a cabo con la instalación de un pluviómetro en el sitio de estudio. Se utilizó el pluviómetro “HOBO Rain Gauge” (Métrico) Registrador Electrónico®, para el registro de datos de forma automática. Para la ubicación del pluviómetro, se tomó en cuenta que el sitio este despejado, fuera de la influencia de árboles e infraestructura. Al ser un área pequeña, se ubica el pluviómetro en el centro de la finca. Los datos fueron tomados a partir del 08 de mayo al 07 de septiembre del presente año.

**Análisis de datos de precipitación.** Una vez recopilados los datos de precipitación del pluviómetro, se realizó la tabulación. Se consideró como un evento de precipitación a lluvias transcurridas en un periodo de tiempo en el que la lluvia se mantiene constante. Mediante el análisis, se define eventos máximos, mínimos y el total de precipitación para el tiempo de estudio. Se identificaron los eventos de lluvia de mayor magnitud, con el fin de obtener los datos necesarios para estimar el potencial de escorrentía.

**Método de Número de Curva.** Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos. La ventaja sobre otros métodos es que se puede aplicar a pequeñas cuencas hidrográficas. El valor obtenido mediante este método es un coeficiente que varía entre 1 y 100. El valor de 100, significa que toda la lluvia escurre, mientras que 1 representa que toda la lluvia se infiltra (Villón, 2004).

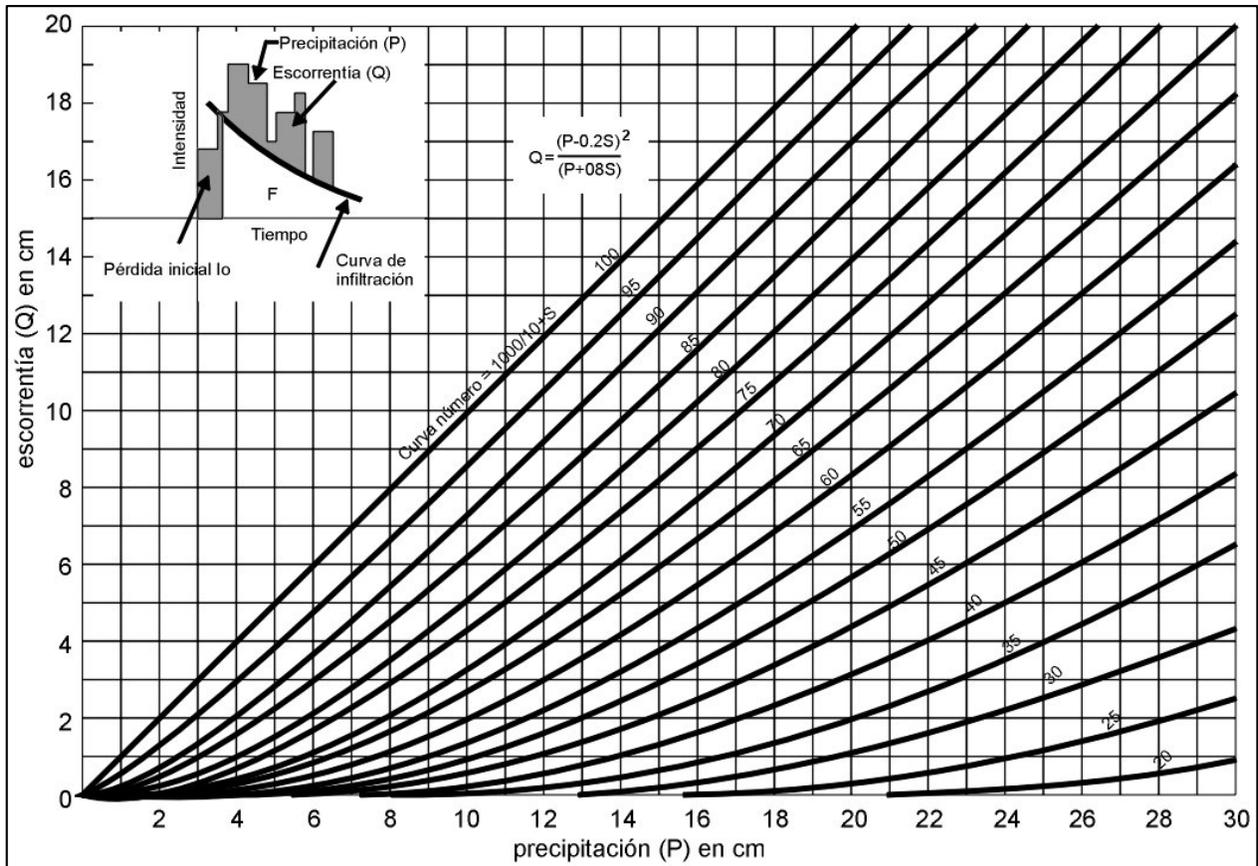


Figura 2. Número de curva para la relación entre precipitación y escorrentía.  
 Fuente: Servicio de Conservación de Suelos (Villón, 2004).

El cálculo se basa en la siguiente relación:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{Pe} \quad [1]$$

Donde:

F = Infiltración real acumulada (L)

S = Infiltración potencial máxima (L)

Q = Escorrentía total acumulada (L)

Pe = Escorrentía potencial o exceso de precipitación (L)

El SCS a través de múltiples estudios experimentales, determinó cierta relación en la infiltración potencial máxima y la precipitación acumulada hasta el inicio de la escorrentía (Ia), en donde se determina la Ecuación 2 la cual debe contar con todas sus variables en una misma unidad:

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S} \quad [2]$$

Donde:

Q = Escorrentía total acumulada

P = Precipitación

S = Infiltración acumulada

Para obtener un valor de S, el SCS establece una relación con el Número de Curva (N), la cual es la siguiente:

$$S = [(1000/N) - 10] \times \text{pulg} \times (2.54 \text{ cm/1 pulg}) \quad [3]$$

Por lo tanto, se sustituye S en la Ecuación 2 y se obtiene la Ecuación 4:

$$Q = \frac{[N(P + 50.8) - 5,080]^2}{N[N(P - 203.2) + 20,320]} \quad [4]$$

Donde:

Q = Escorrentía total acumulada (mm)

P = Precipitación de la tormenta (mm)

N = Número de curva

Para un correcto valor de Q en la Ecuación 4, se debe cumplir con la Ecuación 5:

$$P_{\min} = \frac{5,080}{N} - 50.8 \quad [5]$$

Para determinar N, se tiene en cuenta la tabla de la SCS. Esta fue elaborada para una relación de  $I_a = 0.2 S$  y para una condición de humedad antecedente promedio (CHA II).

### **Selección de eventos de precipitación**

La selección de los eventos de precipitación tomó en cuenta que se debe cumplir la ecuación 5, en donde se determina límite mínimo de precipitación según las características del terreno. Por lo tanto, se eligió los eventos de mayor precipitación, a los cuales se les atribuyó un grupo de condición de humedad antecedente, según la clasificación del SCS.

**Condición de Humedad Antecedente (CHA).** La CHA, se obtiene a partir de la precipitación acumulada de 5 días previos al evento de interés. La definición de la estación se realiza de acuerdo a la etapa vegetativa en la que se encuentre la cobertura vegetal. Los rangos de CHA, están dados de acuerdo a dos estaciones referentes a la estación climática y etapa vegetativa de la cobertura (Cuadro 2).

Cuadro 2. Condición de humedad antecedente (CHA).

Grupo CHA	Antecedentes de 5 días de lluvia (mm)	
	Estación latente	Estación de crecimiento
I	< 13	< 36
II	13 - 28	36 - 53
III	> 28	> 53

Fuente: Adaptación del Servicio de Conservación de Suelos (Villón, 2004).

### Selección de grupo hidrológico

La caracterización de los suelos se define a partir de los resultados de la interpolación obtenida con los datos del muestreo de suelos. Por otro lado, la caracterización de la cobertura se determinó a partir de la imagen satelital de Google Satélite. La selección del grupo y condición hidrológica se realizó de acuerdo a la clasificación del SCS de Estados Unidos. El SCS, ha agrupado los tipos de suelos según la tasa de infiltración y la de transmisión. La clasificación está dividida en 4 grupos hidrológico de suelos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación hidrológica de suelos.

Grupo hidrológico	Características
A	Altas tasas de infiltración y de transmisión. Constituidos por arenas o gravas profundas, bien y excesivamente drenadas.
B	Moderada tasa de infiltración cuando el suelo está húmedo y moderada transmisión. Constituidos por suelos profundos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas.
C	Baja tasa de infiltración cuando están saturados y baja tasa de transmisión. Constituidos por texturas de moderadamente finas a finas.
D	Baja tasa de infiltración cuando están saturados y baja tasa de transmisión. Constituidos por texturas de moderadamente finas a finas.

Fuente: Adaptación del SCS (Villón, 2004).

**Condición hidrológica.** La clasificación de condición hidrológica se basa en el porcentaje de cobertura para cada tipo de uso de la tierra (Cuadro 4). La condición buena, representa que en el área existe bajo potencial de escurrimiento, mientras que la pobre, al tener menos cobertura, tiene alto potencial de escurrimiento.

Cuadro 4. Condición hidrológica.

Cobertura vegetal	Condición hidrológica
> 75% del área	Buena
Entre 50 y 75% del área	Regular
< 50% del área	Pobre

Fuente: SCS (Villón, 2004).

### **Determinación del número de curva**

La asignación del número se realizó a partir de la interpretación del tipo de cobertura y la clasificación de grupo y condición hidrológica. El valor N se definió según la clasificación del SCS (Cuadro 5).

**Ubicación de sitios para almacenamiento.** Para identificar los sitios de almacenamiento, se debe considerar los puntos resultantes de la dirección de flujo. Estos sitios son a donde naturalmente el agua se dirige por medio de la topografía del terreno. Por lo tanto, el área de diseño tiene similitud al de una cuenca hidrográfica. El punto de aforo de una cuenca se puede asociar a un posible punto de cosecha de agua lluvia. En este caso, el diseño de pequeña escala toma en cuenta los puntos de salida de las áreas de captación como los sitios adecuados para obras de almacenamiento o redistribución de agua hacia zonas de interés.

**Capacidad de obras para almacenamiento.** Las obras de almacenamiento de agua pueden requerir de diversos tipos de infraestructura. El material utilizado y la capacidad de almacenamiento son determinantes en cuanto al costo. Por lo tanto, la construcción de esta infraestructura depende del financiamiento con el que se cuente (Lau, Jarvis y Ramírez, 2011). Para objeto del estudio, el diseño hidrológico solo definirá ubicación y capacidad de almacenamiento de los reservorios.

El diseño de los reservorios dependerá de cada sitio, en donde se puede aprovechar zonas cóncavas o se puede realizar excavaciones. Estos sitios, serán abastecidos por el sistema de cosecha con Línea Clave y posteriormente, distribuirán agua a las parcelas por medio de tubería o acequias de drenaje. Por otro lado, la distribución del agua recolectada se debe dirigir hacia las zonas de interés o de escasez de agua, en el caso de la Finca Agroecológica sería áreas de cultivo. Lo ideal es realizar un diseño que cuente con un sistema de tuberías para transportar el recurso hídrico de manera eficiente.

La desventaja de las tuberías es el elevado costo de instalación, mantenimiento y la construcción de nodos de inspección que implica este tipo de sistema de conducción de agua. Por lo tanto, siguiendo los principios de la finca, se debería utilizar métodos alternativos como acequias u obras de bajo costo e impacto. Para cualquiera de los casos, la gravedad por diferencia altitudinal es de gran importancia para lograr un sistema hidrológico económico, en donde no se necesite un sistema de bombeo (Lau et al., 2011).

Cuadro 5. Número de curva para complejos hidrológicos de suelo y cobertura.

Uso de la tierra	Cobertura		Número de Curva Grupo hidrológico			
	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
Descuidado, en descanso, sin cultivos	Surcos rectos	----	77	86	91	94
Cultivos	Surcos rectos	Pobre	72	81	88	91
	Surcos rectos	Buena	67	78	85	98
	Curvas de nivel	Pobre	70	79	84	88
	Curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	66	74	80	82
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	62	71	78	81
Pequeños granos	Surcos rectos	Pobre	65	76	84	88
	Surcos rectos	Buena	63	75	82	87
	Curvas de nivel	Pobre	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	61	72	79	82
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	59	70	78	81
Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	Pobre	66	77	85	89
	Surcos rectos	Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Pobre	64	75	83	85
	Curvas de nivel	Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Pobre	63	73	80	83
	Curvas de nivel y en terrazas	Buena	51	67	76	80
Pastizales o similares		Pobre	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Curvas a nivel	Pobre	47	67	81	88
	Curvas a nivel	Regular	25	59	75	83
	Curvas a nivel	Buena	6	35	70	79
Pradera		Buena	30	58	71	78
		Pobre	45	66	77	83
Bosques		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Patios		----	59	74	82	86
Camino, incluyendo derecho de vía	Cieno	----	72	82	87	89
	Superficie firme	----	74	84	90	92

Fuente: Adaptado del Servicio de Conservación de Suelos (Villón, 2004).

## **Propuesta del diseño hidrológico con el método de Línea Clave**

**Identificación de la zona prioritaria.** Para elaborar la propuesta de diseño hidrológico, se tiene en cuenta que la metodología se basa de los principios de la agroecología, la cual cumple con la función de regenerar y conservar las propiedades del suelo y mejorar la disponibilidad de agua. Por tal motivo, se pretende aprovechar las condiciones de la finca para distribuir y almacenar agua. Además, se tuvo en cuenta que el diseño debe ser de bajo costo para poder ser implementado por agricultores de escasos recursos en zonas aledañas.

Los sistemas productivos por lo general son altamente demandantes de agua. Por lo tanto, se generan zonas en donde la cantidad de agua es insuficiente para suplir sus requerimientos hídricos. Consecuentemente, para la elaboración del estudio se identificó una zona prioritaria, donde puede existir alta demanda de agua o también, evidencias de inundación en época de lluvia. Para la identificación, se tomó en cuenta la lectura de paisaje inicial, imágenes satelitales y se comprobó con el mapa de pendientes. Posteriormente, se utilizó QGIS® para delimitar el área de diseño.

El área de diseño está ligado a la identificación de los posibles sitios óptimos, obtenidos previamente con la dirección de flujo. Los sitios candidatos para almacenamiento, son los referentes a donde se pretende dirigir el agua. Sin embargo, para objeto de estudio, no se calcula un área completa de captación, sino se limita a ser un diseño de pequeña escala. Los posibles sitios, deben cumplir con una diferencia altitudinal con respecto a las zonas de producción y cumplir con un gran potencial de escurrimiento hídrico. Las características del sitio deben favorecer la construcción de reservorios de diferentes capacidades y transportar el agua a las parcelas por gravedad, con el fin de evitar costos adicionales. La comprobación de la ubicación y diferencia altitudinal se realizó con el MDE y con medición en campo con GPS y con nivel automático.

**Curvas de nivel.** Una vez identificada y delimitada la zona prioritaria en donde se realizó el diseño, se procede a realizar un mapa de curvas a nivel. Estas se extrajeron del MDE a 1 metro de distancia entre cada curva. Estas se realizan con el fin de apreciar de mejor manera el flujo de agua en la finca y también, para identificar la línea clave o madre, la cual es la base del diseño hidrológico.

### **Cosecha de agua de escorrentía con Línea Clave**

La cosecha de agua es la fuente de la cual se abastecerá el sistema hidrológico. Por lo tanto, es un proceso fundamental en donde se busca tanto, evacuar agua en zonas de inundación, como almacenar el recurso en sitios estratégicos para aprovecharlo en periodos de escasez. Para llevar a cabo el sistema de captación de agua, se usó la metodología creada por el australiano Percival Alfred Yeomans, denominado Línea Clave. Esta consiste en la determinación de una línea clave o madre en el terreno, con un ligero porcentaje de pendiente, la cual se define conforme el terreno y los objetivos para los que se destina. Esta metodología cumple con los parámetros de redistribución de agua, captación y almacenamiento. Además, mejora considerablemente las características de suelo y agua, lo cual beneficia al sistema hidrológico (Yeomans, 1981).

El sistema con la implementación de la metodología de Línea Clave se aplica con dos propósitos para el presente estudio. Primero, permitir la evacuación de agua en zonas de inundación o saturación por falta de drenaje y segundo, aumentar el potencial del suelo con respecto a la retención de agua. Esto permite mayor disponibilidad de agua a lo largo del tiempo, tanto para

cultivos o pastizales, ya que se dispone de mayor volumen y capacidad de infiltración, reduciendo el impacto negativo por los periodos extensos de sequía (Duncan y Krawczyk, 2018).

La metodología Línea Clave se basa en la identificación de un cambio en la distancia entre las curvas de nivel en donde se encuentra el punto clave (Figura 3). La implementación de la metodología es un proceso de cuatro pasos (Cortés y Ramírez, 2013) detallados a continuación:

1. Análisis de mapas topográficos de cada sitio y a determinar el flujo natural de agua y las curvas a nivel.
2. Definición de puntos clave en cada sitio. Este punto, se define mediante la identificación de un cambio notorio en la pendiente (Figura 3).
3. Posteriormente, en la cota en donde se encuentre el punto clave, se diseñará la línea o acequia clave con un porcentaje de pendiente según el área del sitio.
4. Por último, en caso de tener una zona alta demanda y poca disponibilidad de agua, se realizarán cotas paralelas equidistantes a la línea establecida. Por otro lado, en caso de ser una zona con problemas de inundación, se dirigirá el flujo de agua hacia sitios de interés.

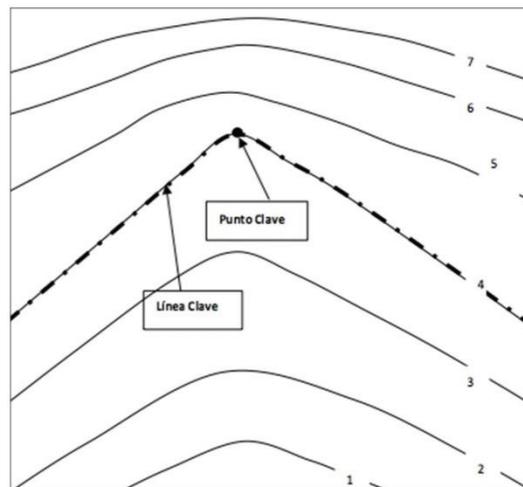


Figura 3. Punto y Línea Clave del diseño hidrológico del terreno.

Fuente: Manual técnico (Cortés y Ramírez, 2013).

### Propuesta del diseño hidrológico

Para realizar la propuesta de diseño hidrológico, se utilizó los datos resultantes del número de curva y el análisis de precipitación. La línea clave es la base del diseño, por lo que se construcción depende del enfoque que se disponga para el sitio. En caso de ser de evacuación, se maneja una línea clave o madre con inclinación hacia una zona de drenaje de interés. En caso de buscar captación en un punto clave, se busca dirigir el agua desde los extremos de la línea clave, hacia el sitio de interés.

Posteriormente, se realizó mapas topográficos que incluyan todas las variables en QGIS®. Se mostrarán la familia textural de suelo, usos y coberturas de suelos, curvas a nivel y dirección de flujo. Cabe recalcar que, para el área delimitada de drenaje, la escorrentía no solo será de sus límites internos. Es decir, la precipitación que ocurra fuera de los límites del área de diseño también puede

incrementar o reducir el volumen de escorrentía total. Por lo tanto, se propone el diseño de un sistema que permita el aprovechamiento de la escorrentía proveniente de afuera de los límites de diseño y también, mantener la mayor cantidad del recurso hídrico dentro del área de la finca. Esto se realizaría con la implementación de barreras en caso de ser necesario o cambiando el porcentaje de pendiente en zonas de drenaje por medio de acequias.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Identificación de sitios óptimos para almacenamiento de agua

**Caracterización de la finca.** En noviembre de 2019, se realizó una visita a campo en donde se observaron las características generales de la Finca Agroecológica. La topografía del terreno fue la más influyente en la determinación de las zonas que requieren de la aplicación de un diseño hidrológico. Los datos preliminares de campo son la base para comprobar la posterior representación gráfica de las características del terreno en QGIS®.

La lectura de paisaje es un método eficiente en cuanto al análisis de características generales para la planificación territorial. El diseño del paisaje se basa principalmente en la observación de campo. Por lo tanto, es recomendable que, solamente una vez identificadas las características del terreno, se puede proceder a la intervención con sistemas productivos (López, Collantes, Barrasa y Alanís, 2019).

**Usos y coberturas de suelo.** Se identificaron 18 tipos de usos para área de estudio (Cuadro 6). La mayor parte del área la componen bosques secundarios, dispersos en toda el área de la finca. La zona de producción agropecuaria se encuentra al noreste, por ende, es la zona con más demanda de recurso hídrico (Figura 4).

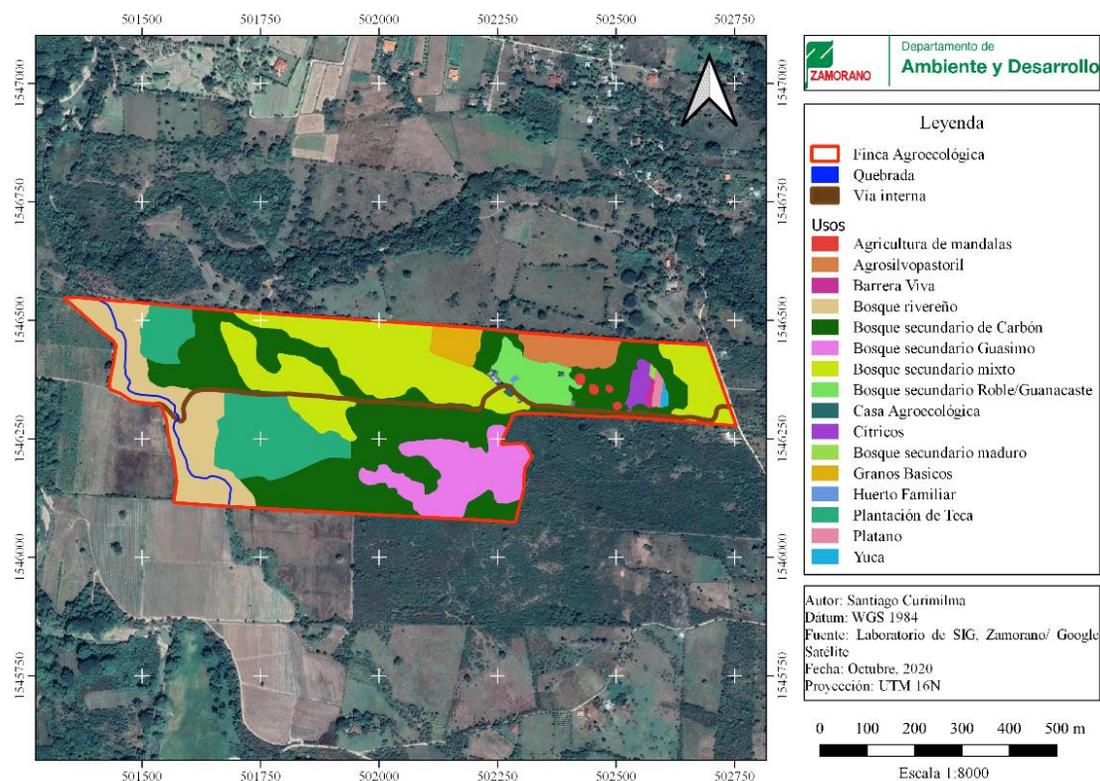


Figura 4. Mapa de usos y coberturas de la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras.  
Fuente: (Laboratorio de SIG de Zamorano y Google Satélite, 2020).

Cuadro 6. Usos y coberturas de la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras

<b>Numeración</b>	<b>Usos y coberturas</b>
1	Quebrada
2	Vía interna
3	Plantación de teca
4	Enredaderas
5	Zona de barreras viva
6	Plátano
7	Agrosilvopastoril
8	Bosque secundario mixto
9	Bosque secundario roble/guanacaste
10	Bosque secundario guásimo
11	Bosque riveroño
12	Yuca
13	Bosque secundario carbón
14	Vivienda Agroecológica
15	Huerto familiar
16	Granos básicos
17	Agricultura en Mandala
18	Cítricos

**Pendiente del terreno.** En el área de estudio, se encontró rangos de pendiente que van desde 0 a 24.3% (Figura 5). Por lo tanto, según la clasificación del Manual de Laboratorio de Suelos (Arévalo y Gauggel, 2018) se identificó cuatro categorías de pendientes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Rangos de pendiente de la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras.

<b>Pendiente (%)</b>	<b>Interpretación</b>
0 - 3	Plano
3 - 7	Ligeramente plano
7 - 12	Ligeramente inclinado
12 - 25	Inclinado

Fuente: Adaptado del Manual de Laboratorio de Suelos (Arévalo y Gauggel, 2018).

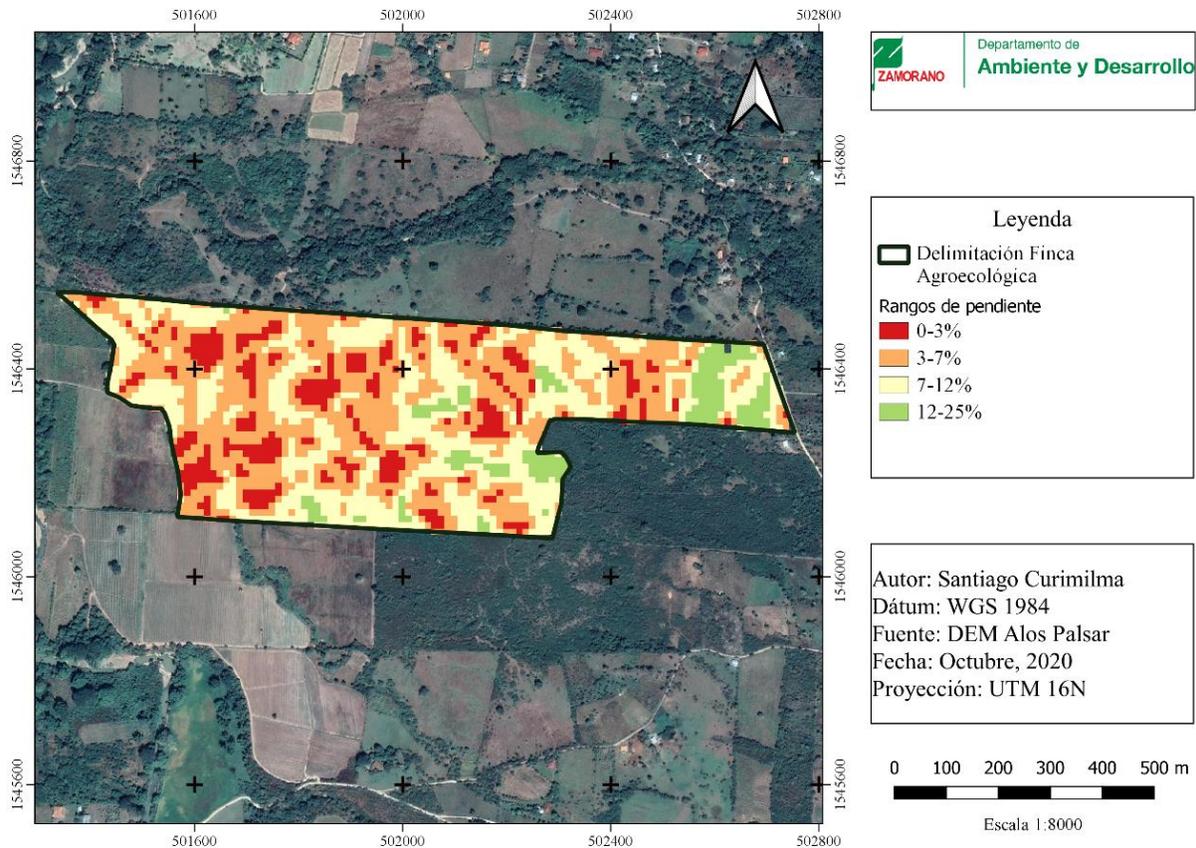


Figura 5. Mapa de pendientes de la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras.  
Fuente: (Alos Palsar, 2015)

La pendiente es una variable que influye significativamente en la generación de zonas de encharcamiento o sequía (Calderón, Pérez, Chow y Reyna, 2020). Sin embargo, se encontraron zonas en que la pendiente fue baja y el flujo natural de agua tiene una dirección diferente debido a que se encuentran en mayor altitud con respecto a los drenajes naturales del terreno. Por lo tanto, se determinó que se debe tomar en cuenta también la elevación a la que se encuentran estos sitios, ya que, si se encuentra en una zona alta con respecto al resto del área, a pesar de tener pendientes planas, no se inundará con facilidad.

**Mapa de suelos.** El mapa se realizó con base en los datos tomados por Martínez en 2017. Se analizó cada una de las muestras y se las agrupó según la unidad textural de mapeo (Arévalo y Gauggel, 2018), en donde se identificó cuatro familias texturales. Los puntos de muestreo y sus características se interpolaron en QGIS®. El mapa resultante muestra una distribución aproximada de los tipos de suelos. El mapa sirve para otorgarle a las características de suelo, un valor según el grupo hidrológico al que pertenezca (Figura 6).

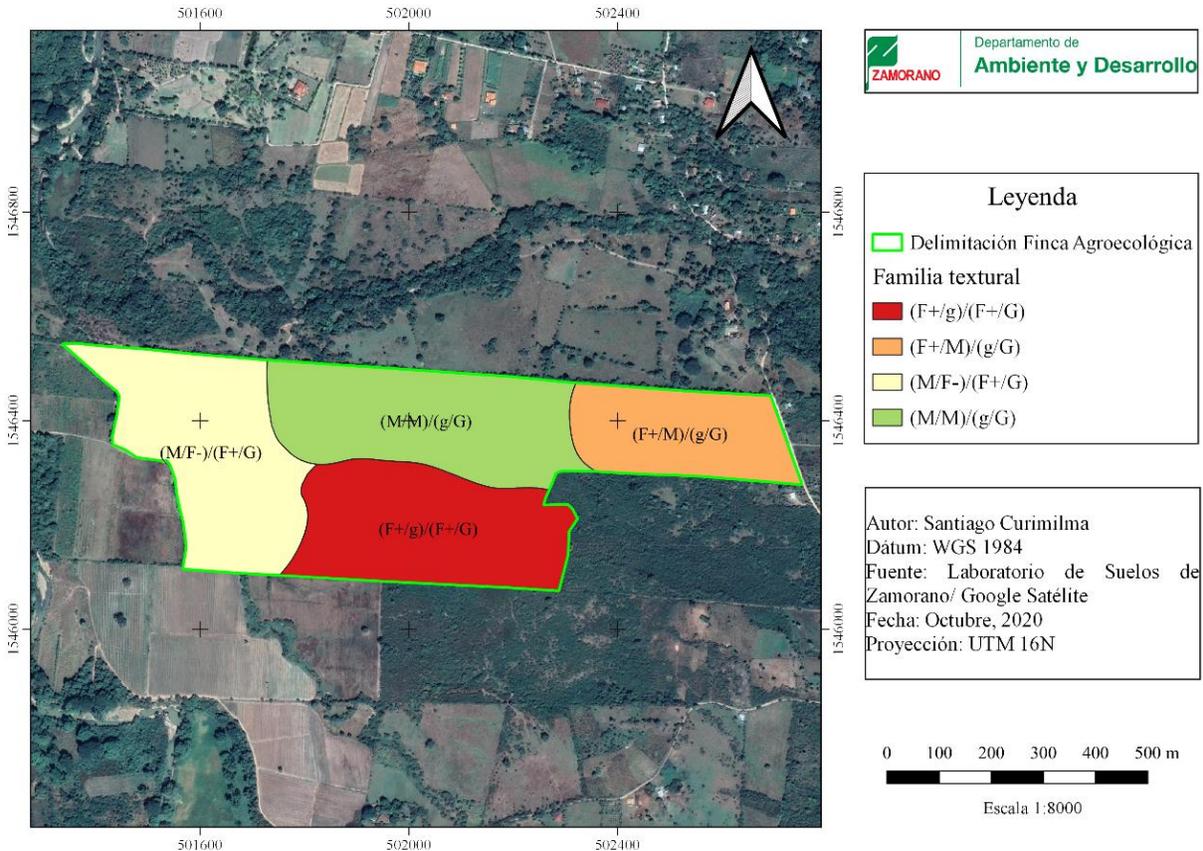


Figura 6. Mapa de suelos.

Fuente: (Google Satélite 2015 y Laboratorio de Suelos de Zamorano 2017).

Según el Manual de Laboratorio de Suelos (Arévalo y Gauggel, 2018), las familias texturales con el 35% o más de arcilla, se los denomina F+, los cuales son suelos que permiten una gran cantidad de escorrentía superficial. Dos de las áreas del área de estudio cuentan con alto contenido de arcilla. Es importante mencionar también, que suelos pocos profundos también favorecen la escorrentía, sin embargo, no es el caso de la Finca Agroecológica, ya que se tiene suelos con 40 a 60 cm de profundidad.

La caracterización del paisaje es una herramienta que se aplica en extensiones de terreno relativamente pequeños. Los sistemas de información geográfica (SIG) en otra instancia, permiten elaborar una representación gráfica de estas características. También, las herramientas de SIG resultan en una de las herramientas más eficientes y económicas para la interpretación de paisajes y para el modelamiento. Por lo tanto, el uso de herramientas SIG es justificado y válido realizar diseños de planificación territorial cuando se requiere el conocimiento general de las propiedades del terreno (Ramírez, Lavelle, Orjuela y Villanueva, 2012).

### **Delimitación de áreas de captación y sitios de almacenamiento**

La dirección de flujo de agua permitió identificar áreas de captación en donde, el punto de salida se consideró como un sitio óptimo para almacenar agua de lluvia. El proceso de dimensionar las

áreas de captación fue similar a la delimitación de una cuenca hidrográfica, como se muestra en el estudio de delimitación y de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos (Geraldí, Piccolo y Perillo, 2011). La delimitación de cuencas hidrográficas se puede realizar a partir de las herramientas de geo procesos de QGIS®. Sin embargo, al ser un área pequeña en comparación a una cuenca, se realizó manualmente con objeto de identificar con mayor precisión pequeñas áreas de drenaje y los sitios potenciales para realizar reservorios de agua.

Se identificó seis áreas de captación, que drenan hacia siete sitios potenciales para almacenamiento de agua (Figura 7). Es importante mencionar que existen zonas donde el agua fluye en dirección hacia la finca, que se considera como un aporte al volumen total que se puede cosechar, mientras otras, que desembocan fuera de la finca, se considera como pérdidas. Sin embargo, para el área de estudio, se determinó que el área posible de captación es superada al área total de la finca, por lo que existe un gran aporte al volumen de agua que se puede almacenar.

El área A, cuenta con dos sitios en donde se puede almacenar agua. Se identificó dos ya que, actualmente cuenta con un área de agricultura en Mándala donde se incluye pequeños reservorios que pueden se pueden incluir en la propuesta de diseño. Sin embargo, el punto 1.1. no es adecuado para realizar un reservorio de gran capacidad, ya que, el agua tiende a estancarse en la zona inundable de donde se pretende evacuar. Por lo tanto, gran parte del agua que drena hacia el sitio se estancaría antes de llegar a este punto. El punto 1.2 por otro lado, cuenta con diferencia altitudinal favorable para direccionar el agua fuera del área inundable. Por lo tanto, en este punto se puede aplicar la metodología de Línea Clave para evacuar el agua de la zona de encharcamiento.

Cuadro 8. Áreas de captación y sitios de almacenamiento

Área de captación	Sitios de almacenamiento	Área (ha)
A	1.1 1.2	26.31
B	2	11.78
C	3	14.74
D	4	3.65
E	5	0.94
F	6	2.91
Total		60.33

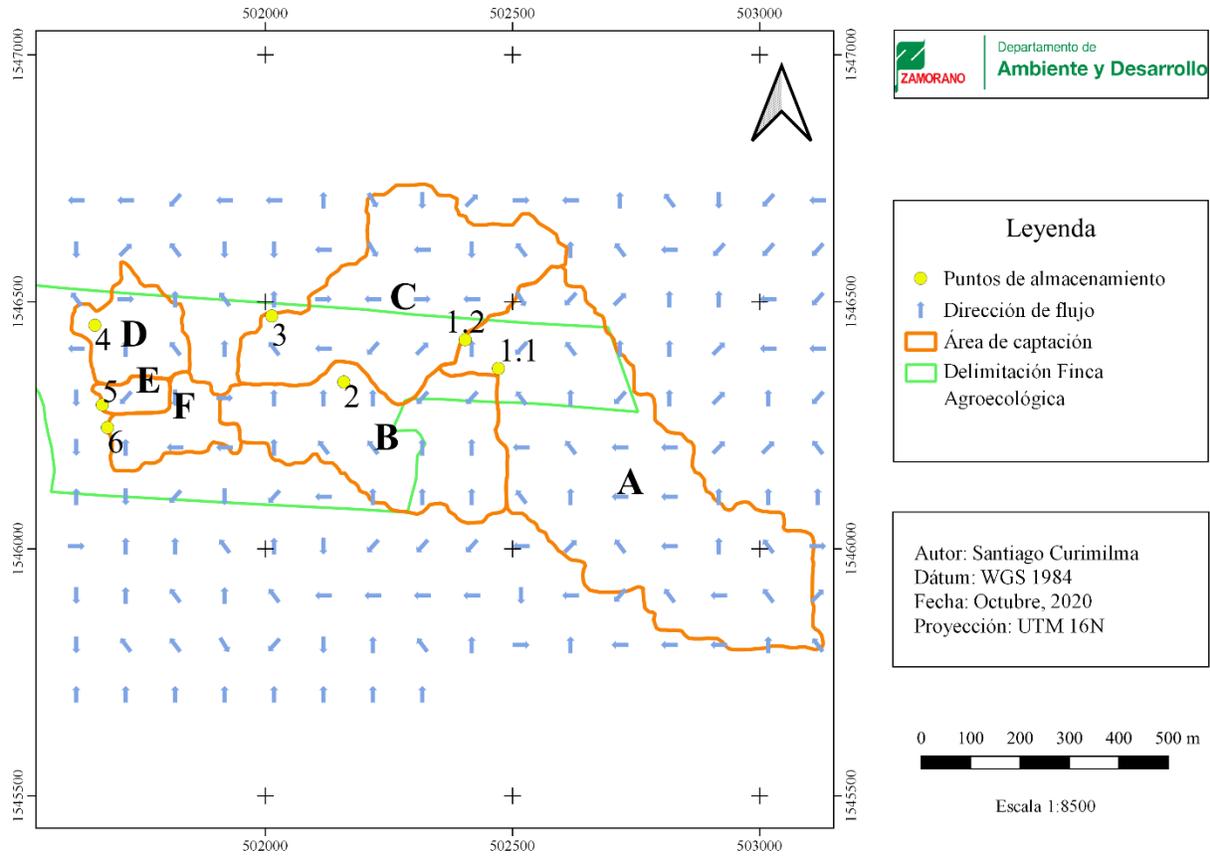


Figura 7. Mapa de delimitación de áreas de captación y sitios almacenamiento.

La delimitación de áreas tributarias o de captación es ideal para identificar posibles sitios de cosecha de agua. Las herramientas de SIG permiten identificar la dimensión y realizar un proceso de identificación de la dirección de flujo. Asimismo, estas permiten identificar de manera visual mediante imágenes satelitales de cobertura o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), el tipo de cobertura presente en cada sitio. Para Honduras, también se ha formulado propuestas de cosecha de agua lluvia. En el sur de Honduras, se desarrolló un plan que involucró cinco municipios del departamento de Valle. En el estudio, se determinó que la identificación de sitios óptimos para el almacenamiento y su área tributaria, puede ser identificado mediante la combinación de procesos de SIG (Coello, 2018).

### Identificación de zonas para el diseño hidrológico

La observación general del área de estudio permitió identificar varias zonas que favorecen el diseño hidrológico. Se determinó zonas en donde existe mayor demanda de agua mediante el mapa de usos y coberturas, como lo son las áreas con cultivos. El mapa de pendientes permitió identificar zonas en donde topografía que favorece la escorrentía. En el sitio de estudio, se encontró cuatro áreas con alta demanda de agua y cuatro propensas a inundación o encharcamiento (Figura 8).

Los criterios para determinar zonas potenciales para realizar el diseño se definieron con base en las características generales del sitio, como cobertura, pendiente y curvatura del terreno. Sin embargo, se consideró áreas altamente demandantes de agua. La agricultura y ganadería son rubros productivos que demandan de una gran cantidad de recurso hídrico (Albiac, Crespo y Baccour, 2018). Por esta razón, en la Finca Agroecológica, zonas con una pendiente plana, donde se desarrolla producción de granos u otro cultivo, son potenciales para el diseño hidrológico con propósito de infiltrar y retener mayor cantidad de agua en el suelo. Los sitios cóncavos, en donde se encontró evidencias de inundación en campo, son sitios potenciales para un diseño con propósito de evacuación o almacenamiento (Ramírez et al., 2012).

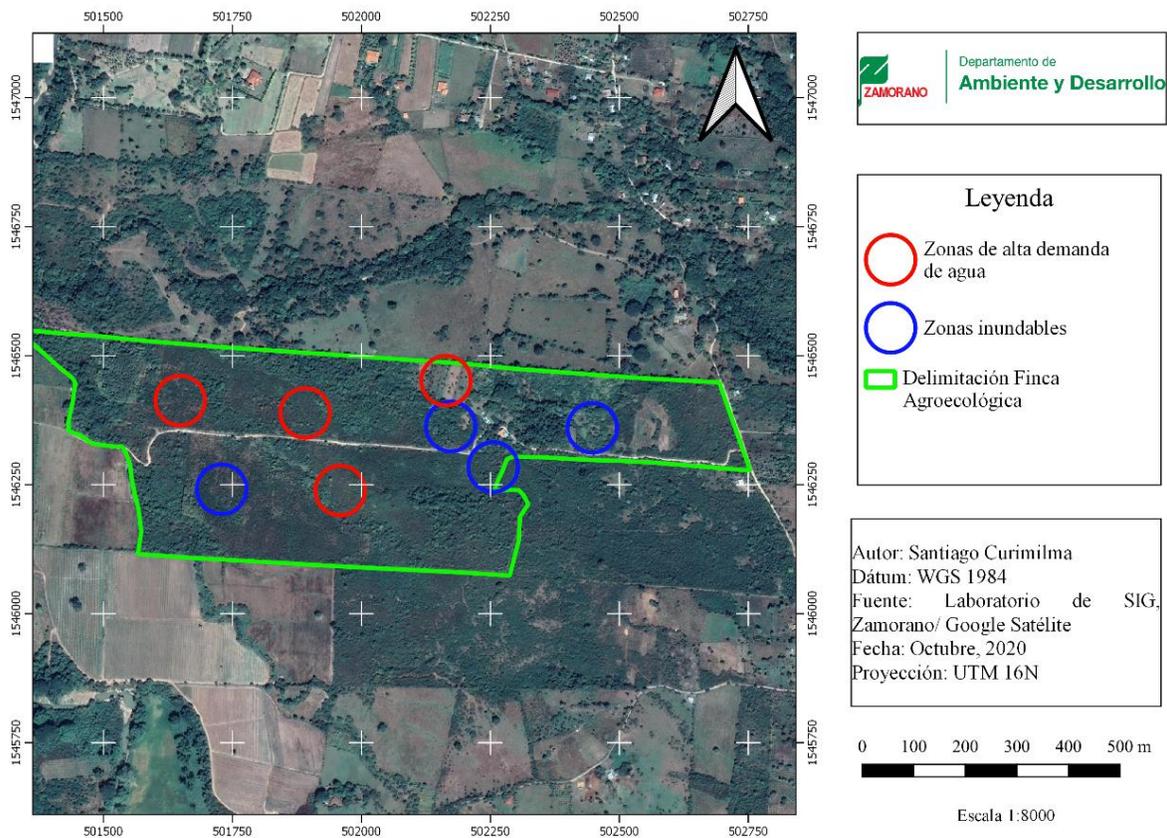


Figura 8. Mapa de zonas inundables y zonas con alta demanda de agua.  
 Fuente: (Google Satélite 2015 y Laboratorio de SIG de Zamorano 2017).

### Estimación del potencial de escorrentía

**Análisis de datos de precipitación.** Los datos se obtuvieron mediante la medición en campo con el pluviómetro marca ONSET, el cual se ubicó en el centro del área de estudio (Coordenadas: X: 502171.8980; Y: 154617.5250). Estos, se tabularon mensualmente, identificando máximos, mínimos y la precipitación acumulada mensual. Se observó que los eventos de precipitación más significativos sucedieron en mayo, junio y septiembre (Cuadro 9). El total de precipitación para el periodo de análisis es de 614 mm. El evento de mayor y menor precipitación es de 48.2 mm y 0.4

mm respectivamente. La intensidad de lluvia máxima fue de 60 mm/h y mínima de 0.04 mm/h. Cabe recalcar, a mayor intensidad de lluvia, se espera mayor escorrentía.

Cuadro 9. Resumen de eventos de precipitación.

Mes	No días	No eventos	Parámetro	Precipitación (mm)	Intensidad (mm/h)
Mayo (inicio 8-may)	24	20	Total mensual	240,6	-
			Máximo	42	60
			Mínimo	0,4	0,13
Junio	30	21	Total mensual	140,4	-
			Máximo	25,8	15,90
			Mínimo	0,4	0,37
Julio	31	24	Total mensual	61,2	-
			Máximo	9,4	35,17
			Mínimo	0,4	0,43
Agosto	31	20	Total mensual	56,4	-
			Máximo	10,4	26,42
			Mínimo	0,4	0,83
Septiembre (hasta el 7-sept)	7	7	Total mensual	115,4	-
			Máximo	48,2	10,86
			Mínimo	0,4	0,04
Total	123	92	Total	614	-
			Máximo	48,2	60
			Mínimo	0,4	0,04

El comportamiento de la precipitación se adecúa a los parámetros normales de un año común. Se tiene que la precipitación en Honduras empieza a partir de mayo con intensidades fuertes. Mientras que, para el mes de junio y julio, esta se reduce. El periodo de mayor precipitación se tiene entre los meses de agosto y septiembre. La precipitación que ocurre en los meses de octubre y noviembre es leve, además, la evapotranspiración también se incrementa, lo cual reduce la cantidad de agua disponible para generar escorrentía (Inversión Estratégica de Honduras, 2019). Por lo tanto, se estima que los meses con mayor potencial para cosecha de agua son mayo, agosto y septiembre.

### Método de número de curva

La estimación de la escorrentía se realizó para un área potencial de captación determinada. Se seleccionó el área A, debido a que es el área de mayor dimensión y en esta, se encuentra gran parte de las zonas de producción agropecuaria. Además, los sitios de almacenamiento del área A, son los que se encuentran a mayor altitud, por lo que se puede distribuir el agua gracias a la pendiente negativa, hacia sitios de producción localizados en sitios de menor altitud.

La metodología de número de curva brinda el valor N, según la condición de humedad antecedente (CHA), grupo hidrológico de suelo, uso de la tierra y la condición hidrológica. Es importante mencionar, que la metodología se aplica solamente si cumple la Ecuación 5. Los eventos de precipitación utilizados fueron los más representativos del periodo de estudio. Se seleccionó nueve eventos, de los cuales: cinco son de mayo, dos de junio y dos de septiembre.

El cálculo se realizó considerando una condición hidrológica de suelo C, el cual tiene un potencial de infiltración medio bajo debido al alto contenido de arcillas. Se asume características similares de suelos en el área seleccionada. Se define este grupo hidrológico ya que el estudio de suelos muestra una familia textural con una capa superficial Franco Arcillosa, por lo tanto, tiene un potencial moderadamente bajo de infiltración (Villón, 2004).

Un estudio realizado para la cuenca Las Coloradas en Cuba, demuestra que la estimación de escorrentía mediante esta metodología es bastante usada para el desarrollo de diseños ingenieriles. Las herramientas de SIG permiten realizar el cálculo de escorrentía de una manera más simple. La identificación y agrupación de características similares en el área de estudio, permite acelerar el proceso. Por lo tanto, se determina que la operación del SCS se facilita mediante SIG y sirve como una referencia válida para estimar el volumen de escorrentía en un área determinada (Pacheco, Quiala y Martínez, 2018).

**Zonificación del área según el uso de tierra.** Para la identificación de los tipos de uso de la tierra, se utilizó QGIS® y la imagen de Google Satélite. Se determinó así cuatro tipos de uso según la clasificación de la metodología de número de curva (Figura 9). La delimitación de cada zona se realizó en un mapa de donde se determinó sus respectivas dimensiones (Cuadro 10).

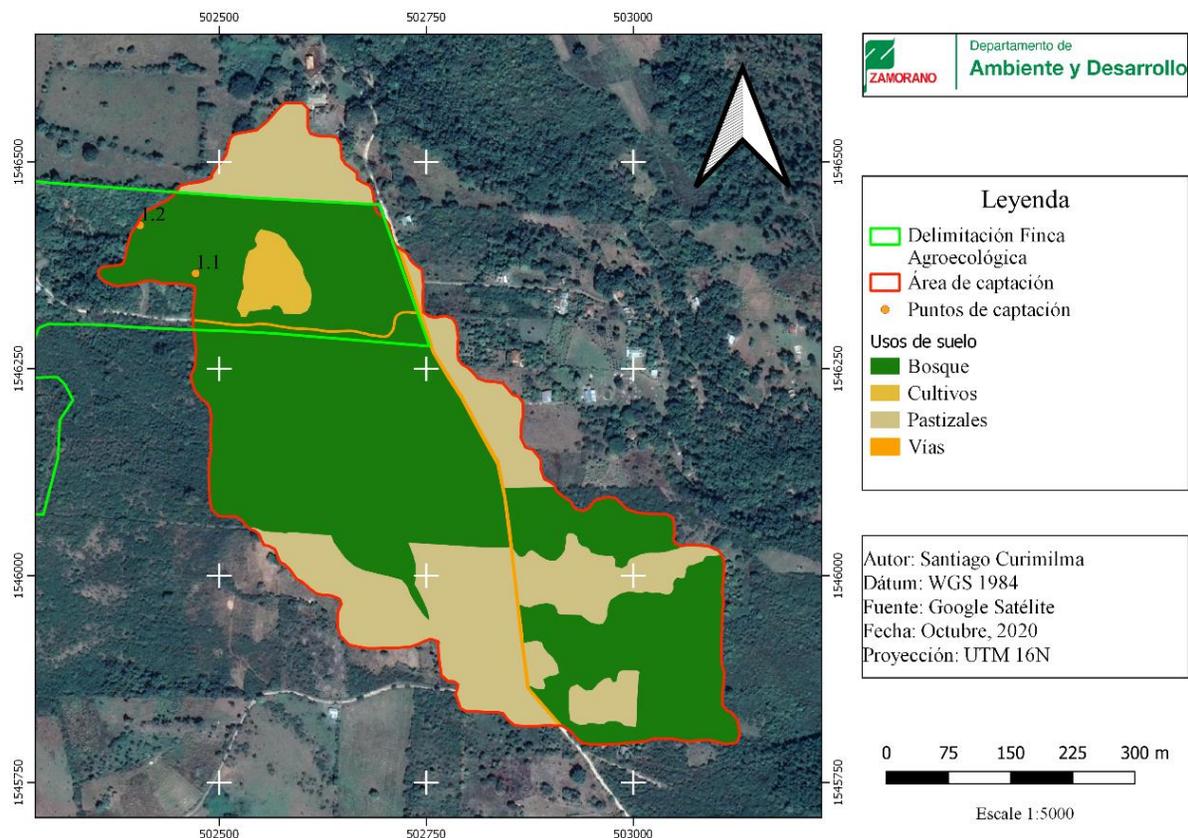


Figura 9. Uso de la tierra según clasificación de la metodología de número de curva.  
 Fuente: (Google Satélite, 2015).

Cuadro 10. Área de los usos de la tierra de la zona de captación A.

Uso de suelo	Área (ha)
Cultivos	0,64
Bosque	17,33
Pastizales	7,97
Vías	0,34
<b>Total</b>	<b>26,28</b>

La identificación de los diferentes usos y coberturas, por lo general se realiza con imágenes “Landsat”, las cuales representan diferentes porciones del espectro electromagnético. Sin embargo, son mayormente usadas en áreas de estudio de gran dimensión (Lavao, 2014). El uso de imágenes satelitales como de Google Satellite, permite realizar una caracterización de manera eficiente, rápida y certera, en áreas pequeñas. Para incrementar la certeza de la zonificación de los usos del suelo, se tiene como una herramienta de validación a la clasificación supervisada. El método de clasificación permite comprobar los datos resultantes de la interpretación de imágenes satelitales con la información de campo (Murillo y Ortis, 2019).

**Asignación de valor de número de curva.** El número de curva se determinó siguiendo el procedimiento de la Figura 10, para cada uno de los cuatro tipos de uso de la tierra según el Cuadro 5, a los cuales también se les identificó su condición hidrológica respectivamente (Cuadro 11).

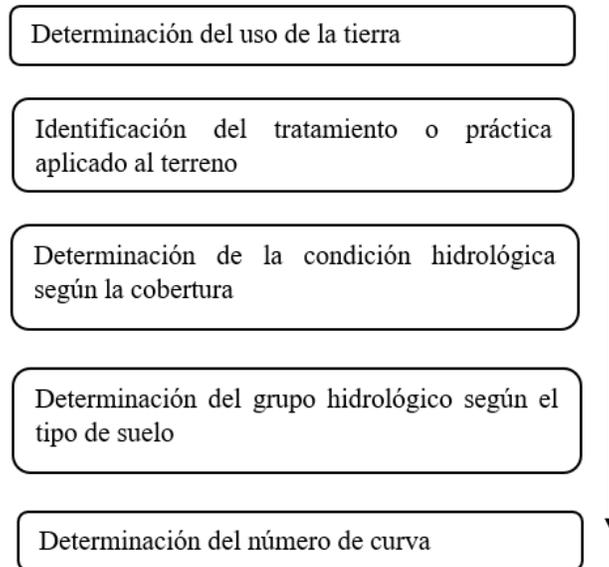


Figura 10. Diagrama de flujo para selección de Número de Curva.

Cuadro 11. Número de curva para usos de la tierra del área A.

Uso de la tierra	Cobertura Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	Número de Curva Grupo hidrológico C
Cultivos	Surcos rectos	Pobre	88
Pastizales o similares		Pobre	86
Bosques		Buena	70
Vías	Superficie firme	----	90

Fuente: Adaptado del Servicio de Conservación de Suelos (Villón, 2004).

**Condición de humedad antecedente.** Se atribuyó la CHA a cada evento según la clasificación del Cuadro 2, en función de la precipitación. Para la asignación del grupo de CHA, se consideró condiciones de la estación de crecimiento. Los valores de N correspondientes al Cuadro 5, están dados para un CHA II. Por lo tanto, se efectuó la conversión para CHA I y CHA III (Cuadro 12) con la Ecuación 6 y 7:

$$N (I) = \frac{4.2 N (II)}{10 - 0.058 N (II)} \quad [6]$$

$$N (I) = \frac{23 N (II)}{10 + 0.13 N (II)} \quad [7]$$

Cuadro 12. Asignación de número de curva.

Uso de la tierra	Número de curva			Precipitación mínima (mm)		
	Condición de humedad antecedente			Condición de humedad antecedente		
	I	II	III	I	II	III
Cultivos	75.490	88	90.745	16.49	6.93	3.01
Pastizales	72.067	86	93.390	19.69	8.27	3.60
Bosques	49.495	70	84.293	51.84	21.77	9.47
Vías	79.079	90	95.392	13.44	5.64	2.45

### Cálculo de escorrentía

Una vez asignados los valores de N para cada tipo de evento, se procedió a hacer el cálculo para los nueve eventos seleccionados. Se calculó el potencial de escorrentía para cada uso del suelo para el área de captación A. Por lo tanto, se estimó un volumen dependiendo de cada área y seguidamente, la sumatoria total (Cuadro 13).

Cuadro 13. Cálculo de estimación de escorrentía con el método Número de Curva.

Fecha	Condición de humedad antecedente	Precipitación (mm)	Escorrentía por uso de suelo (mm)				Escorrentía (m <sup>3</sup> )
			Cultivos	Pastizales	Bosques	Vías	
14/05/2020	I	25.6	0.91	0.33	2.96	1.86	550.91
17/05/2020	II	42.0	17.65	15.15	3.17	20.47	1,939.63
19/05/2020	III	37.8	24.28	22.42	10.61	26.24	3,870.29
23/05/2020	III	23.8	12.06	10.69	3.33	13.55	1,552.79
26/05/2020	III	40.4	16.45	14.05	2.72	19.18	1,761.98
01/06/2020	I	25.8	0.94	0.36	2.91	1.92	544.92
18/06/2020	I	24.2	0.66	0.20	3.30	1.49	596.66
03/09/2020	I	48.2	8.80	6.40	0.05	11.85	615.87
04/09/2020	III	24.2	12.39	11.00	3.50	13.90	1,609.72
<b>Total</b>		<b>292</b>	<b>94.13</b>	<b>80.61</b>	<b>32.55</b>	<b>110.46</b>	<b>13 042.78</b>

La metodología de número de curva es válidamente utilizada para disponer de datos cercanos a la realidad, para la estimación un volumen total de captación en un área de drenaje. La información para desarrollar el método se puede obtener a partir de la medición de datos en campo o mediante SIG. Para la interpretación de variables obtenidas por información geográfica, es necesario la realización de mapas que incluyen procesos de reclasificación, rasterización y álgebra de mapas. De este modo, se calcula el número de curva para cada pixel según la clasificación del SCS para cobertura, CHA, tipo de suelo y cobertura de la tierra (Córdova, Paredes y Alulema, 2017).

### **Propuesta de diseño hidrológico**

Para la propuesta del diseño hidrológico se tomó como base el área de captación A. En esta existe un área menor en donde se tiene problemas de inundación cuando se registran precipitaciones de alta intensidad y duración. Las características de esta área demuestran un gran potencial de cosecha de agua lluvia. Por lo tanto, lo ideal es almacenar el agua en un punto donde se pueda aprovechar de manera eficiente como los reservorios ya construidos en el sistema Mándala más próximo.

El diseño hidrológico se propone con la función de evacuar agua de una zona de acumulación hacia una zona en donde se puede disponer para un uso en épocas secas. Se seleccionó un área de 3.5 ha a la cual se aplicó el sistema de Línea Clave. Cabe mencionar, que el agua de escorrentía que ingresa al sistema corresponde a 26.28 ha del área de captación A. Los sitios de almacenamiento que involucran el diseño son el 1.1 y 1.2. El punto 1.1 está ubicado a una altura de 780.5 msnm aproximadamente. Según el mapa de caracterización del diseño hidrológico, se tiene que el punto 1.2 se ubica a una altura similar al 1.1.

La caracterización del sitio permitió observar que la agricultura en Mándala se ha diseñado con el objetivo de poder aprovechar el agua de lluvia. Sin embargo, el área de encharcamiento ubicada al este impide que se aprovechen estas infraestructuras de manera adecuada (Figura 11). Por lo tanto, con base en el diseño hidrológico con Línea Clave, se seleccionó una línea madre antes de llegar al área de inundación para redirigir hacia un punto de almacenamiento.

Los principios en los cuales está enfocado el diseño con Línea Clave son de evacuar agua de poca elevación y mejorar la infiltración y retención de agua en el suelo en zonas de menor humedad. Para la evacuación de agua, se utiliza una acequia en donde el punto más alto, sea el sitio de drenaje que genera inundación. De este modo, se redistribuye el volumen de escorrentía hacia un punto de almacenamiento o simplemente, se infiltra en el suelo lentamente. La infiltración en suelos se consigue mediante la elaboración de acequias paralelas a la línea clave, por las cuales el agua se infiltra y es retenida en el suelo durante un periodo de tiempo prolongado (Cortés y Ramírez, 2013).

Para la propuesta se seleccionó como Línea Clave la cota a 781 msnm, en donde existe un cambio entre el distanciamiento de las curvas a nivel. La selección se realizó en base a la metodología de Línea Clave estipulada por Yeomans (1981). Para definir la línea y punto clave, debe de existir una variación en la pendiente, es decir, el distanciamiento entre cotas debe ser mayor. Por lo tanto, la cota 781, es la curva de nivel que se encuentra previa a un área de inundación, al final de un área donde la pendiente es ligeramente inclinada. Se propone realizar una línea de drenaje con un 0.5% de pendiente. El inicio de la línea de drenaje se realizaría al borde de la carretera, en donde se evidencia una gran cantidad de escorrentía. Por lo tanto, se realizaría una acequia desde la cota 783 msnm con el fin de dirigir la escorrentía de la cuneta en la carretera, hacia el interior del área de diseño en la Finca Agroecológica. La evacuación del agua de escorrentía en las vías permite mejorar su condición y reducir costos por mantenimiento de las mismas, ya que éstas, reciben un menor impacto causado por el movimiento natural del agua.

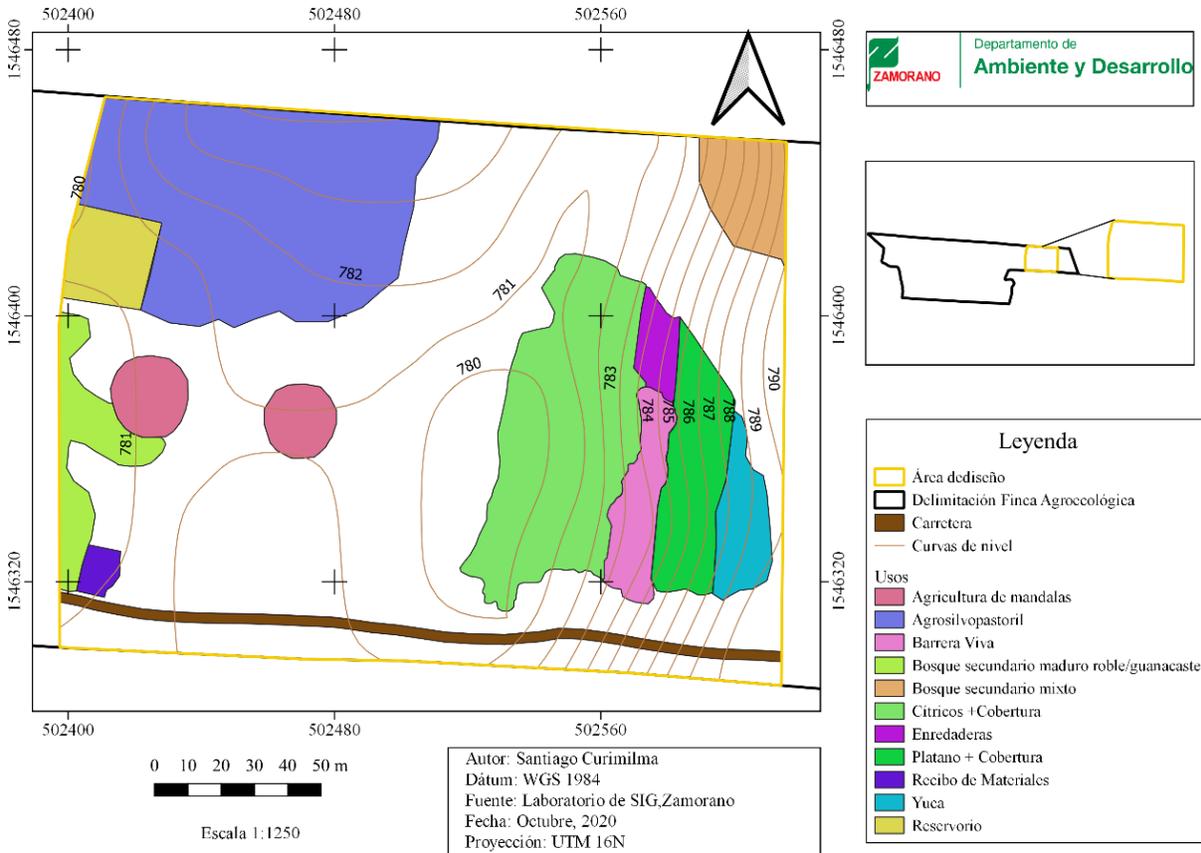


Figura 11. Mapa de características generales del área de diseño hidrológico para la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras.

Fuente: (Laboratorio de SIG de Zamorano, 2017).

La parte baja del área de diseño (dirección oeste), también tiene un área considerable de captación. Por lo tanto, se propone una segunda acequia de drenaje en la cota 781 msnm. La acequia es de menor longitud con respecto a la primera, sin embargo, la captación de agua en esta zona servirá para aprovechar las estructuras para agricultura de Mándalas. A pesar del aporte de escorrentía de esta área hacia este sitio, se propone dejar solamente dos estructuras de mayor dimensión. El resultado es conservar dos áreas de agricultura en Mándalas las cuales se ubicarían en secuencia, y dos acequias de drenaje, de las cuales, una llega hasta los Mándalas y la otra se dirige hacia el sitio de almacenamiento propuesto (Figura 12). El transporte de agua de un Mándala a otro se realizará por medio de tubería para poder regular el nivel de agua en cada uno y evitar pérdidas. El reservorio debe tener una capacidad de aproximadamente 13,000 m<sup>3</sup> como mínimo. Según el cálculo de escorrentía, ese volumen se puede recolectar en tan solo nueve eventos de precipitación, sin embargo, hay que considerar pérdidas por factores como evapotranspiración o infiltración en la acequia de drenaje (Cortés y Ramírez, 2013).

La ubicación del reservorio permite irrigar el área silvopastoril y el área de granos básicos, en donde no se necesitaría un sistema de bombeo, ya que la diferencia altitudinal favorece el riego por gravedad. La determinación del recorrido y características de las líneas de conducción toma en cuenta la topografía y la geotecnia (Koolhaas, 2011). La implementación de Línea Clave permite

aprovechar las condiciones naturales del terreno, con el fin de no utilizar tuberías para la distribución de agua hacia los sitios de interés. El aprovechamiento de suelos con alto contenido de arcilla es útil cuando se trata de redistribuir el agua hacia zonas de mayor demanda de agua, mientras que suelos con menor contenido de arcilla, facilitan la infiltración y la generación de una mayor cobertura vegetal al potenciar el desarrollo radicular (Ramírez et al., 2012).

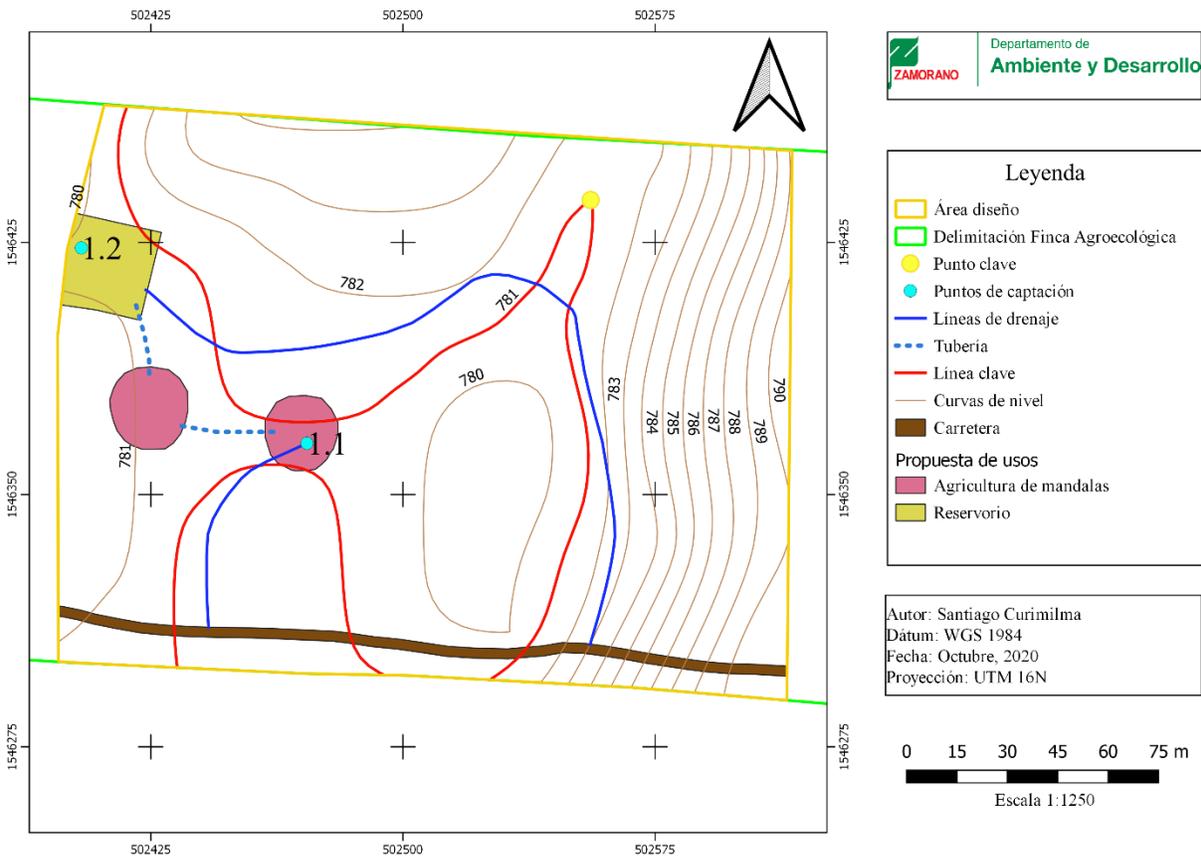


Figura 12. Mapa de la propuesta de diseño hidrológico para la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras.

## 4. CONCLUSIONES

- Se identificó siete sitios óptimos para almacenamiento de agua en los cuales se puede construir reservorios u otro tipo de infraestructura que permita recolectar agua proveniente de escorrentía. Asimismo, se determinó cuatro zonas inundables para aplicación de diseño hidrológico para manejo del agua en la Finca Agroecológica.
- Se determinó un potencial de escorrentía de 17% a partir de la precipitación total utilizando el método de Número de Curva. El volumen de almacenamiento potencial es de 13,042 m<sup>3</sup> de agua, para un área de captación de 26.28 ha, considerando nueve eventos de precipitación acumulada de 292 mm. Por lo tanto, la estimación de la escorrentía, indica que la Finca Agroecológica de Zamorano cuenta con potencial para abastecer las áreas productivas mediante agua proveniente de lluvia.
- El diseño hidrológico con Línea Clave con el fin de evacuar agua se propuso para un área priorizada de 3.5 hectáreas en la finca agroecológica. Este diseño tiene como base la topografía del terreno y la dirección de flujo según punto clave identificado en campo. Se debe construir dos acequias de drenaje con una pendiente de 0.5% a partir de las cotas 783 y 781 msnm respectivamente para redistribuir el agua escurrida hacia al reservorio del sistema Mándala y al sitio 1.2.

## 5. RECOMENDACIONES

- Continuar con el registro de datos de precipitación para estimar y comparar el potencial de escorrentía mediante diversos métodos con datos anuales y en varios años consecutivos.
- Iniciar la gestión para construcción de reservorios de mayor capacidad de almacenamiento que los existentes para captar toda el agua de escorrentía en los sitios óptimos identificados en la Finca Agroecológica.
- Realizar levantamiento topográfico altiplanimétrico y pruebas de infiltración para el área de captación A, con el fin de obtener valores precisos de sitios del coeficiente de escorrentía.
- Desarrollar el diseño hidrológico de Línea Clave para las otras áreas identificadas en la finca Agroecológica que permitan evacuar agua hacia zonas de poca humedad y maximizar la disponibilidad del recurso hídrico en zonas de alta demanda.

## 6. LITERATURA CITADA

- Alaska Satellite Facility. (2015). *Palsar Radiometric Terrain Corrected High Resolution*. Recuperado de: <https://search.asf.alaska.edu/#/>
- Albiac, J., Crespo, D. y Baccour, S. (2018). Cambio Climático y Agua: Mitigación y Adaptación en el Sector Agrario. Grupo de Investigación de Economía del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (ECONATURA). Ponencia Cambio Climático y Agua, Zaragoza. Recuperado de [https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/4301/1/2018\\_363.pdf](https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/4301/1/2018_363.pdf)
- Aldana, C. D. (2014). Análisis multicriterio de alternativas para reducción de costos e incremento de ingresos en zonas rurales alto-andinas-caso de estudio Granja del Padre Luna. (Tesis). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/16351/u686494.pdf?sequence=1>
- Ali, A., Oweis, T., Rashid, M., El-Naggar, S. y Aal, A. A. (2007). Water harvesting options in the drylands at different spatial scales. *Land Use and Water Resources Research*, 7(1732-2016-140299), 1–13. doi.org/10.22004/ag.econ.48065
- Arévalo, G. E. y Gauggel, C. A. (2018). *Manual de Laboratorio de Ciencias de Suelos y Agua* (3ª ed.). Tegucigalpa, Honduras: Lithocom.
- Banco Mundial. (2020). *Honduras: panorama general*. Recuperado de <https://www.bancomundial.org/es/country/honduras/overview>
- Barah, B. C. y Sudhakar, T. (1993). Decline of Traditional Water Harvesting Systems: Tanks in the Drought-Prone Areas of Andhra Pradesh. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 48(1), 13. Recuperado de <http://miar.ub.edu/issn/0019-5014>
- Baumgard, L., Gaughan, J., Prasad, C. y Sejian, V. (Eds.). (2015). *Climate Change Impact on Livestock Adaptation and Mitigation* (1ª ed.). New Delhi: Springer India; Imprint: Springer.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Rodríguez-Sánchez, B., Medellín, C., Martínez-Valle, A. y Läderach, P. (2017). Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies. *Climate change*, 141(1), 123–137. doi.org/10.1007/s10584-016-1792-0
- Calderón, H., Pérez, J. E., Chow, M. y Reyna, J. B. (2020). Índice de Posición Topográfica (TPI) para identificar áreas inundables y zonificación de especies vegetales en un manglar del Pacífico Sur de Nicaragua. *Revista Torreón Universitario*, 9(26), 124–146. doi.org/10.5377/torreon.v9i26.10264
- Calvo, O. D., Quesada, L. E., Hidalgo, H. y Gotlieb, Y. (2018). Impactos de las sequías en el sector agropecuario del Corredor Seco Centroamericano. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 695. doi.org/10.15517/ma.v29i3.30828
- Chou, A. Y., Crespo, A., Fernández, B., Rosales, M. I. y Garlobo, G. R. (2016). Uso de prácticas agroecológicas en fincas de la localidad de San Andrés, municipio La Palma. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 15–21. doi.org/10.13140/RG.2.1.2756.3761

- Clements, R., Haggan, J., Quezada, A. y Torres, J. (2011). *Technologies for climate change adaptation: agricultural sector. TNA Guidebook Series*. Roskilde, Denmark: UNEP Risø Centre on Energy, Climate and Sustainable Development / Practical Action. Recuperado de <https://gala.gre.ac.uk/id/eprint/6848>
- Coello, J. (2018). Localización óptima de zonas potenciales para cosecha de agua lluvia mediante criterio booleano en la zona sur de Honduras, año 2017. *Ciencias Espaciales*, 11(1), 20–34. doi.org/10.5377/ce.v11i1.7172
- Córdova, D., Paredes, D. y Alulema, R. A. (2017). Determinación del parámetro hidrológico número de curva en la cuenca de la quebrada El Batán, usando sistemas de información geográfica y percepción remota. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 1(1), 31–41. doi.org/10.29166/re.vf1i1.53
- Cortés, H. G. y Ramírez, J. J. (2013). *Diseño Hidrológico del Terreno (Sistema Keyline), en Parcelas Agrícolas con Precipitación Limitada: Manual Técnico* (1ª ed.). Juitepec, Morelos, México. Recuperado de <https://www.bcagclimateaction.ca/wp/wp-content/media/FI09-Keyline-Water-Management-CRD-2018-report.pdf>
- Duncan, S. y Krawczyk, T. (2018). *Keyline Water Management: Field Research & Education in the Capital Region*. Columbia Británica, Canadá. Recuperado de <https://www.bcagclimateaction.ca/wp/wp-content/media/fi09-keyline-water-management-crd-2018-report.pdf>
- Eckstein, D., Hutflitsch, M.-L. y Wings, M. (2018). *Global Climate Risk Index 2019: Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2017 and 1998 to 2017. // Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2017 and 1998 to 2017*. Berlin, Alemania: Germanwatch Nord-Süd Initiative e.V.
- Eitzinger, A., Läderach, P., Rodríguez, B., Fisher, M., Beebe, S., Sonder, K. y Schmidt, A. (2017). Assessing high-impact spots of climate change: spatial yield simulations with Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) model. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(5), 743–760. doi.org/10.1007/s11027-015-9696-2
- Garmin. (2020). *GPS Garmin Etrex 10*. Recuperado de <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/87768>
- Geraldi, A. M., Piccolo, M. C. y Perillo, G. M. E. (2011). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Investigaciones Geográficas*, 52, 215–225. Recuperado de <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/22297>
- González, A. (2012). *Marco Estratégico Regional para la Gestión de Riesgos Climáticos en el sector Agrícola del Corredor Seco Centroamericano* (1ª ed.). Tegucigalpa, Honduras: Litografía López. Recuperado de [https://www.biopasos.com/biblioteca/marco\\_estrategico\\_corredor\\_seco-.pdf](https://www.biopasos.com/biblioteca/marco_estrategico_corredor_seco-.pdf)
- Griffith, Y. S. y Rodríguez, O. F. (2014). Elaboración de Base de Datos de las Especies pertenecientes al Jardín Botánico Zamorano. (Tesis). Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP Zamorano), Valle de Yegüare, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.

- Hill, S. B. (2016). *Yeomans keyline design for sustainable soil, water, agroecosystem and biodiversity conservation: A personal social ecology analysis*. Richmond, Nueva Gales del Sur, Australia. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/stuart\\_hill6/publication/237240838\\_yeomans%27\\_keyline\\_design\\_for\\_sustainable\\_soil\\_water\\_agroecosystem\\_and\\_biodiversity\\_conservation\\_a\\_personal\\_social\\_ecology\\_analysis](https://www.researchgate.net/profile/stuart_hill6/publication/237240838_yeomans%27_keyline_design_for_sustainable_soil_water_agroecosystem_and_biodiversity_conservation_a_personal_social_ecology_analysis)
- Inversión Estratégica de Honduras (2019). *Gobernanza hídrica en los sistemas de cosecha de agua para riego del corredor seco de: Ciencia, Tecnología e Innovación: Herramientas para el Desarrollo Sostenible*. 9no Congreso de Ingeniería en Azuero, Azuero, Honduras.
- Koolhaas, M. (2011). *Canales para Riego y Drenaje*. Montevideo, Uruguay. Recuperado de [http://www.academia.edu/download/52355584/canales\\_para\\_riego\\_y\\_drenaje.pdf](http://www.academia.edu/download/52355584/canales_para_riego_y_drenaje.pdf)
- Lau, C., Jarvis, A. y Ramírez, J. (2011). *Agricultura Colombiana: Adaptación al Cambio Climático*. Recuperado de [https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/57475/política\\_sintesis1\\_colombia\\_cambio\\_climatico%202.pdf](https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/57475/política_sintesis1_colombia_cambio_climatico%202.pdf)
- Lavao, S. A. (2014). Aplicación de la teoría del número de curva (CN) a una cuenca de montaña. Caso de estudio: cuenca del río Murca, mediante la utilización de sistemas de información geográfica. Facultad de Estudios a Distancia; Ingeniería Civil; Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13331>
- Lenka, S., Lenka, N. K., Sejian, V. y Mohanty, M. (2015). *Contribution of Agriculture Sector to Climate Change*. Springer, New Delhi. Recuperado de [https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1_3)
- Liniger, H. (2013). *Water harvesting: Guidelines to good practice*. Bern: Centre for Development and Environment.
- López, C., Collantes, A. L., Barrasa, S. y Alanís, E. (2019). Bases conceptuales y métodos para la evaluación visual del paisaje. *Agrociencia*, 53(7), 1085–1104.
- Monserate, F., Valencia, J., Quintero, M., Hyman, G., Da Silva, M., Coppus, R., ... Manueles, A. (2016). *Aumentando la Resiliencia Climática en el Occidente de Honduras: Explorando Fuentes de Agua para Pequeños Productores Rurales*. Recuperado de la página web de United States Agency for International Development (USAID); Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP Zamorano).
- Murillo, R. A. y Ortis, Á. E. (2019). Máquinas de soporte vectorial para clasificación supervisada de imágenes en bases de datos espaciales. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información (RISTI)*, (17), 538–551. Recuperado de <https://search.proquest.com/openview/e99b828581608485997b06945f5cbfa3/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Onset. (2019). *HOBO Data Logging Rain Gauge (Metric)*. Recuperado de <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/rg3-m>
- Pacheco, R. M., Quiala, E. y Martínez, I. (2018). Determinación del parámetro número de curva en la cuenca Las Coloradas en un entorno SIG. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 39(2), 60–71.
- Ramírez, B. L., Lavelle, P., Orjuela, J. A. y Villanueva, O. (2012). Caracterización de fincas ganaderas y adopción de sistemas agroforestales como propuesta de manejo de suelos en

- Caquetá, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25(3). Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/280638614\\_Caracterizacion\\_de\\_fincas\\_ganaderas\\_y\\_adopcion\\_de\\_sistemas\\_agroforestales\\_como\\_propuesta\\_de\\_manejo\\_de\\_suelos\\_en\\_Caqueta\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/280638614_Caracterizacion_de_fincas_ganaderas_y_adopcion_de_sistemas_agroforestales_como_propuesta_de_manejo_de_suelos_en_Caqueta_Colombia)
- Sepúlveda L., C. J. (2009). *Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas: Como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Serie Técnica / CATIE: Vol. 377*. Turrialba: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Recuperado de [http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/7964/Políticas\\_y\\_sistemas\\_de\\_incentivos.pdf?sequence=8&isAllowed=y](http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/7964/Políticas_y_sistemas_de_incentivos.pdf?sequence=8&isAllowed=y)
- Sokkia. (2020). *Nivel automático B40A WS087688*. Recuperado de <https://us.sokkia.com/es/productos/niveles-y-accesorios/niveles-autom%C3%A1ticos/serie-b>
- Valencia, J. (2018). Cosecha de agua y tierra para una agricultura y ganadería sustentable y regenerativa. (Tesis). Universidad de la Amazonía. III Seminario Internacional de Sistemas de Producción Ganadera, Florencia, Caquetá, Colombia.
- Vera, M. L. (2017). Eficiencia de prácticas de manejo del suelo en el cultivo de frijol común en la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras. (Tesis). Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP), Valle de Yegüare, San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras.
- Villón, M. (2004). *Hidrología* (1 ed.). Cartago (Costa Rica): Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Yeomans, P. A. (1981). *Water for every farm using the keyline plan* (2ª ed.). Katoomba, Nueva Gales del Sur, Australia: Second Back Row Press.

## 7. ANEXOS

**Anexo 1.** HOBO Data Logging Rain Gauge (Metric).



Fuente: (Onset, 2019).

**Anexo 2.** Nivel automático Sokkia B40A WS087688.



Fuente: (Sokkia, 2020).

**Anexo 3.** GPS Garmin Etrex 10.



Fuente: (Garmin, 2020)