



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA



CENTRO PARA LA INVESTIGACIÓN
EN RECURSOS ACUÁTICOS
DE NICARAGUA

CIRA/UNAN-MANAGUA



Trabajo de Tesis
Para optar al grado de
Máster en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad del Agua

**Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que
afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-
951699 y 45-951698**

Autor:

Ing. Josué Ariel Acosta Green

Tutor: Msc. Harvin Bonilla Escoto

Asesor: Msc. Bernardo Torres Guerrero

Managua, noviembre de 2023

Financiado por: Proyecto Cosecha de Agua;
Centro de Investigación de Recursos Hídricos (CIRA/UNAN-Managua)

DEDICATORIA

Este trabajo investigación es dedicado a mis padres Joceline Green Joiner y Manuel González Martínez quienes con su amor, apoyo y sacrificio me han impulsado a perseguir mis metas académicas y me han forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

En estas líneas a las familias productoras por ser parte fundamental de este proyecto y que día a día luchan por mejores condiciones y mostrarnos que en el campo vives de verdad, no sobrevives sin sentido.

AGRADECIMIENTO

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta tesis y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres, y tristes. Estas palabras son para ustedes. Primero y antes que todo, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy y todas sus bendiciones.

“Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Centro de Investigación en Recursos Acuáticos (CIRA) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) y al Proyecto de Cosecha de Agua, cuya dedicación y conocimiento en el campo de la gestión de recursos hídricos fueron invaluable para mi investigación.

Agradezco a mi tutor Msc. Harvin Bonilla quien, con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación y sobre todo amistad brindada en los momentos de mi vida.

Un grato agradecimiento a las familias productoras del área de estudio, por su gran hospitalidad y servicio, apoyándonos en los procesos de campo, recopilación de información, un abrazo fraterno para ustedes.

A la coordinación de maestría, especialmente a Msc. Valeria Delgado y Msc. Yelba Flores que siempre estuvieron al pendiente del proceso de investigación, quienes también aportaban grandes ideas en el ámbito científico.

A mis compañeros de clases y buenos amigos: Valeska, Keneth, Daniel, Xaviera, Jairito y Giselle, quienes siempre me aportaron un grano de conocimiento, ideas, apoyo y salidas cuando la mente no fluye, sobre todo a una gran amiga a Roxana Martínez Izaguirre quien ha sido un pilar en mi crecimiento tanto personal como profesional.

Por ultimo y no menos importante, me agradezco a mí, por demostrarme que, a pesar de las dificultades, momentos de desesperación, supe superarme y darme cuenta que se puede ganar batallas que creemos perdidas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Trabajo de Tesis Para optar al grado de	1
Autor:.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
RESUMEN.....	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	15
1.1. Área de estudio	18
1.2. Antecedentes.....	19
1.3. Objetivos	21
1.3.1. Objetivo General.....	21
1.3.2. Objetivos Específicos	21
1.4. Planteamiento del Problema.....	22
1.5. Justificación.....	25
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	27
1.1. Medio Físico	27
1.1.1. Clima	27
1.1.2. Hidroclima	29
a. Precipitación.....	29
b. Temperatura.....	30
c. Evaporación.....	31
d. Transpiración.....	31
e. Evapotranspiración.....	31
1.1.3. Geología.....	32
a. Provincias Geológicas de Nicaragua	32
b. Formaciones geológicas.....	33
1.1.4. Geomorfología y relieve.....	34
a. Pendiente	35
1.1.5. Edafología	35
a. Orden de suelos de la unidad hidrográfica del Río Coco	36
b. Cobertura y usos de la tierra.....	38

1.2.	Hidrología.....	ÍNDICE DE CONTENIDO	42
1.2.1.	Unidad hidrográfica.....		42
1.2.2.	Metodología Pfafstetter.....		42
1.2.3.	Unidades hidrográficas Nicaragua.....		43
1.2.4.	Morfología de la cuenca.....		43
	a.	Parámetros de forma.....	44
	b.	Parámetros de relieve.....	49
	c.	Parámetros de la red de drenaje.....	51
1.3.	Sistemas de Información Geográfico.....		53
1.3.1.	Herramienta de ArcGIS.....		53
1.4.	Soil and Water Assessment Tool (SWAT).....		54
1.5.	Sequía.....		54
1.5.1.	Tipos de sequía.....		54
1.5.2.	Riesgo de sequía y adaptación en la producción de cultivos de cosecha.....		55
1.6.	Escenarios globales de cambio climático.....		55
1.7.	Estrategias de resiliencia ante el cambio climático.....		56
1.8.	Cosecha de agua.....		56
1.8.1.	Métodos de captación de agua.....		56
1.8.2.	Sistemas de Cosecha de agua por esorrentía.....		57
1.8.3.	Selección del sitio.....		58
1.8.4.	Manejo Integrado de Sistema de Cosecha de Agua.....		58
1.9.	Desarrollo rural.....		59
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....			60
3.1.	Enfoque de investigación.....		60
3.2.	Tipo de investigación.....		61
3.3.	Unidad de análisis.....		62
3.4.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de información.....		63
3.5.	Procesamiento de información.....		65
3.5.1.	Recopilación de información secundaria.....		65
3.5.2.	Recopilación de información primaria.....		66
3.6.	Metodología de trabajo.....		66
3.7.	Trabajo de campo.....		68
3.7.1.	Muestreo de suelo.....		68
3.7.2.	Pruebas de infiltración.....		71

3.7.3. Aforo de ríos.....	ÍNDICE DE CONTENIDO	72
3.7.4. Método del modelo SWAT para proyección.....		72
3.7.5. Entrevista a pobladores.....		74
3.8. Trabajo de gabinete.....		77
3.8.1. Datos meteorológicos.....		77
a. Precipitación.....		77
b. Temperatura.....		77
c. Índice estandarizado de precipitación.....		78
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....		79
4.1. Caracterización del medio físico.....		79
4.1.1. Hidroclima.....		79
a. Precipitación.....		79
b. Índice Estandarizado de Precipitación – SPI.....		82
c. Temperatura.....		84
d. Amenaza de sequía.....		86
4.1.2. Geomorfología y relieve.....		87
4.1.3. Edafología.....		87
a. Textura de suelo.....		87
b. Uso y cobertura de suelo.....		89
4.2. Hidrología.....		90
4.2.1 Morfometría general de las unidades hidrológicas.....		91
a. Coeficiente de compacidad (Índice de Gravelius).....		91
b. Densidad de drenaje.....		92
c. Pendiente de las unidades hidrológicas.....		92
d. Tiempo de concentración (Tc).....		93
e. Factor de forma.....		93
f. Orden de ríos.....		93
4.3. Ciclo climático hídrico.....		95
4.4. Disponibilidad de agua en las unidades hidrológicas.....		98
a. Disponibilidad de agua.....		98
4.4.1. Meses críticos en la zona de estudio.....		99
4.4.2. Uso y demanda hídrica de la familia productora.....		101
a. Demanda de agua para consumo animal.....		101
b. Demanda de agua agrícola.....		103

INDICE DE CONTENIDO

4.4.3. Modelo de la dinámica de operación anual de una obra de cosecha de agua del tipo escorrentía	104
a. Volumen de agua que entrada al sistema	105
4.5. Escenarios climáticos	106
4.5.1. HRU (Unidades de respuesta hidrológicas)	106
4.5.2. Calibración del modelo	107
4.5.3. Morfometría subbasin	108
a. Tamaño de la cuenca	109
b. Forma de la cuenca	109
c. Elevación media	110
d. Tiempo de concentración.....	111
4.5.4. Escenarios climáticos	112
a. Caudales actuales	112
b. Caudales futuros, escenario critico	114
c. Diferencias significativas entre escenarios climáticos	117
4.6. Plan de acción para el manejo de Sistema de Cosecha de Agua por escorrentía.....	120
4.6.1. Acciones inmediatas.....	120
4.6.2. Manejo del área de recarga	121
a. Protección del área de recarga	121
b. Control de calidad de escorrentía hacia el reservorio.....	122
c. Uso de suelo enfocado al ciclo hidrológico	122
4.6.3. Manejo del área productiva.....	128
a. Buen uso de agua en agricultura familiar	128
b. Cultivos.....	128
4.6.4. Manejo de suelos	177
a. Aumento de la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo:	177
b. Reducción de la escorrentía.	177
c. Mejora de la infiltración.....	178
4.6.5. Planificación de las estrategias productivas en las unidades hidrológicas	178
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES	180
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....	182
CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA.....	183
8. ANEXOS	194
8.1. Datos meteorológicos	194

INDICE DE CONTENIDO

8.1.1. Promedio anual de datos de precipitación INETER vs CHIRPS.....	194
8.1.2. Validación de precipitación entre datos de INETER y CHIRPS.....	202
8.1.3. Resultados de Índice Normalizado de Precipitación - SPI.....	208
8.1.4. Promedio anual de datos de temperatura INETER vs Power Data Access Viewer.....	209
8.1.5. Validación de temperatura entre datos de INETER y Power Data Access Viewer.....	215
8.2. Textura de suelo, Uso y Cobertura	202
8.2.1. Muestreo de suelo	202
8.2.2. Uso de suelo.....	203
8.2.3. Pruebas de infiltración	203
9.3. Aforos en río	205
9.3.1. Perfiles de aforo Río Tapacalí	205
9.3.2. Perfiles de aforo R. El Varillal	206
9.3.3. Perfiles de aforo R. Inalí	209
9.4. Datos comunitarios	209
9.4.1. Guía de tópicos desarrollados por el entrevistador	209
9.4.2. Levantamiento de campo de acercamiento social.....	210
9.4.3. Morfometría general subbasin	215
9.4.4. Escenarios climáticos	218

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio	18
Figura 2. Clasificación climática según Köppen en la Unidad.....	28
Figura 3. Precipitación media anual (mm) de Nicaragua	30
Figura 4. Provincias geológicas de la unidad hidrográfica del Río Coco.....	32
Figura 5. Relieve de la unidad hidrológica el Río Coco	34
Figura 6. Sub orden de suelo de la unidad hidrográfica de Río Coco	38
Figura 7. Mapa de unidades hidrográficas de Nicaragua.....	43
Figura 8. Componentes de la cuenca.....	44
Figura 9. Efecto de la forma de la cuenca en el tiempo de concentración	49
Figura 10. Cambio de forma en curva hipsométrica con la edad del río	50
Figura 11. Orden de ríos en la cuenca por método de Horton.....	52
Figura 12. Enfoque de investigación	61
Figura 13. Flujograma del modelo metodológico general de la investigación	67
Figura 14. Colecta de muestra inalterada y alterada	69
Figura 15. Preservar muestra inalterada de suelo	69
Figura 16. Muestras de suelo del área de estudio	70
Figura 17. Sitios en que se realizó prueba de infiltración y muestreo de suelo	70
Figura 18. Prueba de infiltración dentro del área de estudio.....	71
Figura 19. Medición de caudal en río	72
Figura 20. Modelo conceptual SWAT	73
Figura 21. Manual de entrevista a pobladores llevado a la práctica.....	75
Figura 22. Equipo de levantamiento de campo a comunitarios.....	76
Figura 23. Clasificación del Índice Estandarizado de Precipitación	78
Figura 24. Precipitación promedio anual de estaciones meteorológicas en el área de estudio (1981 - 2021).....	80
Figura 25. Precipitación diaria por estación meteorológica.....	81
Figura 26. Área de incidencia de las estaciones pluviométricas de la zona de estudio con valores de SPI anuales entre 1981 - 2021	84
Figura 27. Temperatura promedio mensual del área en estudio (1981 - 2021).....	85
Figura 28. Temperatura promedio anual del área de estudio (1981 - 2021)	86
Figura 29. Amenaza de sequía dentro del territorio en estudio.....	86
Figura 30. Panorama de relieve en zona de estudio.....	87
Figura 31. Clasificación de textura de suelo dentro del área de estudio a través de muestreo	88
Figura 32. Uso y cobertura de suelo en las unidades hidrológicas en estudio	90
Figura 33. Localización hidrológica de las unidades 45-951699 y 45-951698	91
Figura 34. Ríos principales de las unidades hidrológicas en estudio	95
Figura 35. Balance hídrico.....	97
Figura 36. Medición de caudales lluvioso - seco	99
Figura 37. Climadigrama de datos históricos (1981-2021) en la zona de estudio	100
Figura 38. Climadigrama del año 2019 (pocas precipitaciones) en la zona de estudio	100
Figura 39. Variables de entrada para generar las HRU	106
Figura 40. Unidades de respuesta hidrológica generadas.....	107
Figura 41. Ajuste de datos de entrada al QSWAT	108
Figura 42. Curva hipsométrica por subbasin	110
Figura 43. Tiempos de concentración por Subbasin.....	111
Figura 44. Caudales simulados actuales, 1981 - 2020	114

Figura 45. Caudales futuros, 2020 - 2040	116
Figura 46. Representación de mayor rango de sesgo	119
Figura 47. Representación de menor rango de sesgo	119
Figura 48. Escorrentía escenario actual	121
Figura 49. Componentes metodológicos	179
Figura 50. Aforo R. Tapacalí parte alta (lluvioso).....	205
Figura 51. Aforo R. Tapacalí parte alta (seco).....	205
Figura 52. Aforo R. Tapacalí parte media (lluvioso).....	206
Figura 53. Aforo R. Tapacalí parte media (seco)	206
Figura 54. Aforo R. El Varillal parte media (lluvioso).....	207
Figura 55. Aforo R. El Varillal parte media (seco)	207
Figura 56. Aforo R. El Varillal parte baja (lluvioso)	207
Figura 57. Aforo R. El Varillal parte baja (seco).....	208
Figura 58. Aforo R. Inalí parte media (lluvioso).....	209
Figura 59. Aforo R. Inalí parte baja (lluvioso)	209

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clases de gradiente de la pendiente	35
Tabla 2. Orden y sub-orden de suelo en la unidad hidrológica del Río Coco.....	36
Tabla 3. Cobertura y uso de suelo de la unidad hidrológica del Río Coco	39
Tabla 4. Clasificación del tamaño de cuenca	44
Tabla 5. Parámetros de forma de la cuenca.....	45
Tabla 6. Estaciones pluviométricas (PV) del área de estudio	62
Tabla 7. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de información.....	63
Tabla 8. Episodios de sequía en la zona de estudio a través del Índice Normalizado de Precipitación (SPI)	82
Tabla 9. Episodios de sequía para cada una de las áreas de influencia de las estaciones pluviométricas que inciden en la zona de estudio a través del Índice Normalizado de Precipitación (SPI).....	83
Tabla 10. Resultados de textura de suelo a partir de muestras y pruebas de infiltración.....	88
Tabla 11. Uso de suelo en área de estudio	89
Tabla 13. Clases de valores de compacidad	92
Tabla 13. Características morfométricas de las unidades hidrológicas.....	93
Tabla 14. Resultados de aforos en ríos.....	98
Tabla 15. Estimación de caudales disponibles.....	99
Tabla 16. Demanda de agua de animales de familias productoras dentro del área de estudio.....	102
Tabla 17. Demanda de agua de los principales cultivos localizados en la zona de estudio en la época de primera y postrera.....	103
Tabla 18. Demanda hídrica de la familia productora para una sequía prolongada	104
Tabla 19. Datos de entrada para la dinámica del comportamiento anual del sistema de cosecha de agua del tipo escorrentía.....	105
Tabla 20. Valores de tamaño de cuenca por subbasin	109
Tabla 22. Factor de forma por subbasin	109
Tabla 22. Caudales actuales simulados, periodo 1980 - 2020.....	113
Tabla 24. Sendas Representativas de Concentración según el informe del IPCC.....	115
Tabla 24. Caudales futuros simulados, periodo 2020 - 2040	116
Tabla 25. Distribución de sitios con diferentes incidencias de afectaciones futuras.....	118
Tabla 26. Acciones de manejo para el componente de Área de Recarga enfocado en Sistemas de Cosecha de Agua del tipo escorrentía	123
Tabla 27. Variedades del cultivo de maíz	128
Tabla 28. Variedades del cultivo de frijol	129
Tabla 29. Acciones de manejo para el componente del área productivo enfocado en Sistemas de Cosecha de Agua del tipo escorrentía	172
Tabla 31. Precipitación promedio anual de la estación El Espino a través de datos de INETER y CHIRPS	194
Tabla 32. Precipitación promedio anual de la estación La Sabana a través de datos de INETER y CHIRPS....	196
Tabla 33. Precipitación promedio anual de la estación Miquilce a través de datos de INETER y CHIRPS	200
Tabla 34. Validación de datos de precipitación INETER vs CHIRPS de la estación El Espino a través de t- student en muestras independientes	202
Tabla 35. Validación de datos de precipitación INETER vs CHIRPS de la estación La Sabana a través de t- student en muestras independientes	204
Tabla 36. Validación de datos de precipitación INETER vs CHIRPS de la estación Miquilce a través de t- student en muestras independientes	206
Tabla 37. Resultado anual de SPI para cada una de las estaciones pluviométricas con incidencia en el área de estudio	208
Tabla 38. Temperatura promedio anual de la estación Ocotal a través de datos de INETER y Power Data Access	

Viewer	209
Tabla 39. Temperatura promedio anual del área de estudio obtenida a través de Power Data Access Viewer .	212
Tabla 40. Validación de datos de temperatura INETER vs PDAV de la estación Ocotal a través de t- student en muestras independientes	215
Tabla 41. Resultados de textura de suelo por laboratorio de edafología UNI-RUPAP	202
Tabla 42. Resultados de prueba de infiltración por Porchet.....	203
Tabla 43. Habitantes entrevistados en visita de acercamiento social	210
Tabla 44. Tipos de fuentes de agua propiedad de las familias entrevistadas	214
Tabla 45. Parámetros morfométricos por subbasin	215
Tabla 46. Continuación de parámetros morfométricos por subbasin	217
Tabla 47. Caudales actuales simulados, 1981 - 2019	218
Tabla 48. Caudales futuros, 2020 - 2040.....	219

RESUMEN

Autor: Josué Ariel Acosta Green

Título: Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

Año de publicación: 2023

El Proyecto adaptación de la agricultura al cambio climático a través de la cosecha de agua en Nicaragua, tiene como objetivo promover la tecnología de cosecha de agua bajo diferentes modalidades, para facilitar a las familias su uso posterior en la producción de alimentos.

Con el propósito de encontrar una opción adecuada de producción de alimentos para zonas secas utilizando la escorrentía cosechada, el proyecto apoyó la realización del estudio “Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698”. En territorio nicaragüense, el corredor seco afecta a 63 municipios con sequías recurrentes, altas temperaturas y lluvias en extremo irregulares.

Para el estudio se visitaron a familias productoras que contaban con sistemas de cosecha de agua, logrando observar que muchas obras no lograban captar todo el flujo de escorrentía superficial y debido al déficit de precipitación, las obras no lograron enfrentar los meses críticos.

Para la realización de la investigación se llevaron a cabo cuatro giras de campo en donde se recopiló información correspondiente de la zona, a través del reconocimiento hidrológico se reconoció y verifico la delimitación de la zona de estudio, así como la ubicación de los sitios de aforo, para determinar los caudales de los ríos que se encuentran dentro de las unidades hidrológicas en estudio, pruebas de infiltración para determinar coeficientes de infiltración con base a las texturas existentes y se desarrolló un diagnóstico de las comunidades que se encuentran dentro de las unidades hidrológicas, con el fin de reconocer la situación

con respecto a la obtención de agua, actividades económicas, salud, perspectiva climática, las cuales se consideraron fuertemente relacionadas en la zona de estudio.

A partir de esto se generaron simulaciones con datos climáticos, por medio de la herramienta Qswat, los cuales dieron las pautas para realizar lineamientos a estrategias de resiliencia ante los efectos provocados por los déficits en las precipitaciones del área de estudio.

Palabras claves: Sistema de cosecha de agua, escorrentía, SWAT, escenarios, RCP8.5.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Se anticipa que el cambio climático causará impactos sobre la producción agrícola que serán diversos, severos y específicos según la ubicación geográfica. La temperatura y la disponibilidad de agua siguen siendo factores clave que determinan el crecimiento de los cultivos y la productividad. Los cambios predichos en estos factores causarán una baja en el rendimiento de los cultivos (Nicholls et al., 2015).

Sin duda alguna, la inestabilidad inducida por el clima y el tiempo afectará los niveles de producción de alimentos y el abastecimiento de los mismos. Los cambios para la adaptación que no modifiquen radicalmente la naturaleza dominante del monocultivo podrían moderar temporalmente los impactos negativos (Nicholls et al., 2015). Es por ello que, la planificación estratégica posee características deseables como son los mecanismos de anticipación al futuro, el reconocimiento de niveles de incertidumbre altos y de flexibilidad y adaptación (ONU - DAES, 2012).

Se calcula que dos tercios del agua de lluvia que cae en los continentes no se aprovechan y se pierden por escorrentía. Los sistemas de cosecha de agua tienen la finalidad de captar y almacenar, en reservorios superficiales, el agua que se escurre por la superficie del suelo después de cada lluvia. El agua captada se puede utilizar en sistemas de riego para compensar la falta de precipitación durante la temporada lluviosa y evitar el estrés hídrico de los cultivos. En la época de verano el agua se puede usar para establecer pequeñas áreas de cultivos o, en su caso, para abrevar el ganado (MEFCCA et al., 2018).

En Nicaragua, los efectos del cambio climático y la variabilidad climática, tienen una atención prioritaria en las políticas y estrategias del Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional (MEFCCA et al., 2018), tal como señalan los Ejes del Programa Nacional de Desarrollo Humano 2018 – 2021, en el que se destaca el seguimiento y fomento de la modernización y transformación productiva en un contexto de cambio climático (GRUN, 2017).

La variabilidad climática hace que los distintos fenómenos climatológicos golpeen con más fuerza y frecuencia la agricultura, la ganadería y otros medios de vida. La zona más afectada en Nicaragua es el “Corredor Seco”, que cubre una buena proporción del territorio nacional. El corredor seco abarca aproximadamente 91 municipios y aglutina más del 60% de la población nacional; compuesta en su gran mayoría por pequeños productores que practican agricultura de subsistencia (MEFCCA et al., 2018).

Los estudios de los escenarios de cambio climático, distribución espacial y diferencias en comportamiento de elementos climáticos han reducido la incertidumbre de la información para la gestión integrada de cuencas hidrográficas (IPPC, 2012). Dado que el cambio climático se presenta diferencialmente y en algunos territorios con consecuencias adversas al hombre y su medio, la identificación de la distribución espacio-temporal de temperatura, precipitación y su incidencia en caudales permitiría la aplicación de modelos de proyección de las dinámicas climáticas y una mejor toma de decisiones en la gestión ambiental, (Baquero Galvis, 2019b).

La implementación de tecnologías como la cosecha de agua, es una práctica sostenible ante la adaptación climática, puesto que la accesibilidad y asequibilidad al agua es posible en sitios vulnerables a la sequía, lo que contribuiría a fortalecer las cosechas, tener mayores oportunidades de trabajo y fluido movimiento económico de las familias productoras, a través del manejo integral de los sistemas de cosecha de agua del tipo esorrentía.

Es por ello que, la planificación estratégica posee características deseables como son los mecanismos de anticipación al futuro, el reconocimiento de niveles de incertidumbre altos y de flexibilidad y adaptación (ONU - DAES, 2012).

Por lo anterior, se han ejecutado 5 323 pequeñas obras de cosecha de agua, de diversos tipos lo cual apoya a la implementación de Planes de Adaptación ante el Cambio Climático y la reducción de la vulnerabilidad y el riesgo ante la sequía e inundaciones, priorizando a las comunidades asentadas en la zona seca (MARENA & GRUN, 2020). Lo cual es el resultado de planes de acción, con el propósito de impulsar la protección y el manejo sostenible de las cuencas hidrográficas para asegurar el aprovechamiento racional de los recursos hídricos en cantidad y calidad contribuyendo al bienestar de las comunidades, la protección, adaptación y mitigación ante los efectos del Cambio Climático (MARENA & GRUN, 2015).

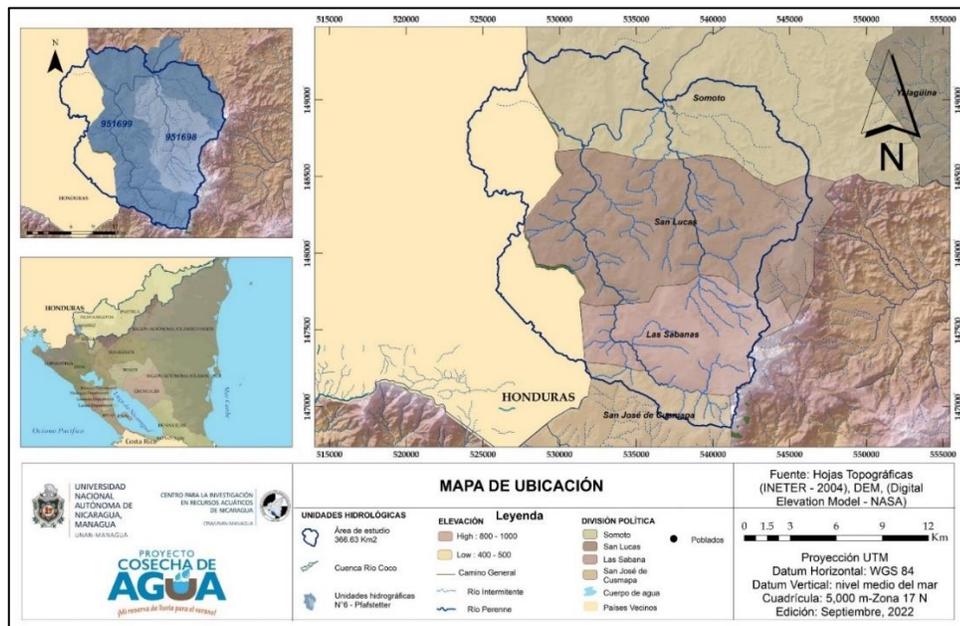
El presente trabajo de investigación presenta tres aristas, como son el medio físico e hidroclimáticos de la zona, entendiéndose este como las variables climáticas, de suelo y parámetros morfométricos a nivel hidrológico, así como, los posibles escenarios que afectan las obras de cosecha de agua, a partir de un modelo hidrológico siendo este aplicado a partir de la herramienta de SWAT, con la finalidad de presentar estrategias de resiliencia ante los posibles escenarios generados.

1.1. Área de estudio

Desde el punto de vista geográfico, las Unidades Hidrológicas en estudio se encuentran ubicadas dentro del Departamento de Madriz, específicamente en los municipios de Somoto y San Lucas. Por su carácter hidrológico, estas pertenecen a la unidad 6 de acuerdo con el Método de Pfasffeter (INETER et al., 2014); de acuerdo con la clasificación anterior, pertenecen a la cuenca No. 45 conocida comúnmente como Cuenca del Río Coco [(Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH) y Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1972).

La delimitación hidrológica tiene una extensión de 371.26 km², los cuales abarcan el 35.90% del municipio de San Lucas y el 24.50% de Somoto, el área de estudio también abarca un 17.57% del territorio del país vecino de Honduras.

Figura 1. Localización del área de estudio



El área en estudio es un territorio agrícola, donde el cultivo predominante es el maíz, frijol, millón y sorgo, debido a que suelen ser más resistentes para canículas severas, como las que se presentan en la zona. Además, dicho factor climático es una limitante para la alimentación del ganado, debilitando aún más la economía de los productores.

1.2. Antecedentes

El agua superficial ha sido la primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte para la humanidad desde sus inicios, por lo que, cuando las civilizaciones crecieron demográficamente, algunos pueblos ocuparon zonas áridas, semiáridas y húmedas del planeta, desarrollando así medios de captación de agua como una alternativa de sobrevivencia (Anaya, 2009). Fue en el quinto milenio que se fueron creando presas transversales que permitían la desviación del curso del agua para conducirlos al campo de cultivo y de esa manera avanzaban un modelo de desarrollo poblacional (RUVIVAL, 2019).

Los modelos hidrológicos a menudo el primer paso en el desarrollo de sistemas de decisiones espacial, Behrends Kramer et al.,(2011), desarrollaron la herramienta SWAT para predecir impactos de las prácticas de manejo de las tierras en las aguas, sedimentos y agroquímicos en cuencas hidrográficas. Por otra parte, Baquero Galvis (2019a), determino a partir de modelaciones hidrológicas usando SWAT en la cuenca del río Guatiquía (COLOMBIA), que las temperaturas entre 1968 y 2017 tendió a aumentar en la media anual entre 0,1 y 0,5 °C lo cual corrobora la existencia de un efecto del cambio climático.

En la actualidad, muchos modelos de cambio climático predicen que los daños serán compartidos de manera desigual por agricultores pequeños del tercer mundo, y particularmente de aquellos que dependen de las lluvias (M. A. Altieri & Nicholls, 2008). El corredor seco centroamericano es una de las regiones del mundo con mayor vulnerabilidad a los riesgos climáticos y donde habitan cerca de 7.5 millones de personas cuya principal actividad socioeconómica es la producción agrícola de secano, principalmente granos básicos como maíz, frijol y arroz, además de la ganadería (FONTAGRO, 2015).

De acuerdo con estudios de riesgo climático en los últimos 20 años (1998 – 2017), Nicaragua ha sido identificada como el sexto país más afectado a nivel global mediante el Índice de Riesgo Climático Global a largo plazo (GERMANWATCH, 2019). Con el fin de hacer frente a un gran problema como es el cambio climático y la escasez de agua dulce en poblados y/o comunidades rurales en zonas áridas

y/o semiáridas, se ha estado impulsando el rescate de conocimientos ancestrales como la cosecha de agua, en la cual se aplican técnicas para captar agua mediante la esorrentía (FONTAGRO, 2015). Siendo el corredor seco de Nicaragua, específicamente en el departamento fronterizo del norte, Madriz, donde se han estado desarrollando algunas experiencias de cosecha de agua en el país (Zegara & Chirinos, 2016, p. 89).

Hasta el momento, el enfoque de cosecha de agua ha sido la alternativa con mayor propuesta para el corredor seco en el contexto del cambio climático, lo cual ha llevado a COSUDE a cofinanciar en conjunto con el Gobierno de Nicaragua, siendo CATIE quien ha servido de unidad técnica del proyecto. No obstante, la sistematización de experiencias considera que el enfoque del proyecto es correcto, pero señala una serie de problemas de diseño e implementación a considerar en experiencias posteriores, por los que los usuarios ponen en duda la estabilidad de la tecnología y la adopción de ésta con seguridad en forma masiva (Zegara & Chirinos, 2016, p. 89).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar escenarios de cambio climático ante eventos extremos que afectan los sistemas de cosecha de agua, a través del modelamiento hidrológico para la propuesta de acciones estratégicas de resiliencia en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45.951698.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los componentes físicos e hidroclimáticos de las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698.
- Modelar a través del SWAT escenarios de eventos extremos de sequía que se han presentado en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698.
- Proponer acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afecten los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698.

1.4. Planteamiento del Problema

El cambio climático y el desarrollo están intrínsecamente interconectados, donde el desarrollo económico ha contribuido a un aumento insostenible de las emisiones de gases de efecto invernadero, las cuales están desestabilizando el sistema climático global, generando al mismo tiempo una distribución desigual de la capacidad de las personas para hacer frente a estos cambios, afectando su “capacidad de adaptación” (Anderson, 2011). Donde los impactos se sienten en todas partes y están teniendo graves consecuencias en el estilo de vida de las personas y las economías nacionales, comprometiendo así un futuro de costosa recuperación (United Nations, 2019).

Hasta el momento, se ha registrado que los eventos de sequía extrema asociados con los eventos de ENOS (El Niño Oscilación Sur), han causado impactos socio- económicos importantes en la región centroamericana, principalmente a lo largo del litoral del Océano Pacífico donde se ha establecido una franja del territorio comúnmente clasificado como bosque seco tropical o trópico seco, que, por su extensión desde Guatemala hasta Costa Rica, se le ha denominado “Corredor Seco”. Es en esta franja que se observan los efectos más drásticos cuando ocurren sequías extremas, especialmente cuando se presenta el fenómeno ENOS (CCAD & SICA, 2018).

En el 2018, Nicaragua fue el responsable del 0.02% de las emisiones globales de GAI (Gases de Efecto Invernadero), según el informe de Contribución Nacionalmente Determinante (MARENA & GRUN, 2020). No obstante, ocupa el cuarto lugar de países más afectados en la región, lo que significa que tiene un alto grado de vulnerabilidad, a lo que se añade las pérdidas millonarias en la producción de alimentos, puesto que la proporción de familias productoras de granos básicos del sector representan entre el 31% y 31.5% (Van der Zee et al., 2012), lo que se traduce a un gran impacto, especialmente a pequeños productores, sus medios de vida y la seguridad alimentaria general (CCAD & SICA, 2018). Lo cual llega a afectar las tasas de pobreza rural del país, siendo Nicaragua el que ocupa el segundo lugar

después de Honduras con un 53.2% (CEPAL et al., 2019).

En base lo anterior, 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, 2013). Lo cual ha ido generando preocupación ante la agricultura, puesto que estas condiciones climatológicas llegarán a limitar significativamente el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Altieri & Nicholls, 2008).

El 36.9% del país es afectado por un alto grado de sequía, sin embargo 11.5% del territorio, la sequía afecta de forma severa a 27 municipios, entre ellos Somoto y San Lucas (Van der Zee et al., 2012). Donde una de las mayores preocupaciones es el hecho de que la agricultura de subsistencia es la norma, puesto que una tonelada de cultivo puede ~~l~~ra causar desequilibrio en la vida rural.

Ante estas situaciones se requiere evaluar alternativas para la adaptación al cambio climático, donde actualmente millones de pequeños agricultores han ido practicando agroecosistemas (cosecha de agua) con una capacidad de resiliencia notable ante los continuos cambios económicos y ambientales, además de contribuir sustancialmente con la seguridad alimentaria a nivel local, regional y nacional (M. Altieri & Nicholls, 2008). Sin embargo, uno de los grandes vacíos es el hecho de que el agricultor muchas veces no maneja la tecnología y enfrenta varios desafíos para lograr las eficiencias en el uso de agua comúnmente para riego (FAO, 2013).

Por otra parte, existe la necesidad de realización de procesos de capacitación y sensibilización, sin omitir aspectos culturales y tradicionales, para la ejecución de Sistemas de Cosecha de Agua como alternativa de solución de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos en sitios con escasez de agua (Cobos, 2017), donde se abra paso al ordenamiento y regulación de la actividad humana en función de preservar en calidad y cantidad los recursos hídricos para sus propias actividades (SICA, 2014).

En el presente estudio se estarán superando debilidades ante la selección de sitios y vacíos técnicos-científicos ante la dinámica de entradas y pérdidas de agua en el sistema de captación, a partir de la caracterización física, climática e hidrológica de la zona.

Cabe destacar que, para el diseño y construcción de los sistemas de cosecha de agua, es necesario adaptarse a las condiciones hidrológicas, climáticas y sociales del sitio, para brindar un servicio óptimo del recurso hídrico, sin embargo, la sostenibilidad de este proyecto se logrará mediante implementación de estrategias y acciones de manejo de los Sistemas de Cosecha de Agua, con lo cual se estima un beneficio social, económico y ambiental.

1.5. Justificación

En Centroamérica, el riesgo socioeconómico relacionado con la sequía y más específicamente con la agricultura de secano, históricamente ha ocasionado problemas de pobreza, inseguridad alimentaria, desempleo y hasta migración rural (FONTAGRO, 2015). Frente a problemas amenazantes, como el cambio climático y la escasez de agua dulce en poblados y/o comunidades rurales en zonas áridas y semiáridas, se han ido poniendo en práctica técnicas ancestrales que actualmente se requiere su recuperación tal como la cosecha de agua (Durán et al., 2020).

Nicaragua ocupa el séptimo lugar en un período de 20 años (1998 – 2017) de acuerdo a su valor de Índice de Riesgo Climático (IRC) a nivel global (GERMANWATCH, 2019). Un aspecto de interés meteorológico es que las precipitaciones anuales totales no han variado significativamente, pero sí aumentó el número de días secos, compensados por días con precipitaciones más intensas, lo cual en eventos extremos de sequía el número de víctimas aumenta y cuyos costos monetarios apenas empiezan a ser contabilizados en el país (CCAD & SICA, 2018).

De acuerdo con el Estudio de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua (2004), las aguas subterráneas son deficitarias en la región central, debido al predominio geológico de rocas duras altamente fisuradas y meteorizadas de baja permeabilidad y porosidad. Por esa razón, el medio de aprovechamiento más accesible en la zona es por aguas superficiales. Debido a las características físicas e hidrológicas, Nicaragua ha ido implementando la cosecha de agua como una alternativa más adecuada para el sector seco del país en contexto con el cambio climático, específicamente en la zona fronteriza del norte (Zegara & Chirinos, 2016, p. 90).

Según registros de CATIE, actualmente existen aproximadamente 117 sistemas de cosecha de agua por escorrentía en el municipio de San Lucas, los cuales han beneficiado a 143 personas (CATIE & COSUDE, 2020a). No obstante, se han presentado una serie de problemas de diseño e implementación a considerar en experiencias pasadas, siendo uno de los principales problemas la identificación de los terrenos más

adecuados para las intervenciones, así como las limitaciones en cuanto a la disponibilidad de maquinaria y equipos requeridos para la construcción de los micro-reservorios, hechos que ponen en duda la adopción de dicha tecnología para sus usuarios (Zegara & Chirinos, 2016, p. 89).

Es importante destacar, que son los productores de agricultura familiar el grupo más afectado por la sequía, puesto que éstos dependen preponderadamente del trabajo familiar (Graterol et al., 2019), por lo que el interés de una rentabilidad mediante esta tecnología es el factor determinante a futuro para la adopción de la misma (S. Jaramillo, 2017). Para ello es necesario es necesario combinar funciones económicas, ambientales, sociales y culturales (Salcedo & Guzmán, 2014).

Con esta investigación se pretende superar las problemáticas de la eficiencia en cuanto a la captación de agua por escorrentía de las obras de cosecha, lo que involucra a pequeños productores beneficiados con el proyecto cosecha de agua y a las alcaldías el seguimiento hacia los productores, así como, a organizaciones que tomen la iniciativa de utilizar modelos de predicción ante los posibles efectos de cambio climático en zonas vulnerables ante las sequías, a su vez acompañado con un plan de acciones estratégicas con un enfoque integral basado en las capacidades locales, con el fin de alcanzar un modelo holístico, promoviendo en las familias productoras un estilo de vida encaminado a la adaptación climático.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En este acápite se estarán abordando los conceptos de las variables en estudio, lo que permitirá al investigador sistematizar de forma más ordenada la información, a su vez, servirá de respaldo científico en la investigación, en donde se enmarcan las explicaciones de lo que sucede en la realidad, logrando establecer relaciones entre variables, tal como es el caso de la selección, diseño y construcción de cosecha de agua por escorrentía, puesto que se requieren de las dimensiones hidrológicas, hidroclimáticas, calidad de agua y aspectos sociales, que serán analizados dentro de un entorno de sequía, lo que permitirá crear estrategias de manejo sostenible en las obras de cosecha de agua por las familias productoras.

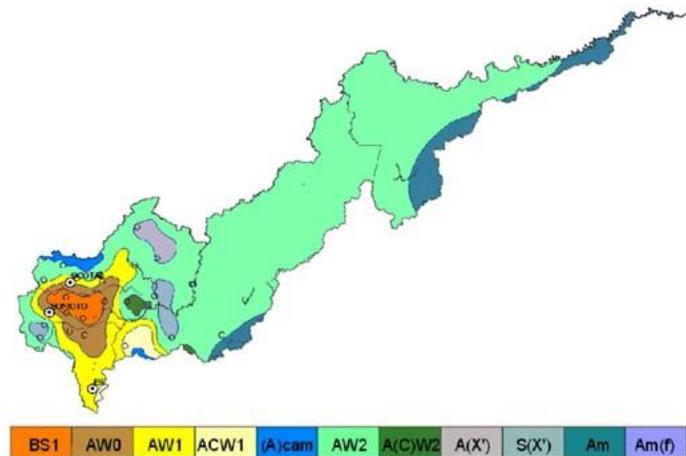
1.1. Medio Físico

El investigador considerará como medio físico las características hidroclimáticas, geológicas, geomorfológicas, edafológicas, usos y textura de suelos, los cuales se acoplan al desarrollo conceptual y a la caracterización de unidad hidrológica 9516, conocida como la cuenca hidrográfica del Río Coco, lo que permitirá generar una macro visualización de la zona de estudio en la investigación.

1.1.1. Clima

El clima es el estado más frecuente de la atmósfera de un lugar de la superficie terrestre; es decir, una descripción estadística de las condiciones meteorológicas más frecuentes de una región en cierto periodo de tiempo. En un sentido amplio, se refiere al estado del sistema climático como un todo, incluyendo sus variaciones y descripciones estadísticas (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018).

Figura 2. Clasificación climática según Köppen en la Unidad



Fuente: INETER (2000); Elaboración Propia

Nicaragua por su posición geográfica presenta un clima tropical caracterizado por su relieve y la circulación general atmosférica que presenta en régimen de precipitación diferenciado por cada una de las regiones. En el año 2005 el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) clasificó los climas de Nicaragua utilizando el sistema modificado de Köppen de Enriqueta García (1988). En el cual se identificaron cinco tipos o categorías de clima en función de la temperatura y precipitación media mensual y anual, usando la vegetación nativa (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

En la unidad hidrológica del Río Coco, predomina el tipo de Clima Caliente y Sub-Húmedo con Lluvia en Verano AW (AW0, AW1, AW2) (Figura 2), se caracteriza por una estación seca en los meses de noviembre a abril y lluviosa de mayo a octubre con una precipitación que varía desde los 600 mm en los Valles Intramontanos de la Región Norte a los 2 000 mm al Este del Municipio Chinandega y en el Municipio Tuma – La Dalia, con una temperatura media anual de 30 °C en la parte Central de la Región del Pacífico y de 18 °C en las elevaciones del macizo montañoso central (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

De acuerdo a la Tercera Comunicación de Cambio Climático Nicaragua (2018), el Clima A (x') se presenta en pequeñas zonas dispersas, caracterizándose por tener una precipitación media anual que oscila entre los 1 300 mm y 1 600 mm, las lluvias se distribuyen uniformemente a lo largo del año con una temperatura media anual que fluctúa entre 19 °C y 21 °C.

1.1.2. Hidroclima

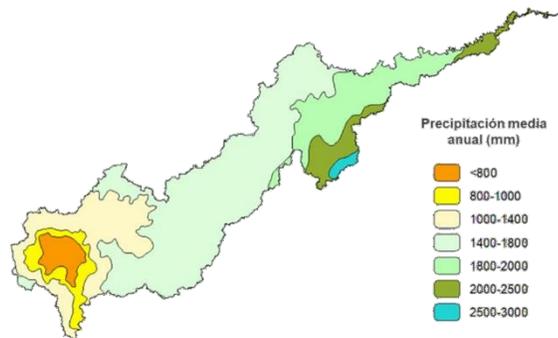
La hidroclimatología es una disciplina expansiva que se ocupa en gran medida de comprender el funcionamiento del ciclo hidrológico en un contexto climático (McGregor, 2017). Donde el movimiento, el almacenamiento, y el cambio de fase del agua que se llevan a cabo dentro de los sistemas terrestres y atmosféricos, los cuales están estrechamente relacionados con los balances energéticos, creando como consecuencia que los componentes de la hidroclimatología sean sensibles a la variabilidad climática (Teale, 2020).

a. Precipitación

La precipitación es un fenómeno de tipo discontinuo y por eso no se puede hablar de su variación diaria o anual del mismo modo que se realiza para otros elementos meteorológicos. Su distribución tanto en el espacio como en el tiempo es sumamente variable. Ésta consiste, en que el vapor de agua contenido en la masa de aire, a consecuencia de los cambios de presión, temperatura y del movimiento de estas masas, ayudado en ocasiones por minúsculos núcleos de condensación y material sólido en suspensión, se reúne en gotas de agua o en cristales de hielo y cae venciendo las resistencias que se le oponen, hasta llegar a la superficie terrestre (Custodio & Llamas, 1983).

Las precipitaciones en Nicaragua varían de menos 800 mm en las zonas más secas a 5000 mm y más en la zona más húmeda. Estas precipitaciones sobre Nicaragua pueden registrarse en cualquier mes del año, pero la mayor cantidad cae entre mayo y noviembre. En las regiones norte y central, la precipitación anual oscila de 800 mm en los valles intramontanos a 2500 mm, en las pendientes orientales de las cordilleras (INETER, 2012).

Figura 3. Precipitación media anual (mm) de Nicaragua



Fuente: INETER (2012)
Elaboración propia

En la unidad hidrológica del Río Coco, las precipitaciones varían de 800 mm en los municipios de Madriz, hasta los 3000 mm anuales en la frontera con Bonanza. Con un predominio de 1 400 a 1 800 mm anuales, (Figura 3).

b. Temperatura

La temperatura atmosférica es el indicador de la cantidad de energía calorífica acumulada en el aire. A su vez, este parámetro depende de diversos factores, por ejemplo, la inclinación de los rayos solares, tipo de sustratos (la roca absorbe energía, el hielo la refleja), la dirección y fuerza de los vientos, la latitud, la altura sobre el nivel del mar, la proximidad de masas de agua, entre otros (INETER, 2012).

El territorio nacional presenta un régimen térmico variado a causa de los accidentes geográficos. La temperatura media anual fluctúa entre menos de 23 °C a más de 29 °C. Las temperaturas máximas absolutas oscilan entre los 30.6 °C y 42 °C y las mínimas entre 10 °C y 18 °C. La Región Central presenta temperaturas que van de menos 23 °C en las zonas montañosas con mayor elevación, llegando hasta los 26 °C en los valles intramontanos. En la Región Caribe existe un comportamiento uniforme durante todo el año con temperaturas cálidas que oscilan de 25 °C a 26 °C (Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, 2018).

c. Evaporación

De acuerdo con Gámez (2010), es el paso del agua del estado líquido al estado de vapor, si este proceso se realiza en forma directa desde una superficie húmeda. Es un fenómeno por el cual el agua que se encuentra sobre la superficie terrestre o muy cercana a ella se evapora bajo el efecto de la radiación solar y el viento. El valor aumenta con la intensidad de la radiación y la temperatura del aire. También es de gran importancia la humedad relativa del aire; la fuerza de succión de vapor de la atmósfera (déficit de humedad) es directamente proporcional a la tasa de evaporación.

d. Transpiración

De acuerdo con Moreno (1994), es el agua que se despiden en forma de vapor de las hojas de las plantas. Esta agua es tomada por las plantas, naturalmente del suelo. En hidrología la evaporación y la transpiración están reunidos en un solo elemento, la evapotranspiración.

e. Evapotranspiración

Gámez (2010), la define como la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en el cual se desarrolla. Por otra parte, Moreno (1994). Afirma que es la suma de todas las pérdidas por transformación del agua en vapor, sea cual fuese el factor que ha actuado. Siendo la evapotranspiración real, que aparecen en las condiciones naturales de humedad del suelo está estrechamente vinculado a éste. Por este motivo, ha sido introducida la noción de evapotranspiración potencial, la cual representa la cantidad de agua que resultaría evaporada y transpirada si las reservas en agua fueran suficientes para compensar las pérdidas máximas. Cuando el contenido de agua del terreno es suficiente, la evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial (Moreno, 1994).

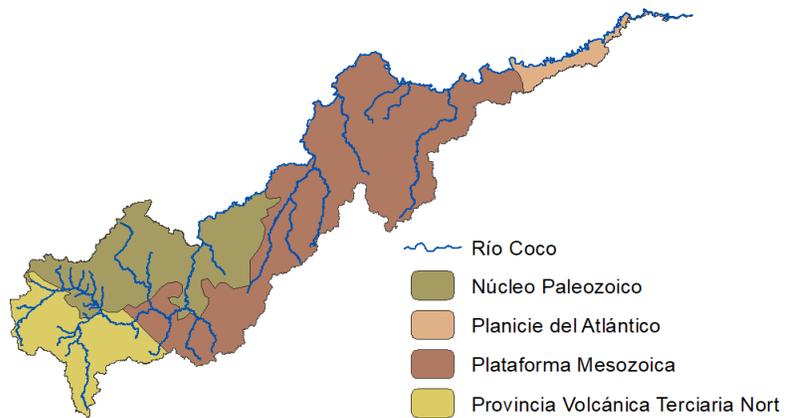
1.1.3. Geología

Es la ciencia de la tierra y tiene por objeto entender la evolución del planeta y sus habitantes, desde los tiempos más antiguos hasta la actualidad mediante el análisis de las rocas. Es considerada como una ciencia histórica ya que parte de la premisa de que el relieve actual de la Tierra es el resultado de una larga y variada evolución, por ello analiza este desarrollo espacial y temporal para señalar los factores y fuerzas que actuaron en el proceso y que le han dado la forma que actualmente se conoce, tanto en el exterior como en el interior del planeta, (FENZEL, 1989).

a. Provincias Geológicas de Nicaragua

La geología histórica de Nicaragua comenzó durante la era del paleozoico y culminó con la intensa actividad volcánica del cuaternario. Durante el paleozoico medio inferior y el mesozoico, América Central conformaba dos grandes provincias geológicas bien definidas. La Septentrional en el Norte y la Meridional en el Sur, culminando ambas en el Norte y Sur de Nicaragua respectivamente (FENZEL, 1989).

La unidad hidrográfica del Río Coco se encuentra compartida por cuatro provincias geológicas (Figura 4), principalmente por el núcleo paleozoico, la provincia volcánica terciaria del norte, planicie del Atlántico y la plataforma mesozoica la cual mayormente predomina, caracterizada por ser una de las más antiguas del país, con



Elaboración propia

presencia de rocas metamórficas, encontrándose intrusión granítica denominada Batolito de Dipilto en municipios fronterizos.

b. Formaciones geológicas

El Grupo Coyol, está formado por productos volcánicos básicos, este se divide en Coyol Superior y Coyol Inferior separados por una discordancia angular deposicional.

Coyol Superior (Tpcb, Tpci); presenta rocas del tipo litológico Tpcb-basalto y Tpci-tobae ignimbrita riolítica, las cuales se relacionan al origen de su actividad volcánica. Se caracteriza por presentar relieve en forma de mesas.

Coyol Inferior (Tmca, Tmcd); de edad mioceno superior, está constituido por lava andesítica y aglomerados con transición desde andesita ignimbrítica a ignimbrita dacítica y brecha aglomerada. Litológicamente está compuesto por **Tmca**-andesita, ignimbrita o aglomerado; **Tmcd**-ignimbrita dacítica. Estas rocas se encuentran falladas y fracturadas.

Grupo Matagalpa (Tomm); presenta un espesor alrededor de 600 metros (Kennett et al., 1977). Su litología consiste principalmente de piroclastos y sedimentos volcánicos; predominan las lavas andesíticas, aglomeráticas o brechosas y sedimentos tobáceos rojizos-verdosos, cenizas rojizas consolidadas, bien estratificadas, generalmente estos sedimentos y aglomerados están intercalados con andesitas rojas.

Pre-Terciario metamórfico (PTm); las rocas metamórficas presentes son de bajo metamorfismo comprenden: filitas, mica-esquistos, cuarcitas, pizarras. Mármoles, esquistos calcáreos, esquistos hornbléndicos, anfibolíticos.

Batolito de Dipilto; es un cuerpo intrusivo que se encuentra emplazado en la cordillera de Dipilto y Jalapa, ha sido originado por varias inyecciones magmáticas, que ocurrieron en diferentes edades, a ello se debe que el batolito esté compuesto de granitos, granodioritas, tonalitas biotíticas y dioritas.

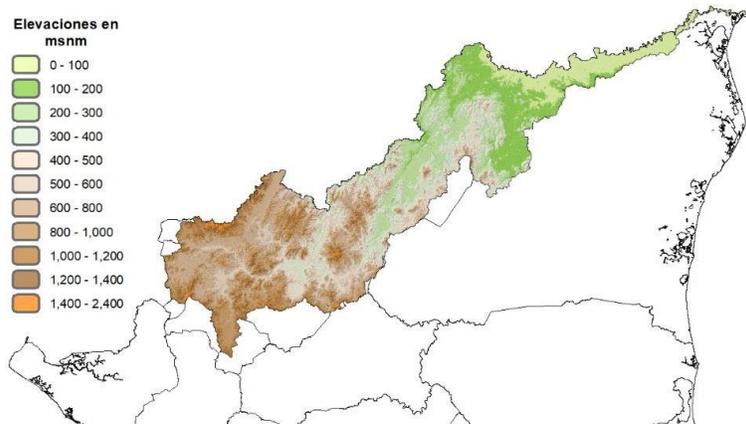
1.1.4. Geomorfología y relieve

La geomorfología se especializa en estructuras (que atiende a la arquitectura geológica) y climática (que se interesa por el modelado), incorpora las técnicas estadísticas sedimentológicas, en laboratorio y, sobre todo, pierde su aislamiento para convertirse en una ciencia que atiende múltiples factores e inserta el estudio del relieve al conjunto de relaciones naturales que explica globalmente la geografía física (Duque, 2017).

La Geomorfología del área está caracterizada por montañas altas, colinas de mediana elevación y valles anchos y

profundos por donde **Figura 5. Relieve de la unidad hidrológica el Río Coco** drenan los principales ríos, los cuales reflejan las estructuras geológicas.

La unidad hidrológica del Río Coco presenta elevaciones de 600 hasta 2,400 msnm en la parte alta. Por otra parte, la parte media y baja hay un predominio de elevaciones de 500 – 0 msnm (Figura 5).



Elaboración propia

a. Pendiente

Se denomina pendiente a la inclinación del terreno respecto a un plano horizontal. Su determinación, resulta sencilla a partir del desnivel vertical del terreno y de la distancia horizontal entre dos puntos del espacio. La pendiente se mide en grados o porcentajes. El valor porcentual se expresa en la relación del desnivel y la distancia horizontal expresada en tanto por ciento (FAO, 2009). A continuación, se muestran la clasificación de las pendientes de acuerdo al porcentaje de inclinación:

Tabla 1. Clases de gradiente de la pendiente

Clase	Descripción	%
01	Plano	0 – 0,2
02	Nivel	0,2 – 0,5
03	Cercano al nivel	0,5 – 1
04	Muy ligeramente inclinado	1 – 2
05	Ligeramente inclinado	10 – 15
06	Inclinado	5 – 10
07	Fuertemente inclinado	10 – 15
08	Moderadamente escarpado	15 - 30
09	Escarpado	30 – 60
10	Muy escarpado	>60

Fuente: FAO (2009)

1.1.5. Edafología

Es la ciencia que estudia la naturaleza y propiedades de los suelos con relación a la producción vegetal. Proviene del griego "edaphos" suelo y "logos" tratado. En general se toma como sinónimo de pedología, pero la diferencia entre pedón y edafón es que en el primero es el suelo en el sentido de piso y en el segundo suelo que se cultiva. A su vez, la edafología estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea. Dentro de la edafología aparecen varias ramas teóricas y aplicadas que se relacionan en especial con la física, la química y la bioquímica (Universidad de Buenos Aires, 2020).

a. Orden de suelos de la unidad hidrográfica del Río Coco

El suelo de acuerdo a sus características formativas y de manejo, puede clasificarse con base a estándares establecidos por sistemas taxonómicos internacionales como los propuestos por la FAO o la USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) mediante la (Soil Survey Staff, 1999). En este tipo de clasificación se utilizan órdenes, subórdenes, grandes grupos, subgrupos y familias, siendo esta última la más precisa. Sin embargo, la clasificación por órdenes es ya bastante detallada, ya que entre ordenes de suelos se encuentran diferencias marcadas. Existen 12 tipos de órdenes de suelo, descritos por la USDA: Alfisol, Andisol, Aridisol, Entisol, Espodosol, Gelisol, Histosol, Inceptisol, Mollisol, Oxisol, Ultisol y Vertisol (F. Jaramillo & Malagón, 2014).

Tabla 2. Orden y sub-orden de suelo en la unidad hidrológica del Río Coco

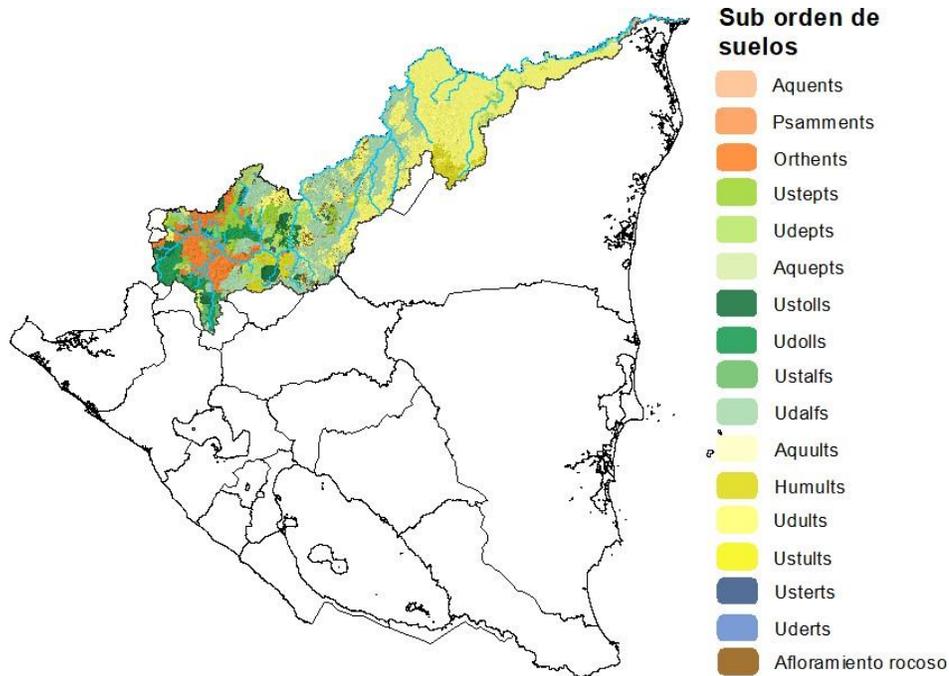
Orden	Sub orden	
Entisol: Presentan escasa o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes porque se encuentran en su estado inicial de formación	LB	Aquepts: Saturados con agua todo el año
Inceptisols: Suelo joven o de poco desarrollo. En su perfil se empieza a acumular arcillas o materia orgánica. No presenta óxidos de hierro y/o aluminio	KE	Ustepts: Permanecen secos más de 90 días consecutivos.
	KG	Udepts: Permanecen húmedos más de 90 días consecutivos en el año.
	KA	Aquepts: La tabla de agua se encuentra cerca de la superficie
Mollisols: Típicos en pastizales. Presentan un horizonte superficial fértil de al menos 25 cm de espesor, con color pardo oscuro a negro	IG	Ustolls: Permanecen secos más de 90 días consecutivos en el año
	IH	Udolls: Permanecen húmedos más de 90 días consecutivos en el año
Alfisol: Suelos maduros o bien desarrollados con un horizonte superficial claro u oscuro (menos de 25 cm de	JC	Ustalfs: Permanecen secos más de 90 días consecutivos

<p>espesor) y un subsuelo formado por la lenta acumulación de arcilla</p>	<p>JE</p>	<p>Udalfs: Permanecen más de 90 días consecutivos en el año</p>
<p>Ultisols: Suelos en estado senil, la última etapa de degradación de sus propiedades químicas por efecto de las lluvias y el paso del tiempo</p>	<p>HA</p>	<p>Aquults: Se saturan con agua en época de lluvias. De color grisáceo con una capa superficial negra</p>
	<p>HB</p>	<p>Humults: Ricos en materia orgánica en zonas con mucha precipitación.</p>
	<p>HC</p>	<p>Udults: Se encuentran húmedos casi todo el año. El subsuelo es rojizo o amarillento</p>
	<p>HD</p>	<p>Ustults: Se encuentran secos al menos 90 días consecutivos en el año. Son de colores pardos y rojizos</p>
<p>Vertisols: Suelo arcilloso (solsocuite) de color gris o negro, que se contrae y forma grietas cuando está seco y se expande y encharca al humedecerse. Los procesos de contracción y expansión ocasionan daños a edificaciones y carreteras.</p>	<p>FE</p>	<p>Usterts: Agrietamiento en la arcilla permanecen abiertos más de 90 días no consecutivos</p>
	<p>FF</p>	<p>Uderts: Los agrietamientos en la arcilla permanecen abiertos durante períodos cortos, menos de 90 días en todo el año o 60 días consecutivos</p>
<p>Afloramiento Rocoso: Son áreas en las que la superficie del terreno está constituida por rocas expuestas (sin desarrollo de vegetación) dispuestas en laderas abruptas, escarpes y acantilados, rocas desnudas relacionadas con la actividad volcánica, depósitos de sedimentos finos y gruesos</p>	<p>AR</p>	<p>Afloramiento Rocoso</p>

Fuente: INETER (2015b)

Elaboración
Propia

Figura 6. Sub orden de suelo de la unidad hidrográfica de Río Coco



Fuente: INETER (2015)

Elaboración propia

b. Cobertura y usos de la tierra

El análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en cualquier territorio conlleva a comprender como interactúan los diversos factores socioeconómicos y biofísicos que en él se encuentran. Los estudios de cambio de uso de suelo y vegetación son el referente para conocerlas trayectorias de los distintos procesos de cambio que existen en determinado territorio. Las actividades económicas que practican las distintas sociedades del mundo juegan un papel importante en la dinámica de uso de suelo y en el deterioro ambiental (Camacho-Sanabria et al.,2017).

Tabla 3. Cobertura y uso de suelo de la unidad hidrológica del Río Coco

Categoría	Definición
Bosque latifoliado denso	Cuando las copas cubren 70% o más de la superficie del suelo
Bosque latifoliado ralo	Cuando las copas cubren entre 10% y 70% de la superficie del suelo
Bosque de coníferas denso	Son superficies mayores o iguales a 0,5 ha dominadas por la especie <i>Pinus sp.</i> Con una densidad mayor a 250 árboles/ha
Bosque de coníferas ralo	Son superficies mayores o iguales a 0,5 ha dominadas por la especie <i>Pinus sp.</i> con una densidad de 50 a 250 árboles/ha
Bosque de mangle	Bosque dominado por un grupo de especies arbóreas tolerantes a la sal (<i>Rhizophora sp.</i> , <i>Laguncularia sp.</i> , <i>Conocarpus sp.</i> , <i>Avicennia sp.</i>)
Bosque con palma y/o bambú	Bosque con predominancia de palmas como yolillo (<i>Raphia s.p.</i>), palmera de pantano (<i>Acoelorrhapha sp.</i>), corozo o coyol (<i>Bractissp.</i>) y/o bambú (<i>Bambusa sp.</i>).
Tacotal	Cubierta mixta de arbustos y matorrales con presencia de árboles maderables de poco interés económico, los cuales presentan menos de 20 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP) y sus copas cubren alrededor del 10% de la superficie del suelo.
Vegetación arbustiva	Son superficies dominadas por especies de tallo leñoso sin copa definida, las cuales se ramifican cercano a su base y alcanzan alturas menores de 5 m.
Plantación forestal	Bosque artificial proveniente del cultivo de árboles de especies autóctonas o introducidas con fines comerciales o de conservación

Cultivo permanente		Son sistemas agrícolas cuyo ciclo de siembra a la cosecha es mayor de un año, produciendo varias cosechas son necesidad de volverse a plantar. Incluye caña de azúcar, plátano, banano, café, cacao, palma africana y árboles frutales
Cultivo anual		Cultivos cuyo ciclo de siembra a la cosecha es menor de 1 año, llegando incluso a ser sólo uno pocos meses como el caso de cereales (maíz, sorgo, arroz), leguminosas (frijol), tubérculos

		(papa, yuca, quequisque), oleaginosas (ajonjolí, algodón), hortalizas y flores
Pasto		Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por un período de dos o más años. Incluye áreas de pasto mejorado, pasto natural, pasto con maleza y parcelas de cultivo en descanso
Suelo sin vegetación		Comprende territorios en los cuales la cobertura vegetal no existe o es escasa. Compuesta principalmente por afloramientos rocosos, playas, cenizas y arenas volcánicas, lechos arenosos en ríos y bancos de materiales
Ciudades, poblados y caseríos		Comprende el establecimiento de una población, con patrones propios de poblamiento y el conjunto de sistemas de convivencia, en un área físicamente localizada, considerando dentro de la misma los elementos naturales, la infraestructura y el equipamiento que la integran
Humedales		Incluye terrenos anegados, que pueden ser temporalmente inundados y estar parcialmente cubiertos por vegetación acuática. Se encuentran ubicados en los bordes marinos y al interior del territorio
Sabana		Tierras llanas a ligeramente onduladas ubicadas a menos de 300 msnm donde predominan pastos y plantas herbáceas naturales. Pueden encontrarse pinos o árboles latifoliados dispersos con copas que cubren entre 5 a 10% del suelo.
Agua		Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el territorio y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea costera, como los mares y océanos.

Fuente: INETER (2015a)
Elaboración propia

1.2. Hidrología

Hidrología es la ciencia natural que estudia el agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades físicas y químicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos, (Gámez Morales, 2010).

1.2.1. Unidad hidrográfica

La cuenca es el espacio del territorio en el cual naturalmente discurren todas las aguas (aguas provenientes de precipitaciones, de deshielos, de acuíferos, etc. que discurren por cursos superficiales o ríos) hacia un único lugar o punto de descarga (que usualmente es un cuerpo de agua importante tal como un río, un lago o un océano). El ámbito de la cuenca hidrográfica es un espacio territorial natural independiente de las fronteras político-administrativas internas de un país o de fronteras internacionales (Aguirre, 2011).

1.2.2. Metodología Pfafstetter

Este método es de carácter numérico, topológico, natural y sigue la dirección del drenaje del agua, hasta encontrar el río principal, que desemboca en el océano. Este objetivo se alcanza tomando como base la topología de la superficie o área de terreno (Modelo Digital de Elevación o Digital Elevation Model, DEM). El método consiste en delimitar las unidades hidrográficas en orden jerárquico, identifica y clasifica las cuencas con números pares (2, 4, 6, 8) y las intercuenas con números impares (1, 3, 5, 7, 9) y a las cuencas endorreicas o cuencas internas se asigna el código 0 (cero) (INETER et al., 2014).

La metodología Pfafstetter delimita las Cuencas Hidrográficas por niveles de forma jerarquizada, es decir permite la subdivisión y codificación en unidades hidrográficas y organiza el territorio de una forma muy simple, respetando la organización natural del territorio que proporciona información muy apropiada de ubicación de la unidad hidrográfica en el subcontinente. Los códigos de cada cuenca son únicos y de pocos dígitos (INETER et al., 2014).

1.2.3. Unidades hidrográficas Nicaragua

El territorio nicaragüense fue dividido en seis unidades hidrográficas: La cuenca del Río Coco, Cuenca de la Región Autónoma del Atlántico Norte, Cuenca del Río Grande de Matagalpa, Cuenca de la Región Autónoma del Atlántico Sur, Cuenca del Río San Juan de Nicaragua y Cuenca del Pacífico (CIRA-UNAN, 2016), tal como se puede apreciar en la Figura 7.

Figura 7. Mapa de unidades hidrográficas de Nicaragua



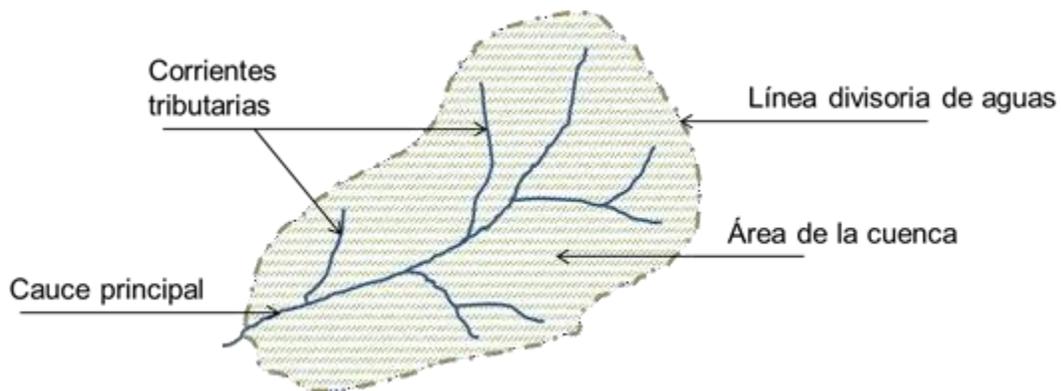
Fuente: INETER et al., (2014)

1.2.4. Morfología de la cuenca

Es el estudio cuantitativo de las particularidades físicas de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. Dentro de este contexto, es importante señalar que las mediciones deben ser realizadas sobre un mapa con suficiente información hidrográfica y topográfica (Cardona, 2012).

La morfometría particular de cada cuenca hidrográfica, ante eventos climáticos, está relacionada con la posibilidad de aprovechamiento hídrico y con la generación de una respuesta a los mismos, como la escorrentía superficial expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran (Gaspariet al., 2012).

Figura 8. Componentes de la cuenca



Fuente: Córdova (2016)

El tamaño de la cuenca es una característica que influye en el escurrimiento superficial, ya que al incrementarse el tamaño se aumenta el volumen escurrido y los escurrimientos máximos. Las cuencas por su tamaño se les puede clasificar como:

Tabla 4. Clasificación del tamaño de cuenca

Carácter	Área (km ²)
Pequeñas	< de 50
Medianas	de 50 a 150
Grandes	> de 50

Fuente: Gámez (2010)

a. Parámetros de forma

La forma de la cuenca condiciona la velocidad del escurrimiento superficial. Para cuencas de igual superficie y formas diferentes se espera un comportamiento hidrológico también diferente. La medición de los factores de forma de una cuenca se realiza por

medio de una metodología que permite cubrir dos objetivos. El primero, es que permite comparar la forma de la cuenca con figuras geométricas conocidas; el segundo, es que permite comparar los resultados de las mediciones, los cuales son adimensionales, con los obtenidos en otras cuencas en las que se puede tener mayor información histórica de su comportamiento hidrológico (Cardona, 2012).

Tabla 5. *Parámetros de forma de la cuenca.*

Parámetro de forma	Unidad de medida	Definición
<i>Perímetro (P)</i>	Km	Es la medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, a lo largo de la divisoria de aguas topográficas.
<i>Longitud Axial (La)</i>	Km	Es la distancia existente entre la desembocadura y el puntomás lejano de la cuenca. Es el mismo eje de la cuenca. Es la longitud de la línea recta que conecta los puntos extremos de la cuenca en forma aproximadamente paralela al curso principal
<i>Longitud del curso principal I(L)</i>	m	Es la longitud del río desde el punto más distante de la cuenca hasta la desembocadura.
<i>Longitud total del drenaje (Ln)</i>	Km	Es la longitud definida con la sumatoria de las longitudes de todos los cursos de agua que drenan por la cuenca
<i>Coefficiente de sinuosidad total (S)</i>	Adimensional	Es la relación entre la longitud del río principal a lo largo de su cauce (L) y la longitud en línea curva o recta entre el inicio y final del cauce (Ld).
<i>Área (A)</i>	Km ²	Es la superficie encerrada por la divisoria de aguas.
<i>Ancho promedio (Ap)</i>	Km	Es la relación entre la superficie de la cuenca por su longitud axial (La).

*Factor
deforma
(IF)*

Adimensional Es un factor adimensional que indica como se regula la concentración del escurrimiento superficial en la cuenca hidrográfica. Se expresa como la relación entre el ancho promedio de la cuenca y su longitud axial.

Manifiesta la tendencia de la cuenca hacia las crecidas. Cuando IF es similar a 1, representa una cuenca de formaredondeada. La cuenca con IF bajo, se caracteriza por ser una cuenca alargada, y son menos propensas a tener

lluvias intensas y simultáneas sobre su superficie y estará

Coefficiente de compacidad de Gravelius (Kc)

Adimensional

sujeta a crecientes de menor magnitud, que un área de igual tamaño con un factor de forma mayor (Henao, 1989). Una cuenca de forma triangular, con dos vértices en las cabeceras, afluentes de similar longitud y sincronismo en la llegada, provocará crecidas más significativas.

Relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente al de la cuenca. El círculo teórico representa un límite que define la forma y la superficie que abarca la cuenca vertiente, teniendo influencia sobre los escurrimientos y sobre la marcha del hidrograma resultante de una precipitación.

Para explicar el Kc de una cuenca, se ha propuesto su comparación con una cuenca ideal de forma circular, con sus tributarios dispuestos radialmente y que desembocan en el punto central (López Cadenas de Llano, 1998). Se expresa como una relación entre el perímetro (P (km)) y su superficie (A (km²)), por medio de la Ecuación 1.

$$Kc = P / (2 \sqrt{\pi \times A})$$

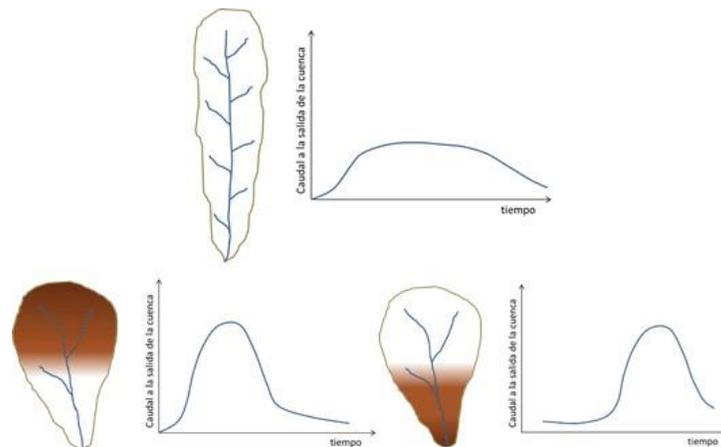
El Kc está relacionado estrechamente con el tiempo de concentración, que es el tiempo que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida.

Según el valor que tome este coeficiente, la cuenca tendrá diferente forma: $K_c = 1.00$ representa una cuenca redonda; $K_c = 1.25$, oval redonda; $K_c = 1.50$ oblonga; K_c igual o mayor a 1.75 indica una cuenca rectangular-oblonga. Su valor será mayor que la unidad y crecerá con la irregularidad de la forma de la cuenca. A medida que su K_c tiende a 1, es decir cuando tiende a ser redonda, la peligrosidad de la cuenca a las crecidas es mayor, porque

las distancias relativas de los puntos de la divisoria con respecto a uno central, no presenta diferencias mayores y el tiempo de concentración se hace menor, por lo tanto, mayor será la posibilidad de que las ondas de crecidas sean continuas

Fuente: Cardona (2012), Elaboración propia

Figura 9. Efecto de la forma de la cuenca en el tiempo de concentración



Fuente: Córdoba (2016)

b. Parámetros de relieve

A mayor pendiente, corresponderá una menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje y afluentes del cauce principal (Cardona, 2012), entre los parámetros destacan:

- **Curva hipsométrica adimensional (CHA):** Expresa el potencial evolutivo de la cuenca hidrográfica, por medio de un gráfico de dos ejes, donde la ordenada representa la altura relativa (h/H) y la abscisa el área relativa (a/A), donde:

h: Intervalo entre curvas de nivel (m),

H: Desnivel total de la cuenca (m),

A: Superficie total de la cuenca (ha)

a: Área entre curvas de nivel (ha).

Su forma es sigmoïdal, cóncava hacia arriba en la parte superior y convexa en la parte baja. El grado de sinuosidad es muy variable, igual que la pendiente en el punto de inflexión. Cuando las curvas hipsométricas presentan variaciones, ya sea por apartarse de las teóricas o por presentar más de un punto de inflexión, puede relacionarse con controles tectónicos o litológicos particulares (Gaspari et al., 2012).

Figura 10. Cambio de forma en curva hipsométrica con la edad del río



Fuente: (Gámez Morales, 2010)

- **Pendiente media de la cuenca (PM):** El proceso de degradación a que se ve sometida una cuenca hidrográfrica, al igual que el caudal máximo, están muy influenciados por la configuración topográfica, debido a que el poder erosivo se manifiesta en mayor o menor grado de acuerdo a los distintos grados de pendiente (Gaspari et al., 2012; Henao, 1989)

Para determinar la pendiente media (PM) de la cuenca se requiere utilizar el mapa topográfico y aplicar la siguiente ecuación:

$$PM = 100 [(H \times L) / A]$$

Donde:

PM: Pendiente media (%),

H: Distancia vertical entre curvas medidas (equidistancia) (km)

L: Longitud total de las curvas de nivel (km)

A: Superficie (km²)

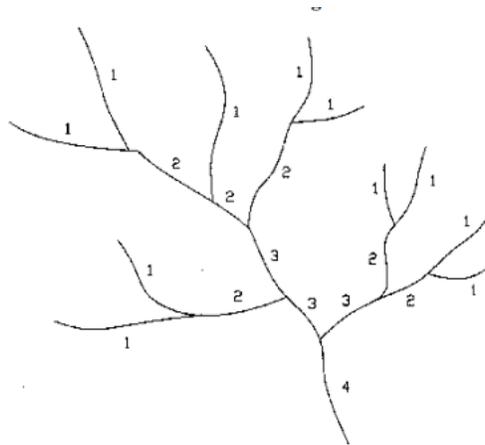
- **Coefficiente de rugosidad (Ra):** Es la relación existente entre el desnivel de la cuenca (H) y su densidad de drenaje (Dd). Es adimensional (Gaspari et al., 2012), donde las cuencas muy disectadas con bajo relieve presentan un Ra similar a cuencas moderadamente disectadas y con un alto relieve.
- **Orientación de ladera:** Es la dirección geográfica con respecto al norte geográfico, según la resultante de la pendiente general de las laderas de la cuenca. Su análisis se realizó en un mapa que indica la orientación con SIG sobre el modelo digital de elevación (Gaspari et al., 2012).

c. Parámetros de la red de drenaje

- **Hidráulica de la red fluvial:** La morfología de los canales fluviales naturales depende de la interacción entre el flujo y los materiales erosionables en el límite del canal. Por su parte, el flujo de agua está sometido a dos fuerzas principales: la gravedad y la pendiente del canal, mientras que la fricción se opone al movimiento del agua. En atención a ello, el movimiento del agua se puede producir el régimen laminar o en régimen turbulento (Ibañez et al., 2011).
- **Orden de los cauces:** El orden de las corrientes es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca. Existen varios métodos para realizar tal clasificación.

Se consideran corrientes de primer orden, aquellas corrientes fuertes, portadoras de aguas de nacimientos y que no tienen afluentes. Cuando dos corrientes de orden uno se une, resulta una corriente de orden dos. De manera general, cuando dos corrientes de orden i se unen, resulta una corriente de orden $i+1$. Cuando una corriente se une con otra de orden mayor, resulta una corriente que conserva el mayor orden (Cardona, 2012).

Figura 11. Orden de ríos en la cuenca por método de Horton



Fuente: (Cardona, 2011)

- **Relación de bifurcación (Rb):** Horton también introdujo este concepto para definir el cociente entre el número de cauces de cualquier orden (N_u) y el número de cauce de orden (u) del siguiente orden superior (Cardona, 2012), es decir:

$$Rb = N_u / N_{u+1}$$

Donde:

Rb = relación de bifurcación

N_u = número total de cauces con orden U

U = número de orden de cauce

Las relaciones de bifurcación varían de 3.0 a 5.0 para cuencas en las cuales las estructuras geológicas no distorsionan el modelo de drenaje. En condiciones naturales y en general, el valor promedio es 3.5. Coates encontró que la R_b de corrientes de primero a segundo orden varía de 4.0 a 5.1 y de las de segundo a tercer orden varía de 2.8 a 4.9 (Cardona, 2012).

- **Tiempo de concentración:** Es el tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la sección de salida, calculándose mediante la siguiente ecuación:

$$tc = 14.6 * L * A^{-0.1} * S^{-0.2} \text{ Ec.Bransby-Williams}$$

Donde:

tc = Tiempo de concentración (hr).

S = Pendiente promedio del cauce principal (m/m).

L = Longitud del curso de agua más largo (km).

A = Área de la cuenca (km²).

1.3. Sistemas de Información Geográfico

La principal característica de un SIG es que está diseñado para trabajar con datos referenciados con respecto a coordenadas espaciales o geográficas, así como trabajar con distintas bases de datos de manera integrada, permitiendo así generar información gráfica (mapas) útil para la toma de decisiones. Estos mapas ayudan a condensar varios aspectos de la realidad de una zona cuyo objetivo es reconocer la existencia de patrones espaciales sobre algún fenómeno de interés (Jiménez, 2012).

Los SIG al trabajar de manera integrada la información permiten establecer una mejor comunicación entre varios sectores, permitiendo un balance entre las metas de los diversos sectores involucrados y facilitar la toma de decisiones que permitan el aprovechamiento de recursos de manera sostenible (Jiménez, 2012).

1.3.1. Herramienta de ArcGIS

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es una plataforma para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cual es utilizado por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios (ESRI, 2019).

1.4. Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Uribe (2010), define al SWAT como un modelo continuo de tiempo, es decir un modelo conformado a largo plazo, que no está diseñado para simular un solo acontecimiento de flujo detallado. Según Uribe (2010), el SWAT requiere información específica sobre el clima y tiempo, propiedades del suelo, topografía, vegetación y prácticas de manejo de tierra.

1.5. Sequía

La sequía se define, como una reducción temporal notable del agua y la humedad disponible, por debajo de la cantidad normal o esperada para un periodo dado, (Escoto, 2019).

1.5.1. Tipos de sequía

La sequía es uno de los fenómenos climatológicos de mayor repercusión a nivel social, económico y ambiental en todo el mundo, manifestado en dos: (Sequía Meteorológica, sequía hidrológica, Sequía Agrícola y Sequía socio-económica).

Según Silva Paredes (2017), la sequía meteorológica se presenta cuando en un determinado periodo la precipitación es mucho menor a la normal y genera una deficiencia hídrica que, en dependencia de su intensificación y prolongación en el tiempo; mientras que la sequía agrícola se registra cuando la escasez de la precipitación, la evaporación y el déficit de agua en el suelo se combinan para obstaculizar las etapas de crecimiento de los cultivos, provocando una reducción en el número de plantas para una determinada área por una baja germinación y una disminución considerable de los rendimientos de cultivos.

La sequía Hidrológica está referida a los efectos de períodos de precipitación relativamente cortos, es decir a los escurrimientos a nivel de superficie y subsuelo, su impacto se ve reflejado en la recarga de acuíferos, lagos, presas. Los efectos son de

largo plazo, es decir, en tanto la sequía agrícola presenta un efecto inmediato en los cultivos, la sequía hidrológica puede afectar la producción agrícola de varios años, la producción hidroeléctrica o la extracción de agua del subsuelo, (Escoto, 2019).

De acuerdo con, Escoto (2019), la sequía en el sector socio-económico, ocurre cuando las lluvias son insuficientes y tienen un efecto significativo sobre las comunidades y su economía (energía hidroeléctrica, aprovisionamiento en agua potable, en la industria, etc.).

1.5.2. Riesgo de sequía y adaptación en la producción de cultivos de cosecha

El riesgo es la probabilidad de que se produzcan pérdidas socio-económicas en un determinado momento y en un área determinada del territorio, a causa de una amenaza INETER & COSUDE, (2005). La producción agrícola está sujeta a una variedad de riesgos que pueden poner en peligro la continuidad de la actividad y por lo tanto, la posibilidad de generar ingresos a un grupo de la población.

Una vez asumida la existencia de un determinado riesgo específico, pueden aplicarse una serie de estrategias tendientes a tomar control sobre este riesgo. El empleo de mecanismos estabilizadores, como los involucrados en la gestión de riesgo, marcan la diferencia entre los distintos productores que conforman el sistema agrícola, la capacidad de adaptación está directamente relacionada con la gestión del riesgo. Esto significa que a medida que se incorporan estrategias de manejo de riesgo aumenta la adaptación del productor a los fenómenos adversos, contribuyendo a disminuir su vulnerabilidad, (Escoto, 2019).

1.6. Escenarios globales de cambio climático

Los modelos globales de clima constituyen actualmente la herramienta básica de que se dispone para estudiar los procesos que conforman el estado del clima. Por esta razón resultan imprescindibles para derivar la respuesta del clima a las perturbaciones inducidas por actividades humanas, (Gaertner, 2012).

1.7. Estrategias de resiliencia ante el cambio climático

Para poder tomar medidas de mitigación del cambio climático antropogénico y de adaptación a sus consecuencias, es necesario disponer de información sobre la evolución previsible del clima. Una herramienta básica para ello son los denominados escenarios de cambio climático. Un escenario de cambio climático es una descripción coherente, internamente consistente y plausible de una evolución futura posible del clima. Los escenarios no son predicciones, sino posibilidades alternativas que dependen de factores cuyo desarrollo no podemos predecir, (Gaertner, 2012).

1.8. Cosecha de agua

La cosecha de agua no es un concepto nuevo; existe desde hace miles de años y se aplica en muchas partes del mundo a través de una gran variedad de técnicas y prácticas. Todas estas formas de manejo tienen en común que permiten incrementar la interceptación, retención, almacenamiento (superficial, subsuperficial o subterráneo) y regulación de las aguas de lluvias que precipitan, momentáneamente, en un determinado territorio, con la finalidad de crear una mayor reserva de agua local o descargas de agua menos abruptas y más regulares (Jan, 2018).

1.8.1. Métodos de captación de agua

Por el momento, hay varias iniciativas tanto públicas y privadas que han empezado a trabajar con el sistema de recolección de agua de lluvia, entre ellas existen cinco técnicas más usuales y sostenibles (Calero, 2018):

1. **Micro captación:** Consiste en captar la escorrentía (agua de lluvia que corre libremente sobre la superficie de un terreno) generada dentro del propio terreno de cultivo, para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos.
2. **Macro captación:** La macro captación, se utiliza en regiones semiáridas o áridas, aunque algunas captaciones externas se aplican también en regiones subhúmedas. Es similar a la anterior, pero en áreas más grandes, sin o con escasa cobertura vegetal, para que genere un volumen considerable de flujo superficial

hacia el área de cultivo.

3. **Cosecha de agua de techos y otras estructuras impermeables:** Es la modalidad más conocida y difundida de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Consiste en captar la escorrentía producida en techos de viviendas y establos, patios de tierra batida, superficies rocosas. La captación de esta agua, es la de mejor calidad para consumo doméstico.
4. **Captación de aguas subterráneas y freáticas:** En muchas regiones con déficit hídrico hay posibilidades de aprovechamiento de aguas subterráneas y freáticas para diferentes finalidades, dependiendo de la calidad, disponibilidad y modalidad de extracción.
5. **Captación de agua atmosférica:** En algunas condiciones de clima y orografía, es factible la captura y aprovechamiento de la humedad atmosférica que se desplaza cerca de la superficie en forma de niebla.

1.8.2. Sistemas de Cosecha de agua por escorrentía

Los sistemas de captación de escorrentía se recomiendan, de forma muy especial, para las zonas donde se presentan problemas de escasez de agua. En estos lugares, el agua captada se transforma en una real alternativa para enfrentar los problemas derivados de la irregularidad de las lluvias, y de la falta de agua en la estación seca, popularmente conocida como “verano” (CATIE et al., 2018b).

1.8.3. Selección del sitio

La selección de un sitio apropiado para construir el sistema de captación de escorrentía es clave para su éxito. Igualmente, importante es su diseño, que debe ser elaborado por personal especializado y experimentado, con capacidad para acceder y manejar información agroclimática, vital para echar a andar el proceso (CATIE et al., 2018b).

1.8.4. Manejo Integrado de Sistema de Cosecha de Agua

Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí y que funcionan como un todo. En el caso de los sistemas de cosecha de agua sus componentes son: área de recarga, reservorio y área de cultivo. La durabilidad de estos sistemas depende del diseño, calidad de los materiales del reservorio, protección de la zona de recarga, del uso adecuado y el mantenimiento de los diversos componentes. El mantenimiento requiere ser integral, dado que, al funcionar inadecuadamente cualquier componente, se pone en riesgo todo el sistema o se dejan de cumplir los objetivos para los que fue concebida la obra en su conjunto (CATIE et al., 2018c).

Se encuentran con ello los siguientes componentes:

- **Manejo del área de recarga:** Estimulación de la regeneración natural del bosque, reforestación de árboles nativos, establecimiento de barreras vivas, construcción de acequias, construcción de barreras muertas, siembra y manejo de pastos naturales, construcción de cárcavas, uso de rastrojos como cobertura de suelo, pastoreo en áreas de recarga con obras de conservación de suelos y agua.
- **Manejo del reservorio:** Mantenimiento de la capa de arcilla en buen estado, chequeo permanente al plástico negro o geomembrana para soldar roturas, protección de taludes externos, siembra de zacate o grama de amarre, mantenimiento y protección de la corona, mantenimiento y protección del vaso, mantenimiento de la obra de toma y la tubería, mantenimiento del vertedero, mantenimiento de la cerca de alambre y métodos para la reducción de

evaporación de agua en el reservorio.

- **Manejo del área agrícola y abrevadero:** Labranza mínima con cobertura vegetal, prácticas agrícolas que reducen la evapotranspiración, uso de tecnologías de riego para un mejor aprovechamiento de agua, micro riego por goteo, riego por aspersión, micro riego por gravedad, uso apropiado del agua en el abrevadero.

1.9. Desarrollo rural

Existe una visión del desarrollo centrada en el aumento de la producción a través de la adopción de tecnología; lo que podríamos llamar «desarrollo agrícola» o «agrario» (racional para determinados sectores); y hay otra visión del desarrollo centrado en las personas, visión más adecuada cuando se trabaja con poblaciones de bajos recursos, que se identifica con el desarrollo rural. El empoderamiento, el fortalecimiento de las personas y de las organizaciones en lo que hace a sus capacidades de superación para poder influenciar el futuro en la dirección adecuada a sus intereses, constituye un objetivo implícito o explícito actual de los proyectos por su importancia para la sustentabilidad de los efectos generados en la ejecución (Gravina & de Hegedus, 2011).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En este acápite se estará abordando la metodología que se llevará a cabo dentro de la investigación, declarándose el enfoque y tipo de estudio, así como los métodos, técnicas e instrumentos en conjunto con la recopilación de información. A su vez, se estará describiendo el trabajo de campo y de análisis para la obtención de insumos dentro de la investigación.

3.1. Enfoque de investigación

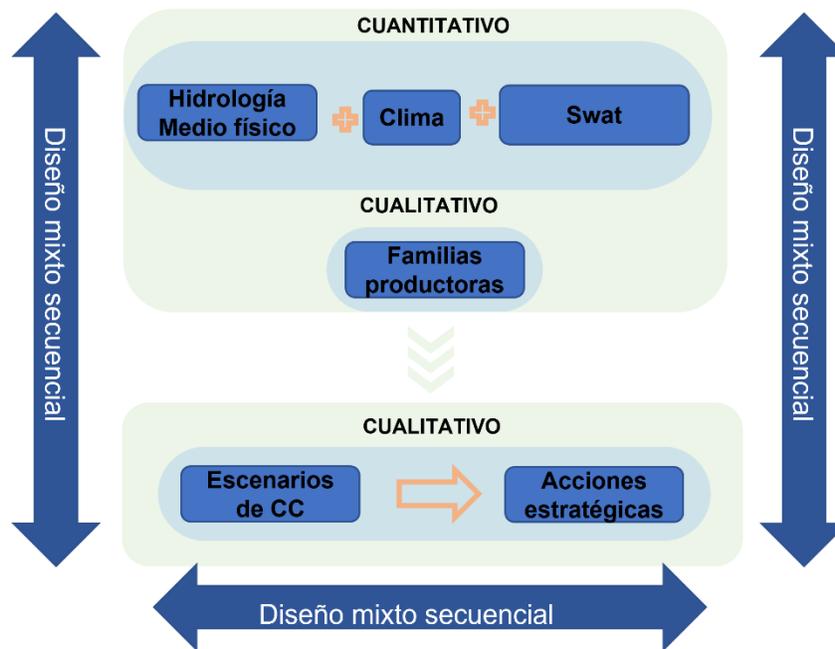
El paradigma que se estará abordando en la investigación será el dialéctico (mixto), el cual consiste en la integración de métodos cuantitativo y cualitativo a partir de los elementos que integran dicho estudio, lo cual permitirá producir datos más ricos y variados mediante la multiplicidad de observación, ya que se considerarán diversas fuentes y tipos de datos.

Dentro de este mismo enfoque se abordará específicamente el diseño anidado o incrustado concurrente del modelo dominante (DIAC), dado que se estará recopilando información cuantitativa, como es el caso de levantamiento de información del medio físico, climático (temperatura y precipitación) e hidrológico de las unidades hidrográficas en estudio.

Concurrente a lo anterior, se llevaría a cabo un enfoque cualitativo lo cual va alineado a parte de la caracterización física de la zona de estudio (textura y cobertura de suelo, geología, etc.), así como la descripción hidrológica de las unidades hidrográficas. Así mismo, se obtuvo a través de entrevistas información de familias productoras.

A partir de lo anterior, se obtuvo una meta inferencia cualitativa secuencial, donde abarca evaluación de las condiciones hidroclimáticos y la demanda de agua de las familias productoras en el área de estudio para la propuesta de estrategias de resiliencia en sitios afectados de alguna forma por efectos del cambio climático, y acciones de manejo de los sistemas de cosecha de agua para las familias productoras (Figura 12).

Figura 12. Enfoque de investigación



3.2. Tipo de investigación

Según Hernández Sampieri et al., (2014), el tipo de estudio es mediante un diseño no experimental, se basó en que no cuenta con una manipulación deliberada de las variables, y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos, la investigación cuenta con un enfoque temporal del tipo transversal debido a la recolección de datos en un tiempo dado entre 2021 a 2022, con un alcance del tipo exploratorio, descriptivo y correlacional.

El paradigma que se abordó en la investigación, es un dialéctico (mixto), el cual consiste en la integración de métodos cuantitativo y cualitativo a partir de los elementos que integran dicho estudio, lo cual permitió producir datos más ricos y variados mediante la multiplicidad de observación, ya que se consideraron diversas fuentes y tipos de datos, (Hernández Sampieri et al., 2014).

3.3. Unidad de análisis

El universo lo conforma, el conjunto de condiciones y componentes del medio en que se encuentra la zona de estudio, tales como la lluvia, temperatura, suelo, caudal y variables que afectan a las antes mencionadas. La muestra está dada por el registro de cinco estaciones pluviométricas ubicadas adyacentes y en el interior de las unidades hidrológicas de estudio, así como por el centroide del área que registran temperatura. Además de ello, se realizaron nueve extracciones de suelo, donde, se tomó muestras para granulometría, parámetros físicos y químicos, en estos mismos sitios de muestreo se efectuaron nueve pruebas de infiltración (ver subacápite 3.7.1). A continuación, se presenta las coordenadas de las estaciones meteorológicas pluviométricas:

Tabla 6. Estaciones pluviométricas (PV) del área de estudio

ID	Estación	Este	Norte	Elevación	Tipo
1	El Espino	530125	1486272	890	PV
2	San José de Cusmapa	537553	1468776	1270	PV
3	La Sabana	541471	1484993	1275	PVR
4	San Lucas	542222	1482606	795	PV
5	Miquilse	533750	1478347	994	PV

Nota: PV: Pluviométrica, PVR: Pluviográfica

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de información

De acuerdo con la hipótesis en la que se centra la investigación “Las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698, presentan afectaciones por el impacto del cambio climático”, la siguiente etapa consistió en la recolección de datos e información pertinente sobre los atributos, conceptos o variables de la unidad de muestreo. Para ello, se trabajó cada técnica e instrumento de recolección de información por cada objetivo planteado en la investigación, tal como se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7. *Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de información*

Objetivo	Métodos	Técnica	Instrumento
Caracterizar las condiciones físicas, hidroclimáticas las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698	Observación	Observación no participante	Registro de observación
			Diario de campo
			Base de dato de obras
			Fotografía de reporte
	Método normalizado de campo	Mapeo de las obras, sitios de aforo y pruebas de infiltración	Coordenadas y SIG
			Equipo de recolección de muestras

Modelar a través del SWAT escenarios de eventos extremos de sequía que se han presentado en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698	Método normalizado de campo	Mapeo de condiciones físicas, hidroclimáticas, cobertura y textura de suelo de la zona	Coordenadas
		Registros de campo	Estadística
			Bases de datos
	Resultados de campo		
	Método normalizado de laboratorio		Análisis de laboratorio
Proponer acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afecten los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas	Estrategias	Registro	Base de datos
		Talleres	Análisis del modelo
		Capacitaciones	Conferencias

3.5. Procesamiento de información

El proceso de información consiste en recopilación de información primaria y secundaria. La primera, proporciona información de primera mano. Su utilización permite conocer los fenómenos tal y como suceden en la realidad. En este caso se contó con muestreos de textura de suelo y calidad de agua, así como entrevistas realizadas a familias productoras. Por otra parte, la información secundaria es aquella que hace referencia a datos obtenidos o generados con anterioridad (precipitación, temperatura, mapeos, etc.).

3.5.1. Recopilación de información secundaria

Para el estudio, se recopilaron datos climáticos tales como precipitación y temperatura en el periodo de 1981 hasta 2021. Para ello se utilizaron datos de las estaciones pluviométricas El Espino, Miquilce y La Sabana, los cuales fueron facilitados por INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). No obstante, dado que las estaciones no tenían datos de precipitación completos se utilizaron datos de Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), como datos complementarios de precipitación.

Con respecto a la temperatura, se utilizaron los datos de Power Data Acces Viewer V2.0.0, debido a que cerca de la zona de estudio no se contaba con una estación meteorológica que contara con datos de temperatura.

Se realizaron perforaciones de suelos con dimensiones de 46 cm de profundidad y un diámetro de dos pulgadas, distribuidas de acuerdo al mapa de taxonomía de suelo de MARENA, (2018). A la par de esta actividad, se realizó toma de muestras para determinación de granulometría en laboratorio (UNI-RUPAP), utilizando el método de hidrómetro de Bouyoucos. Esta actividad se realizó con el objetivo de obtener los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente representativos para el área de estudio.

3.5.2. Recopilación de información primaria

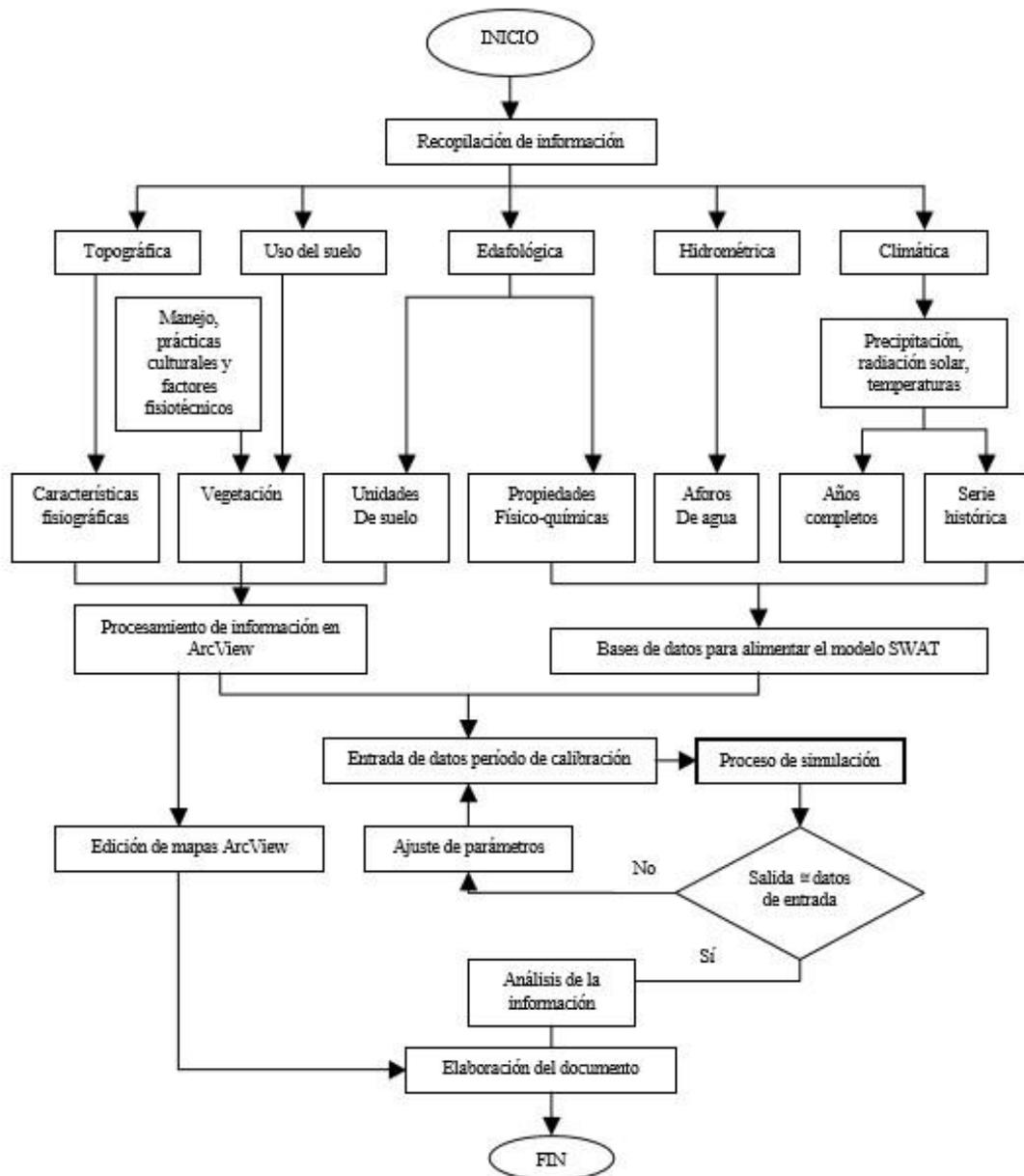
Para la recolección de información primaria se realizaron cuatro visitas de campo, las cuales constaron de gira de reconocimiento (agosto 2021), levantamiento de campo de periodo lluvioso (octubre 2021), acercamiento social (diciembre 2021) y levantamiento de campo periodoseco (febrero 2022).

A través de las giras de campo ejecutadas, se realizaron campañas de muestreo de calidad de agua en periodo lluvioso y periodo seco, así como muestreo de suelo y pruebas de infiltración, siendo datos de relevancia para el análisis técnico del estudio. Por otra parte, se realizaron entrevistas hacia actores sociales claves, con el fin de aplicar los resultados técnicos al panorama socio-económico de las familias productoras.

3.6. Metodología de trabajo

En la Figura 13, se presenta el modelo metodológico llevado a cabo dentro de la investigación, con la finalidad de dar respuesta a cada uno de los objetivos:

Figura 13. Flujograma del modelo metodológico general de la investigación



3.7. Trabajo de campo

El trabajo de campo, consistió en las actividades in situ que fueron necesarias para la recopilación de información.

3.7.1. Muestreo de suelo

Se establecieron nueve sitios en los que se realizaría muestreo de suelo, con el fin de obtener su textura, densidad aparente, densidad real, porosidad total, capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Dichos análisis fueron realizados por el laboratorio de edafología de la UNI-RUPAP.

Los puntos fueron seleccionados a partir de mapas geológicos, topográficos, uso y cobertura de suelo, y orden de suelos en la zona de estudio, con la intención de abarcar sitios claves para la realización de dicha actividad.

Con respecto a la colecta de muestra, se realizó una muestra alterada y una inalterada por cada sitio seleccionado (Figura 14 y 15). Para la primera se realizó una limpieza de la capa superficial de la tierra, retirando grama, raíces y una somera capa de tierra; para la segunda muestra se utilizó un hand auger el cual se inserta a 0.46 cm de profundidad para obtener un analito del cual se retira la capa expuesta con la superficie.

Figura 14. Colecta de muestra inalterada y alterada



Nota: a. Una vez limpiada la zona, se inserta el hand auger con ayuda de un mazo, b. Inserción de los 0.30 metros de profundidad de la herramienta, c. Retiro del hand auger para proceder a guardar la muestra (a,b, y c son para muestras inalteradas), d. Excavación de muestra alterada.

La muestra inalterada debe tener el mínimo contacto con los técnicos responsables debido a que es una muestra sensible, y las herramientas utilizadas (hand auger y machete) deben estar limpias para no alterar el analito.

Figura 15. Preservar muestra inalterada de suelo



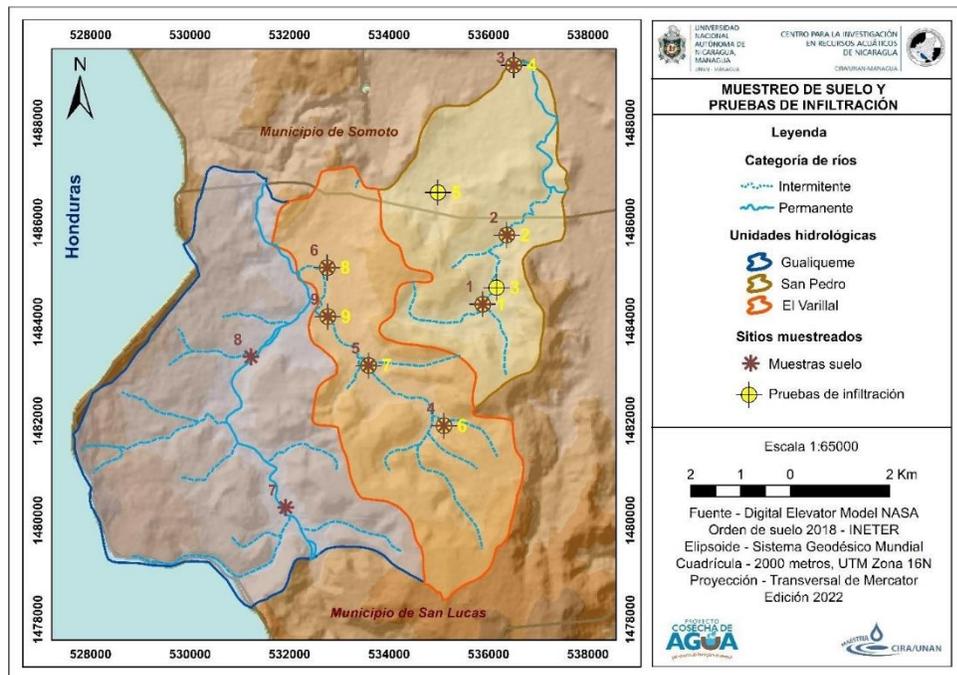
Nota: a. Una vez retirado el hand auger se desmonta y se retira la capa de suelo superficial donde se observen cortes naturales, b. La capa de suelo inferior compactada se llevará a una bolsa limpia, c. La muestra se traslada a una bolsa con el mínimo contacto para su preservación hasta el día que se analicen las muestras en laboratorio.

Figura 16. Muestras de suelo del área de estudio



Nota: a. Muestras de suelo de un sitio, b. Total de muestras colectadas en campo entregadas al laboratorio.

Figura 17. Sitios en que se realizó prueba de infiltración y muestreo de suelo



Nota: Los ID corresponden a los sitios muestreados.

3.7.2. Pruebas de infiltración

Se localizaron once puntos donde se estarían realizando pruebas de infiltración, para lo cual se consideró el tipo y orden de suelo, así como el uso y cobertura, considerando a la vez las planicies mediante el mapa topográfico.

Se utilizó el método de Porchet, o ensayo de nivel constante donde se excavó un hoyo de un poco más de 0.30 m de profundidad el cual era llenado con agua y se introducía una regla hueca en el suelo para realizar lecturas cada minuto (los primeros 20 minutos de la prueba), seguido de lecturas de dos minutos otros 20 minutos de la prueba y cada cinco minutos hasta que se estabilizara la absorción del suelo en la prueba.

En la Figura 18, se observa el proceso práctico realizado en campo para la realización de la prueba de infiltración:

Figura 18. Prueba de infiltración dentro del área de estudio



Nota: a. Preparación del terreno y excavación del hoyo, b. Introducción de la regla y llenado de agua hasta los 0.30m de altura, c. Lectura de absorción, d. Estabilización y/o saturación de ensayo.

3.7.3. Aforo de ríos

Se establecieron diez sitios de aforo, con el fin de obtener caudales del periodo lluvioso de la parte alta, media y baja de las unidades hídricas. De acuerdo con Valdivielso (2020), aforar es medir la cantidad de agua que lleva una corriente en una unidad de tiempo.

Se utilizó la metodología de Aforo directo, para lo cual se necesita algún aparato o procedimiento para medir el caudal; un ejemplo de aforo directo es la medida tomada por un molinete (Valdivielso, 2020). Para ello se utilizó el molinete modelo USGS Type AA 6200 (Figura 19); según Campos (2008), es funcional para caudales pequeños, caudales mayores y velocidades intermedias.

Figura 19. Medición de caudal en río

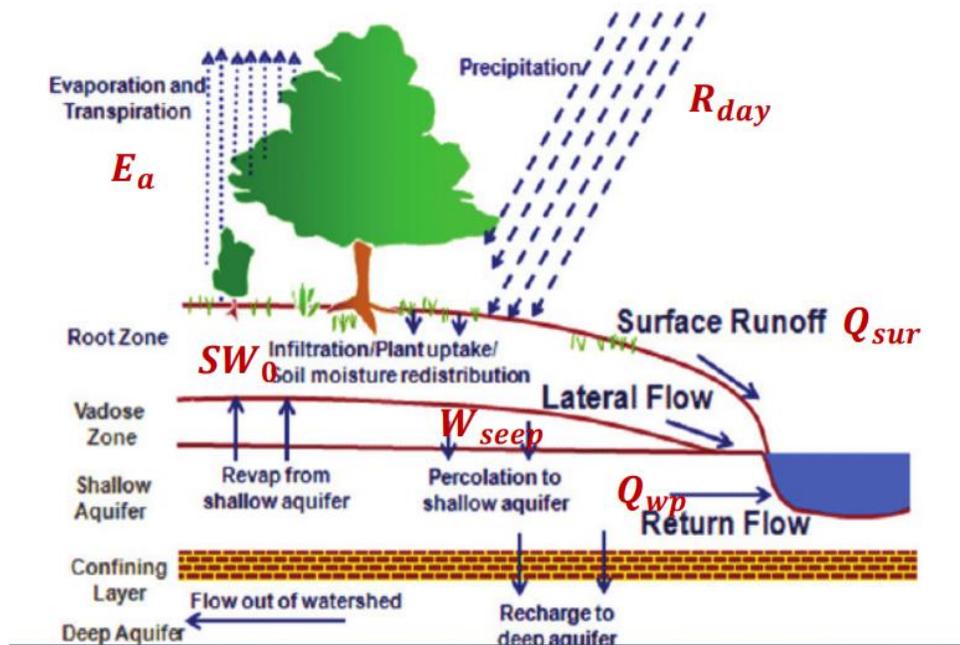


Nota: a. Molinete USGS Type AA 6200, b. Realización de aforo, c. aforo en El Varillal.

3.7.4. Método del modelo SWAT para proyección

La simulación de la relación precipitación-escorrentía se hace en una primera etapa mediante el balance hídrico en cada HRU de la subcuenca. El módulo hidrológico del SWAT considera los siguientes procesos:

Figura 20. Modelo conceptual SWAT



Fuente: (Uribe, 2010b)

A continuación, se detallan las ecuaciones propuestas, (Uribe, 2010b):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{sur} - E_a - W_{seep} - Q_{wp})$$

Donde,

SW_t: contenido de agua en el suelo (mm H₂O)

SW₀: contenido inicial de agua del suelo en un día i (mm H₂O)

t: tiempo (días)

R_{day}: cantidad de precipitación en un día i (mm H₂O)

Q_{surf}: cantidad de escorrentía de la superficie en un día i (mm H₂O)

E_a: cantidad de evapotranspiración en día i (mm H₂O)

W_{seep}: cantidad de agua que percola en el perfil del suelo en un día i (mm H₂O)

Q_{gw}: cantidad de flujo de retorno en un día i (mm H₂O)

3.7.5. Entrevista a pobladores

Previo a la gira denominada “Acercamiento Social”, en la cual se ejecutaron entrevistas a pobladores y familias productoras, se desarrolló un diagnóstico de las comunidades que se encuentran dentro de las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698 siendo estas: El Varillal, San Pedro y Gualiqueme. Todo ello a partir de los informes de San Lucas y Somoto en cifras (INIDE, 2008) y con información de la III CENAGRO (INIDE & MAGFOR, 2002), con el fin de reconocer la situación con respecto a la obtención de agua, actividades económicas y salud, las cuales se consideraron fuertemente relacionadas en la zona de estudio.

El diagnóstico contenía lo que refiere al área de estudio (desde una perspectiva geográfica con respecto a las unidades hidrológicas de interés y las comunidades), la población, viviendas, hogares, pobreza, cifras agropecuarias y obras de cosecha de agua.

Se decidió realizar entrevistas cualitativas, las cuales son, según Sampieri (2014, p. 403): “más íntima, flexible y abierta, definiéndose como una reunión para conversar e intercambiar información entre una persona (entrevistador) y otra (entrevistado) u otras (entrevistados). En el último podría ser una pareja o un grupo pequeño como una familia”.

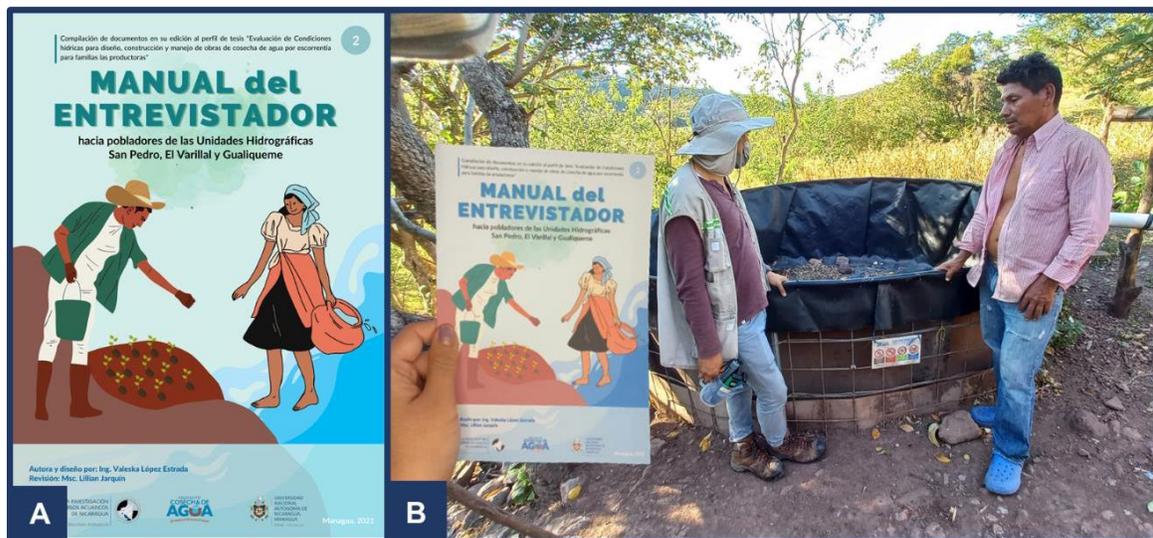
Con el propósito de construir un lazo de confianza entrevistado – entrevistador, y obtener información más precisa sobre las variables a investigar, se llevó a cabo una entrevista no estructurada, puesto que según Sampieri (2014, p. 403), dicha entrevista se fundamenta en una guía general de contenido y el entrevistador posee toda la flexibilidad para manejarla. En la entrevista, se llevó a cabo una guía de diez tópicos (Anexo 9.4.1 - Guía de tópicos), que se desarrollaron de una forma “platicada”, para no crear un escenario de “preguntas y respuestas”, y de esa forma crear un ambiente de confianza donde el entrevistado/os se sintieran cómodo/dos y se obtenga información más veraz.

Cabe destacar, que esta gira tuvo el apoyo de otros dos tesisistas que forman parte del proyecto *“Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático a través de la Cosecha*

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

de Agua en Nicaragua”, a quienes se les explicó el modelo de entrevista que se estaría llevando a cabo, y se les hizo entrega de un manual donde se orientaba el propósito de cada una de las preguntas guías que se estarían realizando (Figura 21). Esto con la idea de que como entrevistadores no se vieran forzados a realizar las preguntas como tal, sino, más bien acomodar la entrevista a su estilo, pero respetando los puntos que eran necesarios recopilar.

Figura 21. Manual de entrevista a pobladores llevado a la práctica



Nota: a. Manual de entrevista, b. Entrevista a productor quien fue beneficiado por tanque Zamorano, ilustración realizada por la Ing. Valeska López.

Con respecto a las personas entrevistadas, fue enfocada a cuatro tipos de personas representativas de cada comunidad, tales como:

1. Líder comunitario, poblador que es considerado por la comunidad como un líder.
2. Productor que tenga una obra de cosecha de agua por escorrentía, cuya experiencia sea exitosa.
3. Productor que tenga una obra de cosecha de agua por escorrentía, cuya experiencia no sea exitosa.
4. Productor y/o poblador que no tenga obra de cosecha de agua.

El diseño gráfico del manual fue desarrollado a partir de un modelo “amigable”, con el fin de ser más fácil su lectura, interpretación y por ende ejecución. Además de las preguntas guía, el manual contiene recomendaciones y técnicas para llevar a cabo la entrevista, tales como: permiso para tomar fotos, toma de parámetros de campo en las fuentes de agua de su propiedad, así como el agua que utilizan para ingesta u otras actividades del hogar.

Figura 22. Equipo de levantamiento de campo a comunitarios



Nota: de izquierda a derecha, Ing. Valeska López, Ing. Josué Acosta e Ing. Bianka Reyes,

Un punto de relevancia es que, para las entrevistas se priorizó que estuviera toda la familia presente, con el fin de que hubiera participación de las mujeres y jóvenes que forman parte de la dinámica económica de cada uno de los hogares. En algunos casos se entrevistaron hombre y mujer por separados, para luego consolidar las respuestas y la información obtenida.

3.8. Trabajo de gabinete

Esta fase se realiza una vez que se obtienen los datos primarios de interés para el estudio, en este caso, también se utiliza la información secundaria facilitada para la investigación.

3.8.1. Datos meteorológicos

a. Precipitación

A través del Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), se obtuvieron los datos de precipitación de las estaciones de La Sabana, Miquilce, Ocotal, y El Espino. No obstante, estas estaciones solo se proporcionó información climática con una serie de 23 años comprendida entre 1981 hasta 2004, los años proporcionados eran limitados por lo que se optó en descargar datos de CHIRP (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station) con una cuadrícula de 0.05 grados de resolución, como datos complementarios de precipitación.

Para verificar y validar el uso de los datos CHIRPs, se realizó una validación cruzada con los datos reales de precipitación (INETER), y también se utilizó el método estadístico *t* de Student para muestras independientes, con un nivel de significancia del 5%, utilizando SPSS.

b. Temperatura

Al igual que la precipitación, a través de INETER se obtuvieron los datos de temperatura, sin embargo, en este caso la estación más cercana se encontraba en Ocotal, es decir a más de 25 km de distancia. Por ello se realizó una validación cruzada entre la estación meteorológica de Ocotal con el Power Data Access Viewer 2.0.0 el cual posee datos en cuadrículas de 0.5 grados.

Una vez validado a través de la *t* de Student con el 5% de significancia, se utilizó un punto único dentro de la zona de estudio, coincidiendo con el centroide de la misma.

c. Índice estandarizado de precipitación

El Índice Estandarizado de Precipitación se utiliza para evaluar la ocurrencia de déficit o excesos significativos de precipitación en una región, a diferentes escalas de tiempo

El cálculo del IPE se hace en dos etapas:

- En la primera, se ajusta una distribución teórica (generalmente la Gamma de dos parámetros) a la serie de precipitación usada como serie de referencia (el período considerado conveniente es de 30 años o más). En este caso se utilizaron series pluviométricas de distintos puntos de la provincia, previamente rellenadas y/o extendidas según sea el caso; considerando además algunas estaciones de provincias aledañas a modo de condición de borde para el cálculo.

- En la segunda, los parámetros de la distribución ajustada se usan para convertir la serie de precipitación de interés en una distribución normal estandarizada, con media 0 y varianza 1, en cuya abscisa se encuentra el IPE. Los valores negativos indican déficit y los positivos, exceso.

Figura 23. Clasificación del Índice Estandarizado de Precipitación

CLASIFICACIÓN DEL IPE		
IPE	PERÍODO	FRECUENCIA TEÓRICA DE OCURRENCIA
-2.00 o menor	Extremadamente Seco (sequía extrema)	1 en 50 años
-1.50 a -1.99	Muy Seco (sequía severa)	1 en 20 años
-1.00 a -1.49	Moderadamente Seco (sequía moderada)	1 en 10 años
-0.5 a -0.99	Ligeramente Seco	1 en 3 años
0.49 a -0.49	Normal	
0.50 a 0.99	Ligeramente Húmedo	
1.00 a 1.49	Moderadamente Húmedo (exceso moderado)	1 en 10 años
1.50 a 1.99	Muy Húmedo (exceso severo)	1 en 20 años
2.00 o mayor	Extremadamente Húmedo (exceso extremo)	1 en 50 años

Fuente: (Merg *et al.*, 2011)

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

En este acápite se presentan los resultados, los cuales fueron obtenidos a través de la secuencia investigativa de acuerdo a los objetivos y metodología presentada en la investigación, donde además se discuten los resultados de acuerdo al enfoque de adaptación al cambio climático y seguridad alimentaria, mediante la intervención holística de la investigadora.

4.1. Caracterización del medio físico

La caracterización del medio físico del presente estudio se engloba en los comportamientos hidroclimáticos, la geología, geomorfología, relieve y la edafología que predomina en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698.

4.1.1. Hidroclima

De acuerdo al Sistema de Köppen Modificado (del año 2000), en el área de estudio existe una predominancia de la categoría Clima Caliente y Sub-Húmedo con lluvia en Verano (AW2). El cual se caracteriza por presentar una estación seca (Noviembre – Abril) y otra lluviosa (mayo – octubre). Por otra parte, el 25% del área se encuentra caracterizado por el clima A(X'), con precipitaciones promedio anuales que oscilan entre 1300mm y 1600 mm, donde las precipitaciones están distribuidas a lo largo del año.

a. Precipitación

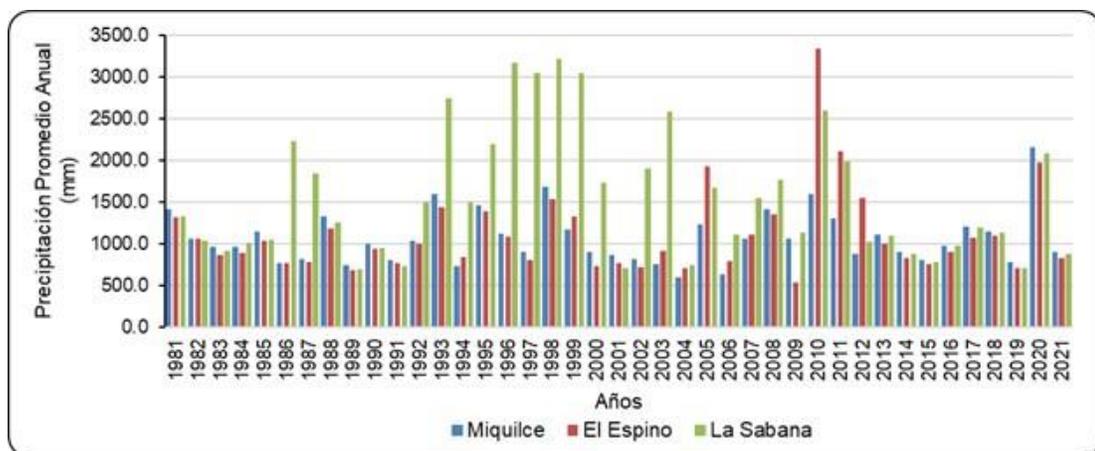
Para el estudio se consideraron las estaciones que de acuerdo a Thiessen son representativas dentro del área de interés, las cuales son: El Espino, Miquilce y La Sabana., sin embargo, se anexaron otras estaciones que presenten un aporte hidroclimáticos a las unidades hidrológicas. Contando con precipitaciones de 1981 hasta el 2020, los cuales fueron recopilados a través de INETER complementados con datos descargados de CHIRPS y Data Acces Viewer (Anexo 8.1.1).

Para validar los datos complementarios de precipitación se utilizó la t – de student para muestras independientes, con el fin de reconocer la existencia de datos significativos, a través de un nivel de significancia del 5%. Donde la hipótesis nula (H_0) es que no existen diferencia significativa y para la hipótesis alterna (H_1), si existe diferencia significativa entre los datos de precipitación de INETER y CHIRPS (Anexo 8.1.2).

Es importante destacar que, la estación El Espino y Miquilce no presentan diferencias significativas entre los datos de INETER y CHIRPS. Sin embargo, en la estación La Sabana si existen diferencias significativas, no obstante, esta particularidad se debe a que la estación se encuentra aledaña a la Reserva Tepesomoto – La Patasta, el cual representa un micro clima que no llega a ser registrado por las CHIRPS, debido a que las celdas de 0.5 grados no incluyen el área de reserva, lo cual hace que los datos reales (INETER) lleguen a ser más altos que los descargados.

A pesar de la condición anterior, los datos CHIRPS correspondientes a la estación La Sabana son considerados en el estudio debido a que el área de interés se encuentra a seis kilómetros aproximadamente de la estación, siendo los datos de precipitación descargados más próximos a la zona de interés, sin obviar que el comportamiento de los datos.

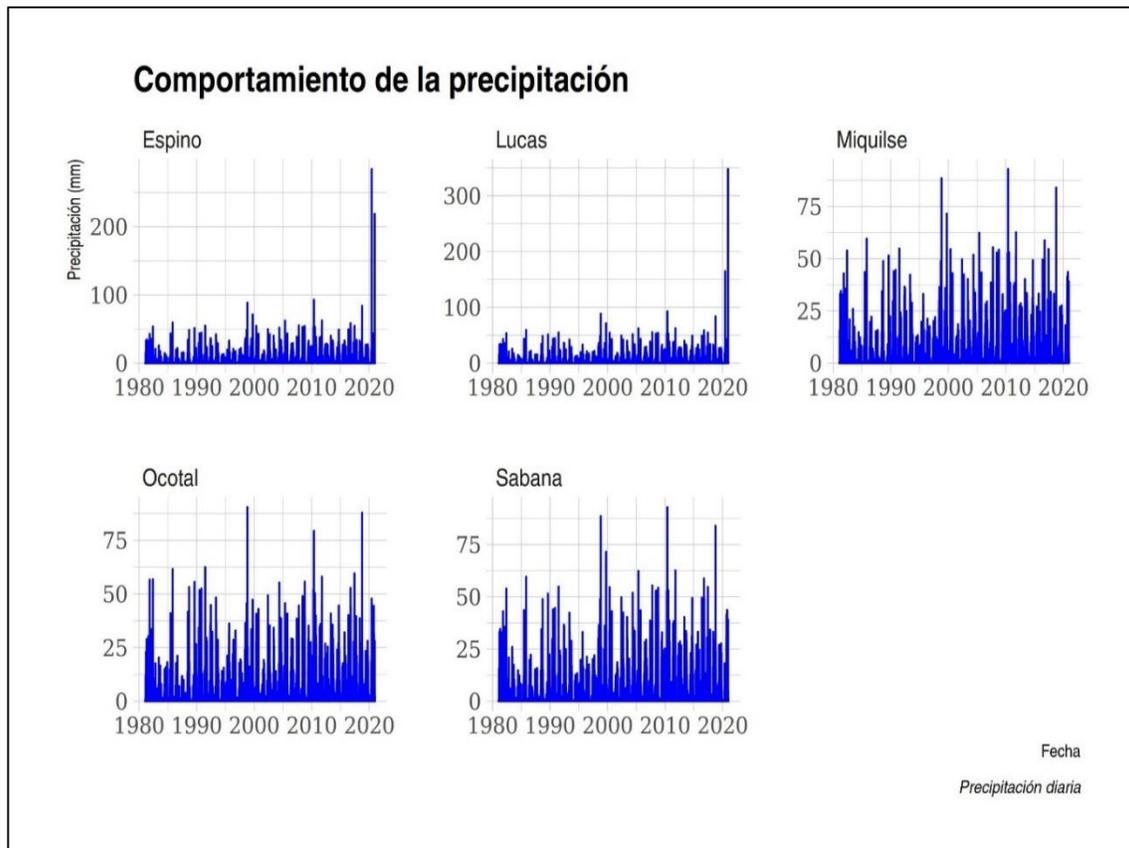
Figura 24. Precipitación promedio anual de estaciones meteorológicas en el área de estudio (1981 - 2021)



En el área de estudio se registra un promedio anual de 1246.7 mm de precipitación, reconocido como los datos históricos de 40 años, existiendo un mínimo de lluvias de 538 mm registrados en la estación El Espino en el 2009, misma estación donde se presentó un máximo de precipitaciones de 3341.6 mm para el 2010.

Si bien, de acuerdo a la Figura 24, podemos enfatizar el comportamiento de las precipitaciones de las tres estaciones que tienen mayor distribución dentro del área de estudio, por otra parte, en la Figura 25, podemos observar la distribución de la precipitación diaria, en donde, en las estaciones de San Lucas y La Sabana, muestran una distribución homogénea o bien inducido por el ecosistema que genera la reserva natural, en cambio en las otras estaciones, podemos observar algunos saltos en años como 2000, 2010 y 2020, siendo estos años en los que hubo mayor presencia de fenómenos climáticos “huracanes”.

Figura 25. *Precipitación diaria por estación meteorológica*



b. Índice Estandarizado de Precipitación – SPI

Mediante los datos de precipitación, se estimó el SPI (Índice Normalizado de Precipitación) el cual se basa en la probabilidad de precipitación y/o sequía para cualquier escalatemporal (OMM, 2012). Donde los resultados indican que, en el periodo de tiempo de estudio no se presentaron sequías severas ni sequías extremas, las cuales corresponden única mente a climas áridos y desérticos, siendo Nicaragua al igual que los países centroamericanos sitios donde no se cuenta con la presencia de dichas categorías.

De los 123 datos de precipitación analizados (41 años por cada una de las tres estaciones pluviométricas), se han presentado en el período de 1981 a 2021, tres episodios de sequía leve en ocho años, lo cual corresponde a 45 eventos de dicha categoría en las áreas en que se ven influenciadas por los registros de las estaciones El Espino, La Sabana y Miquilce.

Continuamente, hasta el momento se han registrado 20 eventos de sequía moderada dentro de la zona de estudio, lo cual sugiere que dicha categoría se presenta una vez cada seis años (Tabla 8), lo cual sugiere que los eventos de sequía moderada se muestran aproximadamente 50% menos que los de sequía leve.

Tabla 8. Episodios de sequía en la zona de estudio a través del Índice Normalizado de Precipitación (SPI)

SPI	Categoría	Número de veces en	Severidad del
0 a -0.99	Sequía leve	45	3 en 8 años
-1 - 1.49	Sequía moderada	20	1 en 6 años
-1.5 - 1.99	Sequía Severa	0	0 en 41 años
< -2.0	Sequía Extrema	0	0 en 41 años

Estas cifras permiten tener noción del comportamiento de las precipitaciones, lo cual a su vez hace que exista un punto de partida en pronósticos, donde las familias productoras en conjunto con los entes que brindan asistencia técnica, estén alertas de los años en que pueden pasar dichos eventos de sequía y prepararse a través de planes de manejo y/o gestión de aplicación de tecnologías resilientes ante el cambio climático, entre ellas los sistemas de cosecha de agua, acompañado de semillas mejoradas, y otros medios de interés agropecuario.

De las tres estaciones analizadas, El Espino presenta mayores eventos de sequías leves y severos, correspondientes a 22 y 12 episodios respectivamente, lo cual afecta al 46.3% del área de estudio, seguido por Miquilce, representado por 16 episodios leves y cinco severos con una incidencia del 41.9% en la zona (Tabla 9).

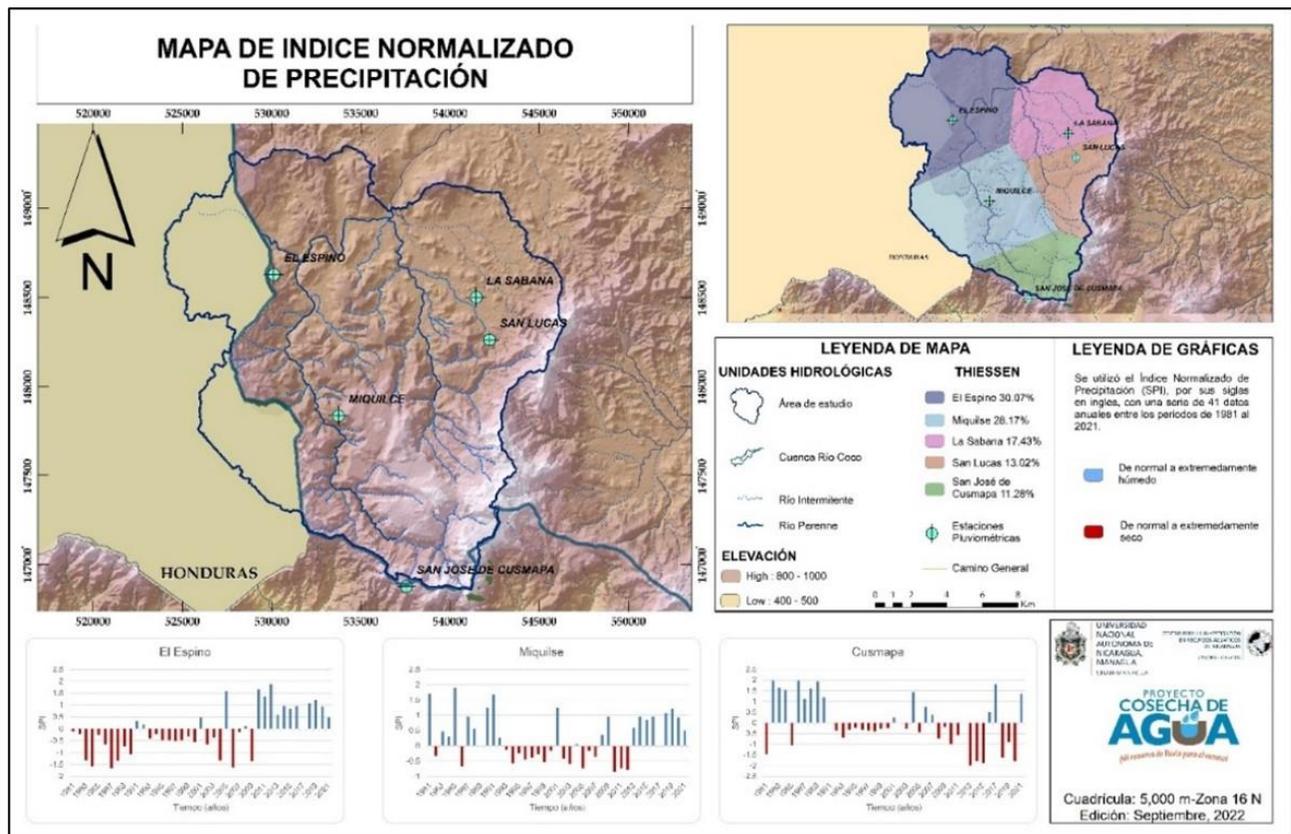
Por otra parte, los episodios de sequía se ven reducidos en el área de influencia de la estación La Sabana (11.8%), donde siete son episodios leves y tres son severos. Dicha diferencia recae en que, este sector presenta mayores precipitaciones con un promedio anual histórico de 1556 mm, lo cual es 31% mayor que la precipitación registrada en la estación Miquilce y 28.5% mayor que los datos obtenidos de la estación El Espino.

Tabla 9. Episodios de sequía para cada una de las áreas de influencia de las estaciones pluviométricas que inciden en la zona de estudio a través del Índice Normalizado de Precipitación (SPI)

SPI	Categoría	Miquilce		La Sabana		El Espino	
		Número de veces en 41 años (1981 - 2021)	Severidad del episodio	Número de veces en 41 años (1981 - 2021)	Severidad del episodio	Número de veces en 41 años (1981 - 2021)	Severidad del episodio
0 a -0.99	Sequía leve	16.00	2 en 5 años	7.00	1 en 6 años	22.00	1 en 2 años
-1 - 1.49	Sequía moderada	5.00	1 en 8 años	3.00	3 en 41 años	12.00	2 en 7 años

					años		
-1.5 - 1.99	Sequía Severa	0	0 en 41 años	0	0 en 41 años	0	0 en 41 años
< -2.0	Sequía Extrema	0	0 en 41 años	0	0 en 41 años	0	0 en 41 años

Figura 26. Área de incidencia de las estaciones pluviométricas de la zona de estudio con valores de SPI anuales entre 1981 - 2021



c. Temperatura

Aledaño a las unidades hidrográficas El Varillal, San Pedro y Gualiqueme no existen estaciones meteorológicas que puedan brindar datos de temperatura. La estación más cercana con registro de temperatura es Ocotal, la cual se encuentra a más de 25 km de distancia del sitio de interés, razón por la cual se procedió a realizar una validación de datos con el Power Data Access Viewer (PDAV), resultando sin diferencias significativas entre los datos (Anexo 8.1.5).

Una vez validados los datos de temperatura (PDAV), se descarga el registro anual del centroide de la zona de estudio (532988X y 1482915Y), debido a que el software trabaja con grillas de 0.5 grados, haciendo que todos los datos descargados para el centroide sean iguales a las temperaturas con la ubicación de las estaciones pluviométricas (El Espino, El Varillal y Gualiqueme) debido a que se encuentran dentro de la misma grilla, por tanto, el único punto descargado a través del PDAV es representativo para toda el área de estudio.

Por lo anterior, se determinó que la temperatura promedio mensual es de 16.4°C (Figura 27), y la temperatura anual correspondiente a los años de 1981 a 2021 es de 23.95 °C, con una media máxima anual de 38.31 °C y media mínima de 14.36°C (Figura 28). Si bien, Rivera (2003), aduce que en la zona se presenta temperaturas que oscilan entre los 24 y 25 °C, lo que a su vez comparando con el mapa de temperatura de la región, Koppen 2005, estas oscilan de 22 a 24°C, por lo que, se mantiene un comportamiento en lo que respecta a las temperaturas de la zona de estudio.

Figura 27. Temperatura promedio mensual del área en estudio (1981 - 2021)

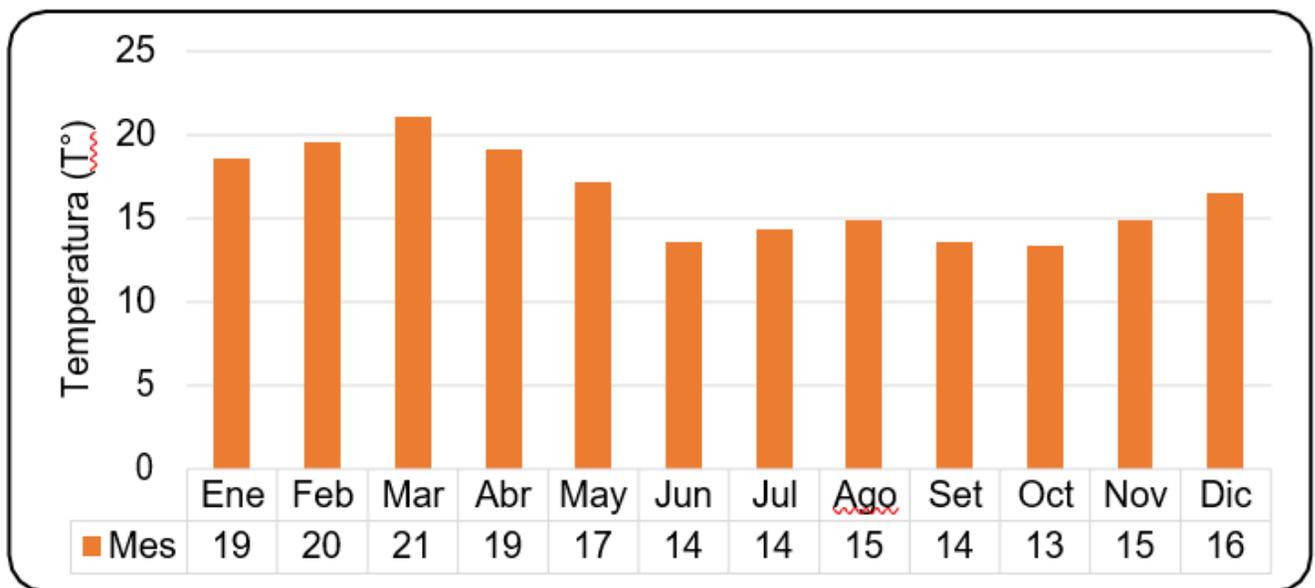
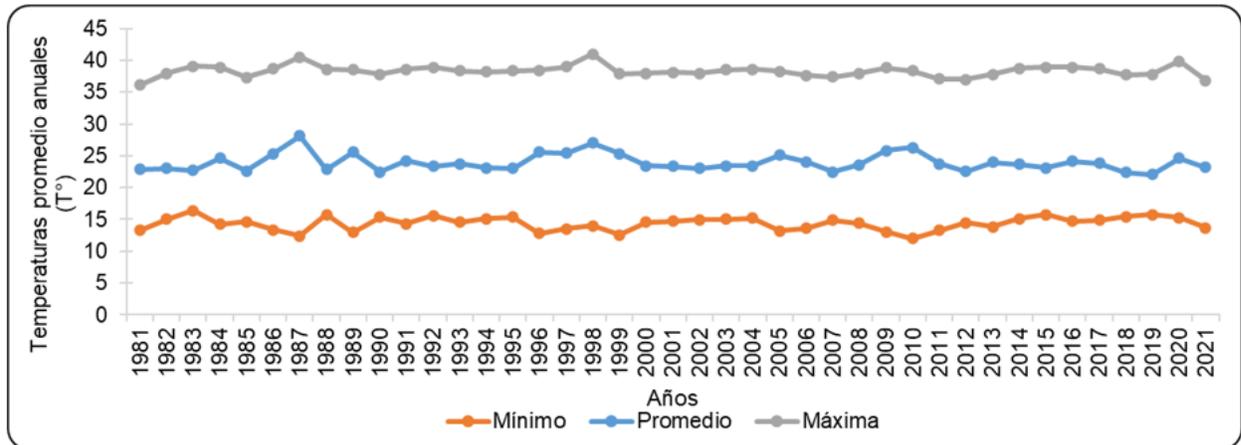


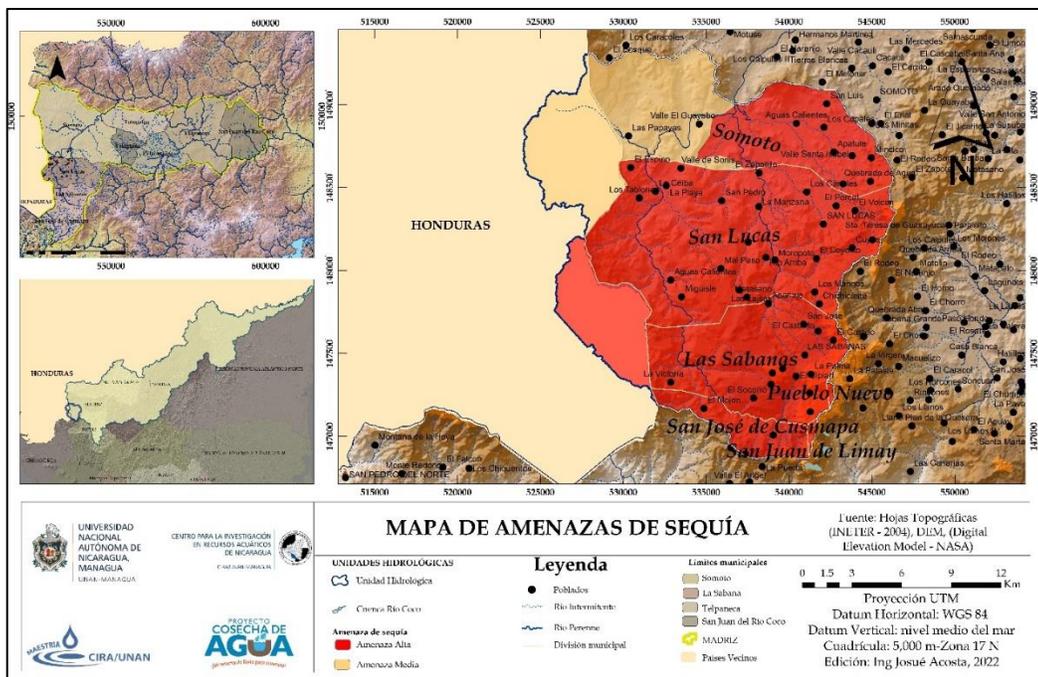
Figura 28. Temperatura promedio anual del área de estudio (1981 - 2021)



d. Amenaza de sequía

La zona de estudio se ve afectada en un 78.5% por una Amenaza Alta de sequía y un 21.49% por Amenaza Media, tal como se muestra en la Figura 29, obtenido de la base de datos meteorológica proporcionada por INETER. A partir de lo anterior, se determina la existencia de sequía meteorológica dentro de la zona de estudio, coincidiendo con lo que presenta el informe de Mapa Multi-Amenazas y vulnerabilidades de Nicaragua (GRUN & INETER, 2018).

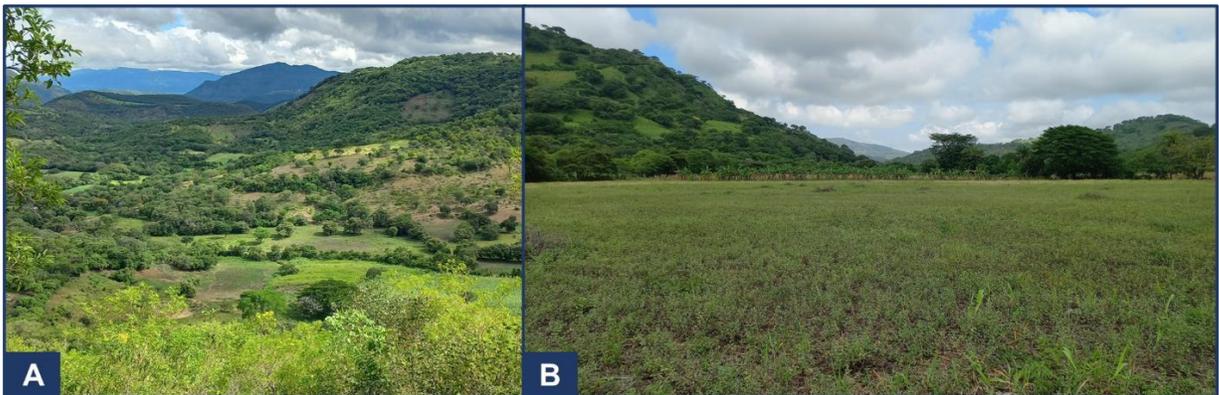
Figura 29. Amenaza de sequía dentro del territorio en estudio



4.1.2. Geomorfología y relieve

El área de estudio se caracteriza por presentar un relieve montañoso variado, con muchas planicies intramontanas y pequeños valles (Figura 30). Las elevaciones van desde los 640 msnm hasta los 1340 msnm.

Figura 30. Panorama de relieve en zona de estudio



Nota: A. Vista del relieve montañoso unidad hidrológica 45-951699, B. Planicie intramontana en unidad hidrológica 45-951698

4.1.3. Edafología

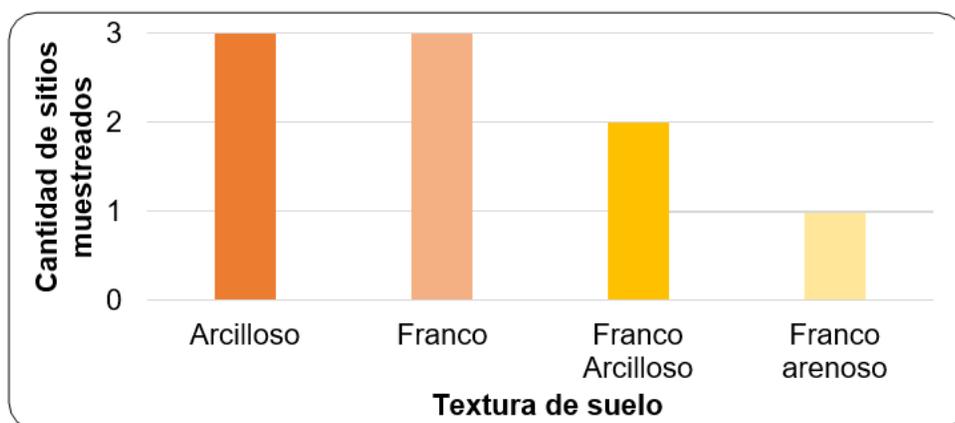
a. Textura de suelo

De acuerdo con el atlas presentado por Marena (2018), las unidades hidrológicas presentan un solo orden taxonómico mayoritario como son los Mollisols, de acuerdo con dicho atlas son suelos típicos de pastizales con horizontes superficiales y pertenecen secos más de 90 días consecutivos al año, por otra parte dentro de las unidades se presenta un uso y cobertura de suelo en mayor extensión pastos y vegetación arbustiva y en menor proporción bosques latifoliados ralo, Figura 32 .

A partir de los resultados de muestras de suelo se obtuvo que; los suelos del área de estudio presentan densidades aparentes <1 , lo que indica la relación existente entre masa y volumen existente y el contenido de materia orgánica, por lo que son suelos con una porosidad entre 55 a 62 %, siendo suelos aptos para cultivos de raíces anchas, según FAO (2016).

No obstante, los estudios de campo de acuerdo a las pruebas de infiltración determinaron que los suelos del área presentan infiltración lenta, y de acuerdo a la clasificación textural de la FAO (2016), son suelos arcillosos, mientras que los resultados de las muestras presentan una clasificación estructural de franco arcillosas, siendo suelos con una baja permeabilidad o infiltración lenta.

Figura 31. Clasificación de textura de suelo dentro del área de estudio a través de muestreo



Simultáneo al muestreo de suelo se realizaron nueve pruebas de infiltración, de las cuales se obtuvo una textura arcillosa como predominante (ocho de las nueve pruebas). Obteniendo a su vez la velocidad de infiltración promedio del área de estudio el cual es de 38.72 mm/día.

Tabla 10. Resultados de textura de suelo a partir de muestras y pruebas de infiltración

ID	Sitio	Densidad aparente gr/cm^3	Porosidad Total %	Clasificación	Velocidad de infiltración (mm/h)	Tipo textural (FAO)
7	RÍO TAPACALÍ	0.89	62.38	Franco	0.66	Arcilloso

4	MIGUILSE	0.99	56.87	Franco Arcilloso	9.48	Franco arcilloso
1	SAN PEDRO	0.95	55.63	Franco Arcilloso	0.63	Arcilloso
2	EL ZAPOTILLO	0.85	71.34	Arcilloso	0.07	Arcilloso
5	MIGUILSE #2	0.89	66.30	Arcilloso	1.48	Arcilloso
8	BADONDO	0.75	71.60	Franco Arenoso	0.20	Arcilloso
9	LA CULEBRA	0.96	57.99	Franco	0.74	Arcilloso
6	LA PLAYA	1.01	62.40	Arcilloso	0.42	Arcilloso
3	INALÍ	1.08	61.36	Franco	0.84	Arcilloso

b. Uso y cobertura de suelo

De acuerdo al mapa de Uso y Cobertura de Suelo estimado a través de Sentinel-2, 10 Meter Land User, por la plataforma de ESRI, con apoyo de modelos de clasificación de tierras por inteligencia artificial (IA), lo que permitió reunir un conjunto de datos de millones de píxeles de imagen. Estos modelos se aplicaron a toda la colección de escenas de Sentinel-2 para cada año, en el área de estudio se está utilizando con el año 2020, con seis bandas espectrales para la producción del mapa, Figura 32.

El área de estudio cuenta con una amplia extensión de pastizales (correspondientes al 33.07%), seguido de bosques en regeneración (21.19%), matorrales (20.36%) y bosques de coníferas con un 15.87%. Los demás usos de suelo abarcan menos del 5% cada uno dentro de las unidades hidrológicas en estudio (Tabla 11).

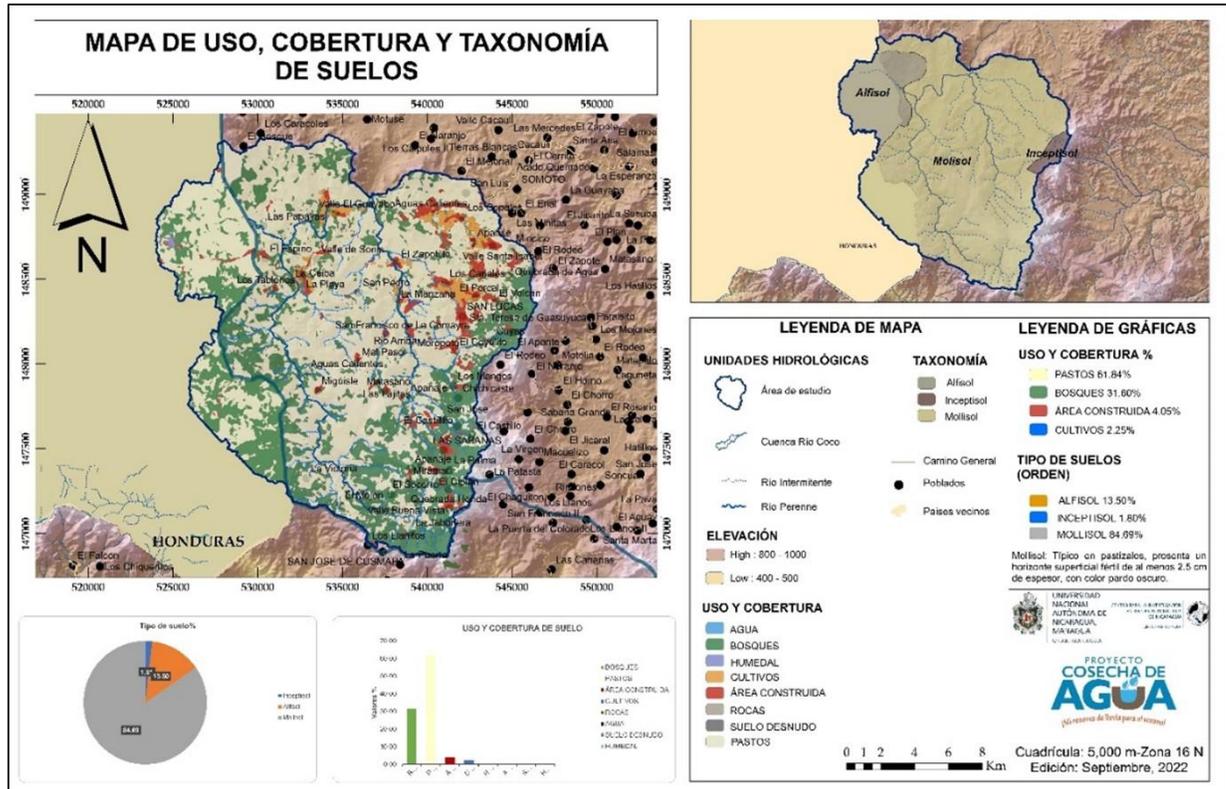
Tabla 11. *Uso de suelo en área de estudio*

ID	leyenda	%
1	Pastos	61.84
2	Bosques	31.60
3	Áreas construidas	4.05
4	Cultivos	2.23

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

5	Humedales	0.26
Total		100

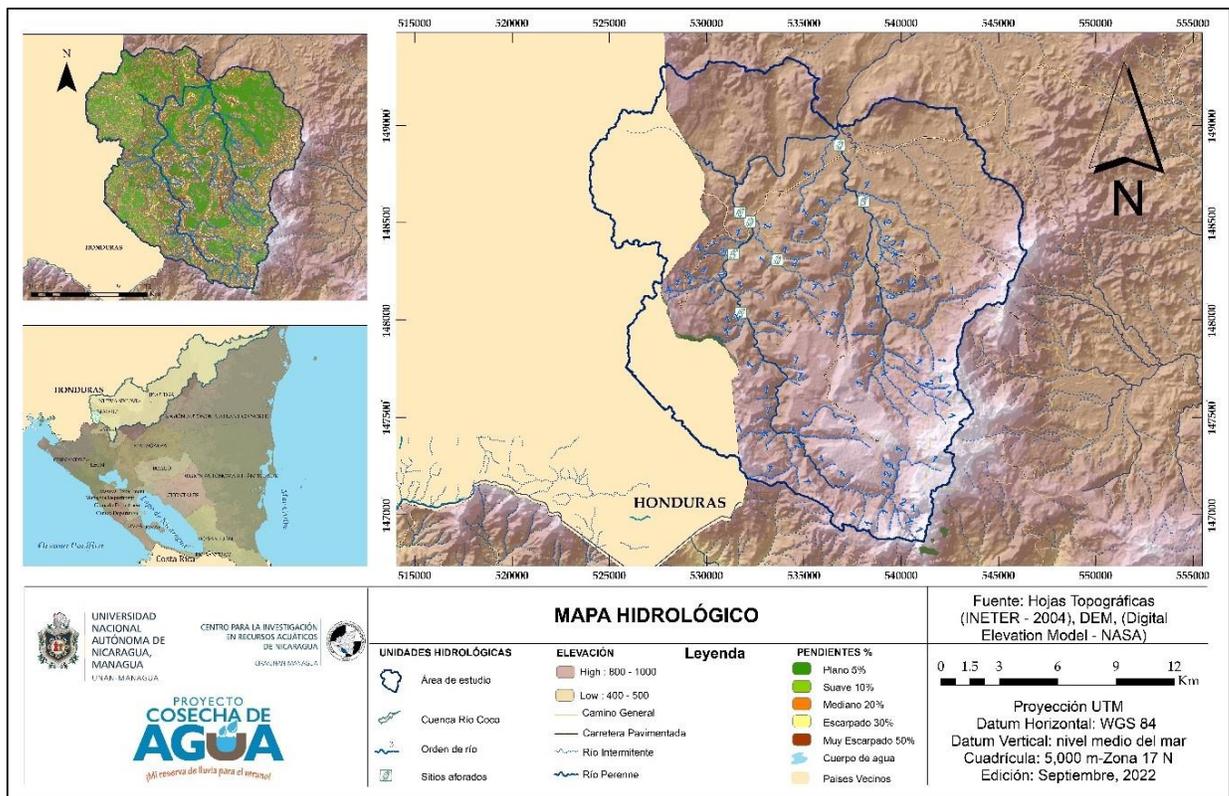
Figura 32. Uso y cobertura de suelo en las unidades hidrológicas en estudio



4.2. Hidrología

El área en estudio se presenta como una unión de las unidades hidrográficas nivel seis según Pfafstetter. Unidad hidrológica 45 – 951699 y 45 –951698, de acuerdo al carácter hidrológico, se clasifican como una cuenca abierta o exorreica, ya que sus flujos superficiales, río Tapacalí, desembocan al río Coco, (Figura 33).

Figura 33. Localización hidrológica de las unidades 45-951699 y 45-951698



4.2.1 Morfometría general de las unidades hidrológicas

De acuerdo con Gámez (2010), el patrón de drenaje del área de estudio es dendrítico, este patrón normalmente se forma en materiales y formaciones con granulometría finas, permeabilidades relativamente baja y su drenaje corre en todas las direcciones, uniéndose a un río principal, las unidades hidrológicas presentan elevaciones de hasta 1, 439 msnm al norte del área y las elevaciones menores se encuentran en su punto exutorio, con 707 msnm.

a. Coeficiente de compacidad (Índice de Gravelius)

El coeficiente de compacidad se trata de un indicador adimensional de la forma de la cuenca. Cuanto mayor el coeficiente, más larga es la cuenca; cuanto más próximo de uno, más circular es la cuenca y mayor es su tendencia a generar crecientes rápidas y acentuadas (Villela y Mattos, 1975).

El coeficiente de compacidad o índice de Gravelius, para la unidad hidrológica es de 1.74, lo que lo clasifica como una cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga, lo que indica que, la cuenca tendrá formas alargadas, mientras el valor del coeficiente se acerque a 1, la unidad hidrológica puede presentar peligrosidad a crecidas, (Cardona, 2011).

Tabla 12. Clases de valores de compacidad

Rangos de K_c	Clases de compacidad
– 1.25	Redonda a oval redonda
1.25 – 1.50	De oval redonda a oval oblonga
1.50 – 1.75	De oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Gaspari , Díaz Gómez, Delgado, & Senisterra (2015)

b. Densidad de drenaje

Es el parámetro que cuantifica el grado de desarrollo de un sistema hidrográfico y permite conocer su complejidad (Fuentes, 2004). Es la relación entre la longitud total (L) de los cursos de agua perennes, intermitentes y efímeros de una cuenca y su propia área (A) (Horton, 1932). De acuerdo a los cálculos realizados las unidades hidrológicas presentan una densidad de drenaje baja de 0.62 km/km², lo que corresponde a suelos duros, pocos erosionables, a mayor densidad de drenaje, el tiempo de escorrentía es menor, por lo cual se considera como otro indicador de peligrosidad, según Cardona, (2011).

c. Pendiente de las unidades hidrológicas

En términos generales las pendientes de la unidad hidrológica se estimaron pendientes entre 4 – 8 % clasificadas por la FAO como ligeramente inclinados con un 36.56% del total del área, y en menor proporción se dentro del área se presentan pendientes mayores a 30% las cuales representan un 5.18%, siendo estas denominadas por FAO como pendientes muy escapadas.

Las máximas pendientes se localizan en la zona media y alta del río Tapacalí y Varillal y las pendientes denominadas como planas, se localizan en su mayoría en la parte baja al sur (S) de la unidad hidrológica, donde se ubica el punto de cierre de agua

d. Tiempo de concentración (T_c)

El tiempo de concentración que demora en viajar una partícula de agua desde el punto más remoto hasta el punto de interés es de 11.82 hr según la metodología de Temez, equivalentes a 709 min, es decir le toma alrededor de once horas a la unidad hidrológica para que todos los puntos de esta estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, por otra parte, Junco, (2004) clasifica este tiempo como lento.

e. Factor de forma

El factor de forma calculado es de 0.22 por lo que se caracteriza por ser una cuenca alargada, Figura 30 y son menos propensas a tener lluvias intensas y simultáneas sobre su superficie y estará sujeta a crecientes de menor magnitud.

f. Orden de ríos

El orden de corriente mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tienen afluentes, la de segundo orden aquella donde se unen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente, en general, mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida, por tanto, la unidad hidrológica presenta una clase de orden media entre los rangos de 2-4, Figura 34.

Tabla 13. Características morfométricas de las unidades hidrológicas

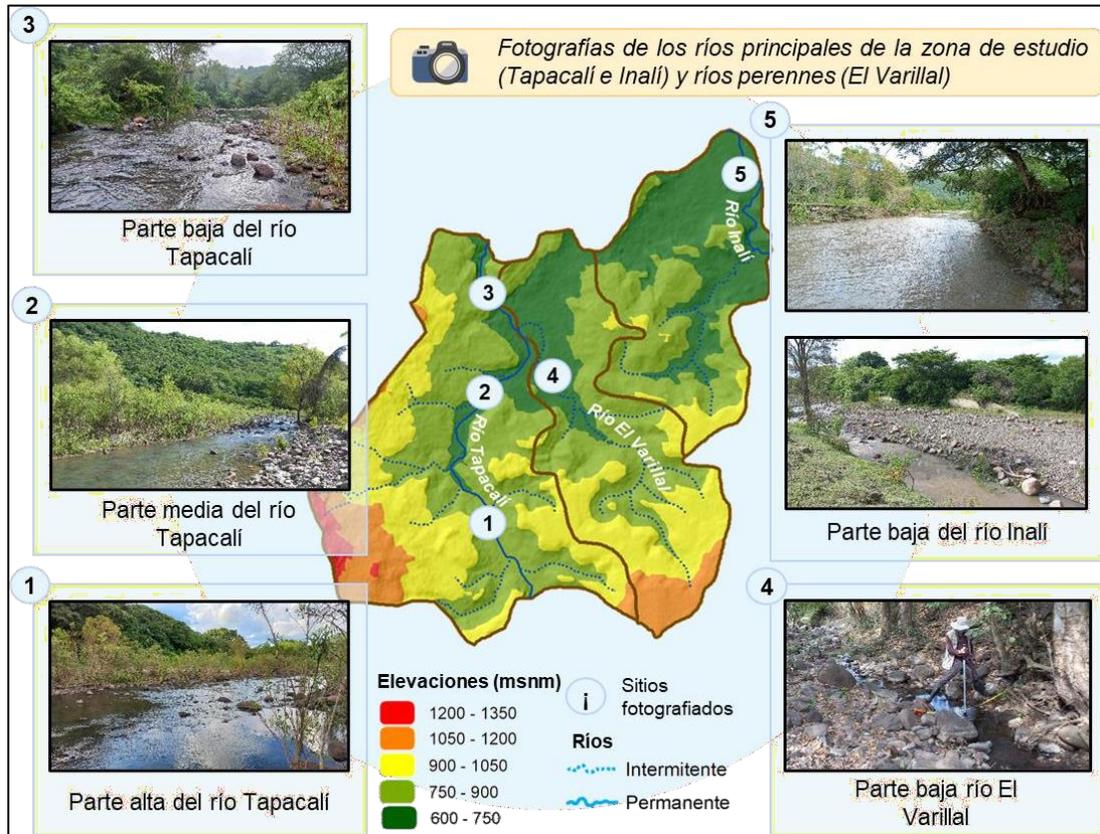
	Característica	Abrev.	Unidad	UH
Forma de la cuenca	Perímetro de la Cuenca	P	Km	119.89
	Área de la Cuenca	A	Km ²	371.26
	Longitud del río principal	L	Km	52.37

	Longitud total de los ríos	Li	Km	232.76
	Número de ríos	N	-	139
	Número de ríos de primer orden	Ni	-	75
	Coefficiente de Compacidad	Kc	-	1.74
	Factor de Forma	Ff	-	0.13
Parámetro sde Relieve	Altura mayor	HM	msnm	838
	Altura menor	Hm	msnm	707
	Pendiente de la Cuenca	Lp	%	8

Parámetros de la Red de Drenaje	Orden de los ríos	-	-	3
	Densidad de Drenaje	Dd	Km/Km ²	0.62
	Tiempo de Concentración (Temez)	Tc	h	11.82

Los ríos principales de la zona de estudio corresponden al Tapacalí e Inalí. No obstante, para periodo seco (febrero 2022) que se realizó una visita de campo, el río Inalí no contaba con agua. Por otra parte, El Varillal, es un río estrecho, pero mantiene la corriente de agua en periodo seco de parte media a parte baja, hasta que se fusiona con el río Tapacalí (Figura 34).

Figura 34. Ríos principales de las unidades hidrológicas en estudio



Nota: Fotos capturadas por Valeska López en gira de periodo lluvioso (octubre 2021) y gira de acercamiento social (diciembre 2021).

4.3. Ciclo climático hídrico

El balance hídrico es la circulación del agua que ocurre en la atmósfera, hidrosfera y litosfera, el balance hídrico de una cuenca hidrográfica envuelve la cuantificación de los componentes de entrada y salida del sistema (también llamado volumen de control).

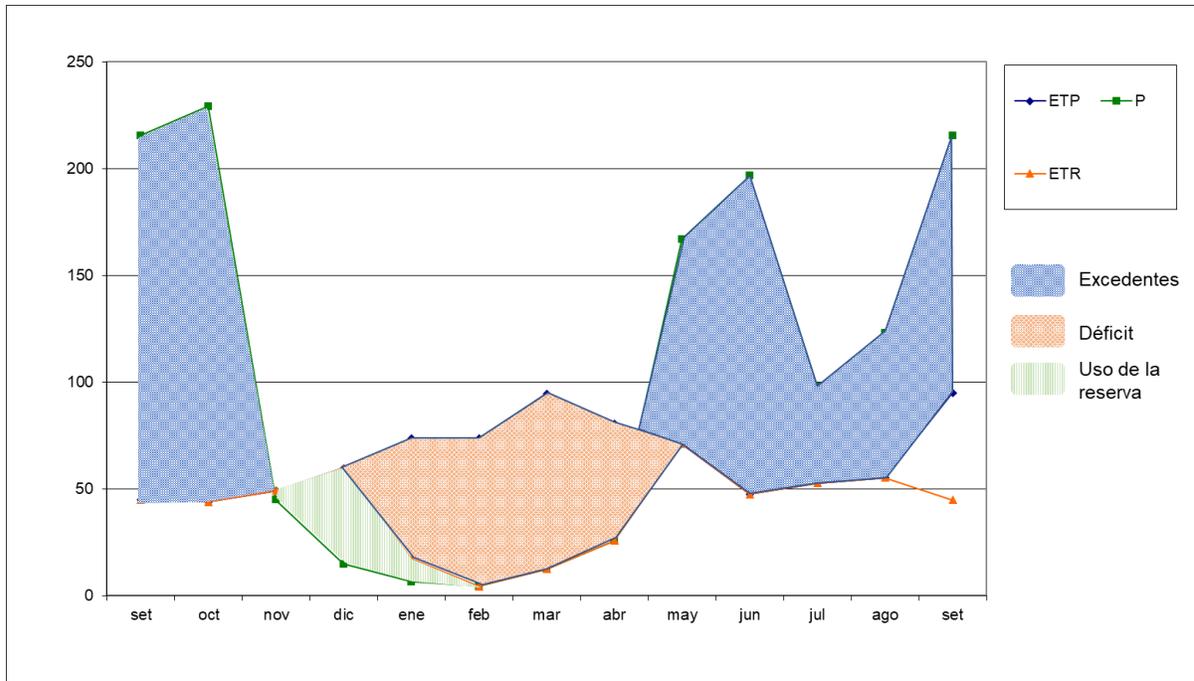
Entre los modelos más simples en hidrología se destaca la ecuación del balance hídrico. La ecuación de balance hídrico no es más que la ecuación de continuidad, en la cual se pone en evidencia las variables hidrológicas más importantes: precipitación, evapotranspiración y almacenamientos.

Las variables utilizadas para el balance hídrico son: precipitación (P), evapotranspiración potencial (ETP) y reserva máxima del suelo (R_{max}), esta última variable se estimó mediante las características del suelo observadas en campo, conforme a la capacidad de infiltración del suelo, fijando un valor de 60 mm según el tipo de textura de suelo determinado a partir de las pruebas de infiltración realizadas en campo. Cabe destacar que, se tomó como supuesto que la reserva de agua en el suelo (R) al final de la época seca tiende a ser cero ($R=0$).

El primer paso es estimar la evapotranspiración real (ETR), la cual se conforma bajo las siguientes relaciones: si la suma de la precipitación de un mes cualquiera más la reserva de agua en el suelo del mes anterior es mayor a la evapotranspiración potencial, entonces la evapotranspiración real es igual a la potencial. Por el contrario, si no se cumple lo antes expuesto, la evapotranspiración real es igual a la suma de la precipitación de dicho mes y la reserva de agua en el suelo del mes anterior.

Los excedentes se estiman conforme el siguiente procedimiento: si la suma de la reserva del suelo del mes anterior y el resultado de la diferencia de la precipitación y la evapotranspiración real del mes en cuestión es mayor a la reserva máxima de agua en el suelo, entonces los excedentes son iguales a la anterior operación menos la reserva máxima de agua en el suelo, de no cumplirse tal condición, los excedentes son iguales a cero.

Figura 35. Balance hídrico



Nota: elaboración propia derivado de los datos meteorológicos de INETER, CHIRPS Y Data Access Viewer. P: precipitación, ETP: evapotranspiración potencial, ETR: evapotranspiración real

La Figura 35, representa el balance hídrico en términos de lámina para el área de estudio, en el cual, se representan las diferentes variables que ocurren durante todo el año, como son: excedente más almacenamiento, uso de las reservas y déficit.

A partir de mediados de noviembre a mediados de febrero la evapotranspiración real es mayor que la precipitación por lo que ocurre el consumo o uso de la reserva de agua en el suelo, este periodo coincide con el periodo o entrada del periodo seco o verano.

A partir del mes de diciembre se inician a ver indicios de déficit hídrico, ya que la evapotranspiración potencial es mayor que la real, esto se extiende hasta abril. Entre los meses de mayo hasta inicios de noviembre se presenta un excedente, siendo mayor la precipitación (P) que la ETR y ETP, por motivos de la temporada lluviosa o invierno, mientras que de mayo a junio se presenta un excedente debido a la etapa canicular.

4.4. Disponibilidad de agua en las unidades hidrológicas

Para verificar si las unidades hidrológicas suplen con algunas demandas de agua que se generan a partir de los diferentes usos, se procedió a estimar a partir de las mediciones caudales en m^3/s por métodos de aforo directo, (sub acápite 9.3), en dos estaciones definidas, periodo seco y lluvioso.

En Tabla 14, se puede observar que, existe diferencias significativas entre periodos de medición, obteniendo así para el periodo seco caudales de estiaje. Cabe destacar que para ambos periodos fueron utilizados distintos equipos de medición, en donde la medición y precisión van de acuerdo a la herramienta empleada.

Tabla 14. Resultados de aforos en ríos

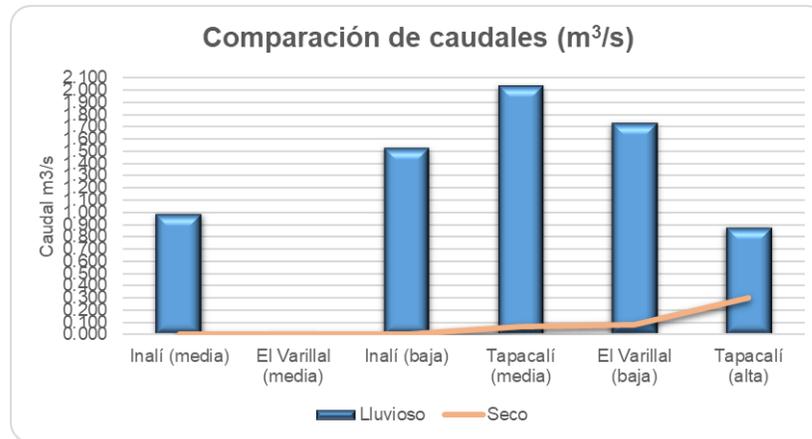
COMPARACIÓN m^3/s			
ID	Río	Lluvioso	Seco
1	Inalí (media)	0.992	0.000
2	El Varillal (media)	0.020	0.002
3	Inalí (baja)	1.533	0.000
4	Tapacalí (media)	2.039	0.066
5	El Varillal (baja)	1.738	0.078
6	Tapacalí (alta)	0.881	0.302

Fuente: Elaboración propia

a. Disponibilidad de agua

Se obtuvo caudales a partir de las mediciones de aforos realizadas en diferentes periodos, en lo que respecta a el periodo lluvioso los ríos presentan una circulación de agua de $3.271 m^3/s$, mientras que para la temporada seca donde se logra evidenciar una disminución de caudal, los ríos presentan flujos bases de $0.07841 m^3/s$, teniendo un efecto de disminución de un 95% con respecto al periodo lluvioso, en Figura 36, se puede apreciar dicho comportamiento.

Figura 36. Medición de caudales lluvioso - seco



Por otra parte, para verificar si los caudales pueden suplir con una demanda generada por los comunitarios, se procedió a estimar a partir de los caudales y el caudal ecológico. Por tanto, el caudal ecológico se estimó como el 10 % del caudal nominal, esto según lo propuesto por Heredia et al., (2006). El resultado fue denominado como caudal neto.

Tabla 15. Estimación de caudales disponibles.

ID	PERIODO	Q (m³/s)	Q ecológico (m³/s)	Q NETO (m³/s)
1	LLUVIOSO	3.27	0.33	2.94
2	SECO	0.08	0.01	0.07
Total		3.35	0.34	3.01

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos, se muestra que existe una disponibilidad de 3.01 m³/s, para ambas temporadas, no obstante, por falta de registros, estos valores serán variables en el tiempo y únicamente son de referencias para las temporadas en estudio, esto debido a que son mediciones puntuales en el tiempo.

4.4.1. Meses críticos en la zona de estudio

Por motivos de investigación, los meses críticos son considerados aquellos donde el volumen de precipitación (PPt) es menor que el de evapotranspiración (ETP) o en el peor de los casos hay nula precipitación. Para determinar el volumen de diseño apto para la familiaproductora se requiere estimar los meses críticos en donde será necesario

utilizar riego complementario, el cual se realizará a través de la obra de cosecha de agua.

Dicho comportamiento entre precipitación y evapotranspiración, puede ser representado a través de climadigramas, la cual permite una fácil interpretación de las variables. En este estudio, se presenta el climadigrama con datos históricos (de 1981 a 2021) en la Figura 37, 38, donde los meses de canícula (julio – agosto) se ve una reducción de precipitación; no obstante, no son menores a la evapotranspiración, quedando los meses de noviembre a abril (cinco meses) los meses críticos históricos.

Figura 37. Climadigrama de datos históricos (1981-2021) en la zona de estudio

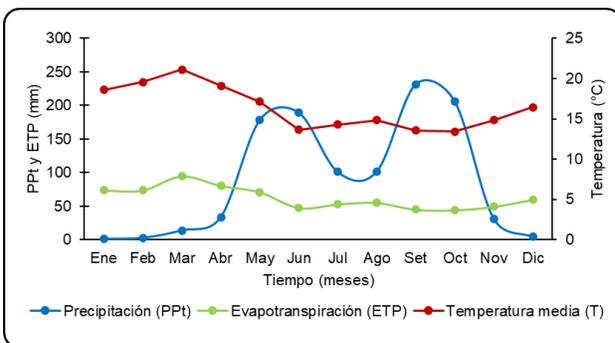
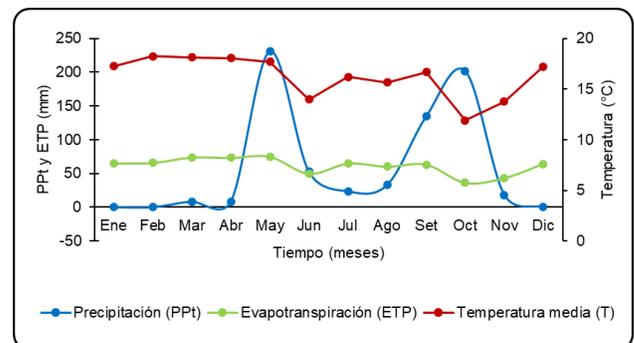


Figura 38. Climadigrama del año 2019 (pocas precipitaciones) en la zona de estudio



En el caso del climadigrama de 2019 (Figura 37), dicho año se considera representativo debido a que es el periodo en que llovió menos en los últimos diez años dentro de la zona de estudio. Y los años que poseen menos volumen de precipitación en el periodo de los 41 años son similares al volumen de lluvia caída en 2019.

Este climadigrama con bajas precipitaciones (Figura 38), indica que hay una canícula seca marcada, que lleva parte de junio hasta agosto, y de noviembre hasta abril. Por tanto, son aproximadamente siete meses los considerados críticos y, por ende, que requieren de ofertas tecnológicas como el sistema de cosecha de agua por escorrentía.

4.4.2. Uso y demanda hídrica de la familia productora

La demanda de agua se estima a partir del uso que requiere la familia productora para llevar a cabo sus actividades socio-económicas y/o de autoconsumo. En este caso los reservorios, son descartados para el uso de ingesta y únicamente se tomará en cuenta el uso agrícola y ganadero.

a. Demanda de agua para consumo animal

El 50% de los 36 sitios visitados cuentan con actividad ganadera, no obstante, únicamente 14 hogares proporcionaron las cifras de la cantidad de cabezas de ganado de su propiedad, obteniendo así un rango de 2 a 60 cabezas de ganado en las familias productoras.

De acuerdo a la Tabla 16, la cantidad media de ganado es de aproximadamente 16 cabezas, con un promedio entre 4 a 33 aproximadamente por familia productora. De igual manera, en la Tabla 16, denota la presencia de valores atípicos, donde la mediana de 16 está más próxima al percentil 25 de 4 cabezas de ganado que al percentil 75 de 33 cabezas.

Por otra parte, también se consideraron las gallinas debido a que forman parte de la dieta de la familia productora y escasas veces son vendidas para ingresos. Según las cifras obtenidas, de los 36 lugares visitados 33 cuentan con gallinas en sus hogares y de esos 26 brindaron las cifras de dichos animales.

Se denota un dato atípico, este corresponde a un hogar que cuentan con 500 gallinas las cuales son vendidas en el pueblo El Hervedero, de la comunidad La Playa. Al ser un valor atípico se considera fuera de las cifras promedio.

La mediana de las gallinas promedio es de 18, la cual está próxima al percentil 25 de 13 que al percentil 75 de 28 de dichas aves.

Los demás animales (cerdo, equinos y perros), son minoritarios en comparación a las vacas y gallinas. Uno de cada nueve hogares cuenta con un cerdo, los perros son por lo general hay dos por familia, y los equinos en su mayoría burros, son dos por familia productora.

A partir de lo anterior, se estableció la demanda de agua para los animales que forman parte de las actividades socio-económicas de las familias productoras dentro de la zona de estudio, con datos de consumo de agua por día de animales que presenta el MEFCCA et al. (2018) con cifras de la FAO.

Tabla 16. Demanda de agua de animales de familias productoras dentro del área de estudio

<i>Tipo de animal</i>	<i>Consumo de agua/día</i>	<i>Cantidad de animales</i>	<i>Consumo por mes</i>	<i>Consumo durante cinco meses</i>
Cabezas de ganado	40	24	28800	144000
Gallinas	0.15	20	90	450
Perros	2.5	2	150	750
Equinos	25	2	1500	7500
Consumo total (lts)				152,700
Consumo total (m3)				152.7

Fuente: MEFCCA et al.(2018)

Nota: el consumo durante cinco meses son los considerados meses críticos, los cuales aplican para el comportamiento histórico, en caso de que presentarse un año con sequía prolongada serían siete meses críticos.

b. Demanda de agua agrícola

Las familias productoras localizadas dentro de la zona de estudio son minifundistas, siendo sus principales cultivos: maíz, frijol y sorgo (algunos se dedican a las hortalizas). Para determinar la demanda agrícola se estableció el consumo de los cultivos predominantes por manzana ya sea en primera y/o postrera utilizando el coeficiente de cultivo (Kc) los cuales se presentan en el Anexo 8.6.2. Cálculo de demanda de agua por cultivo y época de siembra, cuyo resultado se muestra en, Tabla 17.

Tabla 17. Demanda de agua de los principales cultivos localizados en la zona de estudio en la época de primera y postrera

Época		Primera	
Cultivo	Demanda de agua por manzana cosechada (m³)	Demanda de uso de obra en buen invierno (m³)	Demanda de uso de obra en mal invierno (m³)
Maíz	1285.38	0.00	648.82
Frijol	827.03	0.00	563.18
Sorgo	1118.45	0.00	782.74
Época		Postrera	
Maíz	1227.61	471.15	562.50
Frijol	698.42	238.28	436.88
Sorgo	903.87	475.93	491.89

Nota: Los resultados de la tabla son enfocados al área de estudio, utilizando los datos de Kc, a través de una recopilación de información de la FAO y del Manual Técnico de Riego con énfasis en goteo (Briceño et al., 2012), y la época de siembra de los cultivos del sector se basó en el informe del Manual del Protagonista (INTA et al., 2017).

Debido a las características climatológicas que presenta el área de estudio, en un buen invierno no será necesario el riego complementario para ninguno de los cultivos predominantes. Se considera buen invierno (conocido popularmente por los comunitarios del sector) el periodo lluvioso promedio, el cual se representa en el *Climadigrama de datos históricos (1981-2021) en la zona de estudio* (Figura 37 y 38).

4.4.3. Modelo de la dinámica de operación anual de una obra de cosecha de agua del tipo escorrentía

Para llevar a cabo el modelo de la dinámica anual de una obra de cosecha de agua, se requiere considerar el volumen de diseño de partida, el cual se obtiene a mediante de la demanda hídrica que necesita la familia productora, en este caso se considerará una familia productora que posee una manzana de maíz, 20 gallinas, dos equinos y dos perros, cuyo volumen de aguarronda de 1000 m³ (Tabla 18).

Tabla 18. Demanda hídrica de la familia productora para una sequía prolongada

<i>Descripción</i>	<i>Consumo requerido de la obra (m³)</i>
1 manzana de maíz en primera	648.82
1 manzana de maíz en postrera	562.50
20 gallinas	0.63
2 perros	1.05
2 equinos	10.5
Suma	1223.51

Nota: Se considera un comportamiento de sequía prolongada o cálculos de siete meses críticos, debido a la eventualidad de eventos leves y severos de sequía que amenazan la zona de estudio.

Una vez establecido el volumen de diseño se estima las entradas y salidas de agua mensuales. Se destina el volumen de escorrentía mensual como el valor de entrada, considerando una zona de recarga de dos manzanas. Y como pérdidas se encuentra la demanda de agua de la familia productora, la evapotranspiración e infiltración mensual.

a. Volumen de agua que entrada al sistema

El volumen de entrada es el escurrimiento de agua mensual que entra al reservorio y se calcula a partir de la metodología presentada, la Tabla 19. Donde se requiere de poseer un área de recarga igual o mayor de dos manzanas (por fines prácticos, se dejó un área de recarga dos manzanas), la evapotranspiración mensual y el coeficiente de infiltración que se determina a partir de las pruebas de infiltración realizadas en conjunto con la pendiente, textura de suelo y cobertura.

Tabla 19. Datos de entrada para la dinámica del comportamiento anual del sistema de cosecha de agua del tipo esorrentía

Mes	Precipitación (mm)	ETP (mm)	Esorrentía (m3)
Mayo	230.86	74.91	1119.42
Junio	52.70	49.58	22.45
Julio	23.54	64.77	0.00
Agosto	32.98	60.21	0.00
Septiembre	134.50	63.23	511.53
Octubre	201.91	36.17	1189.71
Noviembre	18.47	43.25	0.00
Diciembre	0.00	64.32	0.00
Enero	0.00	65.08	0.00
Febrero	0.00	65.64	0.00
Marzo	8.53	73.75	0.00
Abril	8.05	73.17	0.00

Tal como se observa en Tabla 19, los meses en que logra almacenar agua el reservorioes en mayo, junio, septiembre y octubre. En mayo se observa que el volumen de entrada superalos 1000m³ del volumen diseñado al igual que el mes de octubre.

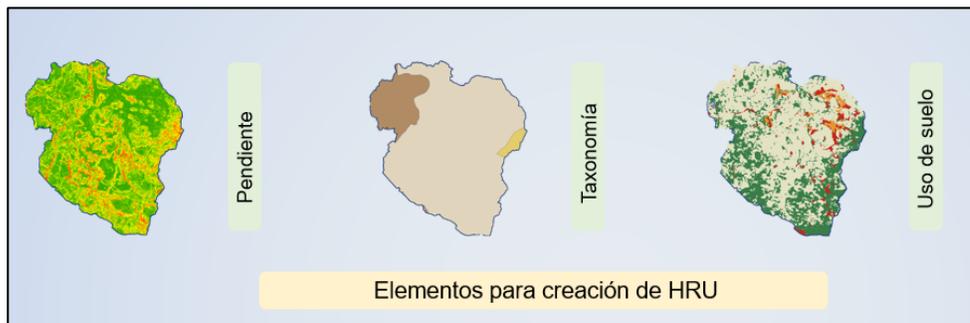
De acuerdo a los cálculos, se estima que lluvias por debajo de los 75 mm son insuficientes para generar una esorrentía, por tanto, no hay ingreso de agua al reservorio. Con una lluvia de 75 mm ingresan 0.63 m³ al reservorio y de 100 mm mensuales es posible lograr un volumen de entrada de 180 m³ hacia la obra.

4.5. Escenarios climáticos

4.5.1. HRU (Unidades de respuesta hidrológicas)

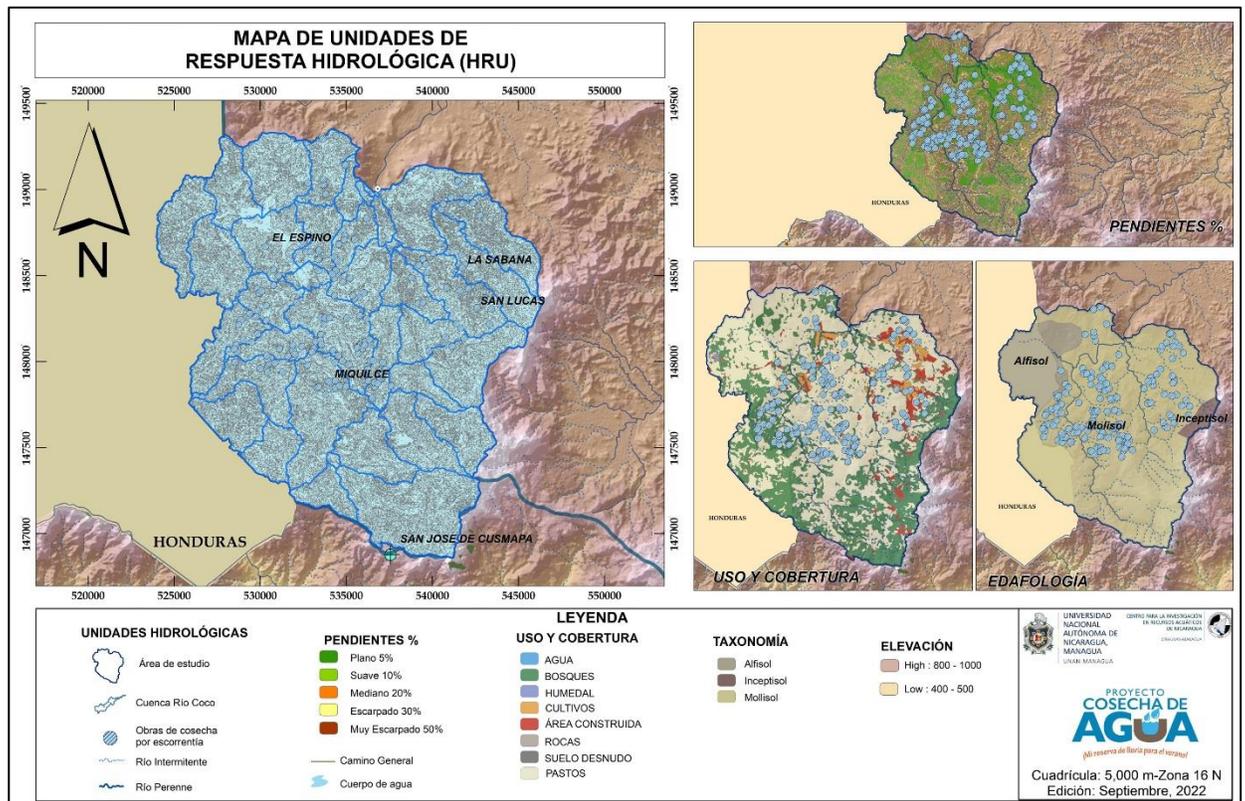
En la elaboración de las HRU se empleó el Mapa Nacional de Usos del Suelo del Proyecto Global Land Cover, (2019), a escala 1:100000. Los códigos de uso fueron reclasificados a los de SWAT utilizando la metodología descrita por Bobal et al. (2010) y El-Sadek e İrvem (2014)., citado por Jodar-Abellan et al., (2018). La edafología de la cuenca se extrajo de la base de datos establecidas en FAO (1990) y WRB (2014). La pendiente fue dividida en cinco clases (0%–10%, 10%–20%, 20%–30%, 30%–40% y >40%).

Figura 39. Variables de entrada para generar las HRU



A partir de las coberturas mostradas, se obtuvieron 790 HRU. Debido al gran número de HRU generadas, SWAT se comporta como un modelo de parámetros distribuidos. El tamaño de cada HRU resulta por tanto menor que la superficie de las celdas en las que se divide el territorio. Por ello, los parámetros hidrológicos que caracterizan a la cuenca varían espacialmente en cada punto (HRU < celda).

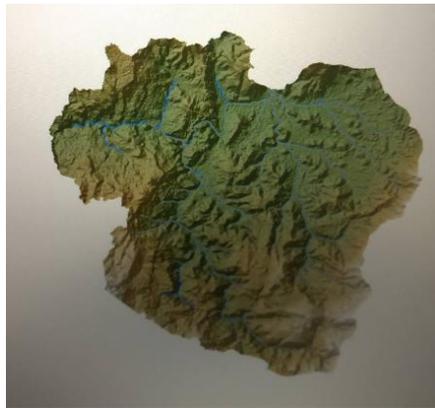
Figura 40. Unidades de respuesta hidrológica generadas



4.5.2. Calibración del modelo

El modelo de cuenca a partir del procesamiento del DEM permite establecer los puntos de salida de cada microcuenca para obtener los resultados de caudal y sedimento en los puntos de interés. Para esta modelación los puntos de salida se corresponden con las diferentes subcuencas del sistema hidrológico y también con las estaciones hidrológicas, por otra parte, para la validación y análisis de sensibilidad se presenta como una limitante, esto debido a la falta de datos diarios de caudales en cada una de HRU.

Figura 41. Ajuste de datos de entrada al QSWAT



En la calibración de SWAT se contrastaron las mediciones de las precipitaciones, a nivel diario, en la salida de la cuenca con las simulaciones de éste.

De este modo, la modelación hidrológica en la cuenca, para el periodo presente y futuro, se realiza a partir de los resultados proporcionados con NSE como función objetivo. Dichos resultados se trasladan a los parámetros hidrológicos, se corrigen así los valores originales de los parámetros seleccionados para representar el comportamiento hidrológico.

Una vez teniendo los datos diarios estos fueron efectuados a través de los escurrimientos empleados.

4.5.3. Morfometría subbasin

De acuerdo con Gámez (2010), los parámetros morfológicos intentan reflejar las características de la cuenca en cuanto a su forma, y la influencia en las respuestas a las precipitaciones. Una vez ingresados los inputs al modelo SWAT, este genera una serie de subbasin (microcuencas), las cuales presentan condiciones únicas, en forma, relieve y red de drenaje, por lo que a continuación se detalla los parámetros morfométricos de 5 subbasin de 39, en Anexo 9.4.3, se puede observar la tabla completa.

a. *Tamaño de la cuenca*

El tamaño de la cuenca es una característica que influye en el escurrimiento superficial, de acuerdo a Gámez (2010), se pueden clasificar en “Pequeñas, Medianas y Grandes”, para el caso de las 5 subbasin analizadas, presentan un carácter de “Pequeñas” al estar en valores < de 50, Tabla 20.

Tabla 20. *Valores de tamaño de cuenca por subbasin*

Subbasin	Area_km ²
37	28.55
28	22.00625
7	16.87375
21	16.62625
33	14.255

Fuente: Elaboración propia, 2023.

b. *Forma de la cuenca*

Esta característica tiene fundamental importancia en la cantidad de escorrentía por una misma área y una misma intensidad de lluvia, este coeficiente será mayor o igual a 1, de manera que, entre más próximo a la unidad, la forma de cuenca se aproximará más a la de un círculo. Por tanto, en tabla 21, se muestra los valores de forma de la cuenca para cada subbasin, indicando que, dichas subbasin tienen un tipo de forma de oval oblonga a rectangular oblonga, según (Gámez Morales, 2010).

Tabla 21. *Factor de forma por subbasin*

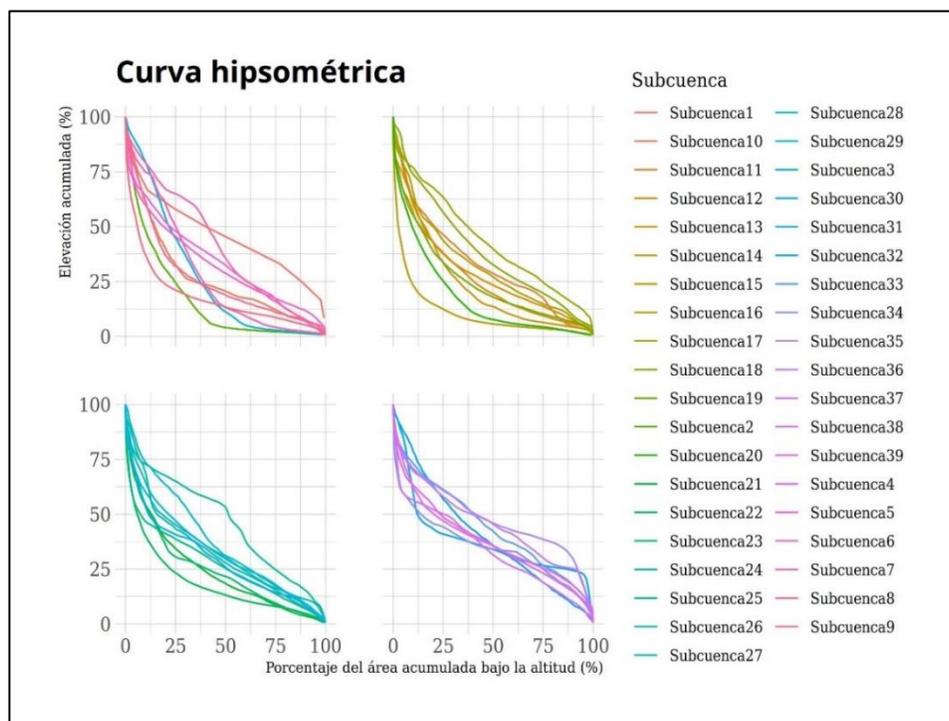
Subbasin	Compacidad
37	1.811828821
28	2.098023457
7	2.00060031
21	2.063504187
33	1.81508564

Fuente: Elaboración propia, 2023.

c. Elevación media

Para la obtención de la elevación media se utiliza un plano topográfico altimétrico, que permite obtener la curva área-elevación, conocida como curva hipsométrica, la cual caracteriza el relieve, pendientes fuertes indican llanuras, pendientes muy fuertes peligro de inundación y pendientes suaves indican cuencas de valle fluvial. En la Figura 42, se muestran las diferentes curvas hipsométricas de acuerdo a cada una de las subbasin (39).

Figura 42. Curva hipsométrica por subbasin



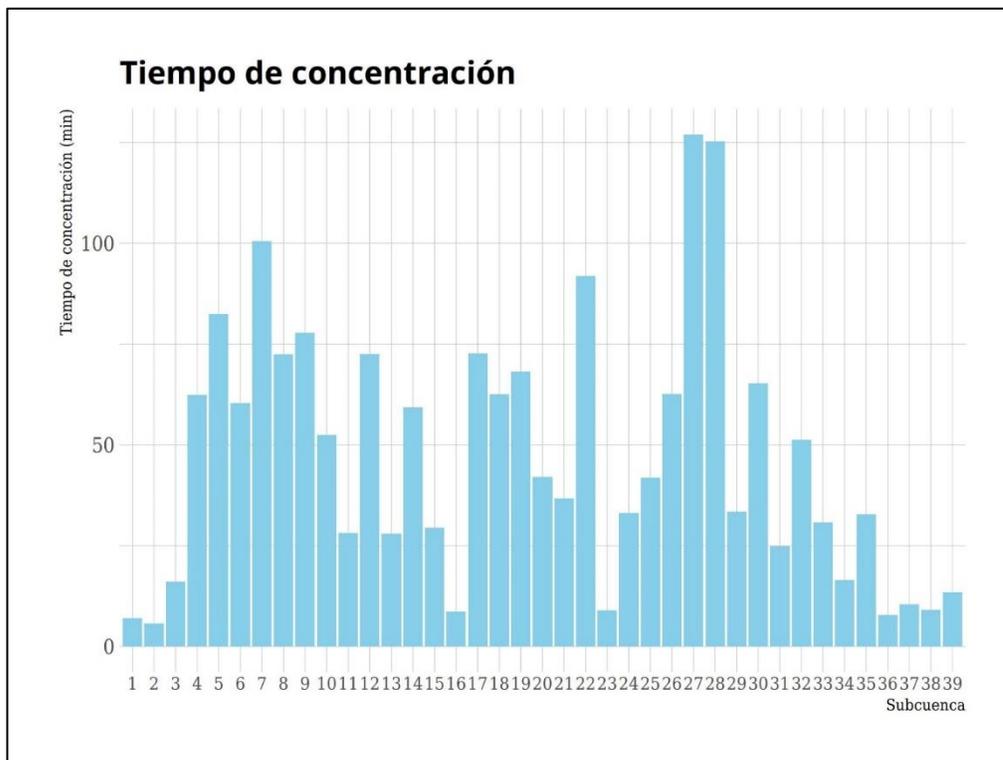
Según la Figura 42, muestra cuatro cuadros de curvas hipsométricas que tienen potenciales evolutivos distintos, lo que indica que las subbasin tienen dos tipos de fases evolutivas, en el caso de las subbasin 1 – 21, (cuadro superior derecho) presentan fases vejez al ser curvas inferiores es típico de cuencas sedimentarias, en los siguientes cuadros es una combinación entre fases de madurez y vejez, en los casos de madurez esto indica un cuenca en equilibrio, la cual no tendría potencial erosivo.

d. Tiempo de concentración

Vélez & Botero (2011), indican que, es el tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, se alcance el estado estacionario, es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el sitio de descarga.

Desde el punto de vista empírico, en la literatura se encuentran numerosas expresiones para determinar el tiempo de concentración de las cuencas hidrográficas, para este caso se utilizó la metodología de Bransby-Williams, la cual, su ecuación es aplicables para cuencas con una extensión menor a 75km².

Figura 43. Tiempos de concentración por Subbasin



En la Figura 43, los resultados de la estimación del tiempo de concentración son muy diferentes entre sí, puesto que, cada subbasin presentan características particulares, desde las pendientes, relieve y

cobertura, tanto en las partes altas como puntos de salida, es decir que, bajo estas condiciones solo dos subbasin sobrepasan la hora en recorrer una gota de agua desde el punto más alto de esa subbasin hasta su punto de cierre.

Asensio (2010), infiere que los tiempos de concentración son influenciados directamente en función del área de la subbasin así como, de su densidad de drenaje y forma de la cuenca, es decir, a mayor tamaño mayor tc, a mayor accidentalidad o pendiente, menor tc.

4.5.4. Escenarios climáticos

A falta de registros de caudal in situ para poder comparar si el caudal expresado en escorrentía (m^3), tiene la capacidad de suplir o llenar las obras de cosecha por escorrentía dentro de las unidades hidrológicas en estudio, se generó mediante la herramienta SWAT los caudales en termino de escorrentía a partir de la simulación de lluvias diarias.

Para poder generar los caudales tanto actuales como simulados, es necesario, tener el procesamiento de la información de Uso de suelo, Edafología, Pendiente, SWAT al igual que genera las HRU, así mismo, genera pequeñas delimitaciones internas dentro de área total, las cuales se les conoce como subbasin (subcuenca), en donde, cada una presenta una condición única, como partes de agua, caudales, como morfometrías específicas, por tanto, para este caso el modelo genero 39 subbasin.

a. Caudales actuales

Los aportes diarios se calculan por las diferencias entre las variaciones del volumen almacenado y las salidas registradas (vertidos, derivaciones y evaporación). Cuando las entradas son bajas en relación a las variaciones del volumen almacenado, pequeñas imprecisiones en la medida de la cota del agua en el embalse (por ejemplo, por la acción del viento) suponen un gran error en el cálculo del aporte.

Bajo estas consideraciones y utilizando para este punto los datos diarios de precipitación de 5 estaciones meteorológicas y medidos en el rango de 1980 hasta 2020, se obtuvo que, para las subbasin 37 y 1, se presentan los mayores y más bajos valores respectivamente de caudal en escorrentía, entendiéndose estas subbasin como los puntos más altos y el sitio de menor pendiente o descarga superficial de las unidades hidrológicas como tal.

Tabla 22. Caudales actuales simulados, periodo 1980 - 2020

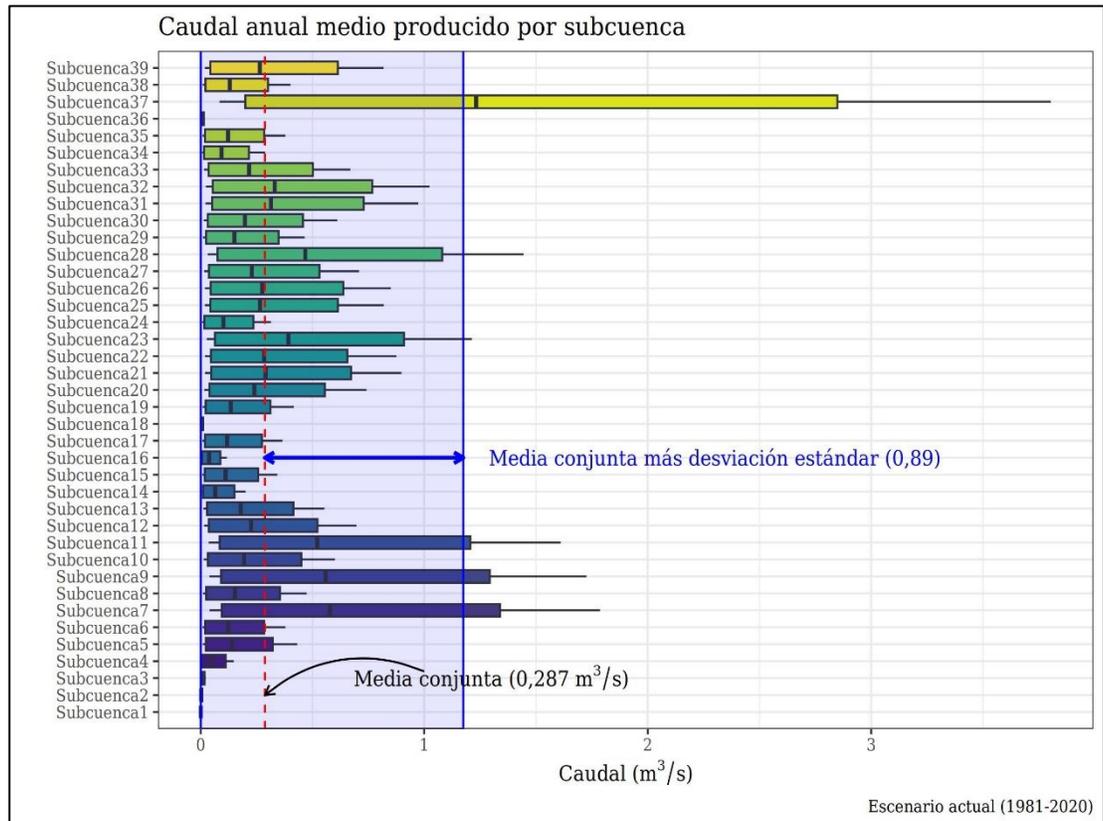
DESCRIPCION	MEDIA m3
Max	
SUBBASIN 37	1.56465
SUBBASIN 7	0.73532
SUBBASIN 9	0.71025
SUBBASIN 11	0.66247
SUBBASIN 28	0.59346
Min	
SUBBASIN 3	0.00940
SUBBASIN 36	0.00775
SUBBASIN 18	0.00624
SUBBASIN 2	0.00378
SUBBASIN 1	0.00027

Nota: Se presentan datos máximos y mínimos de 5 subbasin representativas, tabla completa ver en anexos 9.4.4.

De igual manera en la Figura 44, se puede observar la distribución de caudal en las 39 subbasin generadas, al igual del tratamiento estadístico, en donde, los valores medios observados se trazan en 0.287 m³/s, El resultado de la desviación estándar obtenidos indica que la dispersión con respecto a la media (0.287 m³) de los 40 años evaluados es de 0.89, indicando la magnitud de su variabilidad temporal, se podría sugerir una variabilidad baja dado que no supera al metro, esto muestra poca dispersión de los datos con respecto a la media.

Esto indica a su vez que, mientras mayor sea la dispersión, mayor es la desviación estándar, sino hubiera una variación en los datos, si fueran todos iguales, la desviación estándar sería cero.

Figura 44. Caudales simulados actuales, 1981 - 2020



b. Caudales futuros, escenario crítico

Las Sendas Representativas de Concentración (Representative Concentration Pathways: RCP) se identifican por su Forzamiento radiactivo (FR) total para el año 2100 que varía desde 2,6 a 8,5 W/m². Cada RCP tiene asociada una base de datos de alta resolución espacial de emisiones de sustancias contaminantes y concentraciones de gases de efecto invernadero y de usos de suelo hasta el año 2100, basada en una combinación de modelos de distinta complejidad de la química atmosférica y del ciclo del carbono, (Espinoza Acuña, 2017).

Tabla 23. Sendas Representativas de Concentración según el informe del IPCC.

	FR	Tendencia del FR	[CO ₂] en 2100
RCP 2,6	2,6 W/m ²	Decreciente en 2100	421 ppm
RCP 4,5	4,5 W/m ²	Estable en 2100	538 ppm
RCP 6,0	6,0 W/m ²	Creciente	670 ppm
RCP 8,5	8,5 W/m²	Creciente	936 ppm

Nota: FR: Forzamiento Radiactivo; RCP: Senda Representativa de Concentración Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015, p. 10. Para cada año analizado se asignó un período de años.

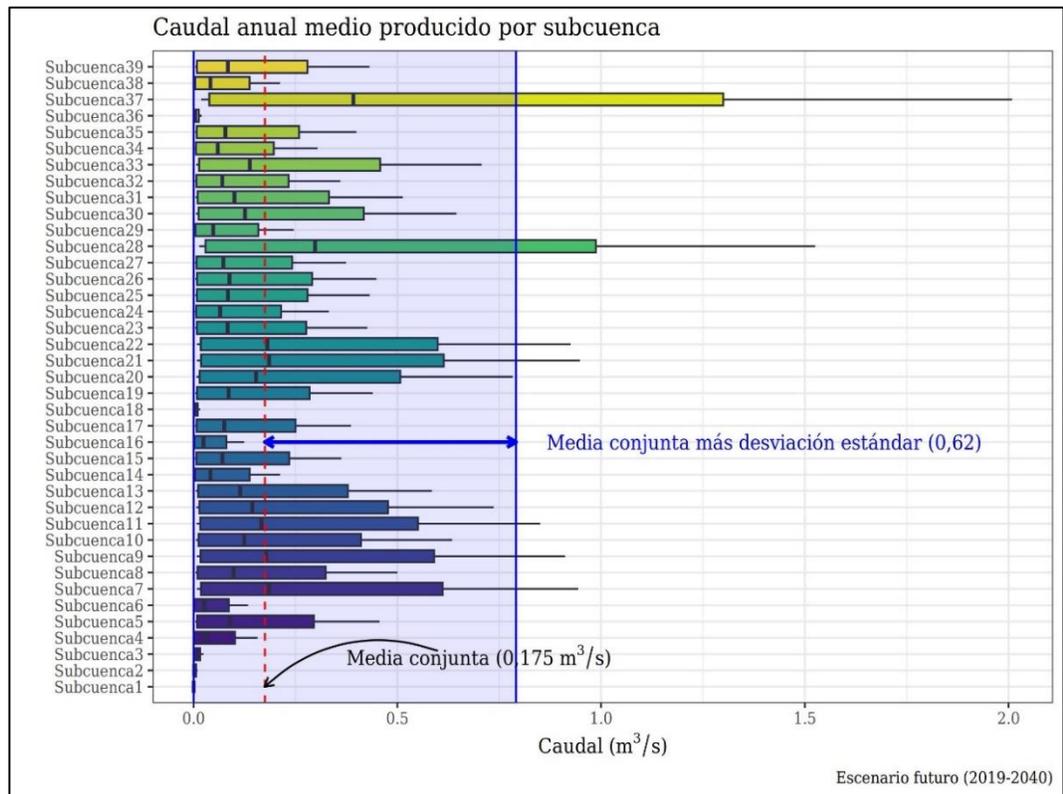
Estos períodos se designaron de la siguiente manera:

- Período 1, año 20 (1 de enero del 1981 hasta diciembre 2019)
- Período 2, año 2020 (1 de enero del 2020 hasta 31 de diciembre del 2040)

En este estudio, para el período 2 se utilizó el RCP 8.5 categorizado como escenario pesimista, con el propósito de comparar el escurrimiento superficial en contraste con el registro histórico, para brindar una aproximación de la situación futura ante variaciones climáticas extremas y uso inadecuado de la tierra.

Tras elaborar las HRU, se incorporaron en SWAT las series diarias de precipitación, temperatura máxima y mínima de las estaciones meteorológicas localizadas en las inmediaciones y en el interior de la cuenca y los RCP 8.5 de enero 2020 ha diciembre de 2040.

Figura 45. Caudales futuros, 2020 - 2040



Bajo estas consideraciones y utilizando para este punto los datos diarios de precipitación de 5 estaciones meteorológicas y los RCP 8.5 medidos en el rango de 2020 hasta 2040, se obtuvo que, para las subbasin 37 y 1, se presentan los mayores y más bajos valores respectivamente de caudal en escorrentía, entendiéndose estas subbasin como los puntos más altos y el sitio de menor pendiente o descarga superficial de las unidades hidrológicas como tal.

Tabla 24. Caudales futuros simulados, periodo 2020 - 2040

DESCRIPCION	MEDIA m ³
Max	
SUBBASIN 37	0.31932
SUBBASIN 28	0.17521
SUBBASIN 21	0.33049
SUBBASIN 7	0.04677
SUBBASIN 22	0.15975
Min	

SUBBASIN 1	0.00024
SUBBASIN 2	0.22222
SUBBASIN 18	0.29773
SUBBASIN 36	0.25796
SUBBASIN 3	0.20479

Fuente: elaboración propia.

De igual manera en la Figura 45, se puede observar la distribución de caudal en las 39 subbasin generadas, al igual del tratamiento estadístico, en donde, los valores medios observados se trazan en $0.175 \text{ m}^3/\text{s}$, El resultado de la desviación estándar obtenidos indica que la dispersión con respecto a la media (0.175 m^3) de los 20 años evaluados es de 0.62, indicando la magnitud de su variabilidad temporal, se podría sugerir una variabilidad aún más baja, que la presentada en los caudales actuales, dado que no supera al metro, esto muestra poca dispersión de los datos con respecto a la media.

Esto indica a su vez que, mientras mayor sea la dispersión, mayor es la desviación estándar, sino hubiera una variación en los datos, si fueran todos iguales, la desviación estándar sería cero.

c. Diferencias significativas entre escenarios climáticos

Si bien, se muestra la variación entre la precipitación media anual del registro histórico de INETER con el clima esperado para el año 2040 (escenario pesimista). Se espera que dentro de 20 años haya una tendencia de las precipitaciones en un comportamiento decreciente no muy marcado entre las simuladas y las observadas.

De acuerdo a IPCC (2021), indican las bases físicas en que las disminuciones de precipitación estarían siendo afectadas. Refiriéndose a que, el calentamiento de la atmosfera, el océano y la tierra debido a la influencia humana es inequívoca, aumentado las concentraciones de

gases de efecto invernadero, lo que lleva a un aumento de las temperaturas a nivel global, así como a las precipitaciones.

Por lo que, a partir de Las Sendas Representativas de Concentración (Representative Concentration Pathways: RCP), podemos observar el cambio en caudal que generan las subbasin en una temporalidad a futuro de 20 años (2040), de lo cual, es notorio la disminución de los caudales, para este efecto se presentan algunas subbasin que presentan mayor rango de disminución del caudal en escorrentía.

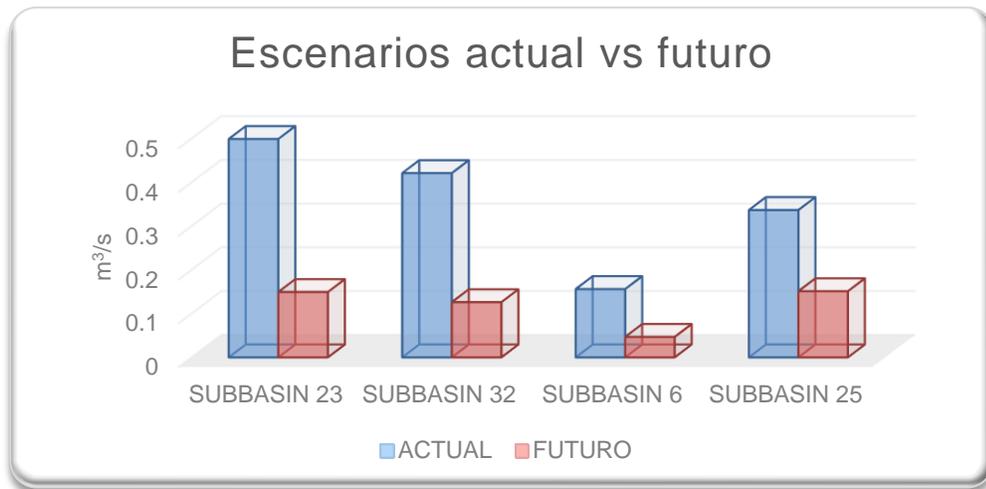
Tabla 25. Distribución de sitios con diferentes incidencias de afectaciones futuras

DESCRIPCION	ACTUAL	FUTURO	% DE REDUCCION
SUBBASIN 23	0.49917778	0.14934767	70.08126607
SUBBASIN 32	0.42119297	0.12616604	70.04554965
SUBBASIN 6	0.15613727	0.04677085	70.04504363
SUBBASIN 25	0.33681846	0.15120568	55.10766212
Min			
SUBBASIN 10	0.24694973	0.22221552	10.01588834
SUBBASIN 19	0.17118124	0.15404295	10.01177718
SUBBASIN 22	0.36022805	0.32416816	10.01029493
SUBBASIN 24	0.12920543	0.11627553	10.0072434
SUBBASIN 15	0.14101901	0.12690993	10.00509476

Nota: Se presentan datos máximos de 5 subbasin representativas, tabla completa ver en anexos 9.4.4.

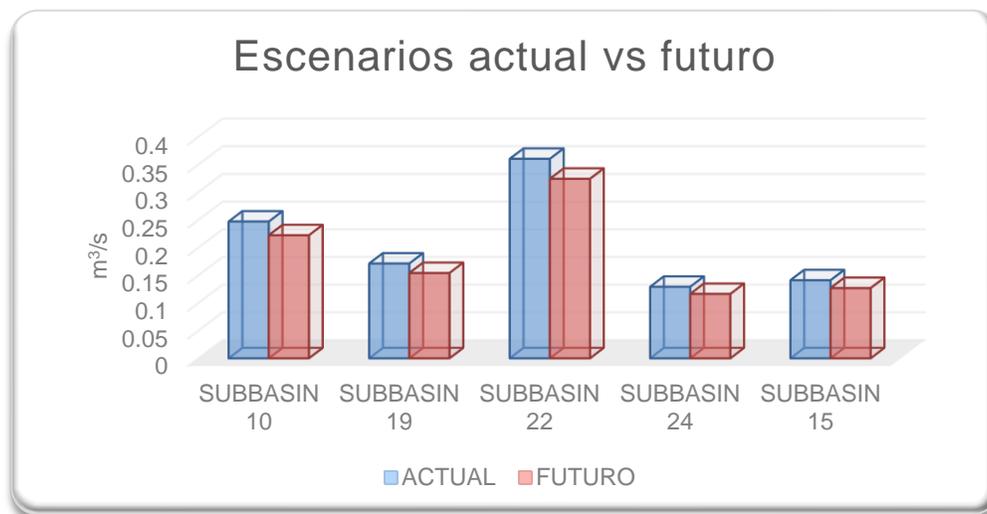
En Tabla 25 y Figuras 46 - 47, se presentan los sesgos obtenidos del contraste entre los valores de escorrentía, simulados en SWAT y los datos observados entre las diferentes subbasin. Se destacan resultados variables entre las diferentes simulaciones, el comportamiento muestra porcentajes entre los 70 y 55 % de disminución entre los rangos más altos de pérdida de escorrentía en años futuros con respecto a la actualidad.

Figura 46. Representación de mayor rango de sesgo



En lo que respecta, a los valores mínimos o de menos afectaciones, (Figura 46), se obtuvieron sesgos no menos de 10%, por lo que estas subbasin presentan mejor condición de drenaje, pendientes no tan pronunciadas y coberturas de suelo, que permiten la retención de humedad, por lo que no se ven con afectaciones mayores, con respecto a las presentadas en Figura 47.

Figura 47. Representación de menor rango de sesgo



4.6. Plan de acción para el manejo de Sistema de Cosecha de Agua por escorrentía

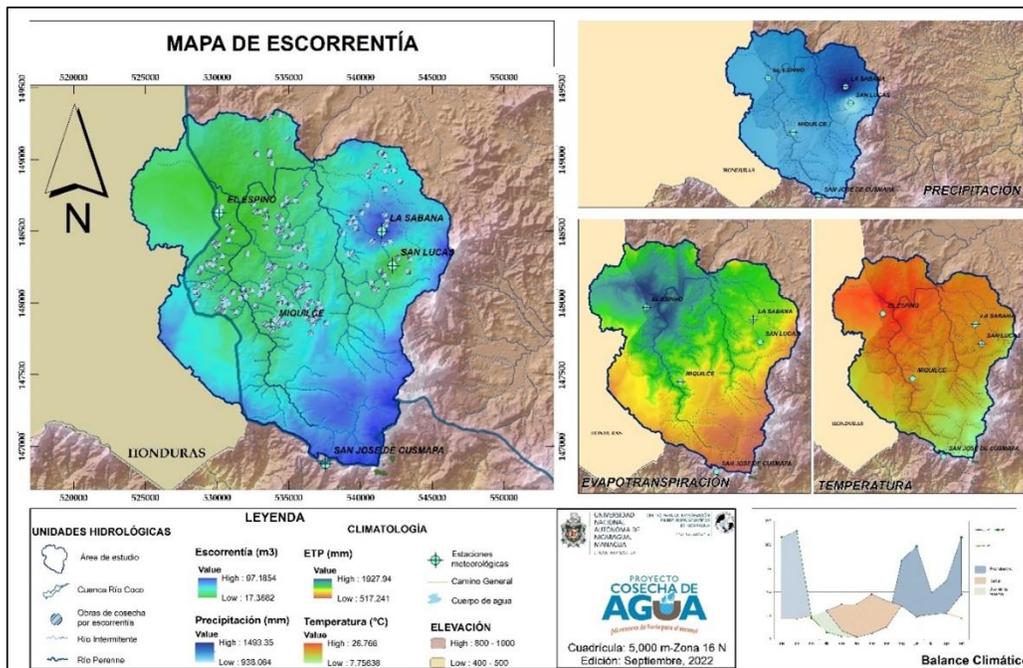
Los componentes del Sistema de Cosecha de Agua por escorrentía son: Área de recarga, reservorio y área productiva. El plan de acción para el manejo de este sistema abarca cada uno de los componentes, donde la familia productora beneficiada por esta tecnología participará en cada uno de los procesos y/o acciones para alcanzar el manejo integral del Sistema de Cosecha de Agua, logrando así la adaptación de sus actividades agroforestales / silvopastoriles y mediante el involucramiento de los integrantes de la familia donde se impulsa la participación de la mujer, se espera alcanzar la mejora nutricional y económica.

El plan cuenta con actividades que permitan una “buena salud” en el reservorio, lo cual va alineado hacia la calidad del agua que entra al embalse, la cual únicamente se logra a través de un manejo integral de todos los componentes del Sistema de Cosecha de Agua. A su vez, este instrumento permitirá una durabilidad y larga vida útil al reservorio.

4.6.1. Acciones inmediatas

A partir de los datos generados en caudal tanto a nivel actual, como futuro, se logra evidenciar que para el año 2040, habrá una reducción de los caudales a futuro de un 10% hasta un 70%, bajo estas circunstancias y al proponer diferentes acciones que de alguna manera inmediata, conociendo los caudales actuales se puedan establecer obras de cosecha en los sitios en donde pueda captar volúmenes de agua de acuerdo con las precipitaciones locales y escurrimientos generados por la misma, Figura 48.

Figura 48. Escorrentía escenario actual



4.6.2. Manejo del área de recarga

a. Protección del área de recarga

Este manejo consiste en impedir la accesibilidad de los pobladores y animales enfocados al uso humano (vacas, gallinas, equinos, etc.) inclusive animales domésticos como los perros hacia el componente de SCA que corresponde al área de recarga, con el propósito de suprimir fuentes de contaminación al igual que acciones extractivistas (extracción de árboles o materiales de interés que existan en el área de recarga) que van en contra de los fines por los que se protegió dicho sector.

El uso de **cercas vivas**, se propone considerando que se puede ejecutar con cierta facilidad en la zona, debido a que no se requiere comprar varas y/o cercas, puesto que se basan en la siembra de estacones que van a crecer de manera natural y pueden ser de beneficio para la familia productora, no solo por la sombra sino también de utilidad nutricional a través de variedades frutales.

b. Control de calidad de escorrentía hacia el reservorio

Una de las debilidades que se presentan en los sistemas de cosecha de agua del tipo escorrentía es la calidad del agua que se dirige al reservorio, para ello se proponen **barreras muertas, barreras vivas y plantas estabilizadoras de suelo**. Las tres son aptas para reducir la erosión, controlar la velocidad de escorrentía y una reducida carga de sedimentos, previendo así agua más limpia.

Se debe priorizar el uso de barreras muertas, debido a que las barreras vivas por lo general llegan a ser una invitación a que los pobladores ingresen para obtener beneficios, como tubérculos, etc., afectando así el enfoque del manejo hacia el área de recarga, que es la regeneración natural y la nula actividad antropogénica.

c. Uso de suelo enfocado al ciclo hidrológico

Se prioriza y se promueve la **regeneración natural** como principal uso de suelo en el área de recarga, lo que garantiza a mediano plazo el establecimiento de microclima, aumento de biodiversidad, incremento de tasas de infiltración y aumento de la fertilidad de los suelos.

La regeneración natural prioriza las especies nativas, independientemente de su valor socio-económico. En cambio, la reforestación por lo general se realiza con especies de alto valor comercial, como el roble, caoba y cedro, las cuales en aproximadamente 16 años tienen el diámetro óptimo para corte, de modo el ecosistema construido sea removible por fines económicos.

A continuación, se presenta el plan de acción para el manejo del área de recarga (Tabla 26) enfocado a Sistemas de Cosechade Agua del tipo escorrentía:

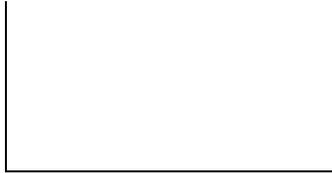
Tabla 26. Acciones de manejo para el componente de Área de Recarga enfocado en Sistemas de Cosecha de Agua del tipo escorrentía

Manejo	Actividades	Resultados	Tareas	Temporada de ejecución
Protección del área de recarga	Cercar prioritariamente cercas vivas	Se previene la contaminación bacteriológica y/o parasitaria del agua que va al reservorio	Colectar estacones (tigüilote, jocote, madero negro, piñuelas, etc.)	Febrero - Abril, Julio - Agosto
			Siembra de estacones	Mayo - Jun, Septiembre
			Tender alambre	Diciembre - Febrero
		Se evita incursiones de animales y personas	Vigilia contra incursione	Permanente

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

			S	
--	--	--	---	--

Manejo	Actividades	Resultados	Tareas	Temporada de ejecución
	Promover la apicultura		Visitas a apicultores	Noviembre - Febrero
			Disponer de crédito	Permanente
			Capacitación Apícola	
	Crear banco de biomasa	<ul style="list-style-type: none"> - Descompresionar la demanda de leña en área derecarga - Permitir ramoneo y descanso de ganado (banco proteínico) 	Colectar estacones (madero negro, Neem, eucalipto, etc.)	Febrero - Abril, Julio - Agosto
Siembra de estacones			Mayo - Junio, Septiembre	
Control de calidad de escorrentía hacia el reservorio	Priorizar uso de barreras muertas seguido de barreras vivas	<ul style="list-style-type: none"> - Se reduce la velocidad de la escorrentía - Se aumenta la capacidad de infiltración 	Identificar accidentes topográficos (cárcavas, terreno socavado, etc.)	Antes de construcción de reservorio
			Trazado de curvas de nivel	Diciembre - Febrero
			Acopio de material para barreras	Enero - Febrero



- Se reduce el volumen
desedimentos

Construcción de barreras muertas (duplicar la	Marzo - Abril
---	---------------

Manejo	Actividades	Resultados	Tareas	Temporada de ejecución
	Intervenir con plantas estabilizadores de suelo en el sector más cercano al reservorio (vetiver, grama china, etc.)	Se previene daños en la estructura de abasto de la obra	construcción en zonas de cárcavas)	
			Establecimiento de barreras vivas	Marzo - Abril
			Obtención de material vegetativo	Después de ser construida la obra
			Sembrar el material vegetativo	Después de ser construida la obra
			Chapoda	Permanente
Uso de suelo enfocado al ciclo hidrológico	Regeneración natural de flora	Establecimiento de microclima	Ninguna	Permanente
		Aumento de biodiversidad	Ninguna	Permanente
		Incremento de la tasa de infiltración	Ninguna	Permanente
		Aumento de la fertilidad del suelo	Ninguna	Permanente

4.6.3. Manejo del área productiva

a. Buen uso de agua en agricultura familiar

Las actividades que conlleva este manejo permiten una disposición de alimentos variados y nutritivos para la familia productora, donde el rol de la mujer se vuelve indispensable, debido a que se prioriza el beneficio de la familia, esto radica a que la escala de trabajo difícilmente logra ser una escala comercial.

Por tanto, el enfoque de los sistemas de cosecha de agua es exclusivo o de prioridad hacia los huertos familiares que la agricultura comercial, al igual que se privilegia un manejo orgánico, que supone de rotación de cultivos, cultivos trampa, manejo integrado de plagas, y el menor uso posible de agroquímicos.

b. Cultivos

El cultivo de granos básicos, especialmente de maíz y de frijol, suele ser estacionario y está adaptado a las épocas climáticas; la primera temporada de producción de granos básicos se lleva a cabo cuando inicia la temporada de lluvias, para finalizar con la cosecha en el mes de septiembre. Para el caso del frijol, que presenta hasta 3 épocas de siembra, la “postrera” se da a partir de agosto, pudiendo extenderse dependiendo la región, y el “apante” se realiza en el mes de diciembre.

Si bien, el área de estudio al estar dentro del corredor seco presenta cierto déficit de precipitación, y condiciones climáticas de sequía leve, se presentan un compilado de variedades de cultivos (maíz y frijol) que pueden utilizarse al presentarse un evento de sequía:

Tabla 27. Variedades del cultivo de maíz

Características	Variedades				
	NB - 6	NB 9043 (Catacama)	NB - S	Nutrinta amarillo	Nutrader
Naturaleza genética	Polinización libre				
Color de la semilla	blanco	blanco	blanco	amarillo	amarillo

Cobertura de la mazorca	buena	excelente	buena	excelente	excelente
Origen	Nicaragua	Nicaragua	México	México	México
Potencial de rendimiento (qq/mz)	65-70	65-70	40-50	45-60	55-70
Tolerancia a	achaparramiento	podrición de mazorca	sequía	-	podrición de mazorca
Madurez relativa (días)	110 - 115	110 - 115	90 - 95	110 - 115	110 - 115
Densidad poblacional (plantas/mz)	35, 000	37, 000	37, 000	37, 000	37, 000

Fuente: Elaboración propia, a partir de INATEC (2018), (García, 2012).

Tabla 28. Variedades del cultivo de frijol

Características	Variedades				
	INTA Cárdenas (DOR-500)	INTA Rojo	INTA Fuerte sequía	INTA Nutritivo	INTA Matagalpa
Polinización	Auto polinizado				
Color de la semilla	negro opaco	rojo claro	rojo oscuro brillante	rojo	rojo brillante
Origen	México	Honduras	Colombia	Colombia	Honduras
Modurez a cosecha (días)	77 - 79	75 - 77	74 - 77	75 - 77	75 - 77
Rendimiento (qq/mz)	22 - 24	30 - 35	19	30 - 35	30 - 35
Tolerancias	Resistente a mosaico común, tolerante a mosaico dorado y mancha angular	Resistente al mosaico común y dorado. Tolerante a mancha angular	Resistente a sequía, mosaico común y dorado	-	-

Fuente: Elaboración propia, a partir de INATEC (2018), (García, 2012).

Según INATEC, (2018), estas variedades resulta de la cruce de líneas tolerantes a sequía y alta temperatura; y ha pasado por procesos de investigación y validación con agricultores, en zonas de escasas lluvias y suelos con baja fertilidad.

Tabla 29. Acciones de manejo para el componente del área productivo enfocado en Sistemas de Cosecha de Agua del tipo escorrentía

Manejo	Actividades	Resultados	Tareas	Temporada de ejecución
Buen uso de agua en agricultura familiar	Selección de producto a regar para la seguridad alimentaria y nutricional de la familia productora	Disposición de alimentos variados y nutritivos para la familia productora incluso vecinos y/o comunitarios	Priorizar producción alimentaria a través de una parcela variada	Permanente
			Búsqueda de semillas	Permanente
			Establecer heras y/o surcos, otros.	Permanente
			Siembra de cultivos	Permanente
	Evitar la competencia con los animales de corral y/o domésticos		Cercar área de cultivo o de animales	Permanente
			Desarrollo de	Uso de cojinetes mulch
	Uso de compost			Permanente
	Rotación de cultivo			Permanente

	prácticas de conservación de suelo y agua	Uso de frijol mungo como abono y control de plaga	Permanente
		Prevenir erosión	Permanente

Manejo	Actividades	Resultados	Tareas	Temporada de ejecución
	Direccionarse hacia la agricultura orgánica		Aprender buenas prácticas agrícolas a través de capacitaciones, intercambios, asistencia técnica	Permanente
	Garantizar buen funcionamiento del sistema de riego		Aseguramiento y mantenimiento del sistema de riego	Permanente
Buen uso de agua en la ganadería	Diseño o rediseño del sistema pecuario	Sistema de suministro de agua en calidad y cantidad para el ganado	Localización de corrales por debajo de la cota del reservorio	Inicio de proyecto
			Construir bebederos con capacidad de abasto adecuado	Inicio de proyecto

			Evitar concentración de excretas en corral a través de un buen drenaje y de uso para biodigestor	Permanente
--	--	--	--	------------

Manejo	Actividades	Resultados	Tareas	Temporada de ejecución	
	Suministro de agua necesaria		Abasto de agua para los bebederos	Permanente	
			Disponer de agua para higiene del corral(para el productor queva a ordeñar, vaca que va a parir, ternero, etc.)	Permanente	
			Disponer de agua para desparasitantes y otros químicos	Permanente	
	Control de efluente		Establecer lugar para mezclas y lavados	Inicio de proyecto	
			Garantizar el triple lavado de envases	Permanente	
			Control de contaminantes en la parte baja de las unidades hidrológicas	Remover plaguicidaspor filtros de arena y carbón activado	Permanente

4.6.4. Manejo de suelos

Entre las prácticas culturales se citan aquellas utilizadas en el programa de Conservación de Agua y Suelo (CAS) destinadas a prevenir la erosión, (particularmente de texturas francas y limosas) y aumentar la retención de humedad en el suelo como:

- ✓ Trazado de curvas de nivel.
- ✓ Elaboración de terrazas y acequias.
- ✓ Implementación de Barreras vivas y muertas.
- ✓ Uso de abonos orgánicos ricos en materia orgánica.

La sequía que se presenta en la zona nos ha indicado que es recurrente y secuencial, no es casual ni esporádica y, por tanto, va seguir ocurriendo en los próximos años. Debido a estas condiciones climáticas prevalecientes y a la fragilidad de los sistemas ecológicos, la agricultura debe basarse en técnicas de cultivo muy específicas que permitan un uso eficiente y eficaz de la poca y limitada humedad edáfica, (García, 2012).

Lo anterior nos indica que en la agricultura se debe trabajar en tres direcciones:

a. Aumento de la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo:

Una mayor retención de agua en el suelo depende del tamaño de las partículas del suelo, la estructura que posee y la profundidad efectiva del mismo para el desarrollo de raíces. Es muy difícil modificar el tamaño de las partículas, pero sí es factible mejorar su estructura y aumentar la profundidad que las raíces pueden explorar; con esto se incrementa el contenido de agua del suelo.

b. Reducción de la escorrentía.

Cuando la intensidad de lluvias, aunque éstas se presenten en un corto tiempo, es superior a la velocidad de infiltración, se produce el encharcamiento en los terrenos planos y la escorrentía en los terrenos con pendientes inclinadas o muy pronunciadas.

En el primer caso, terrenos planos, el agua se pierde por evaporación, y en el segundo caso, terrenos con pendientes donde las tasas de infiltración son bajas, no solo se pierde el agua por escorrentía, sino que también se produce una acelerada erosión hídrica dando como resultado pérdida de agua y de suelo. Lo recomendable, además de rotación de cultivos, adición de materia orgánica es el uso de curvas de nivel, la formación de camellones que reduzcan la velocidad del agua y en último caso el uso de tarraza.

c. Mejora de la infiltración.

Mayores tasas de infiltración se alcanzan mediante la mejora de la estructura y la permeabilidad de los diferentes horizontes del suelo. Es muy útil la incorporación de mulch compuesto por residuos de cosechas y la práctica tradicional, ya olvidada, de dejar el terreno en barbecho por un período de al menos un año. En las zonas secas el barbecho asegura una mayor disponibilidad de agua en el suelo para el próximo cultivo, además de que protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, que, por pocas que sean, causan erosión. También hay pérdidas de agua por evaporación y transpiración; éstas pueden evitarse o disminuirse mediante el uso de cortinas rompe-vientos, el uso de mulch y un eficaz control de malas yerbas.

4.6.5. Planificación de las estrategias productivas en las unidades hidrológicas

La heterogeneidad existente, tanto a nivel físico como socioeconómico, provoca que las estrategias previamente expuestas en el presente documento, no se ajusten en su totalidad al contexto de las unidades hidrológicas, sino que solamente sean válidas para ciertos territorios dentro del área. Por tanto, la planificación de las estrategias debe integrar a los diferentes actores, respetando estas diferencias.

El diseño de estrategias efectivas basadas en el riesgo, que mitiguen los efectos de la sequía en la agricultura y los sistemas de abastecimiento de agua depende en última instancia del papel de las organizaciones, instituciones y grupos de interés civiles afectados por la sequía en cada caso.

Figura 49. Componentes metodológicos



El componente metodológico, pretende establecer los lineamientos a seguir y documentados en la presente investigación, para elegir, no solo la estrategia pertinente al territorio, sino también como llevarla a cabo (análisis de alternativas), Figura 49. Es indispensable en este componente, establecer indicadores que permitan medir si las estrategias están siendo efectivas ante la sequía.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

A través de la información recopilada y adquirida *in situ*, aplicando la base metodológica investigativa, obteniendo los resultados presentados en la investigación y manteniendo una visión holística sobre los Sistemas de Cosecha de Agua del tipo escorrentía, se determinó lo siguiente:

1. Con respecto a las unidades hidrológicas se caracterizan como cuencas abiertas exorreicas donde sus ríos principales desembocan directamente al río coco, presentando suelos duros, poco erosionables, siendo menos propensos a tener lluvias intensas, sujetas a crecientes de menor magnitud.
2. El Índice Normalizado de Precipitación (SPI), indica que la zona de estudio es propensa escenarios de sequía leve tres cada ocho años, y uno cada seis años a sequía moderada.
3. El 78.5% de la zona de estudio es clasificada como Amenaza Alta de sequía y el 21.4% por Amenaza Media según el Mapa de Multi-Amenazas y Vulnerabilidades de Nicaragua.
4. El ciclo hídrico en términos de lámina de agua para el área de estudio, denoto que para los meses de septiembre a noviembre presentan un excedente en cuanto a agua, pero, a partir de nov, los suelos no retienen con facilidad la humedad provocando déficit hídrico en los meses de noviembre hasta mayo.
5. De acuerdo al uso y cobertura de suelo predominante en el área, este condiciona la escorrentía superficial; dado que al tener pastos estos disminuyen la velocidad de escurrimiento y genera infiltración en los escenarios actuales del modelo hidrológico.
6. Según las mediciones de flujo en los ríos existentes dentro de las unidades hidrológicas se determinó una mayor capacidad de agua disponible en los meses lluviosos, mientras que, en los meses secos estos presentaron una reducción de caudal en un 95%, sin embargo, ambos valores servirán de referencias, debido a que las mediciones fueron realizadas de manera puntal en diferentes épocas y los valores variarían en el tiempo.
7. En lo que respecta a los meses críticos estos se presentan a partir de noviembre hasta abril, prolongándose en mayo, considerando a este efecto como canícula

seca y teniendo relación directa con el ciclo hídrico.

8. Se observó que la modelación de eventos extremos a través de SWAT proporciona información valiosa por su capacidad de simular como los cambios en el clima afectan los caudales y su alta aplicación para la toma de decisiones en la gestión de recursos hídricos.
9. Los escenarios según las sendas representativas de concentración RCP8.5, demostró que, para 20 años las precipitaciones en el área entre las simuladas y las observadas, se presentara una disminución gradual de los valores de precipitación y caudales, lo que se trasladaría a la posibilidad de presentar sequías leves en el área al menos cada tres años.
10. A partir de los análisis de escorrentía se puede observar que las obras de cosecha por escorrentía, en su mayoría se ubican en zonas con escorrentía menores a 50 m³, otras de las razones de que exista escorrentías bajas son los usos de suelo, de acuerdo al mapa de uso, algunas zonas se caracterizan por presentar pastos, los cuales ayudan a la retención de agua e infiltración, y se puede evidenciar en el balance hídrico en los meses de uso de reserva.
11. Las obras de cosecha por escorrentía dentro del área de estudio no constituyen una fuente de agua pertinente para riego a futuro, debido al déficit en la precipitación, por lo cual es necesario un plan de manejo que permita en años futuros su aprovechamiento más eficaz.
12. Las conclusiones de la investigación respaldan la urgencia de continuar investigando y desarrollando estrategias de adaptación al cambio climático en el ámbito de la gestión de recursos hídricos.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

A partir de la búsqueda de información y la ejecución de resultados, se denotó la importancia de realizar las siguientes recomendaciones:

1. Activación de las estaciones meteorológicas y/o pluviométricas de La Sabana código 45046, Miquilce código 45038, El Espino código 45011, lo que permitirá un seguimiento en tiempo real de los factores climáticos que inciden directamente a la zona de estudio.
2. Brindar seguimiento interinstitucional ante evaluaciones y pronósticos de sequía, acompañado de apoyo técnico y oferta tecnológica resiliente que permita la adaptación al cambio climático en sitios recurrentes a la sequía leve y moderada característica de la zona de estudio.
3. Realizar las acciones que se deriven del plan para el manejo de las obras de cosecha del tipo escorrentía, buscando reducir el impacto y posibles efectos negativos del cambio climático.
4. Se recomienda implementar de alguna Leyes efectivas de cambio climático que designe responsabilidades y asigne recursos financieros, contribuyendo con el sistema de planificación para apoyar la seguridad alimentaria, la seguridad alimentaria aumenta la calidad de vida de la población expandiendo su capacidad de resiliencia ante los impactos y efectos negativos de la variabilidad climática y Cambio Climático.
5. Realizar estudios y monitoreo de las variables edafológicas del área, con el fin de evaluar si han sufrido alguna variación los parámetros físicos y químicos de los suelos, en los cuales sea necesario realizar mejores prácticas agrícolas.
6. Realizar evaluaciones de los sistemas de riego, para determinar la disponibilidad de agua vs la demanda hídrica, así mismo monitorear la eficiencia de los sistemas de riego existentes.
7. Capacitar al equipo técnico en un marco integrador capaces de brindar apoyo a las familias productoras siguiendo planes de acción estratégicos, y que encaminen el desarrollo familiar donde las mujeres se apropien del SCA familiar y participen activamente para lograr una mejora en la salud nutricional, económica y social.

CAPÍTULO VII: BIBLIOGRAFÍA

- Agua y SIG. (2011, enero 10). *Los diagramas más usados para la interpretación de análisis hidroquímicos*. Agua y SIG. <https://aguaysig.com/los-diagramas-mas-usados-para-la-interpretacion-de-analisis-hidroquimicos/>
- Aguirre, M. (2011, marzo). La cuenca hidrográfica en la gestión integrada de los recursos hídricos. 1, 5(1), 12.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*, 3, 7-24. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/95471>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología*, 3, 4.
- Anaya, M. (2009). Antecedentes de la captación del agua de lluvia [Educación]. <https://www.ministeriodesalud.go.cr/index.php/investigacion-y-tecnologia-en-salud/inventarios/inventario-tecn-de-agua-de-consumo-humano/captacion-de-agua-para-consumo-humano/captando-agua-de-la-lluvia/presentacion-power-point/1852-antecedentes-de-la-captacion-del-agua-de-lluvia/file>
- Anderson, S. (2011). Cambio Climático y reducción de la pobreza. Alianza Clima y Desarrollo. https://cdkn.org/wp-content/uploads/2012/10/CDKN_CC-y-Reduccion-de-la-Pobreza.pdf
- Ángeles, F. (2017). Geología (Educativo N.o 1; p. 5). Servicio Geológico Mexicano. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157537/Que-es-la-Geologia.pdf>
- Aparicio, F. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie (Grupo Noriega Editores). LIMUSA. S.A. https://www.academia.edu/8254237/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_Aparicio
- Appelo, C., & Postma, D. (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution* (Segunda). Balkema Publishers.

- Baquero Galvis, M. (2019). DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE TEMPERATURA, PRECIPITACIÓN Y CAUDALES EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO: ANÁLISIS Y PROYECCIONES DE SUS PRINCIPALES EFECTOS EN LA CUENCA DEL RÍO GUATÍQUÍA (COLOMBIA) 2015-2045 [UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA]. <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2732>
- Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). Manual técnico de riego con énfasis en Riego por goteo. Zamorano. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/291d22a6-3c25-4117-8c09-507a591ace50/content>
- Brouwer, C., Prins, K., Kay, M., & Heibloem, M. (1988). Irrigation water management: Irrigation methods. Training manual n° 5. FAO Land and water development division.
- Calero. (2018, julio 24). Cinco técnicas para cosechar agua en Nicaragua. Revista Construir. <https://revistaconstruir.com/conozca-cinco-tecnicas-cosechar-agua-zona/>
- Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. Á., Sánchez-López, M., Camacho-Sanabria, R., Camacho-Sanabria, J. M., Balderas-Plata, M. Á., & Sánchez-López, M. (2017). Cambios de cobertura y uso de suelo: Estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México. *Madera y bosques*, 23(3), 39-60. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>
- Cardona, B. L. (2012). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. 1, 1, 8. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Castellón, S. (2022, febrero 24). Diseño de obras de cosecha de agua del tipo escorrentía [Educación]. Diseño de Obras parte 2, Somoto, Madriz. <https://www.youtube.com/watch?v=g5KFJ51gwIM>
- Castillo, E., Flores, Y., Peña, E., Dávila, R., Castro, M., Ruíz, J., & Castaño, R. (2004). Estudio de Mapificación Hidrogeológica e Hidrogeoquímica de la Región Central de Nicaragua. INETER & COSUDE.
- CATIE & COSUDE. (2020a). Mapeo de obras. Proyecto

- Cosecha de Agua. <https://cosechadeagua.org/mapa-obras/>
- CATIE & COSUDE. (2020b). Mapeo de obras. Proyecto Cosecha de Agua. <https://cosechadeagua.org/mapa-obras/>
- CATIE, COSUDE, & MEFCCA. (2018a). Construcción y supervisión de reservorios para captación de escorrentía (MEFCCA, CATIE, Vol. 3). CATIE. https://www.eda.admin.ch/dam/countries/countries-content/nicaragua/es/guia_3_construccion_y_supervision_de_reservorios.pdf
- CATIE, COSUDE, & MEFCCA. (2018b). Diseño de sistemas de captación de escorrentía (MEFCCA, CATIE, Vol. 2). CATIE. https://www.eda.admin.ch/dam/countries/countries-content/nicaragua/es/guia_2_dise%C3%B1o_de_sistemas_de_captacion.pdf
- CATIE, COSUDE, & MEFCCA. (2018c). Manejo integrado del sistema de captación de escorrentía (CATIE, MEFCCA, Vol. 4). CATIE. [file:///C:/Users/Herasme/Downloads/Manejo_integrado_del_sistema_de_captacion%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Herasme/Downloads/Manejo_integrado_del_sistema_de_captacion%20(1).pdf)
- CCAD & SICA. (2018). Estrategia Regional del Cambio Climático: Plan de acción 2018—2022.
- SICA. [file:///C:/Users/Herasme/Downloads/Estrategia%20Regional%20de%20Cambio%20Climatico%20\(ERCC\)%20Actualizada.%20Octubre%202019%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Herasme/Downloads/Estrategia%20Regional%20de%20Cambio%20Climatico%20(ERCC)%20Actualizada.%20Octubre%202019%20(1).pdf)
- CEPAL, FAO, & IICA. (2019). Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: Una mirada hacia América Latina y el Caribe 2019-2020 (IICA). CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45111-perspectivas-la-agricultura-desarrollo-rural-americas-mirada-america-latina>
- CIRA-UNAN. (2016, julio 6). Unidades Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter. CIRA/UNAN-Managua. <https://cira.unan.edu.ni/index.php/unidades-hidrograficas-de-nicaragua-bajo-la-metodologia-pfafstetter/>
- Cobos, C. (2017). Recomendaciones para la implementación de prácticas y políticas relacionadas con los sistemas de cosecha de aguas lluvias frente al cambio climático. GWP. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/recomendaciones-scull.pdf
- Coche, A. G., Muir, J. F., & Laughlin, T. (1997). Management for freshwater fish culture.

- 1: Ponds and water practices. Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Córdova, M. (2016, abril 30). Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas. Prontubeam. https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26
- Copernicus Service Information. (2019). Global Land Cover. European Commission. <https://lcviewer.vito.be>
- Custodio, E., & Llamas, M. (1983). Hidrología Subterránea—Tomo I (2.a ed., Vol. 1). Omega, S.A. Duque, G. (2017). Manual de Geología para Ingenieros. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/355/geomorfologia.pdf>
- Durán, A., Castro, M., Vélez, J., Briones, J., Carrión, P., Herrera, G., Morante, F., Gutiérrez, C., Bardales, J., Peña, F., Martos, S., & Mateos, L. (2020). Siembra y Cosecha de Agua (SyCA), técnicas ancestrales que solucionan problemas del siglo XXI. Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development” “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy”, 10. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.299>
- Enfermeras del centro de salud La Playa. (2021, noviembre 30). Recopilación de datos poblacionales y de enfermedades al Centro de Salud La Playa, San Lucas [Entrevista].
- ESRI. (2019). Plataforma ArcGIS. ESRI. <https://www.sigsa.info/productos/esri/plataforma-arccgis>
- Escoto, H. J. B. (2019). Análisis regional de frecuencia para la generación de mapas de retorno de sequía en la subcuenca parte alta del Río Grande de Matagalpa. 5, 14. <https://revistacira.unan.edu.ni/index.php/AyC/article/view/86/74>
- Espinoza Acuña, M. J. (2017). Impacto del Cambio Climático en el comportamiento hidrológico de las cuencas hidrográficas, aplicando el modelo SWAT en Nicaragua. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. <https://repositorio.una.edu.ni/3587/1/tnp40e77i.pdf>
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos (4.a ed.). FAO. <http://www.fao.org/3/a->

a0541s.pdf

- FAO. (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. 272. <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- Faustino, J., & Jimenez, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. CATIE. http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/8431/Manejo_de_cuencas_hidrograficas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Feldman, A. (2000). HEC-HMS Technical Reference Manual. US Army Corps of Engineers.
- FENZEL, N. (1989). NICARAGUA, GEOGRAFIA, CLIMA, GEOLOGIA Y HIDROGEOLOGIA.
- FECODESA & USC. (2015). Diagnóstico de Seguridad de Semillas. USC Canadá. <https://weseedchange.org/wp-content/uploads/2020/05/Diagn%C3%B3stico-de-Seguridad-de-Semillas-Municipios-de-Somoto-San-Lucas-Cusmapa-Totogalpa-Palacag%C3%BCina-FECODESA-2015.pdf>
- FONTAGRO. (2015). Caso 5: La cosecha de agua. FONTAGRO Digital. <https://digital.fontagro.org/casos-exitosos-2015/caso-5-la-cosecha-de-agua/>
- FUNICA. (2009). Propuesta de intervención de FUNICA para la zona norte. <http://www.renida.net.ni/renida/funica/rea01-z-25p.pdf>
- Gaertner, M. Á. (2012). Escenarios regionales de cambio climático. 26, 8.
- Gómez, W. (2010). Texto Básico de Hidrología (UNA). <https://repositorio.una.edu.ni/2464/1/np10g192.pdf>
- García, G. B. (2012). AGUA, AGRICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. 290. https://ondalocalni.com/media/uploads/2020/12/29/agua_agricultura_y_san_en_las_zonas_secas_-_guillermo_bendaa_garca.pdf
- García Hidalgo, Y., Balmaseda Espinosa, C., & Vargas Rodríguez, H. (2012). Caracterización hidroquímica de las aguas de riego de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia Las Tunas. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 21(3), 29-34. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542012000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Gaspari, F. J., Rodríguez Vagaría, A. M., Senisterra, G. E., Denegri, G. A., Besteiro, S., & Delgado, M. I. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del río Sauce Grande, Buenos Aires, Argentina. *AUGMDOMUS*, 4, 143-158.

<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/25777>

GERMANWATCH. (2019). Índice de Riesgo Climático Global 2019. GERMANWATCH. [https://germanwatch.org/sites/default/files/Indice%20de%20Riesgo%20Climatico%20Glo bal%202019%20-%20Resumen_0.pdf](https://germanwatch.org/sites/default/files/Indice%20de%20Riesgo%20Climatico%20Global%202019%20-%20Resumen_0.pdf)

Graterol, E., Pulver, E., Jaramillo, S., Urioste, S., Labarta, R., Arana, J., Reyes, B., Obando, M., & Moreno, C. (2019). Estrategia de diversificación y aumento de la productividad

agropecuaria en el Corredor Seco de Nicaragua con base en la gestión integral del recurso hídrico | Publications. BID.

<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Estrategia-de-diversificacion-y-aumento-de-la-productividad-agropecuaria-en-el-Corredor-Seco-de-Nicaragua-con-base-en-la-gestion-integral-del-recurso-hidrico.pdf>

Gravina, V., & de Hegedus, P. (2011). Evaluación de dos proyectos de desarrollo rural utilizando metodología Q. *Agrociencia* (Uruguay), 15(1), 149-160.

http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2301-15482011000100016&lng=es&nrm=iso&tlng=es

GRUN. (2017). Ejes del Programa Nacional de Desarrollo Humano.

observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Nicaragua.EJES%20DEL%20PROGRAMA%20NACIONAL%20DE%20DESARROLLO%20HUMANO.pdf

GRUN & INETER. (2018). Mapa multi-amenazas y vulnerabilidades de Nicaragua (p. 15) [Técnico]. https://www.el19digital.com/app/webroot/tinymce/source/2018/00-Marzo/Del12al18deMarzo/MIERCOLES14MAR/MapaMV_UltimoVF.pdf

Guerra, V. (2013, septiembre 23). Cuando los nutrientes esenciales se vuelven tóxicos [Académica]. INTA. <https://inta.gob.ar/noticias/cuando-los-nutrientes-esenciales-se-vuelven-toxicos>

Heredia, L. M. C., Escobar, Y. C., & Durango, E. (2006). Enfoques teóricos para definir el caudal ambiental. 27.

- Henao, J. (1989). *Introducción al Manejo de Cuencas Hidrográficas* (1.a ed.). Universidad Santo Tomás. <https://isbn.cloud/9789586311564/introduccion-al-manejo-de-cuencas-hidrograficas/>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education.
- Hodgson, G. (2000). *Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua* (Científico N.o 1; 1, p. 184).
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. M. (2011, abril 20). *Morfología de las cuencas hidrológicas*.
12. <https://riunet.upv.es/handle/10251/10782>
- INETER. (2012a). *Boletín Meteorológico*. INETER. <https://servmet.ineter.gob.ni//Meteorologia/Enlaces.php>
- INETER. (2012b). *INETER | Meteorología*. <https://www.ineter.gob.ni/met.html>
- INETER, ANA, UNI, & GIZ. (2014). *Cuencas Hidrográficas de Nicaragua bajo la metodología Pfafstetter*. GRUN.
- INETER, MAG, MARENA, UNA, & INAFOR. (2015a). *Categorías de cobertura y usos de la tierra* [Map].
- INETER, MAG, MARENA, UNA, & INAFOR. (2015b). *Orden y Sub orden de suelo* [Map].
- INIDE. (2008). *San Lucas en Cifras* (p. 57) [Datos y cifras]. INIDE. <https://www.inide.gob.ni/docu/censos2005/CifrasMun/Madriz/SAN%20LUCAS.pdf>
- INIDE & MAGFOR. (2002). *III Censo Nacional Agropecuario* (Técnico N.o 3; Número 3, p. 62).
- INIDE. <https://www.inide.gob.ni/docu/cenagro/perfiles/20%20Madriz.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2018). *¿Qué es el clima?* gob.mx. <http://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-clima>
- INTA, MAG, IPSA, & JICA. (2017). *Manual del protagonista: Granos Básicos*. INATEC. https://www.tecnacional.edu.ni/media/Manual_Granos_B%C3%A1sicos_opt.pdf
- IPCC. (2021). *Cambio climático 2021 Bases físicas*. 40.
- Jan, H. (2018). *La cosecha de agua: Una aliada de la agricultura familiar*. LEISA, 34(3).

- <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-34-numero-3/3505-la-cosecha-de-agua-una-aliada-de-la-agricultura-familiar>
- Jaramillo, F., & Malagón, L. (2014). CLASIFICACIÓN DE SUELOS. *Biología de suelos*.
<https://biologiadesuelos2014.wordpress.com/clasificacion/>
- Jaramillo, S. (2017). Efecto de la transformación de sistemas productivos de arroz de secano a riego mediante la cosecha de agua lluvia y del manejo agronómico sostenible sobre los rendimientos del cultivo en dos localidades de Nicaragua. [Masters, Universidad de Manizales].
<http://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/handle/20.500.12746/3632>
- Jiménez, V. (2012). Importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la Conservación [Científica]. *Gulf of California Marine Program*. <http://gulffprogram.ucsd.edu/blog/coastal-and-marine/importancia-de-los-sistemas-de-informacion-geografica-sig-en-la-conservacion/>
- Jodar-Abellan, A., Ruiz, M., & Melgarejo, J. (2018). Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(3), 240-253.
<https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2018.3.564>
- Kennett, J. P., McBirney, A. R., & Thunell, R. C. (1977). Episodes of cenozoic volcanism in the circum-pacific region. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2(2), 145-163. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(77\)90007-5](https://doi.org/10.1016/0377-0273(77)90007-5)
- Koren, V. I., Smith, M., Wang, D., & Zhang, Z. (2000). Use of soil property data in the derivation of conceptual rainfall-runoff model parameters. 4.
- MARENA & GRUN. (2015). *Estrategia Nacional de Biodiversidad: Plan de acción Nicaragua 2015-2020*. MARENA.
- MARENA & GRUN. (2020). *Contribución Nacionalmente Determinada de Nicaragua: Actualización 2020*. MARENA.
https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Nicaragua%20First/Contribuciones_Nacionales_Determinadas_Nicaragua.pdf
- Mariño, E., & García, R. (2018). *Apuntes sobre aplicaciones ambientales de la hidrogeoquímica*. Secretaría de Infraestructura y Política Hídrica.
<https://www.cohife.org/advf/documentos/2019/09/5d6eebe415ac8.pdf>

- McGregor, G. (2017). Hydroclimatology, modes of climatic variability and stream flow, lake and groundwater level variability. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 41(4), 496-512. <https://doi.org/10.1177/0309133317726537>
- MEFCCA, COSUDE, & CATIE. (2018a). Selección de sitios para establecer sistemas de captación de escorrentía. CATIE.
- MEFCCA, COSUDE, & CATIE. (2018b). Selección de sitios para establecer sistemas de captación de escorrentía. CATIE.
- Ministerio de Medio Ambiente y recursos Naturales. (2020). Sistema de Información Hídrica— SIHI: El Salvador. <http://srt.snet.gob.sv/sihi/public/app/1/caracterizacion>
- Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. (2018). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático. GRUN. <http://www.cambioclimatico.ineter.gob.ni/Tercera%20Comunicaci%C3%B3n%20Nicaragua.pdf>
- Moreno, S. (1994). *Apuntes de Hidrología de Superficie* (1.a ed., Vol. 1). Printart Editores.
- Nicholls, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), Art. 1. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300711>
- Norma para la Clasificación de los Recursos Hídricos, 05 007 98 § Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000). <http://legislacion.asamblea.gob.ni/Normaweb.nsf/b92aaea87dac762406257265005d21f7/1a3a99b77290b980062573df00594022?OpenDocument>
- OMM. (2012). Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario. No.1090. http://www.wmo.int/pages/prog/lsp/meteoterm_wmo_es.html.
- ONU - DAES. (2012). Integración del Cambio Climático en las estrategias y planes nacionales de desarrollo sostenible de América Latina y e Caribe (p. 104) [Nacional]. UN-DESA. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1631guatemala.pdf>
- ONU - DAES. (2014). Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. Áreas temáticas: Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH). <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>
- OPS. (2021). Biblioteca Virtual en Salud: Municipio de Madriz.

<http://biblioteca.enacal.com.ni/bibliotec/Libros/enacal/Caracterizaciones/Madriz/SanLuca.html>

Ramírez, C. A. S. (2011). Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico (Universidad de Medellín, Vol. 1). Ediciones de la U.

Rodríguez, R., Benito, Á., & Portela, A. (2004). Meteorología y Climatología (1.a ed., Vol. 1).

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

RUVIVAL. (2019, mayo 28). Línea de tiempo métodos tradicionales para la captación de agua de lluvia. RUVIVAL. <https://www.ruvival.de/es/linea-cronologica-metodos-tradicionales-captacion-del-agua-de-lluvia/>

Salcedo, S., & Guzmán, L. (2014). Recomendaciones de Política. FAO. <http://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>

Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (Sexta).

McGraw-Hill Education.

SICA. (2014). Manejo de cuencas hidrográficas multinacionales en centro américa (p. 25). <https://www.sica.int/cdoc/publicaciones/transform/catalogo/pdf-sp/IV/14/14.pdf>

Silva Paredes, O. D. (2017). Análisis del índice de vulnerabilidad a sequía e identificación de sitios para cosecha de agua en la subcuenca media del río Viejo, Nicaragua. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA, 130. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/8702/Analisis_del_indice_de_vulnerabilidad..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Swistock, B. (2016, junio 31). Interpreting Irrigation Water Tests. <https://extension.psu.edu/interpretacion-de-los-analisis-del-agua-de-riego>

Teale, N. (2020). Hydroclimatology and Climate Variability. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/obo/9780199874002-0216>

United Nations. (2019). Cumbre de la ONU sobre la Acción Climática ONU 2019 | Naciones Unidas. United Nations; United Nations. <https://www.un.org/es/climatechange/2019-climate-action-summit>

Universidad de Buenos Aires. (2020). Cátedra de Edafología | Facultad de Agronomía [Académica]. UBA - Facultad de Agronomía.

<https://www.agro.uba.ar/catedras/edafologia>

Uribe, N. (2010). Conceptos básicos y guía rápida para el usuario. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Valdivielso, A. (2020, septiembre 21). ¿Qué es un caudal? [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>

Van der Zee, A., Van del Zee, J., Meyrat, A., Poveda, C., & Picado, L. (2012). Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano (Técnico N.o 1; 1, p. 92). FAO.

<https://reliefweb.int/report/guatemala/estudio-de-caracterizaci%C3%B3n-del-corredor-seco-centroamericano>

Vélez Upegui, J. J., & Botero Gutiérrez, A. (2011). ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN Y TIEMPO DE REZAGO EN LA CUENCA EXPERIMENTAL URBANA DE LA QUEBRADA SAN LUIS, MANIZALES. 15.

Villamizar C & Alvaro. (1989). Diseño de presas de tierra para pequeños almacenamientos. República de Colombia, Ministerio de Agricultura, Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, Subdirección de Adecuación de Tierras. <https://www.worldcat.org/title/disen%C3%B3-de-presas-de-tierra-para-peque%C3%B1os-almacenamientos/oclc/29256575>

Zegara, O., & Chirinos, O. (2016). Diagnóstico sobre la situación y potencial del sector riego en Nicaragua (Técnico N.o 1063; IDB-TN, p. 124).

BID.<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Diagn%C3%B3stico-sobre-la-situaci%C3%B3n-y-potencial-del-sector-riego-en-Nicaragua.pdf>

8. ANEXOS

8.1. Datos meteorológicos

8.1.1. Promedio anual de datos de precipitación INETER vs

CHIRPS

Tabla 30. Precipitación promedio anual de la estación El Espino a través de datos de INETER y CHIRPS

AÑO	EL ESPINO		
	CHIRP	INETE R	Unión de datos
1981	1324.9	ND	1324.9
1982	1069.1	ND	1069.1
1983	870.1	ND	870.1
1984	890.1	ND	890.1
1985	1037.7	ND	1037.7
1986	776.2	ND	776.2
1987	783.7	ND	783.7
1988	1189.7	ND	1189.7
1989	685.9	ND	685.9
1990	946.7	ND	946.7
1991	767.2	ND	767.2
1992	1008.6	ND	1008.6
1993	1426.6	1436.5	1436.5
1994	798.3	843.4	843.4
1995	1377.2	1397.9	1397.9
1996	1127.9	1092.3	1092.3
1997	881.2	807.6	807.6
1998	1587.4	1535.3	1535.3
1999	1510.8	1328.0	1328.0
2000	917.8	738.9	738.9
2001	765.7	776.9	776.9

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

2002	1015.1	717.3	717.3
2003	918.2	DI*	918.2

2004	710.6	DI*	710.6
2005	1320.6	1929. 0	1929.0
2006	791.9	DI*	791.9
2007	1154.8	1118. 4	1118.4
2008	1144.2	1353. 7	1353.7
2009	772.2	538.4	538.4
2010	1643.6	3341. 6	3341.6
2011	1276.1	2109. 8	2109.8
2012	1020.5	1557. 3	1557.3
2013	1008.2	ND	1008.2
2014	834.2	ND	834.2
2015	759.6	ND	759.6
2016	905.8	ND	905.8
2017	1081.9	ND	1081.9
2018	1104.4	ND	1104.4
2019	711.6	ND	711.6
2020	1980.4	ND	1980.4
2021	831.4	ND	831.4

Nota: ND = No hay datos, DI*= Datos incompletos, por lo que era mejor no considerarlo

Tabla 31. Precipitación promedio anual de la estación La Sabana a través de datos de INETER y CHIRPS

AÑO	LA SABANA		
	CHIR P	INETER	Unión de datos
1981	1327. 5	ND	1327.5
1982	1038. 7	ND	1038.7
1983	917.8	ND	917. 8

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

1984	950.0	1011.7	1011.7
1985	1034. 9	1049.9	1049.9
1986	798.4	2239.5	2239.5
1987	800.3	1842.8	1842.8
1988	1260. 6	ND	1260.6

1989	695.4	ND	695.4
1990	956.4	ND	956.4
1991	731.4	ND	731.4
1992	927.4	1496.7	1496.7
1993	1374. 1	2747.9	2747.9
1994	773.2	1500.0	1500.0
1995	1371. 5	2200.8	2200.8
1996	1183. 0	3167.6	3167.6
1997	901.8	3048.8	3048.8
1998	1666. 5	3219.9	3219.9
1999	1513. 7	3046.2	3046.2
2000	908.2	1734.7	1734.7
2001	717.2	708.4	708.4
2002	977.6	1899.4	1899.4
2003	885.6	2585.3	2585.3
2004	690.8	743.6	743.6
2005	1387. 7	1674.4	1674.4
2006	792.8	1107.7	1107.7
2007	1161. 8	1551.0	1551.0
2008	1192. 0	1776.5	1776.5
2009	800.9	1140.4	1140.4
2010	1616. 4	2593.7	2593.7
2011	1323. 2	1988.1	1988.1
2012	1032. 2	ND	1032.2
2013	1105. 5	ND	1105.5
2014	877.6	ND	877.6
2015	785.9	ND	785.9
2016	972.9	ND	972.9

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

2017	1201. 6	ND	1201.6
2018	1135. 5	ND	1135.5
2019	714.8	ND	714.8
2020	2090. 8	ND	2090.8
2021	875.0	ND	875.0

Nota: ND = No hay datos

Tabla 32. Precipitación promedio anual de la estación Miquilce a través de datos de INETER y CHIRPS

AÑO	MIQUILCE		
	CHIRP	INETE R	Unión de datos
1981	1411.1	ND	1411.1
1982	1061.4	ND	1061.4
1983	962.8	ND	962.8
1984	966.7	ND	966.7
1985	1144.2	ND	1144.2
1986	775.4	ND	775.4
1987	814.2	ND	814.2
1988	1334.6	ND	1334.6
1989	743.3	ND	743.3
1990	1003.5	ND	1003.5
1991	802.7	ND	802.7
1992	1038.1	ND	1038.1
1993	1469.3	1596.3	1596.3
1994	823.5	734.3	734.3
1995	1514.8	1469.1	1469.1
1996	1286.0	1126.7	1126.7
1997	956.7	907.2	907.2
1998	1893.7	1681.6	1681.6
1999	1751.3	1169.6	1169.6
2000	1030.4	905.9	905.9
2001	804.8	874.5	874.5
2002	1090.0	822.7	822.7
2003	987.8	758.9	758.9
2004	804.2	604.1	604.1
2005	1454.8	1235.5	1235.5
2006	874.7	642.7	642.7
2007	1271.6	1058.9	1058.9
2008	1227.6	1420.5	1420.5
2009	843.5	1058.6	1058.6

2010	1750.9	1598. 5	1598.5
2011	1383.8	1311. 5	1311.5
2012	1099.2	877.5	877.5
2013	1113.1	ND	1113.1
2014	909.7	ND	909.7
2015	811.4	ND	811.4
2016	982.2	ND	982.2
2017	1210.6	ND	1210.6
2018	1153.0	ND	1153.0
2019	781.7	ND	781.7
2020	2163.5	ND	2163.5
2021	906.1	ND	906.1

Nota: ND = No hay datos

8.1.2. Validación de precipitación entre datos de INETER y CHIRPS

Tabla 33. Validación de datos de precipitación INETER vs CHIRPS de la estación El Espino a través de t- student en muestras independientes

HIPOTESIS										
H ₀		No existe diferencia significativa				P<0.05 se rechaza la hipótesis nula y nos quedamos con la hipótesis del investigador				
H ₁		Existe diferencia significativa entre los datos de estaciones								
Nivel de significancia		5%	Prueba estadística		t- student					
Estadísticas de grupo										
Estación de estudio		N	Mediana			Desv. Desviación		Desv. Error promedio		
Precipitación de la estación	CHIRPS	18	1147.7			283.6		66.9		
	INETER	18	1287.3			684.7		161.4		
Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Se asumen		4.9	0.03	-0.80	34.00	0.43	-139.57	174.69	-494.59	215.44

Precipitación de la estación	varianzas iguales	0								
	No se asumen varianzas iguales			-0.80	22.67	0.43	-139.57	174.69	-501.24	222.10
P > 0.05										
Se acepta la hipótesis nula										
No existen diferencias significativas entre los datos de precipitación obtenidos de la Estación de El Espino y las CHIRPs										

Tabla 34. Validación de datos de precipitación INETER vs CHIRPS de la estación La Sabana a través de t- student en muestras independientes

HIPOTESIS				P<0.05 se rechaza la hipótesis nula y nos quedamos con la hipótesis del investigador						
Ho	No existe diferencia significativa									
H1	Existe diferencia significativa entre los datos de estaciones									
Nivel de significancia		5%	Prueba estadística	t- student						
Estadísticas de grupo										
Estación de estudio		N	Media			Desv. Desviación		Desv. Error promedio		
Precipitación de la estación	CHIRPS	20	1108.27			310.30		69.38		
	INETER	20	1996.56			796.83		178.18		
Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Precipitación de la estación	Se asumen varianzas iguales	16.24	0.00	-4.65	38.00	0.00	-888.29	191.21	-1275.37	-501.20
	No se asumen varianzas			-4.65	24.63	0.00	-888.29	191.21	-1282.3	-494.18

	as iguales								9	
$P < 0.05$										
Se rechaza la hipótesis nula										
Existen diferencias significativas entre los datos de precipitación obtenidos de la Estación de La Sabana y las CHIRPs										

Tabla 35. Validación de datos de precipitación INETER vs CHIRPS de la estación Miquilce a través de t- student en muestras independientes

HIPÓTESIS				P<0.05 se rechaza la hipótesis nula y nos quedamos con la hipótesis del investigador						
Ho	No existe diferencia significativa									
H1	Existe diferencia significativa entre los datos de estaciones									
Nivel de significancia	5%	Prueba estadística	t- student							
Estadísticas de grupo										
Estación de estudio		N	Media			Desv. Desviación		Desv. Error promedio		
Precipitación de la estación	CHIRPS	20	1215.9 3			341.0 5		76.2 6		
	INETER	20	1092.7 3			332.4 7		74.3 4		
Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Precipitación de la	Se asumen varianzas iguales	0.02	0.90	1.1 6	38.00	0.25	123.20	106.50	-92.40	338.80

estación	No se asumen varianzas iguales			1.1 6	37.98	0.25	123.20	106.50	-92.41	338.81
P > 0.05										
Se acepta la hipótesis nula										
No existen diferencias significativas entre los datos de precipitación obtenidos de la Estación Miquilce y las CHIRPs										

8.1.3. Resultados de Índice Normalizado de Precipitación - SPI

Tabla 36. Resultado anual de SPI para cada una de las estaciones pluviométricas con incidencia en el área de estudio

Año	Miquilc e	La Sabana	El Espino
1981	1.41	-0.67	-0.74
1982	0.39	-1.37	0.98
1983	1.21	0.02	-1.24
1984	0.21	1.11	-1.32
1985	1.41	-0.58	-0.83
1986	-0.71	1.41	-0.71
1987	-0.68	1.41	-0.74
1988	1.23	-0.02	-1.22
1989	1.40	-0.51	-0.89
1990	1.40	-0.50	-0.89
1991	1.22	-1.23	0.00
1992	-0.64	1.41	-0.77
1993	-0.57	1.41	-0.84
1994	-0.86	1.40	-0.54
1995	-0.61	1.41	-0.80
1996	-0.69	1.41	-0.72
1997	-0.66	1.41	-0.75
1998	-0.61	1.41	-0.80
1999	-0.80	1.41	-0.61
2000	-0.51	1.40	-0.89
2001	1.29	-1.15	-0.14
2002	-0.61	1.41	-0.80
2003	-0.80	1.41	-0.61
2004	-1.38	0.97	0.41
2005	-1.32	0.21	1.10
2006	-1.06	1.34	-0.29
2007	-0.84	1.41	-0.57

2008	-0.52	1.40	-0.88
2009	0.55	0.85	-1.40
2010	-1.28	0.12	1.16
2011	-1.40	0.53	0.87
2012	-0.96	-0.42	1.38
2013	0.79	0.63	-1.41
2014	1.16	0.12	-1.28
2015	1.22	0.01	-1.23
2016	0.84	0.57	-1.41
2017	0.78	0.63	-1.41
2018	1.10	0.23	-1.32
2019	1.41	-0.66	-0.76
2020	1.13	0.17	-1.30
2021	1.15	0.14	-1.29

Nota: Datos amarillos representan años con sequía leve y los datos rojos son años con sequía moderada.

8.1.4. Promedio anual de datos de temperatura INETER vs Power Data Access Viewer

Tabla 37. Temperatura promedio anual de la estación Ocotal a través de datos de INETER y Power Data Access Viewer

AÑO	OCOTAL		
	PDA V	INETE R	Unión de datos
1981	22.56	23.74	23.74
1982	23.99	23.93	23.93
1983	24.98	24.77	24.77
1984	23.19	23.81	23.81
1985	24.82	23.68	23.68
1986	29.35	23.86	23.86
1987	22.44	24.93	24.93
1988	24.58	24.22	24.22

1989	22.2 7	23.7 5	23.7 5
1990	25.1 6	23.9 1	23.9 1
1991	23.8 4	24.3 8	24.3 8
1992	23.4 9	24.2 8	24.2 8
1993	22.6 2	24.0 1	24.0 1
1994	23.7 7	24.4 0	24.4 0
1995	25.2 4	24.2 8	24.2 8
1996	25.9 7	23.8 0	23.8 0
1997	26.4 2	24.4 1	24.4 1
1998	25.3	24.6 2	24.6 2
1999	24.5	23.7 4	23.7 4
2000	25.2 3	24.1 6	24.1 6
2001	23.2 5	24.3 3	24.3 3
2002	23.7 1	24.4 9	24.4 9
2003	24	24.7 9	24.7 9
2004	24.5 9	24.6 8	24.6 8
2005	24.1 1	24.7 4	24.7 4
2006	22.4 1	24.8 0	24.8 0
2007	22.7	24.6 4	24.6 4
2008	25.8 2	24.1 9	24.1 9
2009	27	24.5 4	24.5 4
2010	23.4 2	24.2 5	24.2 5
2011	22.9 1	ND	22.9 1

2012	24.6 8	ND	24.6 8
2013	23.7 3	ND	23.7 3
2014	22.8 1	ND	22.8 1
2015	23.0 6	ND	23.0 6
2016	22.4 9	ND	22.4 9
2017	21.2 7	ND	21.2 7
2018	22.3 1	ND	22.3 1
2019	23.1 5	ND	23.1 5
2020	22.7 1	ND	22.7 1

Nota: ND = No hay datos, PDAV: Power Data Access Viewer

Tabla 38. *Temperatura promedio anual del área de estudio obtenida a través de Power Data Access Viewer*

ANO	TEMPERATUR A
1981	22.8 5
1982	22.9 8
1983	22.7 2
1984	24.6 5
1985	22.6 2
1986	25.3 4
1987	28.1 1
1988	22.8 4
1989	25.5 9
1990	22.4 8
1991	24.2 3
1992	23.3 5
1993	23.7 4
1994	23.1 1
1995	23.0 4
1996	25.6
1997	25.4 5
1998	26.9 8
1999	25.3 2
2000	23.3 9
2001	23.3 4
2002	23.0

	2
2003	23.4
	1
2004	23.4
	2
2005	25.0
	9
2006	24.0
	2
2007	22.4
	5
2008	23.5
	9
2009	25.8
2010	26.2
	9

2011	23.7 5
2012	22.5 5
2013	23.9 8
2014	23.6 6
2015	23.1
2016	24.1 6
2017	23.7 9
2018	22.3 4
2019	22.0 4
2020	24.6 3
2021	23.1 6

8.1.5. Validación de temperatura entre datos de INETER y Power Data Access Viewer

Tabla 39. Validación de datos de temperatura INETER vs PDAV de la estación Ocotal a través de t- student en muestras independientes

HIPOTESIS				P<0.05 se rechaza la hipótesis nula y nos quedamos con la hipótesis del investigador						
Ho	No existe diferencia significativa									
H1	Existe diferencia significativa entre los datos de estaciones									
Nivel de significancia	5%	Prueba estadística	t-student							
Estadísticas de grupo										
Estación de estudio		N	Mediana			Desv. Desviación		Desv. Error promedio		
Precipitación de la estación	Power Data Access Viewer	30	24.36			1.57		0.29		
	INETER	30	24.27			0.38		0.07		
Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
Precipitación	Se asumen varianzas iguales	23.02	0.00	0.29	58.00	0.77	0.09	0.29	-0.50	0.68

ónde la estación	No se asumen varianzas iguales			0.29	32.39	0.77	0.09	0.29	-0.51	0.69
P > 0.05										
Se acepta la hipótesis nula										
No existen diferencias significativas entre los datos de temperatura obtenidos de la Estación de Ocotlal y Power Data Access Viewer										

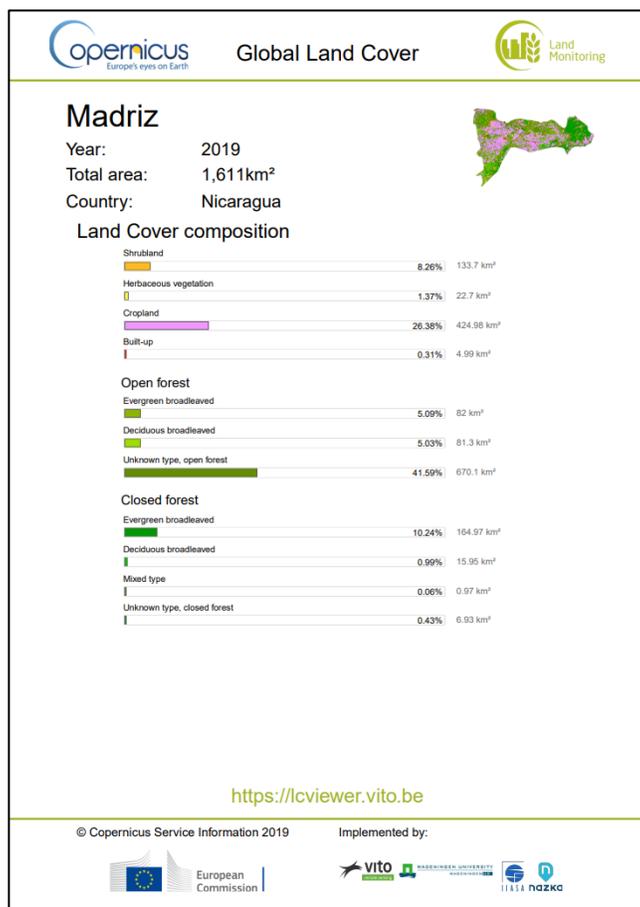
8.2. Textura de suelo, Uso y Cobertura

8.2.1. Muestreo de suelo

Tabla 40. Resultados de textura de suelo por laboratorio de edafología UNI-RUPAP

ID	SITIO	TEXTURA	X	Y	UNIDAD HIDROLÓGICA
1	San Pedro	Franco Arcilloso	535885	1484355	San Pedro
2	El Zapotillo	Arcilloso	536370	1485748	
3	Río Inalí	Franco	536510	1489174	
4	Miguilse	Franco Arcilloso	535107	1481907	El Varillal
5	Miguilse #2	Arcilloso	533590	1483118	
6	La Playa	Arcilloso	532758	1485093	
7	Río Tapacalí	Franco	531924	1480257	Gualiqueme
8	Badondo	Franco Arenoso	531225	1483292	
9	La Culebra	Franco	532770	1484105	

8.2.2. Uso de suelo



8.2.3. Pruebas de infiltración

Tabla 41. Resultados de prueba de infiltración por Porchet

ID	SITIO	X	Y	Z	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (MM/H)	TIPO TEXTURAL
1	San Pedro #1	535885	148435 5	730	9.48	Franco Arcilloso
2	El Zapotillo	536370	148574 8	691	0.66	Arcilloso
3	San Pedro #2	536163	148468 9	719	0.63	Arcilloso
4	Río Inalí	536510	148917 4	635	0.84	Arcilloso
5	Cilena	534985	148660 7	705	0.07	Arcilloso

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

6	Miguilse #2	535107	148190 7	811	1.48	Arcilloso
----------	-------------	--------	-------------	-----	------	-----------

7	Miguilse	533590	1483118	737	0.20	Arcilloso
8	La Playa	532758	1485093	713	0.42	Arcilloso
9	La Culebra	532770	1484105	718	0.74	Arcilloso

9.3. Aforos en río

9.3.1. Perfiles de aforo Río Tapacalí

Figura 50. Aforo R. Tapacalí parte alta (lluvioso)

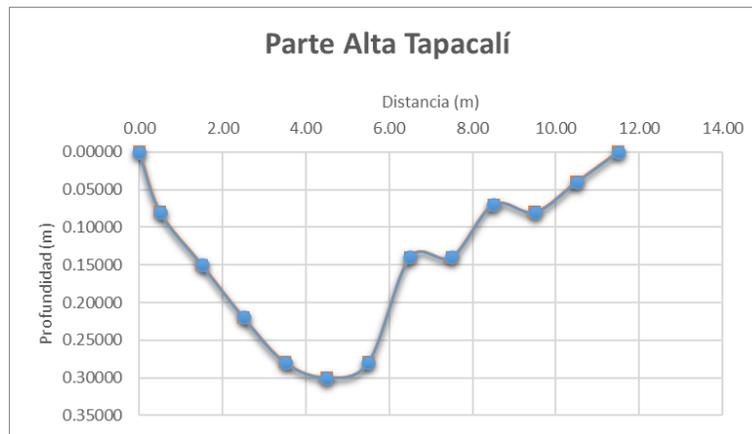


Figura 51. Aforo R. Tapacalí parte alta (seco)

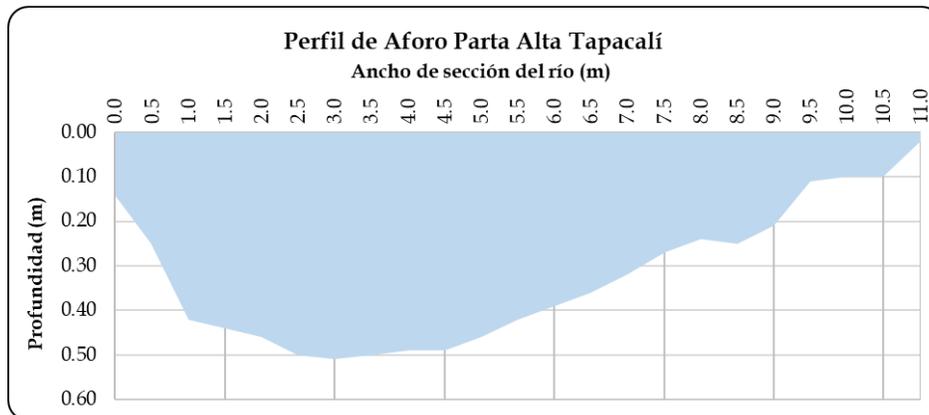


Figura 52. Aforo R. Tapacalí parte media (lluvioso)

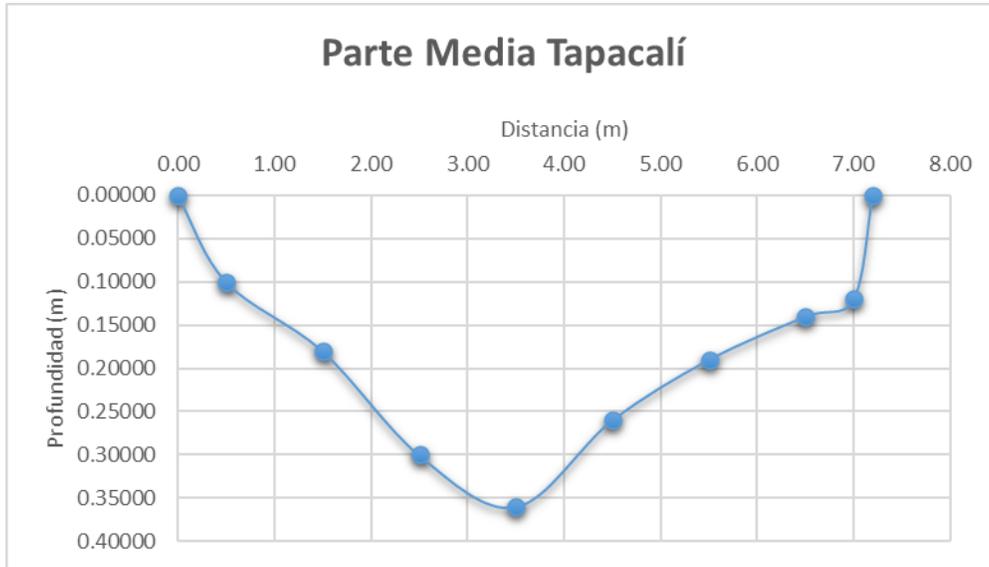
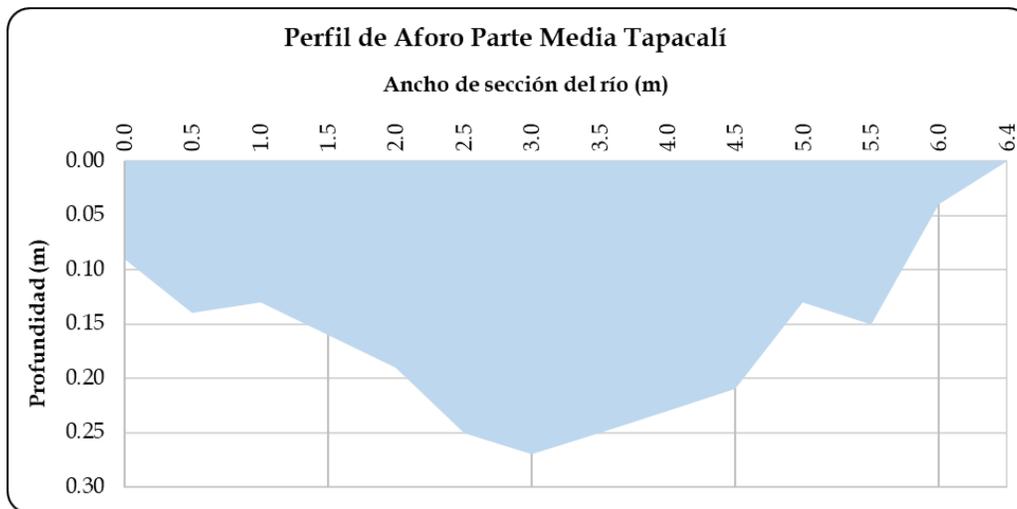


Figura 53. Aforo R. Tapacalí parte media (seco)



9.3.2. Perfiles de aforo R. El Varillal

Figura 54. Aforo R. El Varillal parte media (lluvioso)

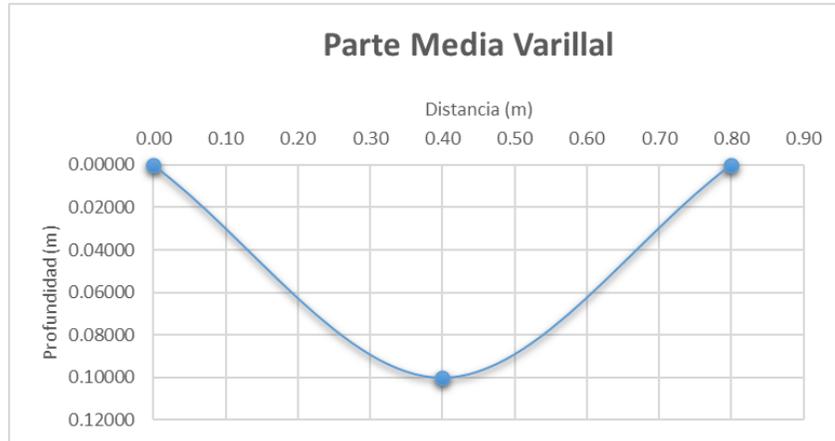


Figura 55. Aforo R. El Varillal parte media (seco)

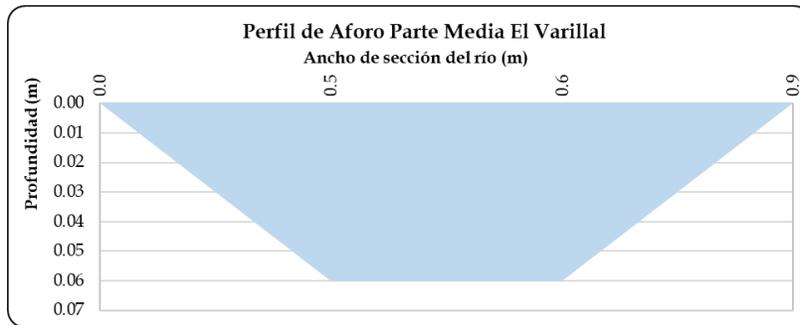


Figura 56. Aforo R. El Varillal parte baja (lluvioso)

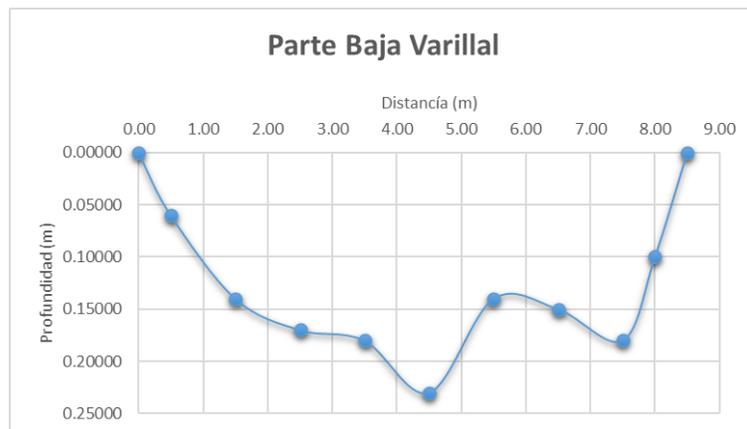
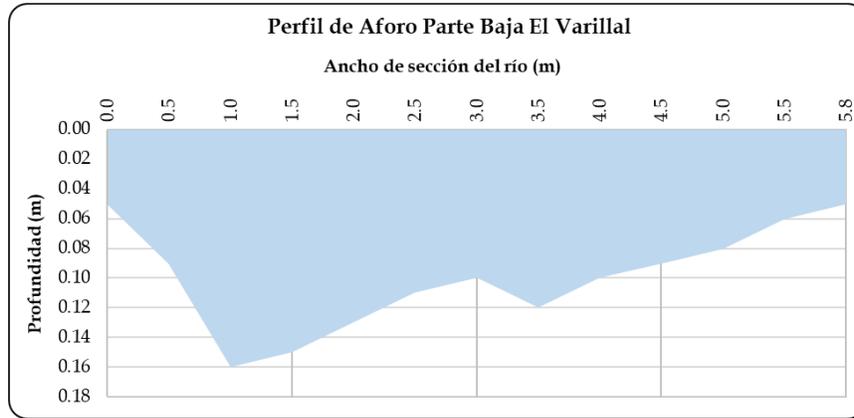


Figura 57. Aforo R. El Varillal parte baja (seco)



9.3.3. Perfiles de aforo R. Inalí

Figura 58. Aforo R. Inalí parte media (lluvioso)

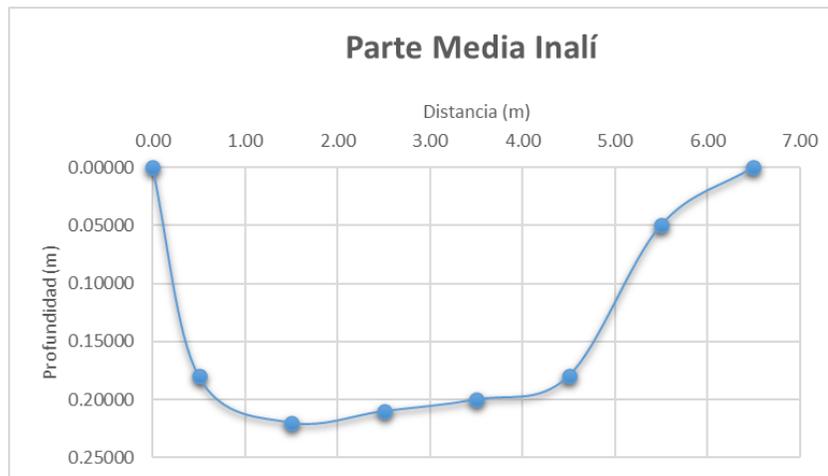
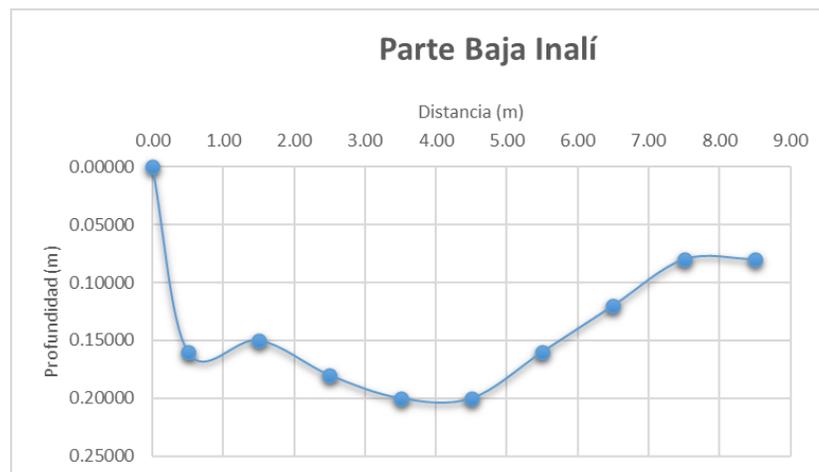


Figura 59. Aforo R. Inalí parte baja (lluvioso)



9.4. Datos comunitarios

9.4.1. Guía de tópicos desarrollados por el entrevistador

No	Pregunta
1	Obtención de agua ¿De su propiedad? ¿Comunal? ¿Tipo?
2	¿Quién se encarga de recolectar el agua?
3	¿A qué distancia? ¿Cuánto tiempo? ¿En qué la buscan?
4	¿Cómo está la fuente de agua? (tapada, mantenida, etc)
5	¿Tratan el agua que consumen?
6	¿Qué uso le da al agua, además de ingesta?
7	¿Qué actividades económicas realizan?

8	¿Fuera del país? ¿Remesas?
9	¿Ubicación de focos contaminantes? (letrinas, corrales, etc)
10	¿Última enfermedad del estómago?

9.4.2. Levantamiento de campo de acercamiento social

Tabla 42. *Habitantes entrevistados en visita de acercamiento social*

ID	X	Y	COMUNIDAD	TIPO DE ENTREVISTADO	ENTREVISTADO
1	53635 5	148571 7	Zapotillo	Con obra de cosecha sin éxito	Isaías
2	53641 2	148584 1	Zapotillo	Líder comunitario	Beto Guzmán
3	53737 6	148543 1	Zapotillo	Con Obra de cosecha exitosa	Omar Obando
4	53282 2	148483 9	La Playa	Comunitario	Miriam Merlo
5	53255 3	148534 1	La Playa	Ex Secretaria Política	Nohemí Monzón
6	53249 3	148535 8	La Playa	Líder comunitario	Efraín
7	53374 0	148261 1	La Playa	Con obra de cosecha exitosa	Norlan Obando
8	53577 6	148433 4	San Pedro	Con obra de cosecha exitosa	Enoc Benavides
9	53528 7	148406 5	San Pedro	Coordinadora de pozo comunal	Blanca Hernández
10	53639 9	148474 5	San Pedro	Zamorano	Pablo Mejía
11	53464 9	148174 4	Mal Paso	Líder comunitario	Cuidadora de Ricardo Padilla
12	53412 3	148030 6	Mal Paso	Comunitario	Joris Acevedo
13	53439 1	147990 3	Mal Paso	Comunitario	Ana Celia Soriano
14	53575	148048	Mal Paso	Líder	Luis Bermúdez

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

	0	6		comunitario	
15	53215 7	148018 1	Aguas Calientes	Comunitario	Evandro Salinas y María Luisa

16	52950 8	147994 8	Gualiqueme	Con Obra de cosecha exitosa	José Benito López
17	52840 8	148057 5	Gualiqueme	Comunitario	Señora Rosado
18	52828 8	148062 1	Gualiqueme	Comunitario	Señora de Verde
19	52828 7	148061 0	Gualiqueme	Comunitario	Manuel Tercero
20	52864 5	148094 2	Gualiqueme	Comunitario	Claudia Guillen
21	52994 5	148342 7	El Tablón	Comunitario	Ena Yaraseli
22	52994 7	148434 7	El Tablón	Comunitario	Juana Pastora
23	53045 8	148435 9	El Tablón	Comunitario	Marina Montenegro
24	53042 4	148425 9	El Tablón	Líder comunitario	Doña Licha
25	53110 4	148445 3	El Tablón	Comunitario	Pedro Rafael Moncada
26	53039 7	148630 9	El Espino	Comunitario	Señora de la Venta
27	53054 6	148635 4	El Espino	Secretario político	José Moreno
28	53035 0	148639 2	El Espino	Comunitario	Carlos Vallecillo
29	53068 1	148607 0	El Espino	Comunitario	Oswaldo Padilla
30	53327 5	148655 7	El Espino	Comunitario	Yadira del Socorro
31	53412 4	148658 8	Valle de Sonis	Comunitario	Cilena
32	53391 9	148675 9	Valle de Sonis	Comunitario	Carlos Zeledón
33	53604 7	148844 1	Guayabo	Con obra de cosecha	Joaquín Martínez
34	53696 0	148885 9	Guayabo	Comunitario	Betanco Ancianita

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

35	53410 7	147927 6	Mal Paso	Comunitario	Rosalpira Reyes
36	53723 8	148606 9	Zapotillo	Zamorano	Santos Betanco

Tabla 43. Tipos de fuentes de agua propiedad de las familias entrevistadas

CANTIDAD DEFUENTES DE AGUA	TIPO DE FUENTE DE AGUA	PROPIETARIO
1	Pozo excavado	Isaías
3	Pozo excavado, cisterna y obra de cosecha de agua	Omar Obando
2	Pozo excavado y obra de cosecha de agua	Norlan Obando
2	Pozo excavado y obra de cosecha de agua	Enoc Benavides
2	Pozo excavado y Zamorano	Pablo Mejía
2	Pozo excavado y obra de cosecha de agua	Ricardo Padilla
1	Obra de cosecha de agua	Reynaldo Ordoñez
1	Obra de cosecha de agua	Evandro Salinas
1	Obra de cosecha de agua	José Benito López
1	Pozo excavado	Manuel Tercero
1	Obra de cosecha de agua	Claudia Guillén
1	Pozo excavado	Oswaldo Padilla
1	Pozo excavado	Joaquín Betanco
1	Pozo excavado	Ancianita aledaña al ríoInalí (brindó información completa excepto su nombre)
1	Zamorano	Santos Betanco

9.4.3. Morfometría general subbasin

Tabla 44. Parámetros morfométricos por subbasin

Ñ	Subbasin	Areakm2	Perkm	Compacidad	PendMedia
28550000	37	28.55	34.575	1.811828821	29.99533336
22006250	28	22.00625	35.15	2.098023457	31.22084423
16873750	7	16.87375	29.35	2.00060031	18.26877843
16626250	21	16.62625	30.05	2.063504187	24.5084168
14255000	33	14.255	24.475	1.81508564	31.20459316
14211250	22	14.21125	28.35	2.105692522	20.50112801
14185156	12	14.18515625	21.2	1.576074819	20.6355339
13777656	9	13.77765625	33.65	2.538372929	24.98580052
13493281	11	13.49328125	29.3	2.233401818	17.11747089
12979062	10	12.9790625	24.1	1.873067429	19.205801
12741875	20	12.741875	25.025	1.962978068	24.18072486
12053281	13	12.05328125	26.525	2.139246247	20.18166277
11886875	31	11.886875	24.975	2.028288276	25.08760949
11658125	39	11.658125	23.525	1.929182482	23.18493934
11467188	30	11.4671875	29.2	2.414417809	31.18649168
10377656	35	10.37765625	21.3	1.851347714	19.45137567
10253438	32	10.2534375	21.525	1.882202939	23.82089901
9761719	8	9.76171875	21.625	1.937987636	16.83977993
9730625	23	9.730625	19.1	1.714435025	25.29455375

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

9642188	26	9.6421875	25.425	2.292615407	24.40006413
8773750	15	8.77375	21.25	2.008742823	30.13933018
8502656	27	8.50265625	23.025	2.210957322	30.02581677
7902344	25	7.90234375	18.15	1.807826308	28.94581205
7653281	19	7.65328125	19.55	1.978704568	19.96682628
7615625	5	7.615625	20.55	2.08505292	24.81513649
7467344	17	7.46734375	18.525	1.898161568	24.05137287
7379375	34	7.379375	16.725	1.723909121	24.20465885
6894219	24	6.89421875	20.425	2.178098756	27.07007826
5969062	14	5.9690625	16.75	1.91963995	18.7320548
5900000	38	5.9	16.175	1.864559793	29.62000091
5551094	29	5.55109375	17.125	2.035163619	39.62279191
3515625	4	3.515625	14.05	2.098133333	22.21611944
2789219	16	2.78921875	10.925	1.831631859	15.30478285
2302344	6	2.30234375	10.65	1.965271499	16.05674033
630938	3	0.6309375	5.875	2.07096487	23.40795164
524219	36	0.52421875	3.625	1.401876537	46.10223745
431719	18	0.43171875	4.475	1.90699966	19.47958847
275625	2	0.275625	4.2	2.24	22.22801226
19688	1	0.0196875	0.825	1.64632925	6.725402542

Tabla 45. Continuación de parámetros morfométricos por subbasin

ElevMax	ElevMin	LongRioPrinkm	tcMin	lagTimeMin
1746	939	0.78265873	10.3981	6.238859279
1443	768	9.265096494	125.3312	75.19873245
1112	629	6.504360114	100.576	60.34560162
1239	703	2.512697058	36.69024	22.01414158
1583	787	2.177265511	30.76266	18.45759329
1326	671	5.976618863	91.87337	55.1240208
1146	702	4.722989264	72.52091	43.51254748
1723	666	5.247329541	77.7741	46.66446139
1613	666	1.75825532	28.16664	16.89998696
1287	737	3.340958691	52.50651	31.50390541
1142	667	2.794283457	42.01517	25.20910161
1239	737	1.783179112	27.95413	16.77247512
1746	868	1.653965998	24.85884	14.91530222
1488	937	0.877925234	13.43094	8.058562428
1606	767	4.518027144	65.24732	39.14839362
1612	927	2.044499007	32.77478	19.66486719
1742	868	3.323572779	51.22471	30.73482333
1177	699	4.366923247	72.49507	43.49704497
967	663	0.586948052	8.98531	5.391185725
1590	739	4.057303839	62.61734	37.57040592
1084	638	1.967722311	29.38809	17.63285643
1343	717	8.46901785	126.9789	76.18732515
1197	717	2.750349474	41.84543	25.10725584
1019	671	4.144435874	68.13523	40.88113598
951	632	5.239486829	82.51402	49.50840903
1286	707	4.579055281	72.70833	43.62499641
1442	928	1.040869408	16.52598	9.915590879
1380	736	2.114397545	33.05165	19.83098764
931	629	3.471872292	59.26645	35.55986893

1420	913	0.578737373	9.024687	5.41481247
1456	786	2.258699494	33.4337	20.06021991
1050	628	3.590070344	62.44849	37.46909207
907	694	0.451148539	8.652841	5.191704544
786	626	3.117430554	60.36722	36.22032979
943	625	0.783547077	16.01573	9.609435693
1135	911	0.429993687	7.818425	4.691055052
776	665	2.840285893	62.55743	37.53445517
925	626	0.254993687	5.720978	3.432586957
639	628	0.188832521	7.005948	4.203569039

9.4.4. Escenarios climáticos

Tabla 46. Caudales actuales simulados, 1981 - 2019

Caudales simulados	
DESCRIPCION	MEDIA m3
SUBBASIN 1	0.000272
SUBBASIN 2	0.003782
SUBBASIN 3	0.009401
SUBBASIN 4	0.061058
SUBBASIN 5	0.177563
SUBBASIN 6	0.156137
SUBBASIN 7	0.735319
SUBBASIN 8	0.194802
SUBBASIN 9	0.710254
SUBBASIN 10	0.246950
SUBBASIN 11	0.662466
SUBBASIN 12	0.286683
SUBBASIN 13	0.227621
SUBBASIN 14	0.082608
SUBBASIN 15	0.141019
SUBBASIN 16	0.048318
SUBBASIN 17	0.150364
SUBBASIN 18	0.006244
SUBBASIN 19	0.171181
SUBBASIN 20	0.304950
SUBBASIN 21	0.369063
SUBBASIN 22	0.360228
SUBBASIN 23	0.499178
SUBBASIN 24	0.129205
SUBBASIN 25	0.336818

SUBBASIN 26	0.349993
SUBBASIN 27	0.291446
SUBBASIN 28	0.593460
SUBBASIN 29	0.191371
SUBBASIN 30	0.251151
SUBBASIN 31	0.400108
SUBBASIN 32	0.421193
SUBBASIN 33	0.275359
SUBBASIN 34	0.118479
SUBBASIN 35	0.155685
SUBBASIN 36	0.007747
SUBBASIN 37	1.564651
SUBBASIN 38	0.165358
SUBBASIN 39	0.336474

Tabla 47. Caudales futuros, 2020 - 2040

Caudales futuros	
DESCRIPCION	MEDIA m3
SUBBASIN 1	0.000245
SUBBASIN 2	0.003402
SUBBASIN 3	0.20479
SUBBASIN 4	0.054929
SUBBASIN 5	0.159750
SUBBASIN 6	0.046771
SUBBASIN 7	0.330494
SUBBASIN 8	0.175210
SUBBASIN 9	0.319323
SUBBASIN 10	0.222216
SUBBASIN 11	0.297728
SUBBASIN 12	0.257957
SUBBASIN 13	0.204789
SUBBASIN 14	0.074318
SUBBASIN 15	0.126910
SUBBASIN 16	0.043461
SUBBASIN 17	0.135243
SUBBASIN 18	0.005619
SUBBASIN 19	0.154043
SUBBASIN 20	0.274403
SUBBASIN 21	0.331896
SUBBASIN 22	0.324168
SUBBASIN 23	0.149348
SUBBASIN 24	0.116276
SUBBASIN 25	0.151206
SUBBASIN 26	0.157267
SUBBASIN 27	0.130924

Acciones estratégicas de resiliencia ante escenarios climáticos que afectan los sistemas de cosecha de agua en las unidades hidrológicas 45-951699 y 45-951698

SUBBASIN 28	0.533939
SUBBASIN 29	0.085961
SUBBASIN 30	0.225788
SUBBASIN 31	0.179667
SUBBASIN 32	0.126166
SUBBASIN 33	0.247542
SUBBASIN 34	0.106522
SUBBASIN 35	0.139909
SUBBASIN 36	0.006966
SUBBASIN 37	0.702790
SUBBASIN 38	0.074248
SUBBASIN 39	0.151070