

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

**DEFINICIÓN DE LA CADENA DE IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ
VINCULADA AL RIESGO CLIMÁTICO FUTURO, MEDIANTE EMPLEO DE
MODELACIÓN HIDROLÓGICA EN LA MICROCUENCA RÍO ARUCO,
HONDURAS, CENTROAMÉRICA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN SOMETIDO A CONSIDERACIÓN DE LA
DIVISIÓN DE EDUCACIÓN Y LA ESCUELA DE POSGRADO COMO REQUISITO
PARA OPTAR AL GRADO DE**

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

WALTER ALEXANDER ANDINO CARABANTES

TURRIALBA, COSTA RICA

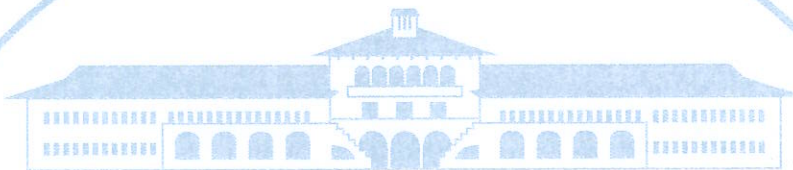
**AÑO
2023**

Este trabajo de final de graduación ha sido aceptado en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobado por el Comité Examinador del estudiante, como requisito para optar por el grado de

División de Educación

MÁSTER EN MANEJO Y GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

FIRMANTES:



José Ney Ríos Ramírez

José Ney Ríos Ramírez, M.Sc.

Codirector Principal del Trabajo de Graduación

Jainer Antonio Argeñal Umazor

Jainer Antonio Argeñal Umazor, M.Sc.

Codirector Principal del Trabajo de Graduación

Roberto Quiroz Guerra

Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.

Decano de la Escuela de Posgrado

Walter Alexander Andino Carabantes

Walter Alexander Andino Carabantes

Candidato

Escuela de Posgrado

Esta Tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el comité consejero del estudiante como requisito parcial para optar por el grado de

MÁSTER EN MANEJO Y GESTION INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRAFICAS

FIRMANTES

José Ney Ríos, M. Sc.
Codirector de tesis

Jainer Argeñal, M. Sc.
Codirector de tesis

Roberto Quiroz, PhD
Decano Programa de Posgrado

Walter Alexander Andino Carabantes
Candidato

DEDICATORIA

A Dios

Por estar conmigo en cada momento
y guiarme

A mi esposa e hijos

por su comprensión,
por ser el pilar fundamental de mi vida,
la motivación y el extra que me hace ir
y dar lo mejor día a día.

A mis padres

por sus consejos,
apoyo y respaldo
en cada etapa de mi vida

AGRADECIMIENTOS

A Dios todo poderoso por darme la fuerza y sabiduría para avanzar en cada paso de este proceso académico

A mi esposa e hijos por su apoyo y comprensión incondicional todo el tiempo

A mis padres por su respaldo y apoyo en cada etapa de mi vida profesional

A Ing. Francisco Escalante por su apoyo en gestiones para la obtención de financiamiento para cursar esta Maestría en CATIE.

Al Banco Interamericano de Desarrollo (BID) a través del proyecto Manejo Sostenible de Bosques por el apoyo financiero para estudios de maestría en CATIE

A mi asesor MSc. Jose Ney Ríos por su paciencia, enseñanza, orientación y motivación durante este proceso formativo.

A mi asesor MSc. Jainer Argeñal por su minuciosidad y orientación en este proceso formativo

A mis compañeros por sus vivencias y experiencias en cada uno de sus países y por los momentos compartidos en cada clase y trabajo de la maestría.

A cada profesor que nos impartieron las asignaturas por darnos esos consejos y herramientas para crecimiento y desarrollo profesional

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	JUSTIFICACIÓN	3
4.	IMPORTANCIA.....	3
5.	OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
5.1	Objetivo general	4
5.2	Objetivos específicos	4
5.3	Preguntas de investigación	4
6.	REVISION DE LITERATURA O MARCO REFERENCIAL.....	5
6.1	Riesgo climático.....	5
6.1.1	Peligro - Amenaza climática (climático)	5
6.1.2	Exposición	5
6.1.3	Vulnerabilidad	5
6.1.4	Riesgo climático	5
6.1.5	Impactos.....	6
6.1.6	Cadenas de impacto (con base al VI reporte del IPCC)	6
6.2	Servicios ecosistémicos.....	7
6.3	Medios de vida	8
6.4	Café y su vulnerabilidad al cambio climático	8
6.5	Sistemas socio-ecológicos (SSE)	9
6.5.1	El Sistema Socioecológico asociado a la producción de café	10
6.5.1.1	Sistema Social:.....	10
6.5.1.2	Sistema agroecológico	11
6.5.2	Interacciones	12
6.5.2.1	En el sentido social a agroecológico.....	12
6.5.2.2	En el sentido agroecológico a social:.....	13
6.5.2.3	El impacto antrópico: sistema agroecológico: Productiva.....	14
6.5.2.4	Impacto en subsistemas sociales producto de afectaciones en los Servicios ecosistémicos	14
6.6	Escenarios climáticos futuros.....	14
6.6.1	Modelos Climáticos (GCMs y ESM):	15
6.8	Soluciones basadas en la naturaleza (SbN):.....	15
6.9	Adaptación	15
6.10	Adaptación basada en Ecosistemas (AbE).....	16
7.	METODOLOGÍA	16
7.1	Ubicación de área de estudio.....	16

7.2 Cobertura en Microcuenca río Aruco	16
7.3 Datos de Población	18
7.4 Suelos dentro de la Microcuenca río Aruco	18
7.5 Evaluación de riesgo climático en Café	19
7.5.1 Anomalías climáticas: bajo los RCP 4.5 y RCP 8.5 para microcuenca río aruco	19
7.5.1.1 Anomalías climáticas	19
7.5.2 Cálculo de anomalías climáticas	20
7.5.3 Determinación del impacto de las anomalías climáticas sobre la producción agropecuaria de café.....	21
7.6 Modelación hidrológica.....	21
7.6.1 Datos para el modelo SWAT	22
7.6.2 Modelo de Elevación Digital (DEM):.....	22
7.6.3 Cobertura y Uso del Suelo (CUS).....	22
7.6.4 Suelos	22
7.6.5 Clima.....	22
7.6.6 Configuración inicial y simulación con modelo SWAT	24
7.6.7 Configuración Inicial	25
7.6.8 Simulación con modelo SWAT	27
7.7 Cadena de Impacto de la producción de café en la Microcuenca río Aruco	27
8. RESULTADOS.....	29
8.1 Anomalías climáticas en precipitación y temperatura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5	30
8.2 impacto de escenarios de clima futuro y cambios de cobertura sobre el servicio ecosistémico hídrico de la microcuenca río aruco a partir de los escenarios considerados	32
8.2.1 Impacto sobre las variables de balance hídrico y producción de agua en simulación a un 50% de cambio de cobertura.....	33
8.2.2 Impacto sobre las variables de balance hídrico y producción de agua en simulación a un 100% de cambio de cobertura.....	33
8.2.3 Impacto sobre las variables de balance hídrico y producción de agua en 4 escenarios	34
8.2.4 Impacto de la erosión considerando los escenarios base, RCP 4.5, RCP 8.5 y un 50% y 100% de cambio de cobertura.....	35
8.2.5 Impacto de la erosión considerando 4 escenarios respecto al escenario base; RCP 4.5, RCP 8.5 y cambio de cobertura en un 50% y 100%	35
8.3 Caracterización de la cadena de impacto sobre el sistema agropecuario de café en la microcuenca río aruco a partir de registros existentes	36
8.3.1 Análisis de vulnerabilidad climática en la producción de café	36

8.3.1.1	Definición del paisaje	36
8.3.1.2	Información base.....	36
8.3.1.3	Análisis riesgo.....	36
8.3.1.4	Identificación de Impactos.....	36
8.3.1.5	Identificación de vulnerabilidad	36
8.3.1.5.1	Sensibilidad.....	36
8.3.1.5.1.1	Sensibilidad Ecológica.....	36
8.3.1.5.1.2	Sensibilidad socioeconómica	36
8.3.1.5.2	Capacidad.....	37
8.3.1.5.2.1	Capacidad de respuesta	37
8.3.1.5.2.2	Capacidad de Adaptación	37
8.3.1.6	Exposición	37
8.3.1.6.1	Zonas productoras de café	37
8.3.1.6.1.1	Consideración de Zonas cafetaleras según clasificación por Subbassins y HRU´s	37
8.3.1.6.2	Servicios ecosistémicos prioritarios en producción de café	37
9.	ALCANCES Y LIMITACIONES	34
9.1	Alcances	34
9.2	Limitaciones.....	34
10.	CONCLUSIONES	34
11.	RECOMENDACIONES.....	35
12.	LITERATURA CONSULTADA	35

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Preguntas de Investigación.....	4
Cuadro 2. Comparación de características entre ecosistemas naturales y Agroecosistemas ..	7
Cuadro 3. Cobertura en Microcuenca río Aruco según mapa forestal de Honduras 2018 ..	17
Cuadro 4. Población dentro de la Microcuenca río Aruco.....	18
Cuadro 5. Requerimientos fisiológicos del café arábica.....	27
Cuadro 6. Anomalía mensual en precipitación y temperatura para escenario RCP 4.5 al año 2050.....	30
Cuadro 7. Anomalía mensual en precipitación y temperatura para escenario RCP 8.5 al año 2050.....	31
Cuadro 8. Cambios % en respuesta hidrológica para cuatro escenarios modelados en SWAT para la microcuenca río Aruco.....	34
Cuadro 9. Propuestas y estrategias SbN y AbE para la microcuenca río Aruco.....	38

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Esquema explicativo de Riesgo Climático	5
Figura 2. Interacciones en un Sistema Socioecológico.....	10
Figura 3. Mapa de Ubicación de áreas de Café en Microcuenca río Aruco	11
Figura 4. Cultivo de café bajo sombra de pino	12
Figura 5. Cultivo de café bajo sombra de árboles de valor comercial	12
Figura 6. Ciclo productivo del café.....	13
Figura 7. Ubicación General de microcuenca río aruco en relación con cuenca Ulúa, Reserva de Biosfera cacique Lempira y Honduras, Centroamérica.....	16
Figura 8. Mapa de uso y cobertura Microcuenca río Aruco según mapa forestal de Honduras, 2018.	17
Figura 9. Mapa de Zonificación altitudinal Mc. río Aruco	18
Figura 10. Plataforma de obtención de registros de anomalías climáticas futuras mensuales para la microcuenca río aruco, Honduras, Centro América.	19
Figura 11. Registro histórico y anomalía mensual futura (al año 2050) en precipitación y temperatura RCP 4.5 Y 8.5	20
Figura 12. Visualización de Interfase/Data de plataforma W3S.....	21
Figura 13. Esquema de información requerida para modelación en SWAT	21
Figura 14. Modelo digital de elevación para la microcuenca río aruco, Honduras.	23
Figura 15. Información de tipos de Suelos según clasificación de Simmons para Honduras.	23
Figura 16. Información de Uso y cobertura del suelo para la microcuenca río aruco según mapa de cobertura de Honduras.....	23
Figura 17. Clasificación espacial de nano cuencas, Unidades de Respuesta Hidrológica y rangos de pendientes para la Microcuenca río Aruco	24
Figura 18. Flujograma de proceso de modelación en SWAT	25
Figura 19. Aptitud de cultivos con cambios en temperatura y precipitación debido al cambio climático	28
Figura 20. Ciclo Fenológico-Productivo del Café	29
Figura 21. Registro histórico de precipitación y temperatura del período 1981-2010 para la microcuenca río Aruco.....	30
Figura 22. Anomalía mensual al año 2050 escenario RCP 4.5 para la microcuenca río Aruco.....	31

Figura 23. Anomalía mensual al año 2050 escenario RCP 8.5 para la microcuenca río Aruco.	32
Figura 24. Aporte medio anual de las fracciones de balance hídrico y producción de agua en la línea base (2001-2019) para la microcuenca río Aruco.	32
Figura 25. Aporte medio anual de las fracciones de balance hídrico y producción de agua con un 50% de cambio de cobertura para la microcuenca río Aruco.	33
Figura 26. Aporte medio anual de las fracciones de balance hídrico y producción de agua con un 100% de cambio de cobertura para la microcuenca río Aruco.	33
Figura 27. Cambios (%) en respuesta hidrológica para 4 escenarios en microcuenca río Aruco	34
Figura 28. Comparación de erosión (SYLDt_ha) en escenarios; base, RCP 4.5, RCP 8.5 y cambio al 50% y cambio al 100%	35
Figura 29. Cambios (%) en erosión para 4 escenarios en Microcuenca río Aruco.....	35
Figura 30. Zonificación altitudinal con propuestas y estrategias SbN y AbE para la microcuenca río Aruco en sitios prioritarios de producción de café	33
Figura 31. Cadena de Impacto en producción de Café en Microcuenca río Aruco.....	34

LISTA DE ACRÓNIMOS, ABREVIATURAS Y UNIDADES

AbE: Adaptación basada en Ecosistemas

AR5: Quinto informe del IPCC

CMIP5: Proyecto de Inter comparación de Modelos Acoplados del AR5

ET: Evapotranspiración real

GW_Q: Agua subterránea

ICF: Instituto de Conservación Forestal

IHCAFE: Instituto Hondureño del Café

INE: Instituto Nacional de Estadística de Honduras

IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)

MCG: Modelos de circulación de clima global

Pcp: Precipitación

PERC: Percolación

RCP: Rutas o trayectorias de concentración representativas (Representative Concentration Pathways)

SbN: Soluciones basadas en la naturaleza

SSE: Sistemas Socioecológicos

SURQ: Escorrentía superficial

SWAT: Soil and Water Assessment Tool

SYLD: Sedimentos o erosión (toneladas métricas por hectárea)

Tmp: Temperatura

WYLD: Cantidad de agua que sale o se produce de la cuenca

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la microcuenca río Aruco (212 km²), perteneciente a la subcuenca río Higuito, afluente principal de la cuenca del río Ulúa en Honduras. El objetivo del presente estudio fue describir la cadena de impacto en la producción de café vinculadas al riesgo climático futuro mediante empleo de modelación hidrológica mediante el uso del modelo semidistribuido SWAT (Soil Water Assessment Tool). Se empleó información disponible de tipo de suelo, uso y cobertura, topografía y clima para ingreso al modelo SWAT. Para el conocimiento de las anomalías climáticas futuras se consideró la información disponible de la plataforma agua de Honduras, fuente oficial basada en la tercera comunicación nacional sobre cambio climático del país, la cual contempla datos de línea base de 1981 al 2010 y anomalías con reducción de escala de las proyecciones del CMIP5 de 18 modelos de circulación general, en nuestro caso se consideró dos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y RCP 8.5 al año 2050) y dos escenarios hipotéticos de cambio de uso y cobertura (al 50% y al 100% de pérdida de cobertura forestal). Los datos de precipitación y temperatura diaria del 01 de enero de 2001 al 31 de diciembre del 2019 provenientes de la plataforma W3s-Agua. El resultado de los análisis nos indica que bajo escenarios climáticos futuros (RCP 4.5 y 8.5) al año 2050, se prevé que el cambio climático no tendrá impactos significativos en el comportamiento hídrico de la microcuenca; mientras que bajo escenarios de cambio de cobertura cambios en evapotranspiración, escurrimiento superficial, percolación, producción de agua de la cuenca y de forma bien marcada en lo concerniente a erosión contribuyen a condiciones de déficit hídrico y pérdida de suelo. El estudio concluye que una situación de déficit hídrico en la cuenca estaría asociado a cambios en cobertura que a climáticos y una disminución de las precipitaciones en los meses de julio a septiembre afectaría la producción de café debido a que corresponde al desarrollo fenológico de frutos. Medidas enfocadas a crear resiliencia climática y productiva, principalmente en aquellas que favorezcan la permanencia de la humedad del suelo deben ser consideradas para garantizar la sostenibilidad de producción de café en la microcuenca.

Palabras claves: cadena de impacto climático, modelación hidrológica, déficit hídrico.

ABSTRACT

The present study was carried out in the Aruco river micro-basin (212 km²), belonging to the Higuito river sub-basin, the main tributary of the Ulúa river basin in Honduras. The objective of this study was to describe the impact chain in coffee production linked to future climate risk using hydrological modeling using the semi-distributed SWAT model (Soil Water Assessment Tool). Available information on soil type, use and coverage, topography and climate were used to enter the SWAT model. For the knowledge of future climatic anomalies, the information available from the Honduran water platform was considered, an official source based on the third national communication on climate change in the country, which includes baseline data from 1981 to 2010 and anomalies with a reduction in scale of the CMIP5 projections of 18 general circulation models, in our case we considered two climate change scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5 to the year 2050) and two hypothetical scenarios of change of use and coverage (at 50% and at 100 % loss of forest cover). Precipitation and daily temperature data from January 1, 2001 to December 31, 2019 from the W3s-Agua platform. The results of the analyzes indicate that under future climate scenarios (RCP 4.5 and 8.5) by the year 2050, it is expected that climate change will not have significant impacts on the water behavior of the micro-basin; while under cover change scenarios, changes in evapotranspiration, surface runoff, percolation, water production in the basin and in a well-marked way in terms of erosion contribute to conditions of water deficit and soil loss. The study concludes that a situation of water deficit in the basin would be associated with changes in coverage than climatic and a decrease in rainfall in the months of July to September would affect coffee production because it corresponds to the phenological development of fruits. Measures focused on creating climatic and productive resilience, mainly those that favor the permanence of soil moisture, should be considered to guarantee the sustainability of coffee production in the micro-watershed.

Keywords: climate impact chain, hydrological modeling, water deficit.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se ha convertido en una preocupación importante en el mundo y para poder adaptarse a sus impactos primeramente se deben comprender los cambios que se avecinan (Navarro-Racines, Monserrate, Llanos-Herrera, Obando, & Córdoba, 2014).

En Mesoamérica, como en otras partes del mundo, el agua es esencial para una variedad de usos sociales, y el cambio climático amenaza el acceso a través de cambios en la cantidad (escasez o excedente) y calidad del agua que afectan el acceso a los servicios que proveen los diferentes ecosistemas (Imbach, Molina, Locatelli, & Corrales, 2010).

Honduras es reconocido mundialmente como uno de los países más vulnerables ante el cambio climático (IHCIT, 2012). Cada día vemos como los efectos en nuestro país son más notorios y ante esto es necesario poder tomar acciones y estrategias. Vallejo (2015) manifiesta que la actividad humana con fines productivos ha provocado altos niveles de deforestación y contaminación en muchas partes del país, así como también cambios en el uso del suelo, desviación de tierras para la agricultura, la agroindustria y la urbanización, causando daños irreversibles a los ecosistemas y los servicios que estos proveen.

La microcuenca río Aruco está ubicada en el Occidente de Honduras, uno de los ríos primordiales que drenan a la subcuenca río Higuito que es un afluente principal de la cuenca del río Ulúa, una de las más extensas y caudalosas del país. De acuerdo con ICF (2012), la Microcuenca en su mayoría se encuentra dentro del área protegida Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC), la cual es parte de la reserva de hombre y biosfera Cacique Lempira Señor de las Montañas (RHBCLSM).

En Honduras se han suscrito tratados y acuerdos internacionales en materia de cambio climático que han significado avances, al grado de adelantarse a la presentación de comunicaciones nacionales que son la principal fuente de información sobre el comportamiento de cambio climático futuro para el país (Navarro-Racines, Monserrate, Llanos-Herrera, Obando, & Córdoba, 2014). Hoy en día vemos como se ha, incrementando y/o prolongando los períodos de sequía, afectación de plagas a bosques y cultivos (IHCIT, 2012). A pesar de los esfuerzos realizados, las olas de calor, las tormentas, las sequías y las inundaciones afectan cada vez más la salud, la vida y los medios de subsistencia de las personas, la adaptación a los efectos del cambio climático ha sido hasta ahora ineficaz y la inacción tendrá mayores impactos en los organismos y ecosistemas (IPCC, 2022).

El presente estudio se realiza con el fin de conocer la cadena de impacto en la producción de café vinculada al riesgo climático futuro en la microcuenca río Aruco, Honduras, Centroamérica. Para este fin se empleó el modelo SWAT (Soil Water Assessment Tool), el cual permite hacer la incorporación de anomalías climáticas y planteamiento de escenarios hipotéticos con cambios de cobertura para el proceso de simulación. Con el presente se espera poder contribuir de forma local e intermunicipal a mejorar la toma de decisiones futuras y con ello un mejor manejo de los recursos (Agua, bosque y suelo) de la microcuenca río Aruco.

2. ANTECEDENTES

Según los últimos dos informes del Grupo de trabajo II del IPCC (Informe de evaluación V-VI), el análisis de vulnerabilidad climática ha sido cambiado por el término evaluación de riesgo climático, el cual se considera como uno de los tres componentes de la evaluación de riesgo. Hoy en día, el concepto de riesgo climático y vulnerabilidad brinda la oportunidad de considerar de manera íntegra todos los elementos relacionados con los sistemas socio ecológicos (SSE), desde los componentes peligrosos vinculados con el clima, la vulnerabilidad y exposición de las poblaciones y los ecosistemas mismos y, por lo tanto, las causas del riesgo. Bajo este nuevo enfoque conceptual y metodológico, conceptos claves como exposición y vulnerabilidad han cambiado, y el riesgo ha sido identificado como el resultado de la interacción de la vulnerabilidad, exposición y peligro.

En los últimos dos años, el nuevo enfoque de la evaluación del riesgo está siendo utilizado para identificar cadenas de impacto asociadas al riesgo climático. Una cadena de Impacto de acuerdo con GIZ, EURAC, & ONU-EHS (2018) & Ríos (2021) viene a ser un instrumento para poder ilustrar los impactos actuales y proyectados en diferentes sistemas socio ecológicos, que son, o pueden ser, desencadenados por las diferentes amenazas o estímulos relacionados con el clima. Lo anterior se realiza actualmente con el fin de poder tener una idea de cuanto y quienes son los países que realmente están cumpliendo con los acuerdos establecidos y a la vez plantear sugerencias o alternativas mediante el empleo de diferentes escenarios o rutas socioeconómicas compartidas.

Cada reporte nos ha dado una referencia de cómo estamos y como estaremos a través del tiempo; se ha venido haciendo recopilación de datos (muchas variables, principalmente de precipitación y temperatura) de los cuales se han derivado muchos acontecimientos que nos dan un panorama de alerta o referencia de que ya es más que necesario empezar a hacer algo por el planeta si no, acabaremos con toda forma de vida sobre el mismo.

3. JUSTIFICACIÓN

El proceso de operativización de la evaluación del riesgo climático es un proceso que va desde la identificación y caracterización de un paisaje, definir y entender los impactos de las anomalías climáticas futuras, hasta determinar su cadena de impacto. Tomando en cuenta lo anterior, este proceso requiere un enfoque holístico que considere elementos biofísicos (cobertura), territoriales (uso) y socioeconómicos (actividad económica) claves. Por ello tomando en cuenta que un 79% de la población (22,640 productores) del área de la microcuenca se dedica a actividades productivas, incluyendo café, es necesario desarrollar este estudio, el cual, tomando en cuenta la disponibilidad de información en el país, donde cada día la presión por las áreas boscosas es mayor y tienden a desaparecer ya que la necesidad por contar con áreas disponibles para cultivos, ha alterado las condiciones de los ecosistemas, al grado de provocar afectaciones e incrementar la vulnerabilidad tanto en lo económico, social y ambiental. Se decidió trabajar en base a los escenarios de cambio climático del V informe del IPCC, teniendo presente que es fundamental saber cómo ha sido y que podría derivarse en la microcuenca río Aruco, para de esta forma, proveer un instrumento de gestión para el futuro (corto y mediano plazo) del territorio y con ello tener un mejor entendimiento e interpretación de la zona.

4. IMPORTANCIA

Actualmente en nuestro país existen muy pocas experiencias de cadenas de impacto, ante ello es necesario tomar acción y ver que conforme avanzan los días son más notorios los efectos del cambio climático, particularmente en el recurso hídrico. De acuerdo con el análisis desarrollado para 3 microcuencas en el departamento de La Paz, Honduras, la Comisión Europea, Dirección General de Asociaciones Internacionales, & Rodríguez Mejía, (2022) describe que; la vulnerabilidad climática ha afectado directamente el recurso hídrico al grado de provocar escasez, ante lo cual es más que necesario poder identificar y priorizar acciones en las microcuencas para de esa manera estar en sintonía con las condiciones del ecosistema.

Particularmente en nuestra microcuenca, ante la falta de estudios de riesgo climático en la zona, es necesario realizarlos, ya que con ello podremos contribuir a mejorar la toma de acciones y/o decisiones para cambiar el rumbo de la historia de nuestros recursos naturales y principalmente el recurso hídrico; el avance tecnológico y la disponibilidad de fuentes de datos de monitoreo a través del tiempo en los últimos años, han pasado a convertirse en una herramienta que nos permite poder conocer diferentes anomalías y aportar significativamente en la toma de mejores decisiones. Por esta razón, es fundamental tomar en cuenta los registros históricos disponibles que permitan entender patrones climáticos propios de la zona y de manera adicional son un insumo importante para analizar diferentes escenarios futuros del clima.

La relevancia que tiene este estudio es que, nos permitirá conocer ese comportamiento histórico de los recursos (especialmente el hídrico) en nuestra área de interés y a la vez facilitará la comprensión del riesgo climático futuro derivado de la cadena de impacto en la microcuenca río Aruco, principalmente la asociada al sector café.

5. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

5.1 Objetivo general

Definir la cadena de impacto en la producción de café vinculadas al riesgo climático futuro, mediante empleo de modelación hidrológica en la microcuenca río Aruco, Honduras, Centroamérica

5.2 Objetivos específicos

1. Conocer las anomalías climáticas en precipitación y temperatura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para la microcuenca río aruco, Honduras, Centroamérica.
2. Determinar el impacto de escenarios de clima futuro y cambios de cobertura sobre el servicio ecosistémico hídrico de la microcuenca río Aruco a partir de los escenarios considerados.
3. Caracterizar la cadena de impacto sobre el sistema agropecuario de café en la microcuenca río aruco a partir de registros existentes.

5.3 Preguntas de investigación

Cuadro 1. Preguntas de Investigación

Objetivo Específico (OE)	Pregunta (s) de investigación	¿Cómo Resolverla (s)?
OE1: Conocer las anomalías climáticas en precipitación y temperatura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 para la microcuenca río Aruco, Honduras, Centroamérica.	¿Cómo se prevé conocer las anomalías climáticas para la microcuenca río aruco?	Mediante bases de datos de registros de variables bioclimáticas existentes y revisión de literatura de estudios y artículos existentes sobre el tema, disponibles para nuestra zona de estudio
OE2: Determinar el impacto de escenarios de clima futuro y cambios de cobertura sobre el servicio ecosistémico hídrico de la microcuenca río Aruco a partir de los escenarios considerados.	¿Con que Software de modelación se determinará impacto sobre el servicio ecosistémico hídrico?	Se realizará por medio de software de modelación Swat
OE3: Caracterizar la cadena de impacto sobre el sistema agropecuario de café en la microcuenca río aruco a partir de registros existentes	¿En base a que se hará la caracterización de las cadenas de impacto sobre el sistema agropecuario de café? ¿Cuáles son los impactos que afectan el sistema agropecuario de café? ¿Dónde se desarrollará?	La definición de las cadenas de impacto se hará de acuerdo con el análisis y consideración de las características y medidas según la adaptación basada en ecosistemas (AbE) y soluciones basadas en naturaleza (SbN) e información de fuentes primarias y secundarias o disponibles para nuestra área de estudio Se desarrollará en la Microcuenca río Aruco, Honduras, Centroamérica

6. REVISION DE LITERATURA O MARCO REFERENCIAL

De acuerdo con Ríos (2022), los términos peligro, Exposición, Vulnerabilidad y riesgo climático se describen de la siguiente manera:

6.1 Riesgo climático

6.1.1 Peligro - Amenaza climática (climático): Eventos físicos, relacionados con el clima, la variabilidad climática natural o el cambio climático, que pueden tener un potencial destructivo o dañino. Se manifiestan mediante eventos extremos (puntuales en el tiempo), tales como huracanes o tormentas y también a través de cambios graduales, como cambios en los patrones de precipitación y temperatura.

6.1.2 Exposición: disponibilidad de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, servicios ambientales, servicios y recursos; la infraestructura o los recursos económicos, sociales o culturales en los lugares y el medio ambiente pueden verse afectados negativamente.

6.1.3 Vulnerabilidad: La tendencia o predisposición a ser afectado adversamente. La vulnerabilidad abarca muchos conceptos y factores diferentes, incluida la vulnerabilidad y la incapacidad para hacer frente y adaptarse. Considera que las características de los factores expuestos que pueden aumentar (o disminuir) las posibles consecuencias de un peligro climático particular. Contiene dos componentes importantes: sensibilidad y capacidad.

6.1.4 Riesgo climático

Es el potencial de consecuencias específicas relacionadas con el clima (impactos climáticos) que pueden afectar un sistema socio-ecológico (bienes, personas, ecosistemas, cultura, etc.). El riesgo resulta de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro (GIZ, EURAC, & ONU-EHS, 2018, IPCC 2022, citado por Ríos 2022), Figura 1.

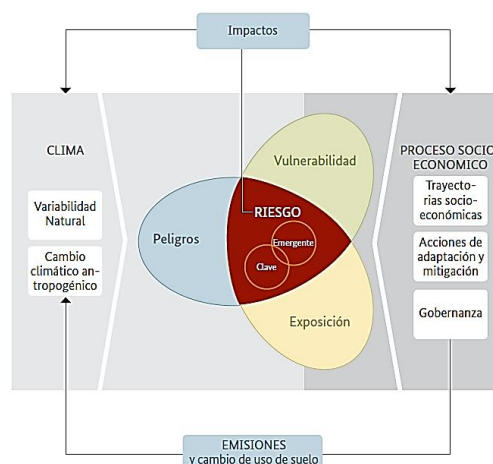


Figura 1. Esquema explicativo de Riesgo Climático

Fuente: (IPCC, 2022).

De igual forma, **Riesgo**, es la capacidad resultante de acciones vinculadas con el clima que puede repercutir en posesiones, vidas humanas, salud, educación, medio ambiente, entre otras (GIZ, EURAC, & ONU-EHS, 2018)

IPCC (2022), hace referencia a la capacidad de las sociedades para prepararse y responder a los impactos climáticos actuales y futuros. No tiene en cuenta la capacidad de los ecosistemas para responder a los impactos, pero sí tiene en cuenta la capacidad social para gestionar los ecosistemas. Estos pueden ser de 2 tipos:

1. Resiliencia: estudia las capacidades de las personas, instituciones, organizaciones y sistemas, utilizando habilidades, valores, creencias, recursos disponibles y oportunidades para enfrentar, gestionar y superar circunstancias adversas en el corto y mediano plazo.

2. Adaptabilidad: estudia la capacidad de los sistemas, organizaciones, personas y otros organismos para adaptarse al daño potencial, aprovechar las oportunidades o enfrentar las consecuencias.

6.1.5 Impactos: se emplea principalmente para referirse a los efectos sobre los sistemas naturales y humanos de episodios meteorológicos y climáticos extremos, y del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructura debido a la interacción de los cambios o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o sistemas expuestos a ellos. Los impactos del cambio climático sobre los sistemas geofísicos, incluidas las inundaciones, las sequías y la elevación del nivel del mar, son un subconjunto de impactos denominados impactos físicos (GIZ, EURAC, & ONU-EHS, 2018 citado por Ríos, 2021).

6.1.6 Cadenas de impacto (con base al VI reporte del IPCC)

Es lo que podríamos llamar como cadena de causa y efecto, esto sirve como un instrumento de análisis que nos facilita el poder entender mejor una situación para con ello poder organizar y primar los causantes que conllevan hacia un riesgo en un determinado medio. Puede utilizarse como conclusión en proyecto de riesgo climático que apunte a identificar medidas de adaptación en un nivel cualitativo (GIZ, EURAC, & ONU-EHS, 2018).

Es una herramienta para explicar los elementos actuales y predictivos de diferentes sistemas socio ecológicos que son o pueden ser causados por diferentes amenazas o estímulos relacionados con el clima (Echeverría, 2018)

De acuerdo con GIZ, EURAC, & ONU-EHS (2018) citada por Ríos (2021), es un instrumento para ilustrar los impactos actuales y proyectados en diferentes sistemas socio ecológicos, que son, o pueden ser, desencadenados por las diferentes amenazas o estímulos relacionados con el clima. Las cadenas de impacto se conforman de componentes de riesgo: peligro, exposición, vulnerabilidad y factores subyacentes de cada uno. Los impactos son los bloques de construcción básicos de las cadenas de causa-efecto (cadenas de impacto).

6.2 Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son los beneficios que la sociedad obtiene de un ecosistema. En otras palabras, puede resaltar o ilustrar las interrelaciones entre el bienestar humano y la adecuada conservación de los ecosistemas. Especialmente en los bosques tropicales del mundo, debido a su amplia distribución, rica diversidad y soporte para las funciones básicas de la Tierra como el clima y la hidrología, brindan una amplia gama de importantes funciones de los ecosistemas (Balvanera, 2012).

Son servicios proporcionados por la interacción de los elementos del ecosistema que crean un ambiente favorable y beneficioso para mejorar la calidad de vida de las personas (ICF, 2016). Los servicios ecosistémicos se clasifican en **4** que son: **aprovisionamiento** (productos derivados de los ecosistemas a veces llamados servicios de producción), **de regulación** (productos de ecosistemas a veces llamados servicios de fabricación), **culturales** (beneficios intangibles que las personas obtienen de los ecosistemas) y **de soporte** (necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos, pero no beneficia directamente a los humanos) (Ríos J. N., Servicios Ecosistémicos (bases conceptuales), 2021)

De igual manera son todos los servicios que la naturaleza nos brinda y de los cuales dependemos todos los seres humanos, funcionan de forma compleja y están tan relacionado entre sí que no pueden ser reemplazos por la tecnología. El término ecosistema, es un término bastante amplio e inclusivo; abarca tanto los ecosistemas naturales como los manejados por el ser humano. Los ecosistemas según Martínez-Rodríguez, Viguera, Donatti, Harvey, & Alpizar, (2017), los podemos clasificar en 2 tipos, **ecosistema natural** (contiene especies que han evolucionado para vivir en un sitio dado, como bosques tropicales o tundras en partes altas de montañas) y **los agroecosistemas** (ecosistemas que han sido alterados por el ser humano para satisfacción de sus necesidades como producción agrícola o pecuaria con especies que no estaban presentes en el ecosistema original, entre ellos café). Entre ambos existen características (ver tabla 2) bien marcadas que definitivamente provocan estabilidad o alteración entre los mismos.

Cuadro 2. Comparación de características entre ecosistemas naturales y Agroecosistemas

CARACTERÍSTICA	ECOSISTEMA NATURAL	AGROECOSISTEMA
Control Humano	Bajo	Alto
Productividad neta	Media	Alta
Diversidad de especies y genética	Alta	Baja
Ciclo de Nutrientes	Cerrados	Abiertos
Estabilidad (Resiliencia)	Alta	Baja

Fuente: Karsten et al citado por Martínez et.al (2017).

Entre los servicios ecosistémicos que obtenemos de la producción de café podemos mencionar:

Servicios de Aprovechamiento: alimentos para consumo humano (aprovechan las tierras para cultivar yuca, mostaza, rábanos, plátano, guineos, miel de abeja, leña (poda de finca y sombra del café), abastecimiento de agua

Servicios de Regulación: regulación del clima cuando están asocio o bajo dosel de pino o con árboles maderables e incluso con musáceas (plátano), regulación de la calidad del aire (conversión de dióxido de carbono en oxígeno mediante fotosíntesis), captura de carbono en plantas y en el suelo, detención de partículas (polen, polvo, ceniza), prevención de erosión, protección del suelo, mejora de la fertilidad del suelo, fijación de nitrógeno (cobertura de *Ingas sp.*), control biológico de plagas y enfermedades (por medio de parásitos y depredadores naturales), polinización

Servicios Culturales: Servicio de pertinencia a los cafetales (por lo general han venido de generación en generación y son parte de la historia de las comunidades)

Servicios de apoyo o Soporte: estos proveen de hábitats para diferentes especies (aves y otras especies en las fincas).

- Nuestro caso de estudio es referente a un agroecosistema ya que, es un ecosistema en el cual ha habido intervención del ser humano y lo ha priorizado para abastecimiento de diferentes necesidades, provocando con ello afectaciones a los bienes y servicios que la naturaleza nos provee, de igual manera cambios a microclimas óptimos para producción de café.
- Al ser el café un agroecosistema, se ve expuesto ya que, provoca perturbación en las condiciones ambientales, lo que produce alteraciones que reducen la provisión de servicios ambientales y/o ecosistémicos tanto en cantidad como en calidad.

6.3 Medios de vida

Son las condiciones y fundamentos de sustentación de las personas y sociedades que permiten a las familias poder satisfacer sus necesidades y enfrentar situaciones adversas o críticas frente a situaciones y/o momentos extremos. Los medios de vida están conformados en un conjunto de recursos que caracterizan y coordinan la adaptabilidad de un individuo a efectos externos como el cambio climático (LIDEMA, 2011).

6.4 Café y su vulnerabilidad al cambio climático

Viguera et al (2017) menciona que a nivel de Centroamérica el café es un cultivo muy sensitivo a las variaciones del clima, por ello se espera que el cambio climático impacte considerablemente en el mismo; algunos impactos girarían en torno a: los requerimientos fisiológicos, la capacidad de la tierra y su productividad. Dichos impactos vendrán a sumarse a las diferentes amenazas que ya enfrenta el rubro del café (mercado, valor económico, alto costo de insumos, entre otros).

A nivel de país, el café es un rubro muy importante ya que es uno de los principales productos de exportación hacia el mercado internacional. Bunn et al. (2018) menciona que actualmente Honduras es el mayor productor de café en Centroamérica y las zonas de producción de las últimas décadas se han vueltas más secas y calurosas.

Actualmente el contrabando o intermediarios sacan provecho de las condiciones actuales ya que se apropian de gran parte de las cosechas de café al ofrecer pagos adelantados para comprometer la producción. De acuerdo con el informe de cosecha de IHCAFE (2022), en el Occidente de nuestro país, específicamente en los departamentos de Copán, Lempira y Ocotepeque el café representa una de las principales zonas cafetaleras con calidad de producto para exportación. El café es una de las más importantes fuentes de ingreso para sustento de las familias de grandes y pequeños productores, razón por la que los patrones bioclimáticos (precipitación y temperatura) juegan un rol fundamental en este sector productivo.

Bunn et al (2018) menciona que ante el aumento de temperaturas anuales de las regiones cafetaleras en el país (Honduras), la disposición de precipitación y evapotranspiración se ha vuelto más variable, y que estas tendencias, pueden haber sido las causales para el aumento de la demanda de agua para el cultivo del café. Asimismo, describe que Honduras tiene una de las tasas de deforestación más altas del mundo, y el establecimiento de plantaciones de café es uno de los principales impulsores de este desarrollo. Desde 1990, aproximadamente el 45% de los bosques naturales se han perdido y convertido a otros usos de la tierra. Los bosques cubrían alrededor del **40%** de Honduras en 2015, en comparación con más del 70% en 1990. Aproximadamente el **20 %** del área forestal, o 1.1 millones de hectáreas, se han visto afectadas por la deforestación, síntoma de esparcimiento del café. En algunas regiones, el 50 % de la tierra se utiliza para el cultivo de café después de la deforestación. Actualmente se están realizando algunos trabajos de reforestación, lo que significa que alrededor del **40% del bosque restante son áreas protegidas**. Todos los terrenos por encima de los 1800 metros sobre el nivel del mar son protegidos y no es permisible el uso agrícola.

6.5 Sistemas socio-ecológicos (SSE)

Son aquellos que al considerar los sistemas complejos de los seres humanos y la naturaleza, es especial la dependencia humana de los servicios ecosistémicos (SE), así como el suministro de alimentos y agua (servicios de provisión o suministro), la protección contra eventos extremos, prestando atención a la regulación del clima (servicios regulatorios), que son parte fundamental de la mitigación y adaptación al riesgo, apoyándose en el desarrollo de estrategias de adaptación que tengan en cuenta los factores de riesgo humanos y biofísicos y aprovechen los múltiples beneficios de los ecosistemas (IPCC 2014a, p. 1046 citado por GIZ, EURAC, & ONU-EHS, 2018).

Son sistemas complejos adaptativos y evolutivos, en los que interactúan componentes culturales, políticos, sociales, económicos, ambientales, tecnológicos y otros; Hacen hincapié en una perspectiva de naturaleza humana en la que los ecosistemas están aunados en la sociedad humana. Los riesgos de los impactos relacionados con el clima en la sociedad y el ecosistema surgen de la interacción de los riesgos climáticos (incluidos los eventos y tendencias peligrosos) con las vulnerabilidades y exposiciones de los sistemas humanos y naturales (Resilience Alliance 2007 citado por UICN, 2020).

De acuerdo con Salas Zapata, Ríos Osorio, & Álvarez del Castillo (2011), los Sistemas Socioecológicos son las relaciones que se establecen entre los subsistemas a través de diferentes rutas. Por un lado, a través de diversas actividades y procesos humanos que afectan los ecosistemas, como la extracción de recursos naturales, la pesca, la producción de alimentos, etc.; por otro lado, a través de dinámicas ecosistémicas como inundaciones, cambio climático, cambios estacionales y cambios en las propiedades del suelo que afectan los sistemas sociales (Figura 1).

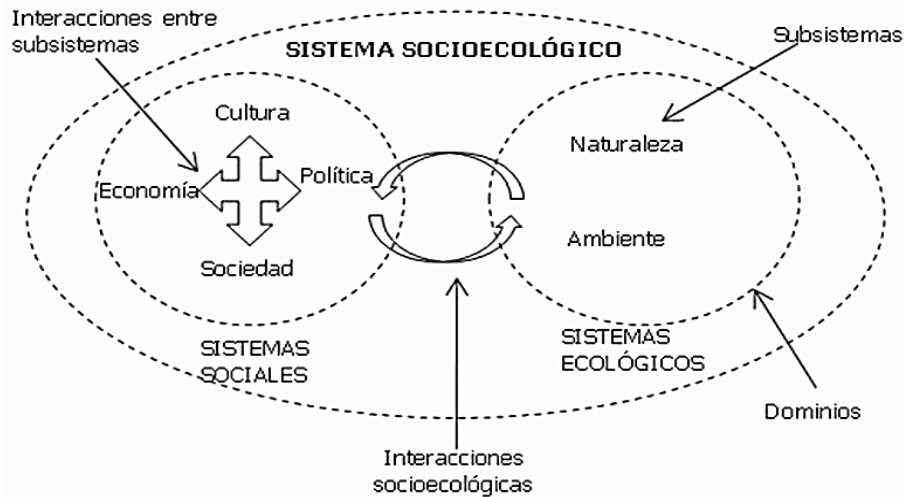


Figura 2. Interacciones en un Sistema Socioecológico

Fuente: Salas Zapata, Ríos Osorio, & Álvarez del Castillo (2011)

6.5.1 El Sistema Socioecológico asociado a la producción de café

El sistema Socioecológico que describiremos, particularmente para nuestro caso de estudio, corresponde a un **Sistema Socioecológico diseñado no controlado**; estos sistemas se caracterizan porque, son sistemas que están deliberadamente diseñados para seguir un conjunto de reglas de operación que rigen su funcionamiento, incluso cuando sus componentes no son elaborados o diseñados. Por ello, sus componentes son altamente autónomos y el comportamiento del sistema es parcialmente controlable, aunque puede ser intervenido y afectado por acciones y decisiones humanas. Por lo tanto, tienen una gama más amplia de comportamientos posibles (Salas Zapata, Ríos Osorio, & Álvarez del Castillo, 2011).

El Sistema Socioecológico diseñado no controlado contempla los siguientes Sub-Sistemas y componentes:

6.5.1.1 Sistema Social: El cultivo de café en la zona es un medio de vida intrínseco de la cuenca (figura 3) y la conforman productores, comercializadores, exportadores. La condición socioeconómica de la zona gira alrededor del sector primario, principalmente en la producción agropecuaria (Higuito, 2022), de forma general se posee un nivel de escolaridad muy bajo, principalmente en lo rural, cuya organización la conforman asociaciones de productores (ANACAFE, APROCAFE, IHCAFE) las cuales tienen soporte y asistencia a través de la secretaria de agricultura y ganadería (SAG).

A nivel político existe normativas de apoyo al desarrollo de la caficultura (ley de protección a la actividad caficultura y cacaotera decreto N° 37-2016); en el desarrollo de la actividad productiva el rol de la mujer no es visibilizado como debiera.

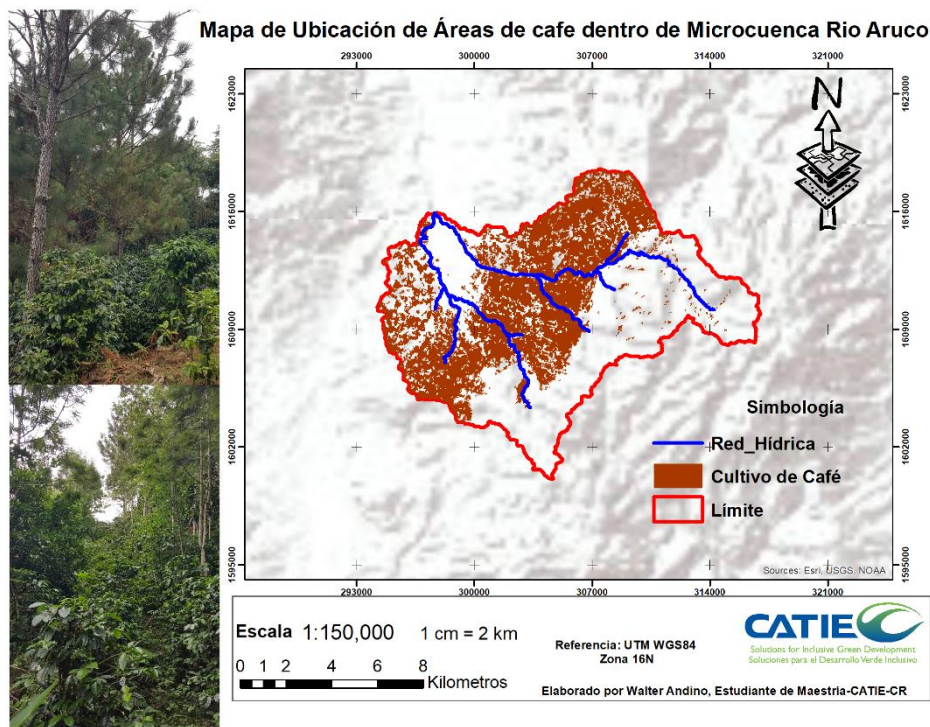


Figura 3. Mapa de Ubicación de áreas de Café en Microcuenca río Aruco

6.5.1.2 Sistema agroecológico: se encuentra ubicado en una zona de vida de bosque húmedo montano bajo Subtropical a bosque húmedo subtropical (CCAD, 2020), con un rango altitudinal entre los 804-2658 metros sobre el nivel del mar, con precipitación promedio anual de 1469 milímetros, y temperaturas mínimas de 15°C y máximas 25°C, con predominancia de suelos de los valles. La producción de café está asociada a un diseño espacial bajo cobertura de bosque de pino y/o asocio con maderables de alto valor comercial (ver Figura 4 y 5); zonas productivas aledañas a zonas de amortiguamiento de áreas protegidas (dentro del parque nacional montaña de Celaque, reserva de biosfera cacique lempira señor de las montañas), y zonas de alto valor hídrico vinculada a recarga de acuíferos y cuerpos de agua superficial.



Figura 4. Cultivo de café bajo sombra de pino



Figura 5. Cultivo de café bajo sombra de árboles de valor comercial

6.5.2 Interacciones

6.5.2.1 En el sentido social a agroecológico: Amenazas (expansión de la frontera agrícola sobre ecosistemas frágiles asociadas a la producción de café; reduciendo el área de ecosistemas prioritarios en la cuenca, asociados al servicio ecosistémico hídrico, control de plagas, regulación climática, polinización y fertilidad del suelo. El crecimiento de las comunidades y desarrollo urbano también afectan áreas de ecosistemas frágiles. Se considera un ecosistema frágil aquel que por sus atributos biofísicos y características particulares es afectado por intervención humana al punto de degradar o deteriorar su funcionalidad y los servicios ecosistémicos que provee.

6.5.2.2 En el sentido agroecológico a social:

En la parte **productiva**; El café es una planta que requiere condiciones ambientales aptas para una buena producción, de acuerdo con Viguera, Martínez-Rodríguez, Donnati, Harvey, & Alpizar (2017), es sensible principalmente a la luz temperatura, lluvia y humedad en todas las etapas de desarrollo, cremamiento y producción del grano.

El ciclo del café (figura 6) representa una fuente de beneficio, iniciando por la regulación del clima (absorción de CO₂), el soporte al suelo, habitats para especies y fuente de ingreso económico a los productores través de venta del grano proveniente de las cosechas.



Figura 6. Ciclo productivo del café

Fuente: con base en IHCAFE (2023).

Se espera que la producción de café debido a las exigencias para su producción, tienda a desplazar hacia zonas de mayor altura, donde las condiciones serán más favorables para el desarrollo de este rubro productivo tanto para su crecimiento como para su productividad, lo que conllevaría una amenaza considerable para las áreas protegidas de nuestro país ya que se verían afectadas y son las áreas de reserva que quedan en nuestra nación; hoy en día, a pesar de todos los esfuerzos y restricciones, siempre existen áreas ilegales en las que se produce café, a pesar de estar categorizadas como bosques nublados mediante decreto de ley desde el año 1987. Diferentes estudios señalan que las zonas más bajas serán más cálidas y secas con el cambio climático, lo cual provocará que la producción de café en estas áreas sea menos viable que en la actualidad.

6.5.2.3 El impacto antrópico: sistema agroecológico: Productiva: la afectación por mano del hombre ha conllevado y continua provocando afectaciones a través del tiempo, entre ellas: degradación de los suelos, Incremento de residenciales y urbanizaciones, aumento de frontera agrícola, pérdida de fertilidad de suelos, erosión, sedimentación de fuentes de agua, contaminación por uso de agroquímicos, contaminación por aguas mieles, afectaciones de regulación climática, cambio de uso del suelo, disminución de zonas de recarga para recurso hídrico, afectación a la polinización, afectación a la vida silvestre.

6.5.2.4 Impacto en subsistemas sociales producto de afectaciones en los Servicios ecosistémicos: afectación en ingresos económicos, incremento en valores de insumos de producción, migración, desempleo, aumento de delincuencia, aumento de actividad de tala ilegal de bosques, venta ilegal de vida silvestre, etc.

6.6 Escenarios climáticos futuros

El V reporte de evaluación (IPCC, 2014), considera cuatro escenarios o trayectorias de concentración representativas elaboradas a partir de modelos de evaluación integrados como base para las predicciones climáticas, así como sus respectivas proyecciones.

Las trayectorias de Concentración Representativa (RCP) que considera son:

RCP2.6: trayectoria de exposición a la radiación baja, cuyo máximo es de aproximadamente 3 W/m^2 antes de 2100 y disminuyendo posteriormente (suponiendo que la ruta de concentración se amplíe en consecuencia para las emisiones permanentes después del año 2100)

RCP4.5 y RCP6.0: trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza a aproximadamente $4,5 \text{ W/m}^2$ y $6,0 \text{ W/m}^2$ después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que las concentraciones sean constantes después del año 2150).

RCP8.5: Vía o trayectoria de forzamiento radiativo alto para alcanzar valores $> 8,5 \text{ W/m}^2$ en 2100 y seguir aumentando con el tiempo (vías de concentración extendidas similares suponen emisiones constantes después de 2100 y concentraciones constantes después del año 2250).

La sensibilidad climática en equilibrio:

Según el V reporte del IPCC, que basa sus análisis en modelos de circulación global (MCGs)¹. Estos modelos permiten construir rutas o escenarios futuros que de acuerdo con los datos disponibles el V reporte los denomina RCPs (Rutas de Concentración Representativa), las cuales utilizan al forzamiento radiativo como una de las variables para determinarlas².

Los escenarios climáticos futuros en el marco del V reporte se han proyectado para los periodos 2030, 2050, 2070 y 2100.

¹ Un MCG es un modelo de circulación global utilizado para predicciones de tiempo futuro

² El forzamiento radiativo se refiere a medida utilizada para cuantificar (W/m^2) las emisiones en determinado tiempo. Para el V reporte se consideran los RCP 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5

6.6.1 Modelos Climáticos (GCMs y ESM):

Según el V reporte del IPCC, son la representación numérica del sistema climático de nuestro planeta basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones que pueden ser representadas mediante modelos de diverso grado de complejidad. Se utilizan para determinar cómo cambiarán las condiciones medias y extremas de las variables climáticas y NO deben usarse para predecir lo que va a suceder, sino para realizar proyecciones futuras. Los modelos climáticos pueden ser categorizados en tres tipos: i) Modelos climáticos globales: modelos globales del clima/circulación (GCM) y modelos del sistema terrestre (ESM); ii) Modelos climáticos regionales (RCM) que se derivan de los modelos climáticos globales; y iii) Modelos de acuerdo con su complejidad: Modelo no acoplado (como los modelos atmosféricos) y modelos acoplados (como los modelos océano atmosféricos). Actualmente se usan modelos climáticos acoplados para proyectar el clima futuro (CMIP5 y CMIP6, este último para el caso del VI reporte del IPCC). Una proyección climática considera escenarios de emisiones o concentraciones y forzamientos radiativos basados en suposiciones relativas como son futuros posibles de desarrollo socioeconómico, tecnológico o de la implementación de políticas de enfocadas en procesos de adaptación o mitigación, conocidas en nuestro caso de estudio basado en el quinto reporte del IPCC como Trayectorias de concentración representativas (RCP por sus siglas en inglés/representative Concentration pathways) o comúnmente conocidas como escenarios climáticos.

6.8 Soluciones basadas en la naturaleza (SbN):

Son las acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados, para abordar los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad (UICN, 2020).

Es el conjunto de acciones o políticas que aprovechan el poder de la naturaleza para abordar algunos de nuestros desafíos sociales más urgentes, como la amenaza de la disponibilidad del agua, el creciente riesgo de desastres naturales o el cambio climático. De igual manera describe que estas soluciones implican proteger, restaurar y gestionar de manera sostenible los ecosistemas, de manera que aumenten su resiliencia y capacidad para abordar esos desafíos sociales y al mismo tiempo que salvaguarden la biodiversidad y mejoren el bienestar humano (UICN & WWF, 2022).

6.9 Adaptación:

Según GIZ, EURAC, & ONU-EHS (2018) citado por Rios (2022), es el proceso derivado del cambio climático el cual puede considerarse de forma real o proyectada, tomando en cuenta sus respectivos impactos. En los sistemas humanos, la adaptación intenta mitigar o evitar el daño y/o aprovechar las oportunidades que son de beneficio.

6.10 Adaptación basada en Ecosistemas (AbE)³

Es un enfoque dirigido a proteger a las personas y sus medios de vida de los efectos de los fenómenos climáticos, utilizando bienes y servicios de los ecosistemas naturales y productivos. De acuerdo con el Convenio sobre la Diversidad Biológica, la adaptación basada en los ecosistemas es el uso de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas como parte de una estrategia general de adaptación para ayudar a las personas a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático (UICN, 2019).

7. METODOLOGÍA

7.1 Ubicación de área de estudio

La microcuenca río Aruco está ubicada en el occidente de Honduras (14° 33' 29.9" N, 88° 48' 55.7" O) pertenece a la subcuenca río Higuito que es un afluente principal de la cuenca del río Ulúa que es una de las más extensas y caudalosas del país que forma parte de la vertiente del atlántico. Su extensión territorial es de 212 km² y comparte territorio con 5 municipios de 3 departamentos del país (Figura 7). Los rangos de altitud van desde los 777 m.s.n.m hasta los 2830 m.s.n.m (figura 9).

La microcuenca es parte del área protegida Parque Nacional Montaña de Celaque (PNMC) declarado en el año 1987, además es parte de la reserva de hombre y biosfera cacique lempira-señor de las montañas (RHBCLSM), declarada desde el año 2010 (ICF, 2012).

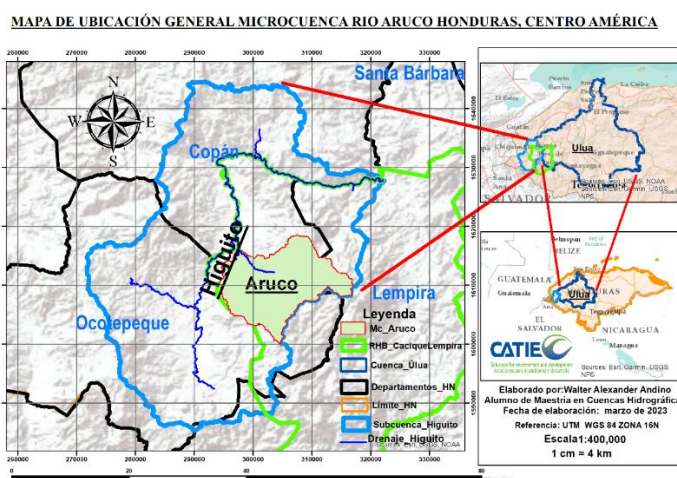


Figura 7. Ubicación General de microcuenca río aruco en relación con cuenca Ulúa, Reserva de Biosfera cacique Lempira y Honduras, Centroamérica

7.2 Cobertura en Microcuenca río Aruco

Según datos del mapa de uso y cobertura del ICF (2018), dentro de la microcuenca río Aruco existen 11 clasificaciones de uso y cobertura donde al agruparla podemos decir que: posee una combinación boscosa del 38.2 % entre bosque latifoliado, bosque mixto y bosque de coníferas y un 61.8 % corresponde a otros usos (cuadro 3 y figura 8).

³ UICN 2019, Disponible en: <https://solucionesabe.org/conceptos-basicos/>

Cuadro 3. Cobertura en Microcuenca río Aruco según mapa forestal de Honduras 2018

Cobertura en Microcuenca río Aruco	Área Ha	Porcentaje
Bosque Latifoliado Húmedo	2239.2	10.5
Bosque Latifoliado Deciduo	12.2	0.1
Bosque Mixto	2789.7	13.1
Bosque de Conífera Denso	2230.6	10.5
Bosque de Conífera Ralo	842.1	4.0
Arboles Dispersos	143.4	0.7
Cafetales	8745.6	41.1
Vegetación Secundaria Húmeda	596.8	2.8
Vegetación Secundaria Decidua	37.7	0.2
Pastos/Cultivos	3473.2	16.3
Zona Urbana Continua	167.8	0.8
Total	21,278	100

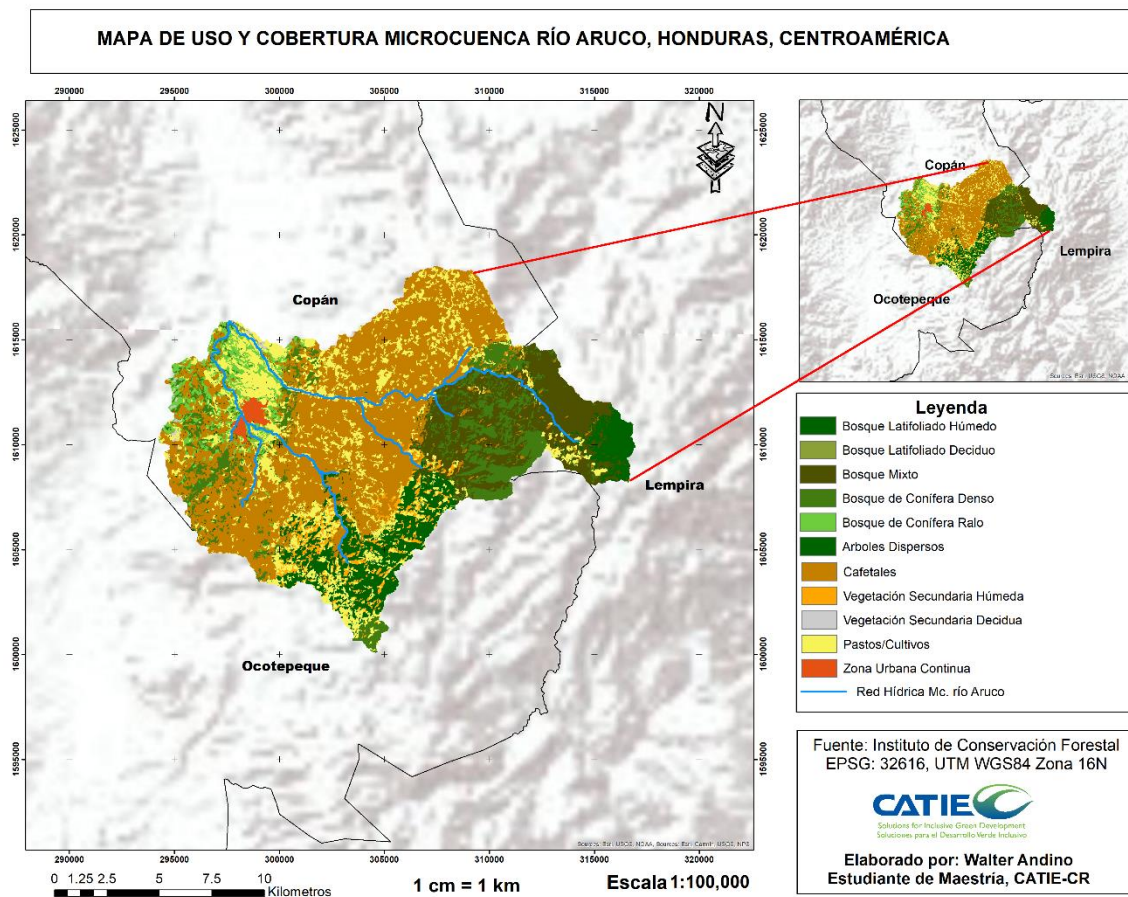


Figura 8. Mapa de uso y cobertura Microcuenca río Aruco según mapa forestal de Honduras, 2018.

7.3 Datos de Población

De acuerdo con los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2016), dentro del territorio de la microcuenca se encuentran 133 asentamientos distribuidos a lo largo de 5 municipios de los cuales un 79% se dedican a actividades de producción agrícola (Cuadro 4).

Cuadro 4. Población dentro de la Microcuenca río Aruco

Departamento	Municipio	N° Asentamientos	población Aruco 2023	Productores
Ocotepeque	Belen Gualcho	17	3867	812
Copán	Corquin	81	20407	20407
Lempira	Gracias	8	879	9
Copán	San Pedro	24	3361	1412
Ocotepeque	Sensenti	3	63	1
	Total	133	28,577	22,640

7.4 Suelos dentro de la Microcuenca río Aruco

De acuerdo con la clasificación de suelos de Simmons (1969), los predominantes en la microcuenca son suelos Milile (32%) y suelo de los valles (68%)

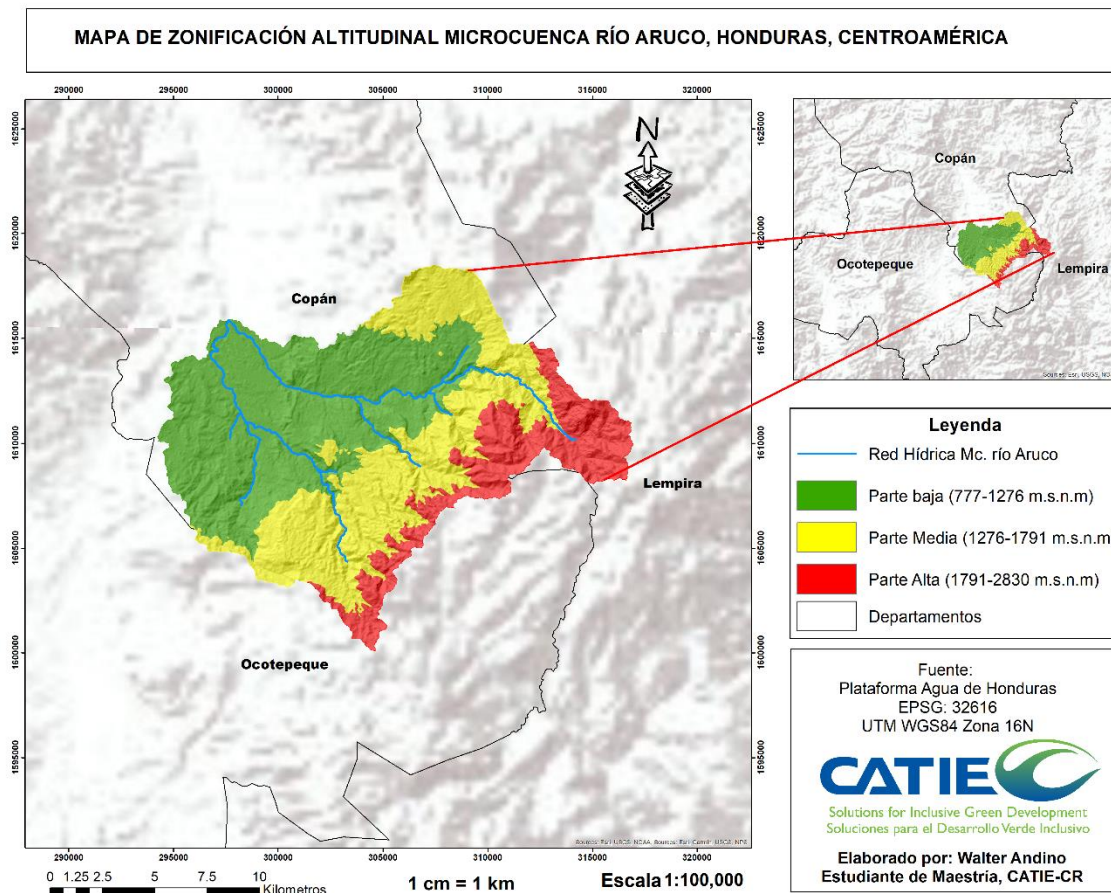


Figura 9. Mapa de Zonificación altitudinal Mc. río Aruco

7.5 Evaluación de riesgo climático en Café

7.5.1 Anomalías climáticas: bajo los RCP 4.5 y RCP 8.5 para microcuenca río aruco

Para esto trabajamos con información registrada y disponible basada en registros conforme al V reporte del IPCC para nuestro país.

7.5.1.1 Anomalías climáticas

La anomalía climática se determina al comparar el comportamiento climático futuro respecto a una condición climática histórica o de referencia. Fue necesario definir un escenario climático y su horizonte temporal. Los resultados están basados en % para expresar el cambio en la precipitación y °C para el cambio en la temperatura. La línea base que se consideró fue la correspondiente a información de una unidad climática (30 años) de las variables mencionadas anteriormente.

Para el presente estudio se consideraron los registros de la plataforma Agua de Honduras⁴, la cual está basada en el marco de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático en Honduras. En el mismo se generaron normales climatológicas del periodo 1981-2010 en base a información de estaciones meteorológicas de diversas fuentes nacionales; se interpolaron los promedios mensuales multianuales a alta resolución (~1 Km²), para las variables de precipitación, temperatura máxima y mínima, esto para cuatro Trayectorias de concentración representativas (RCP): 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5 proyectadas al año 2030, 2050, 2080. En nuestro caso utilizamos la información ⁵ para el año 2050, con el fin de saber y dar a conocer cómo serán los resultados a mediano plazo para nuestra área de estudio en particular.

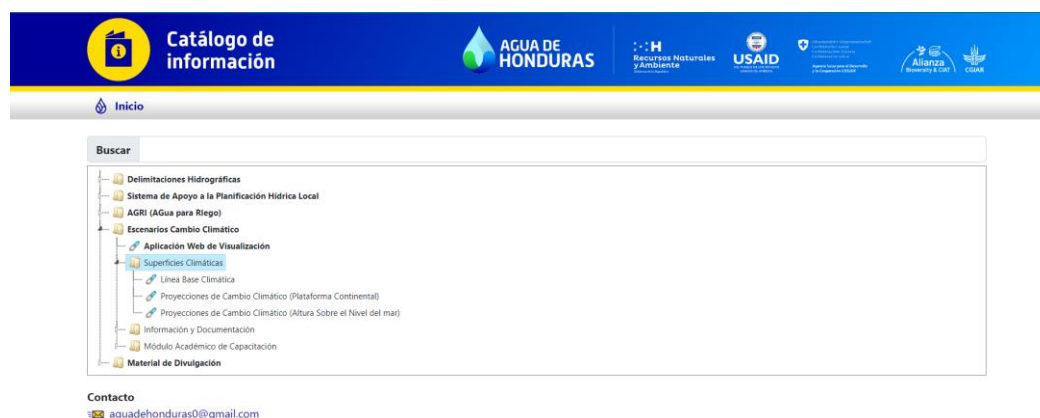


Figura 10. Plataforma de obtención de registros de anomalías climáticas futuras mensuales para la microcuenca río aruco, Honduras, Centro América.

⁴ Agua de Honduras: <https://aguadehonduras.gob.hn/wpshonduras/escenarioscambioclimatico>

⁵ Descarga de datos: <https://aguadehonduras.gob.hn/descargas.php>

7.5.2 Cálculo de anomalías climáticas

Para el cálculo de anomalías se utilizó la información disponible de la plataforma Agua de Honduras⁶. La información referente a clima futuro mensual se adquirió del catálogo de información en el ítem de escenarios de cambio climático de dicha plataforma; específicamente para Honduras, los escenarios de cambio climático contienen información de 18 modelos de circulación general (GCM) para cuatro rutas de concentración representativas (RCP; RCP ~2.6, 4.5, 6.0 y 8.5; IPCC, 2013) y tres períodos futuros denominados al año 2050, 2070 y 2100. Esto de acorde al V informe del IPCC. En nuestro caso utilizamos los datos referentes al año 2050 para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 ya que necesitamos saber cómo podría ser el comportamiento de las anomalías climáticas a mediano plazo y partir de ello tomar las mejores decisiones.

Los registros obtenidos contienen superficies a 30 segundos (~1 Km²) de resolución espacial. De todas las variables solo empleamos las de precipitación mensual (prec), y lo concerniente a temperatura mínima mensual (tmin), temperatura máxima (tmax), temperatura media (tmean), esto tanto a nivel de base como de proyección futura.

Adicional a lo anterior, se tuvo que acondicionar el corte de los ráster mensuales para las variables de precipitación y temperatura (máxima, mínima) a nivel histórico (base) como a futuro para el área de estudio; de igual manera se realizó el mismo procedimiento para cálculo de la estadística zonal. Al tener todas las estadísticas se tabularon las mismas en hojas de excel y se obtuvo el dato de referencia histórica y las anomalías mensuales para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 al año 2050 (Ver figura 11).

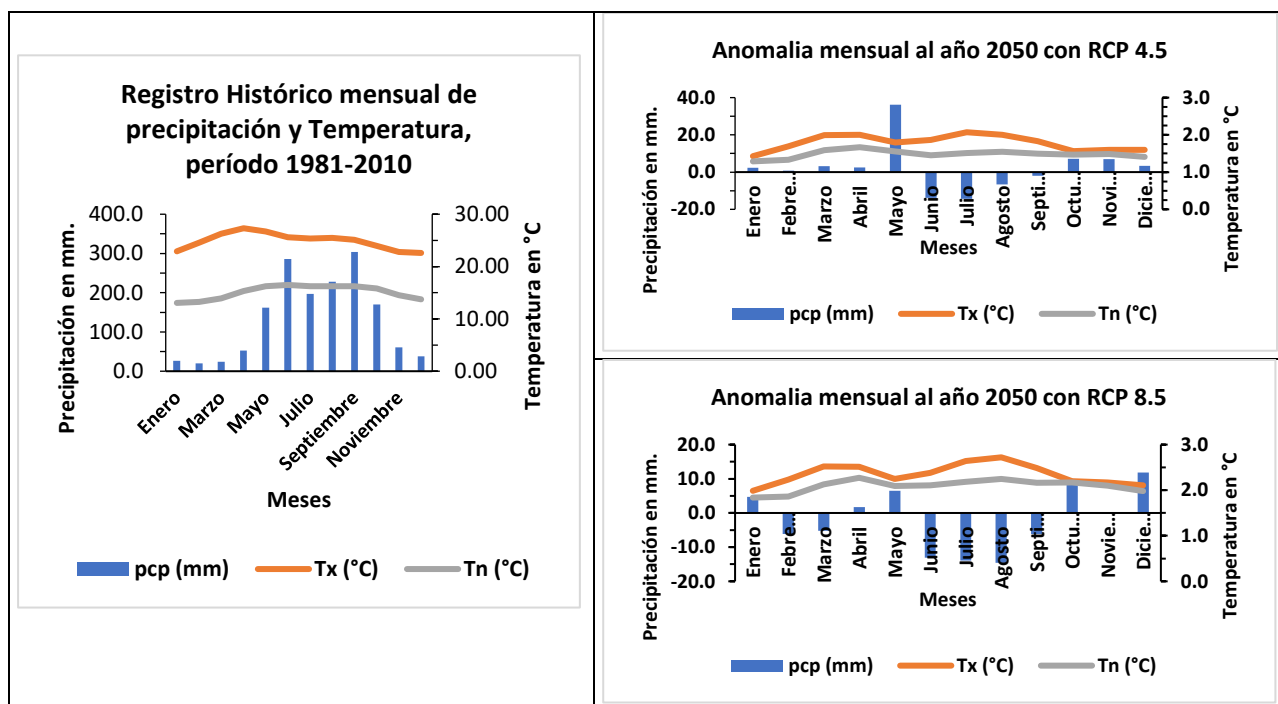


Figura 11. Registro histórico y anomalía mensual futura (al año 2050) en precipitación y temperatura RCP 4.5 Y 8.5

⁶ Plataforma Agua de Honduras:

<https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/QET5UQ>

<https://dataverse.harvard.edu/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.7910/DVN/E3C1KB>

7.5.3 Determinación del impacto de las anomalías climáticas sobre la producción agropecuaria de café

Para este proceso utilizamos software de modelación Swat y registros de información climática de la plataforma W3S-Agua ⁷ ya que, contiene la información diaria (desde el 01 de enero del año 2001 hasta el 31 de diciembre del 2019), necesaria para cumplir con los requerimientos del programa de modelación.

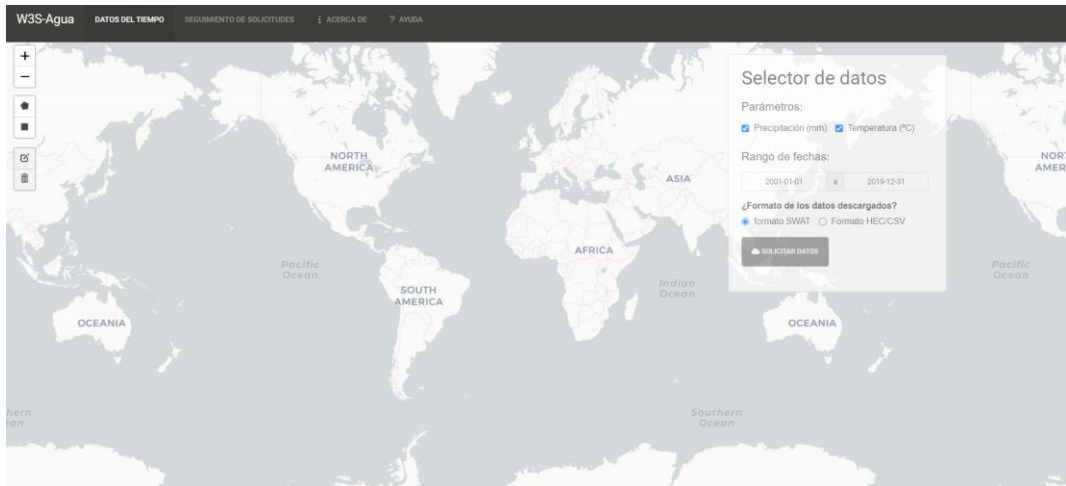


Figura 12. Visualización de Interfase/Data de plataforma W3S

7.6 Modelación hidrológica

De acuerdo con Ríos (2021), para realizar una modelación hidrológica con SWAT hay información que es indispensable para llevar a cabo este proceso (figura 6).

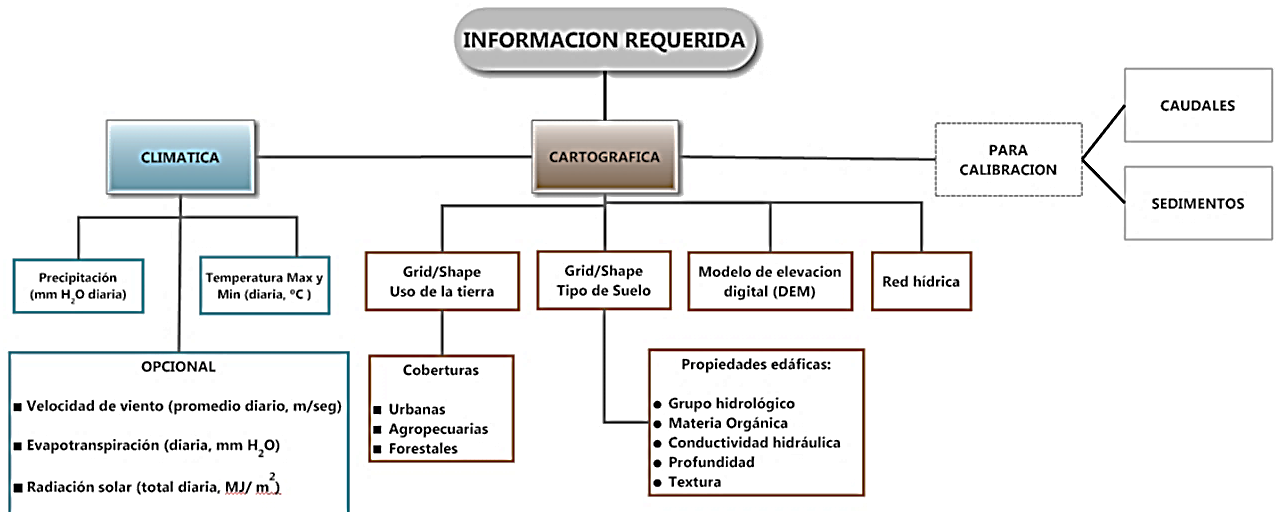


Figura 13. Esquema de información requerida para modelación en SWAT

Fuente: tomado de Ríos (2021)

⁷ World Weather for Water Data Service (W3S), disponible en: <https://www.uoguelph.ca/watershed/w3s/>

7.6.1 Datos para el modelo SWAT

Los datos de ingreso para el modelo de SWAT se obtuvieron mediante apoyo y empleo de sistemas de información geográfica (Arc Gis 10.5 y Qgis 3.16 Hannover).

Para este estudio se desarrolló un proceso de búsqueda, clasificación y adecuación para cada insumo requerido, el mismo se describe a continuación:

7.6.2 Modelo de Elevación Digital (DEM):

Se trabajó con un ráster con resolución espacial de 12.5 metros, el cual fue facilitado por el Centro de Información y Patrimonio Forestal (CIPF) del Instituto de Conservación Forestal del (ICF).

7.6.3 Cobertura y Uso del Suelo (CUS)

Datos de uso y cobertura se obtuvieron del mapa de uso y cobertura (2018) del Instituto de Conservación Forestal (ICF) de Honduras. Seguidamente se realizó el corte de coberturas a nuestra área de interés (microcuenca río aruco). Posteriormente en Excel se hizo revisión y adecuación de los códigos de la base de datos de Swat con las coberturas obtenidas, para al final generar un ráster con las clases consolidadas de uso y cobertura para ser utilizadas en el modelo SWAT.

7.6.4 Suelos

La información de suelos se obtuvo del informe de suelos elaborado por Simmons (1969); seguidamente con las descripciones de textura y materia orgánica por cada tipo de suelo, nos apoyamos del programa SPAW donde, se determinaron las características de condición de saturación hidráulica, agua disponible y densidad. Complementariamente se realizó el cálculo de albedo del suelo. Los datos fueron obtenidos, fueron trabajados y/o agregados en una matriz de llenado coherente con la descripción y características de la base de datos de suelos de SWAT, la cual al estar completa la agregamos a la base a emplear en la modelación.

7.6.5 Clima

Lo referente a datos de clima (precipitación, temperaturas máxima y mínima), utilizamos los proporcionados por la plataforma World Weather for Water Data Service (W3S)⁸ ya que, contiene la información diaria (desde el 01 de enero del año 2001 hasta el 31 de diciembre del 2019), necesaria para cumplir con los requerimientos del programa de modelación. Luego de la descarga se realizó el proceso de ordenado y depuración de datos identificando y adecuando los datos para nuestra área de interés; se utilizó la macro WGN-Excel (sugerida por la plataforma web SWAT) para cálculos de los estadísticos requeridos para la modelación. Al tener estos estadísticos por estación, se agregan a la base general de datos de SWAT.

⁸ World Weather for Water Data Service (W3S), disponible en: <https://www.uoguelph.ca/watershed/w3s/>

A las categorías de uso y cobertura de la tierra se les aplicó una reclasificación de acuerdo con las categorías por defecto que contiene la base de datos de SWAT. Para lo concerniente a suelos se utilizó la información de Simmons (1969) por ser la más completa que se tiene en el país y sirvió como insumo para elaborar la base de datos de suelos de la microcuenca del presente estudio. Partiendo de las texturas de suelos de Simmons, utilizamos el programa SPAW para determinar las demás características del suelo que requiere SWAT.

La información topográfica, uso y cobertura y de suelos, fue analizada y adecuada en software Gis Arc Map 10.5 (figura 14, 15 y 16).

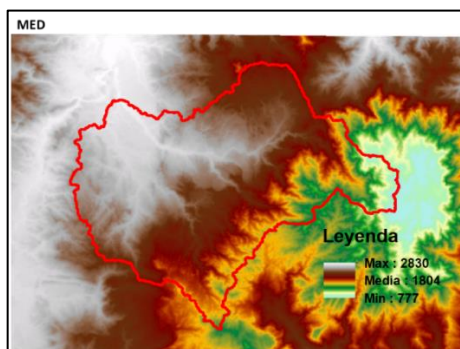


Figura 14. Modelo digital de elevación para la microcuenca río aruco, Honduras.

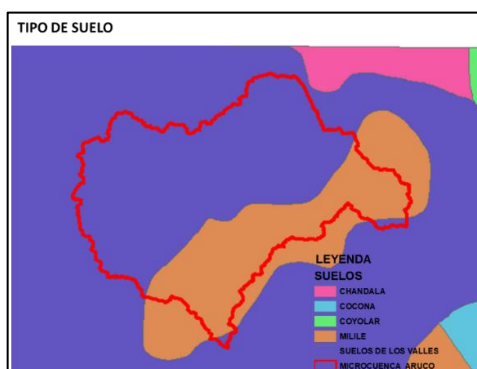


Figura 15. Información de tipos de Suelos según clasificación de Simmons para Honduras.

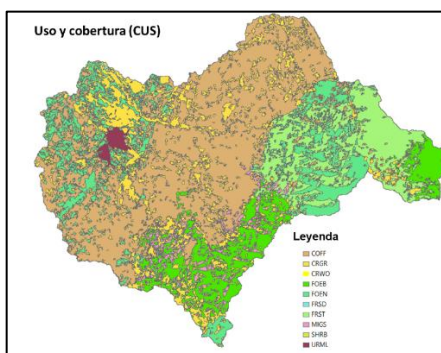


Figura 16. Información de Uso y cobertura del suelo para la microcuenca río aruco según mapa de cobertura de Honduras.

7.6.6 Configuración inicial y simulación con modelo SWAT

Para el presente estudio se consideró 1 microcuenca (río Aruco). Se realizó traslape de tipo de suelos, uso y cobertura de la tierra y las pendientes, estas últimas fueron categorizadas de acuerdo con los rangos manejados en el país. Las HRU's resultantes no contienen ninguna exclusión ni fraccionamiento de uso y cobertura (figura 17).

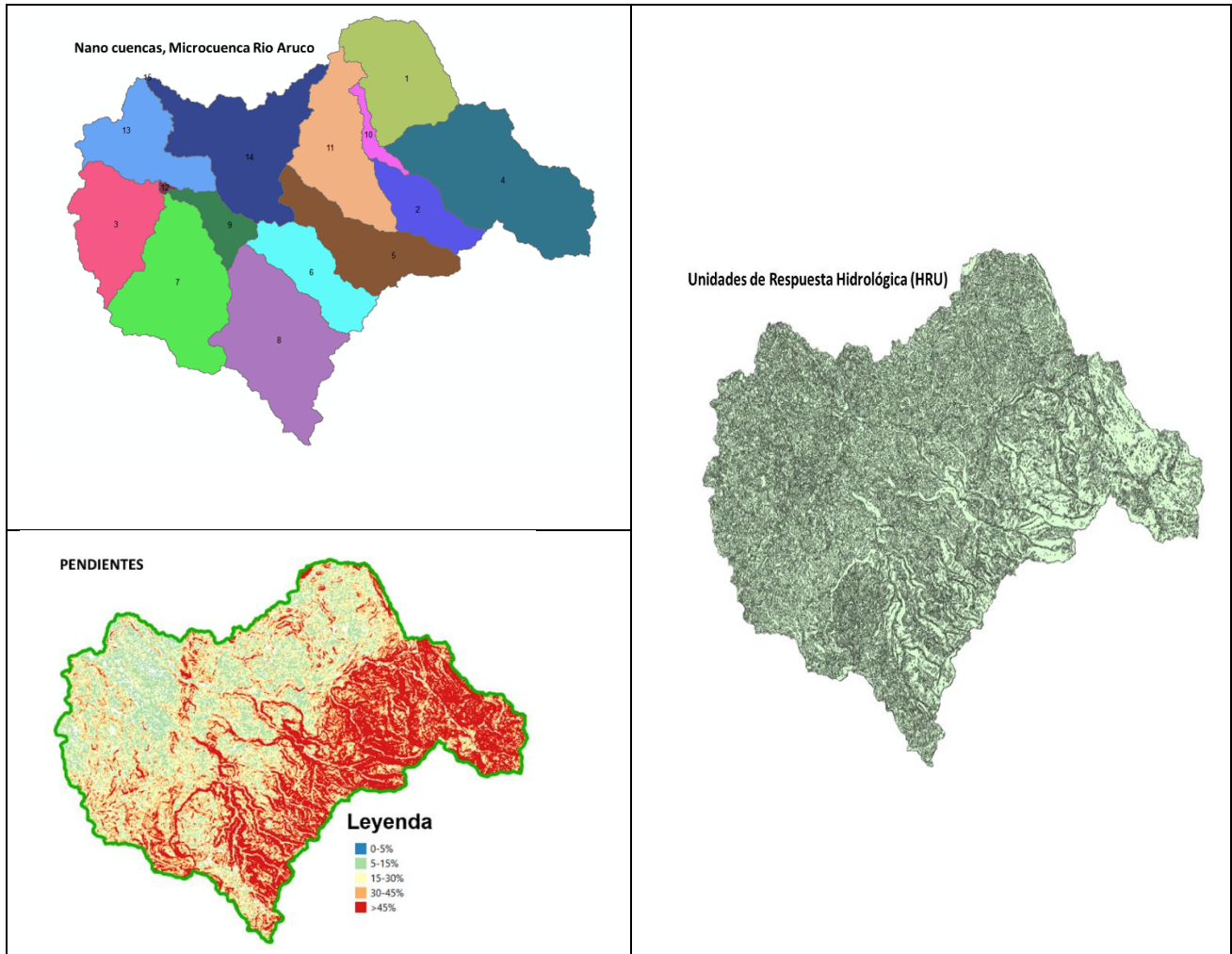


Figura 17. Clasificación espacial de nano cuencas, Unidades de Respuesta Hidrológica y rangos de pendientes para la Microcuenca río Aruco

7.6.7 Configuración Inicial

Lo primero que se realizó fue la compilación y ordenado de los datos en 2 carpetas; 1 de **insumos** (información de apoyo) y otra de **datos** clasificados para modelación (modelo digital de elevación, información de suelos, cobertura y clima).

Una vez listos los datos de entrada para el modelo, utilizamos el software Qgis 3.16 Hannover y dentro del mismo usamos el complemento de QSWAT. Al abrir la ventana de dialogo nos encontramos con 4 pasos que considera el proceso en SWAT; 1-Delimitación, 2-Creación de HRU's, 3- Edición de datos de entrada y corrida SWAT, 4-Visualización (figura 18).

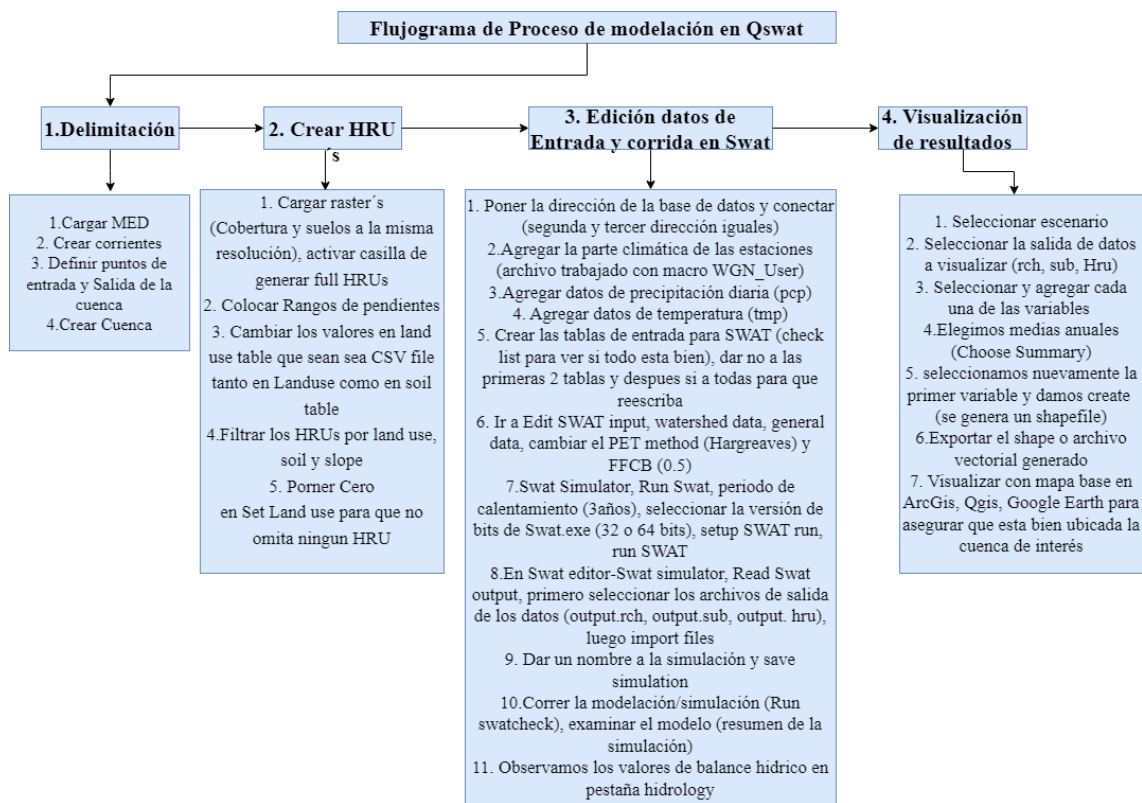


Figura 18. Flujograma de proceso de modelación en SWAT

Una vez abierta la ventana de entorno QSWAT realizamos las configuraciones de carga de datos para cada paso, los cuales se describen a continuación:

Paso 1. Delimitación

Este proceso se realizó con apoyo de sistemas de información geográfica (Qgis), la utilización del complemento Qswat), un archivo ráster y un punto de salida. Se definió que la zona a trabajar para el presente estudio seria la microcuenca río aruco, Honduras, Centroamérica.

Paso 2. Crear Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU's)

Para cumplimiento de este paso utilizamos los archivos de Cobertura, tipo de suelo, clasificados y adecuados a la base de datos de Swat. Se establecieron los rangos de pendiente en 5, 15,30, 45 y >45 %.

Paso 3. Edición de Datos de Entrada y Corrida en SWAT

3.1 Dirección a la base de datos: En este proceso lo primero que hicimos fue direccionar hacia la carpeta donde teníamos los archivos para realizar la modelación. Seguidamente realizamos la carga de datos de clima (estaciones y registros de precipitación y temperatura diaria). Asimismo, se crearon las tablas de entrada para revisar que todo está bien (check list) previo a la modelación.

De igual manera se adecuaron los siguientes parámetros:

3.2 Humedad inicial del suelo (FFCB)

Este parámetro va desde 0 a 1, siendo 0 lo más seco y 1 para suelos anegados; en nuestro caso utilizamos 0.5 por las condiciones del suelo de la microcuenca que no son super secos ni suelos anegados o inundables.

Método de evapotranspiración de referencia (ET)

Se utilizó el método de Hargreaves ya que la simulación está basada con datos de 2 variables principales (precipitación y temperatura).

Período de calentamiento (NYSKIP)

El período de calentamiento definido para la simulación fue de 3 años

Escala Temporal de Salida

La Escala temporal de salida de simulación va con registros desde el 01 de enero del año 2001 hasta el 31 de diciembre del 2019.

Escenarios de Cambio Climático

En lo pertinente a cambio climático se evaluaron los escenarios futuros RCP 4.5 y 8.5 para el año 2050, el primero por ser una trayectoria de estabilización intermedia y el último por ser una vía o trayectoria de forzamiento radiactivo alto, según las proyecciones del V reporte de evaluación del IPCC (2014). En base a lo anterior y la realidad del área, se plantean las medidas de adaptación y mitigación (SbN y AbE).

Escenarios de cambio de Uso y cobertura

Para conocer el comportamiento o dinámica en el uso y cobertura, se desarrollaron dos escenarios hipotéticos, esto con el fin de conocer la respuesta hidrológica de la cuenca a futuro; en ambos escenarios se pretende manifestar que pasaría si se realiza una reducción de un 50% y 100% de bosque. En nuestro caso los escenarios están representados por la dinámica entre bosque y pastos y/o cafetales, en función de la distribución espacial en la microcuenca río aruco.

7.6.8 Simulación con modelo SWAT

Una vez teniendo cargada la información cartográfica y climática (precipitación y temperatura) y habiendo realizado los pasos de configuración descritos anteriormente, procedemos a realizar la corrida de la simulación, teniendo presente que únicamente contamos con datos de las variables de precipitación y temperatura; las otras variables son simuladas.

Al final obtuvimos los valores de los balances hídricos de nuestras simulaciones tomando en cuenta la reducción de bosque a un 50% y un 100%.

7.7 Cadena de Impacto de la producción de café en la Microcuenca río Aruco

Viguera et. al (2017) menciona que la temperatura idónea para el cultivo de café arábica es entre los 18 a 21 °C, precipitaciones de 1200-1800 mm y un rango altitudinal entre los 600 a 2000 metros sobre el nivel del mar. Por tanto, al tener variabilidad climática (anomalías) estas pueden repercutir en grandes afectaciones desde la parte de fisiología (floración, caída de frutos, etc.) hasta perder plantas productoras mediante eventos extremos repentinos o inconstantes de los últimos años.

Cuadro 5. Requerimientos fisiológicos del café arábica

Temperatura ideal	Entre 18-21 °C
Temperatura media tolerada	Hasta 24 °C
Precipitación	1200-1800 mm al año
Rango altitudinal	600-2000 m.s.n.m
Suelos (textura, tipo, MO)	Suelos idealmente oscuros
	Permeabilidad moderada
	Relativamente profundos
	Ligeramente ácidos (pH= 5-5.5)
	Fértiles y con una proporción de materia orgánica en torno al 10%
Actitud frente al cambio climático	Más susceptible que el robusta

Fuente: Adaptado de Viguera et al (2017).

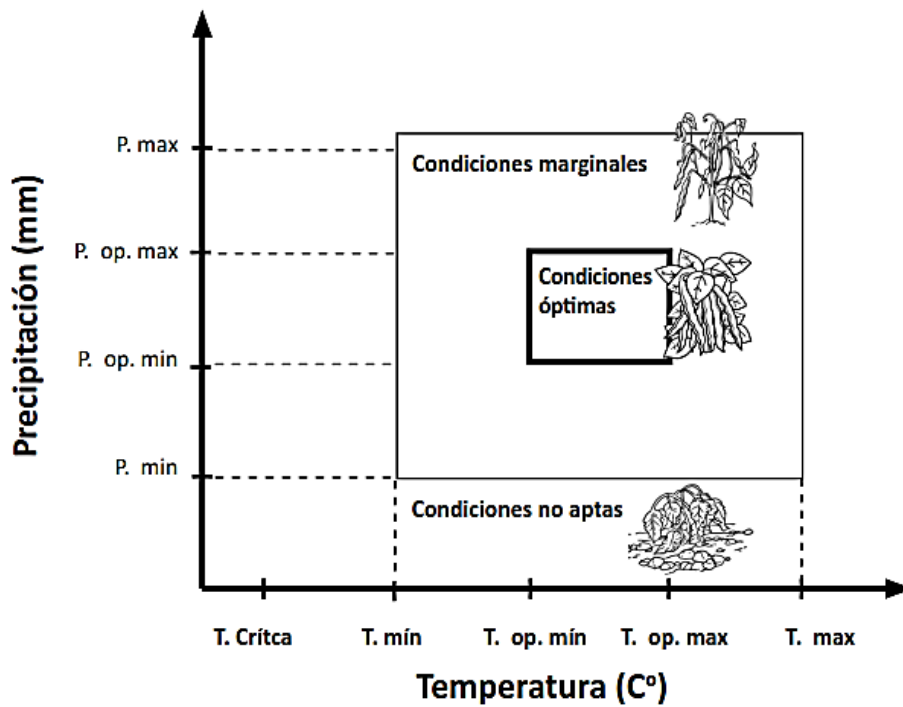


Figura 19. Aptitud de cultivos con cambios en temperatura y precipitación debido al cambio climático

Fuente: Tomado de Viguera (2017)

Para definir la cadena de impacto, nos apoyamos de información disponible, en este caso de los planes de emergencia municipal donde de los mismos se obtuvieron los peligros o impactos, las vulnerabilidades (sensibilidad y capacidad) y las exposiciones ante el riesgo de afectación a cultivos en nuestro caso cultivo de café; también tomamos en cuenta las anomalías (precipitación y temperatura) y los resultados/ estadísticas del análisis de los datos de las variables de modelación (a nivel de subbassins y HRU's) obtenidos (evapotranspiración, agua en el suelo, agua subterránea, escurrimiento superficial y producción de agua de la cuenca).

8. RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos para nuestra cuenca veremos que usando escenarios RCP 4.5 y 8.5 para el año 2050, la temperatura aumenta (1.8 °C y 2.1 °C respectivamente) y las precipitaciones disminuyen principalmente entre los meses de junio a septiembre. Según Viguera (2017), el aumento de temperatura a través del tiempo producirá condiciones marginales y condiciones no aptas para los cultivos debido a que se alterarán las condiciones ideales de producción, debido al cambio climático, ya que, al aumentar las temperaturas, aumentarán las exigencias. Asimismo indica que la variabilidad climática puede provocar impactos significativos en las áreas productoras de café que alcancen a crear dificultades desde la etapa de crecimiento de ramas y formación de hojas nuevas hasta la maduración de los frutos, así también otros efectos asociados como: floraciones erráticas (debido a continuidad de lluvias y cosechas continuas), erosión y degradación de suelos, sedimentación de fuentes superficiales de agua, deslizamientos, derrumbes, incremento en incidencias de plagas y enfermedades de los cultivos (pre y post cosecha), disminución de la polinización (debido a las alteraciones en tiempos de floración y a lluvias repentinas o más frecuentes); lo anterior conllevará a la defoliación y debilitamiento de la planta, alterando en si el la normalidad en el ciclo fenológico-productivo del cultivo de café (figura 20). De igual manera, IHCAFE (2023) menciona que, condiciones no aptas pueden ocasionar serios problemas en las fincas de café ya que se reducirá la productividad y sus rendimientos.

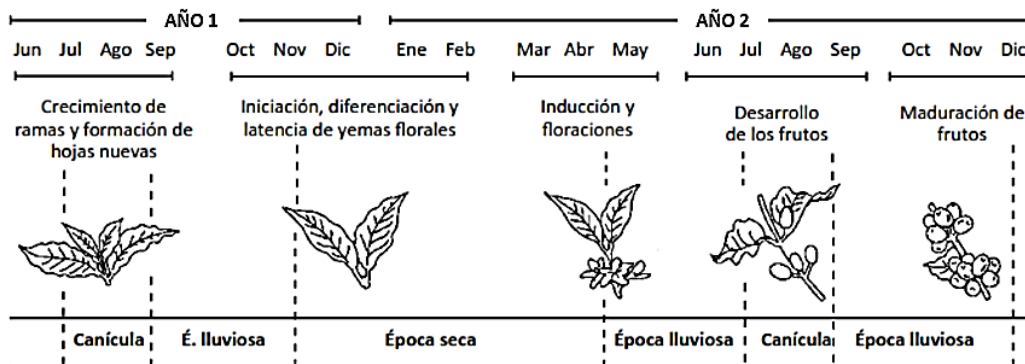


Figura 20. Ciclo Fenológico-Productivo del Café

Fuente: adaptado de Viguera (2017)

A nivel productivo, tomando en cuenta las anomalías obtenidas para nuestra cuenca (para escenario RCP 4.5 y 8.5), el cultivo de café se vería afectado sobre todo en las etapas de crecimiento de ramas y formación de hojas nuevas y en lo que concierne a desarrollo de los frutos ya que habría déficit hídrico en los meses de junio, julio, agosto y septiembre (figura 22 y 23).

8.1 Anomalías climáticas en precipitación y temperatura bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5

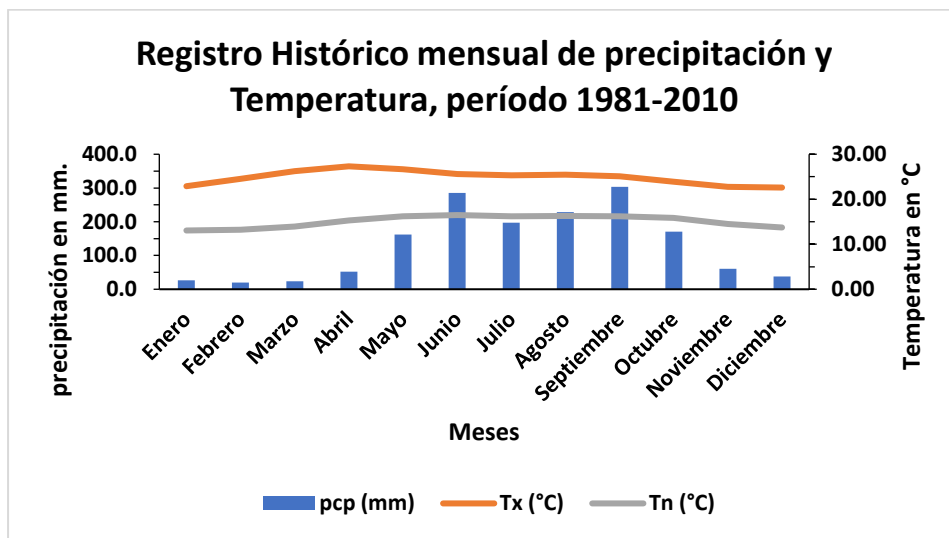


Figura 21. Registro histórico de precipitación y temperatura del período 1981-2010 para la microcuenca río Aruco.

Cuadro 6. Anomalía mensual en precipitación y temperatura para escenario RCP 4.5 al año 2050

N°	Mes	pcp (mm)	Tx (°C)	Tn (°C)
1	Enero	2.4	1.4	1.3
2	Febrero	0.8	1.7	1.3
3	Marzo	3.2	2.0	1.6
4	Abril	2.5	2.0	1.7
5	Mayo	36.1	1.8	1.6
6	Junio	-13.8	1.9	1.5
7	Julio	-14.3	2.1	1.5
8	Agosto	-6.6	2.0	1.5
9	Septiembre	-1.9	1.8	1.5
10	Octubre	7.2	1.6	1.5
11	Noviembre	7.0	1.6	1.5
12	Diciembre	3.4	1.6	1.4

El cuadro anterior muestra las anomalías mensuales para el escenario RCP 4.5 al año 2050 donde podemos apreciar disminución de precipitación en los meses de junio a septiembre (desde 1.9mm. hasta 14.3mm.) y temperaturas máximas desde los 1.4 °C hasta 2.1 °C y temperaturas mínimas desde los 1.3 °C hasta los 1.7 °C.

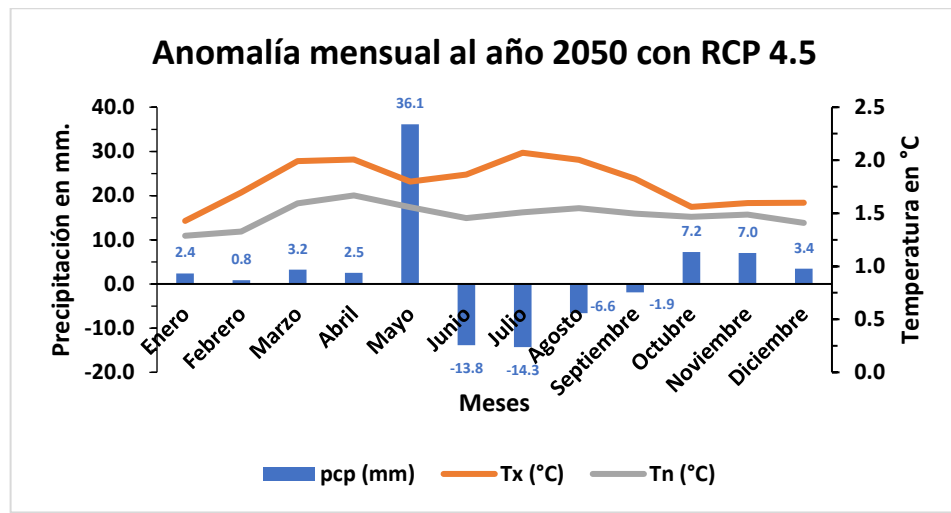


Figura 22. Anomalía mensual al año 2050 escenario RCP 4.5 para la microcuenca río Aruco.

El gráfico anterior nos muestra el comportamiento de la precipitación y temperatura a un escenario RCP 4.5 en relación con el escenario de línea base, obteniendo que se tendrá déficit hídrico para los meses de junio a septiembre y 2.1° C de aumento de la temperatura máxima (Tx °C) y 1.7 °C en temperatura mínima (Tn °C).

Cuadro 7. Anomalía mensual en precipitación y temperatura para escenario RCP 8.5 al año 2050

N°	Mes	pcp (mm)	Tx (°C)	Tn (°C)
1	Enero	4.7	2.0	1.8
2	Febrero	-6.1	2.2	1.9
3	Marzo	-5.2	2.5	2.1
4	Abril	1.7	2.5	2.3
5	Mayo	6.5	2.2	2.1
6	Junio	-13.1	2.4	2.1
7	Julio	-14.0	2.6	2.2
8	Agosto	-14.6	2.7	2.2
9	Septiembre	-6.2	2.5	2.2
10	Octubre	8.9	2.2	2.2
11	Noviembre	-0.3	2.2	2.1
12	Diciembre	11.8	2.1	2.0

El cuadro anterior muestra las anomalías mensuales para el escenario RCP 8.5 al año 2050 donde podemos apreciar disminución de precipitación en los meses de junio a septiembre (desde 6.2mm. hasta 14.6mm.) y temperaturas máximas desde los 2.0 °C hasta 2.7 °C y temperaturas mínimas desde los 1.8 °C hasta los 2.3 °C.

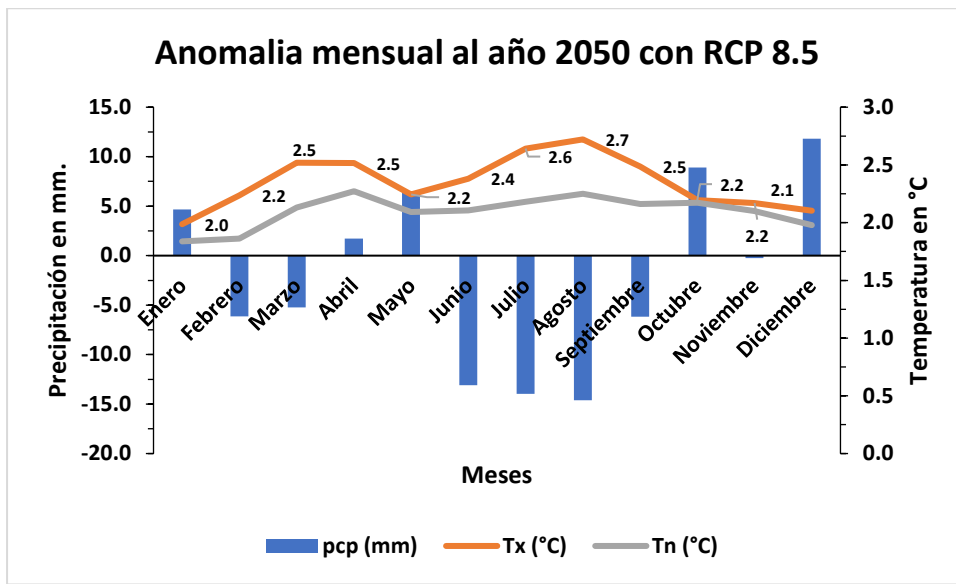


Figura 23. Anomalia mensual al año 2050 escenario RCP 8.5 para la microcuenca río Aruco.

El gráfico anterior nos muestra el comportamiento de la precipitación y temperatura a un escenario RCP 8.5 en relación con el escenario de línea base, obteniendo que se tendrá déficit hídrico para los meses de junio a septiembre y 2.7° C de aumento de la temperatura máxima (Tx °C) y 2.2 °C en temperatura mínima (Tn °C).

8.2 impacto de escenarios de clima futuro y cambios de cobertura sobre el servicio ecosistémico hídrico de la microcuenca río aruco a partir de los escenarios considerados

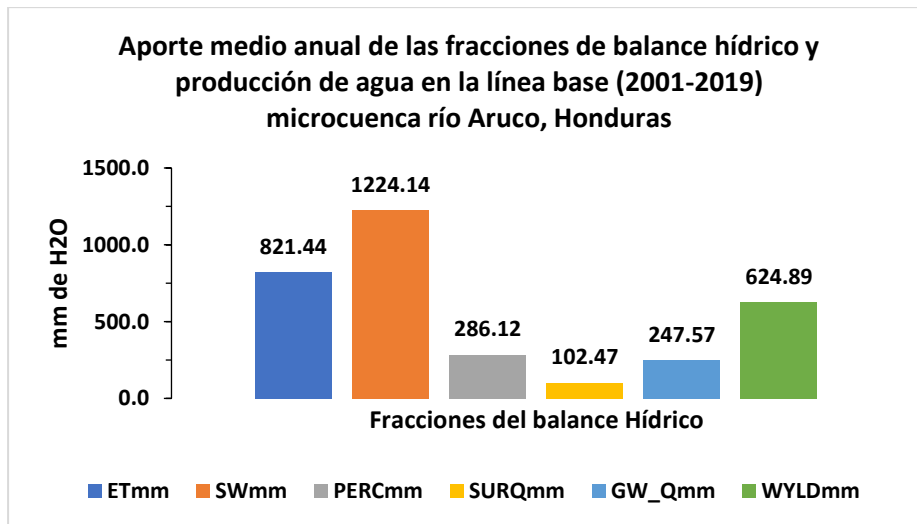


Figura 24. Aporte medio anual de las fracciones de balance hídrico y producción de agua en la línea base (2001-2019) para la microcuenca río Aruco.

8.2.1 Impacto sobre las variables de balance hídrico y producción de agua en simulación a un 50% de cambio de cobertura

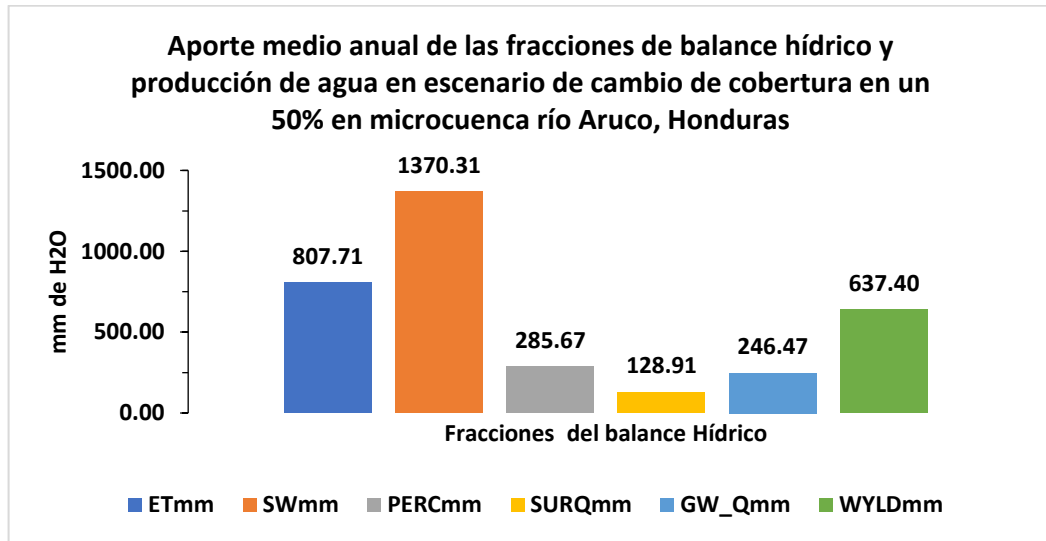


Figura 25. Aporte medio anual de las fracciones de balance hídrico y producción de agua con un 50% de cambio de cobertura para la microcuenca río Aruco.

El gráfico anterior nos da a conocer el impacto que se tiene sobre las variables considerando cambio de cobertura en un 50% en la microcuenca río aruco teniendo como referencia nuestro período de línea base; observamos disminución en la evapotranspiración (ET mm) producto de la disminución de la cobertura, aumento en la cantidad de agua en el suelo (SW mm), disminución de la percolación (PERC mm) por la disminución de raíces por pérdida de cobertura, aumento del escurrimiento superficial (SUR Qmm) por el cambio o pérdida de cobertura, reducción de la cantidad de agua subterránea (GW_Qmm) y aumento en la salida de agua de la microcuenca (WYLD mm).

8.2.2 Impacto sobre las variables de balance hídrico y producción de agua en simulación a un 100% de cambio de cobertura

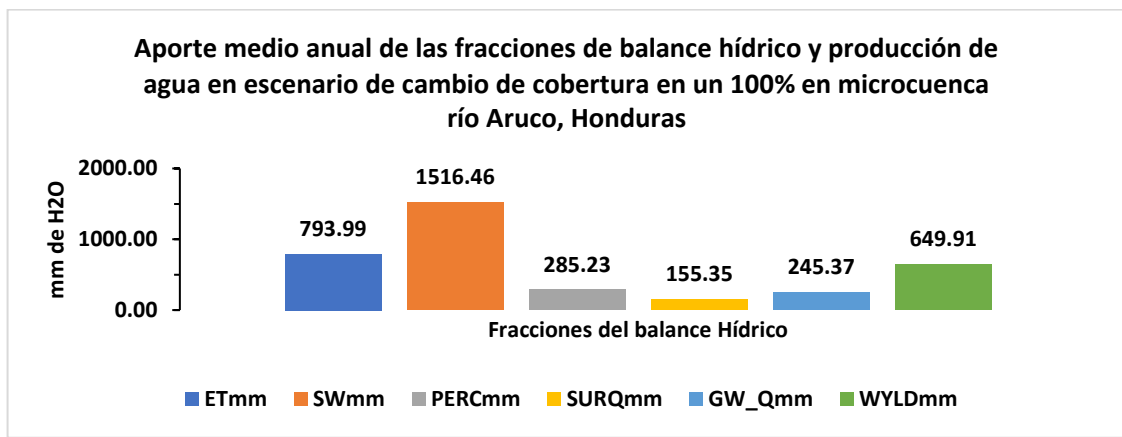


Figura 26. Aporte medio anual de las fracciones de balance hídrico y producción de agua con un 100% de cambio de cobertura para la microcuenca río Aruco.

El gráfico anterior nos da a conocer el impacto que se tiene sobre las variables considerando cambio de cobertura en un 100% en la microcuenca río aruco teniendo como referencia el período de línea base; observando reducciones y aumentos en los valores de las variables, los cuales son: **evapotranspiración (ET mm)**, disminuye debido al cambio de la cobertura, **Cantidad de agua en el suelo (SW mm)** aumenta significativamente, la percolación (PERC mm) no se ve afectada ya que la disminución es leve, **el escurrimiento superficial (SUR Qmm)** aumenta de forma considerable ya que hay cambio o pérdida total de cobertura, La cantidad de **agua subterránea (GW_Qmm)** se reduce y la **salida de agua de la microcuenca (WYLD mm)** aumenta de forma considerable.

8.2.3 Impacto sobre las variables de balance hídrico y producción de agua en 4 escenarios

Cuadro 8. Cambios % en respuesta hidrológica para cuatro escenarios modelados en SWAT para la microcuenca río Aruco

		Cambios % en respuesta hidrológica			
Componente		RCP 4.5	RCP 8.5	CAMBIO 50%	CAMBIO 100%
PRECIP	Precipitación	0	-5	0	0
ET	Evapotranspiración	2	1	-2	-3
SW	Agua en el suelo	-4	-10	12	24
PERC	Percolación	-4	-14	0	0
SURQ	Escurrimiento superficial	-4	-20	26	52
GW_Q	Agua Subterránea	-4	-16	0	-1
WYLD	Producción de agua	-3	-14	2	4

La tabla anterior nos muestra el resultado de los cambios % en la respuesta hidrológica en la modelación para 4 escenarios analizados (2 climáticos con misma cobertura y 2 con cambios de cobertura (al 50% y al 100%) mediante el modelo SWAT. Observando que los escenarios donde se tienen impactos más significativos son el escenario RCP 8.5 y el escenario con cambio de cobertura al 100%.

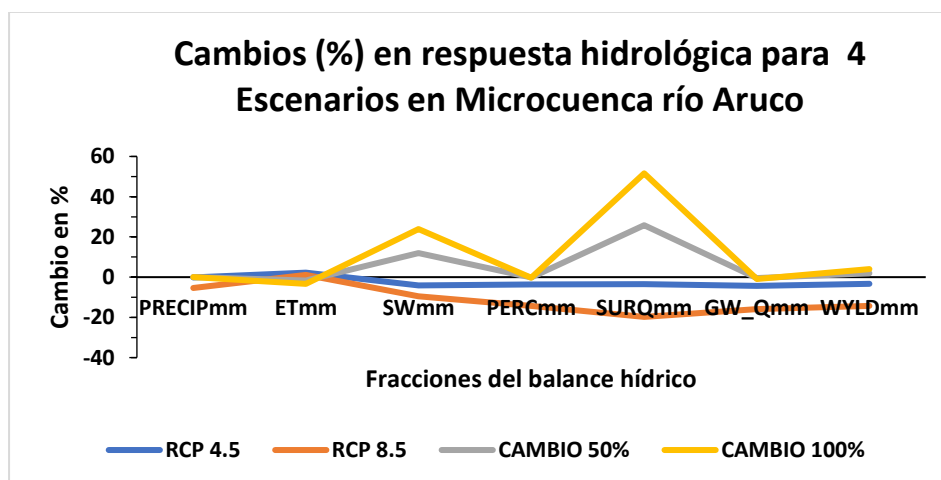


Figura 27. Cambios (%) en respuesta hidrológica para 4 escenarios en microcuenca río Aruco

El gráfico anterior nos resume como es el comportamiento porcentual de las fracciones del balance hídrico de 4 escenarios para la microcuenca río Aruco teniendo como referencia los datos de línea base; observando que los mayores impactos se generan en los escenarios RCP 8.5; en este disminución sobre todo en las variables de cantidad de agua en el suelo (SW), percolación (PERC), escurrimiento superficial (SURQ), agua subterránea (GW_Q) y salida de agua de la microcuenca (WYLD y en el escenario de cambio de cobertura al 100% se produce aumento en las variables sobre todo en las variables de cantidad de agua en el suelo (SW), escurrimiento superficial (SURQ y salida de agua de la microcuenca (WYLD).

8.2.4 Impacto de la erosión considerando los escenarios base, RCP 4.5, RCP 8.5 y un 50% y 100% de cambio de cobertura

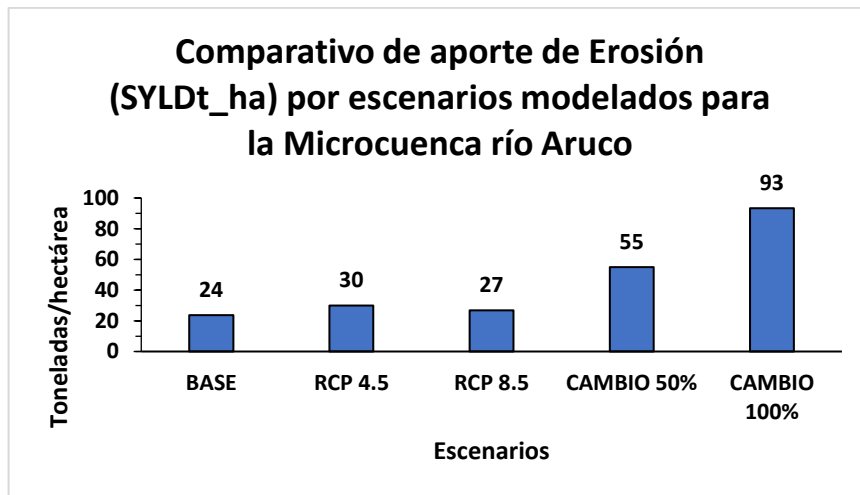


Figura 28. Comparación de erosión (SYLDt_ha) en escenarios; base, RCP 4.5, RCP 8.5 y cambio al 50% y cambio al 100%

El gráfico anterior nos muestra el impacto que se deriva con un RCP 4.5, RCP 8.5 y al tener un cambio de cobertura a un 50% y 100%, obtenido un aumento significativo en erosión a medida se cambia la misma.

8.2.5 Impacto de la erosión considerando 4 escenarios respecto al escenario base; RCP 4.5, RCP 8.5 y cambio de cobertura en un 50% y 100%

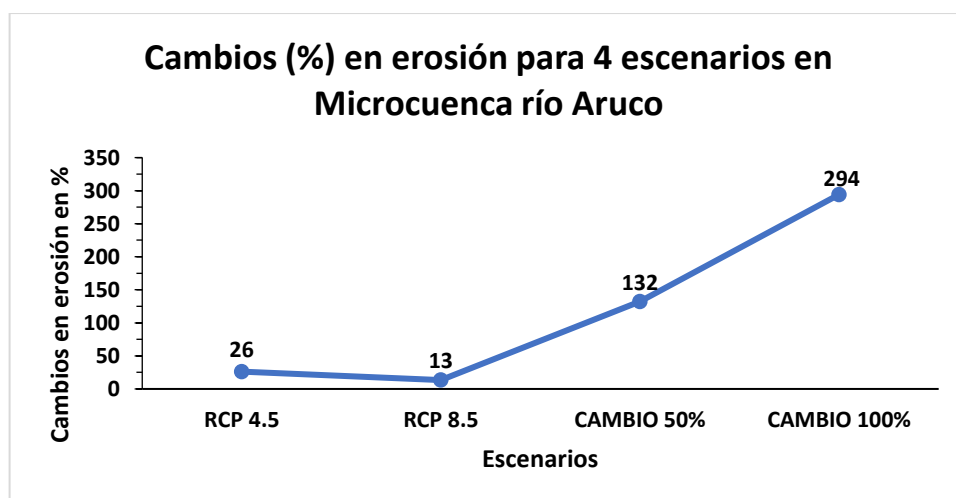


Figura 29. Cambios (%) en erosión para 4 escenarios en Microcuenca río Aruco

El gráfico anterior nos resume como es el comportamiento porcentual de los cambios en erosión de 4 escenarios para la microcuenca río Aruco teniendo como referencia los datos de línea base; observando que el menor impacto se genera en el escenario RCP 8.5 y que dicho impacto aumenta a medida se hace cambio de cobertura.

8.3 Caracterización de la cadena de impacto sobre el sistema agropecuario de café en la microcuenca río aruco a partir de registros existentes

8.3.1 Análisis de vulnerabilidad climática en la producción de café

8.3.1.1 Definición del paisaje

Sin duda hoy en día los efectos del clima sobre el rubro del café son más sentidos. Ante los múltiples efectos los productores se ven forzados a entregar sus cosechas a coyotes ya que la necesidad por tener sustento a sus familias hace que los productores decidan resignarse y no esperar un mejor precio. La Comisión Europea (2022) menciona que uno de los grandes cambios observados es el tiempo de siembra ya que se ha interupción en calendario de cultivo, al punto de que algunos estudios tienden a indicar una desaparición paulatina del café lo que conllevaría a un escalamiento en la cuota altitudinal y provocaría inmensa presión sobre las áreas protegidas (principalmente las de bosques nublados).

La caracterización de la cadena de impacto está basada en el VI reporte del IPCC. El proceso de obtención de información para la **microcuenca río Aruco** se realizó mediante la revisión de las realidades de los municipios (Planes de emergencia) y en complemento los datos generales obtenidos de los escenarios modelados.

8.3.1.2 Información base

Esta considera en base a revisiones de información complementaria (INE, ICF y planes de emergencia municipal).

8.3.1.3 Análisis riesgo

Basado en las anomalías obtenidas de los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 de variables de precipitación y temperatura y dos escenarios de cambio de cobertura

8.3.1.4 Identificación de Impactos

De acuerdo con revisiones de planes de emergencia; los principales fueron: Sequía, cambios de uso y cobertura (tala ilegal), erosión, escorrentía superficial e incendios Forestales

8.3.1.5 Identificación de vulnerabilidad

Esta se considera en 2 categorías; Sensibilidad y Capacidad

8.3.1.5.1 Sensibilidad

Esta se considera en 2 categorías; sensibilidad ecológica y sensibilidad socioeconómica

8.3.1.5.1.1 Sensibilidad Ecológica

- Alteración de ciclos de floración de los cultivos
- Afectación al desarrollo del fruto y calidad del café
- Incremento y propagación de plagas y enfermedades
- Déficit hídrico/ prolongación de temporada seca

8.3.1.5.1.2 Sensibilidad socioeconómica

- Disminución de ingresos familiares

- Disminución de la calidad y rendimiento de cosechas
- Precio elevado de insumos agrícolas
- Bajos precios de compra del café

8.3.1.5.2 Capacidad

Esta se considera en 2 categorías; capacidad de respuesta y capacidad de adaptación

8.3.1.5.2.1 Capacidad de respuesta

- Cosechas de agua
- Obras de conservación de suelos
- Asocio de cultivos para incrementar la resiliencia

8.3.1.5.2.2 Capacidad de Adaptación

- Cercas vivas
- Sistemas agroforestales
- Diversificación de cultivos
- Establecimiento de cortinas rompe viento
- Establecimiento de sistema de monitoreo de plagas y enfermedades
- Sistemas de alerta temprana ante eventos extremo

8.3.1.6 Exposición

Se considera en dos categorías: zonas productoras de café, ecosistemas/servicios ecosistémicos asociados a las áreas productoras de café

8.3.1.6.1 Zonas productoras de café

- Área destinada para producción: estas se ubican sobre todo en la parte media y baja de la microcuenca (figura 29).

8.3.1.6.1.1 Consideración de Zonas cafetaleras según clasificación por Subbassins y HRU's

Tomando en cuenta la clasificación de subbassins (nano cuencas en nuestro caso) y las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) específicas para café, las áreas de prioridad según zonificación altitudinal serian:

- **En la parte media-alta:** la nano cuenca 12 (contiene 10 HRU, 134.96 Ha.)
- **En la parte media:** la nano cuenca 10 (contiene 10 HRU, 591.09 Ha.)
- **En la parte media-baja:** la nano cuenca 15 (contiene 5 HRU, 1261.55 Ha.)
nano cuenca 9 (contiene 10 HRU, 1533.21 Ha.)
nano cuenca 5 (contiene 5 HRU 1253.64 Ha.)
- **En la parte baja:** la nano cuenca 2 (contiene 5 HRU, 1371.43 Ha.)

Al final el resultado clasificado por Subbassins y HRU's en área de café nos da que: las mayores intervenciones son en la parte media hacia la parte media-baja en **6 nano cuencas y 45 HRU's en un total de 6,145.88 hectáreas de café que corresponden al 29% del área de la cuenca y un 46% del total de HRU's.**

8.3.1.6.2 Servicios ecosistémicos prioritarios en producción de café

- Aprovechamiento: recurso hídrico
- Soporte: bosque ya que producen bajo sombra sino pueden estar propensos a sequía y erosión constante

Basado en los resultados de las modelaciones hidrológicas y tomando en cuenta la realidad del área descrita en los planes de emergencia de los municipios de injerencia de la microcuenca río aruco, se seleccionaron las medidas y/o estrategias SbN y AbE que se describen a continuación:

Cuadro 9. Propuestas y estrategias SbN y AbE para la microcuenca río Aruco

N°	Propuesta/Estrategia SbN-AbE	Ubicación en Cuenca (Parte alta, media o baja)	Tiempo de Implementación (Ene-Dic)
1	Establecimiento de Sistemas agroforestales (café con maderables)	Parte media y baja Debido a que son zonas que están los cultivos de café y donde es permitido por las leyes vigentes	Junio-septiembre esto debido a que es la temporada lluviosa y se logran mejores prendimientos
2	Implementación de Café bajo sombra	Parte media y baja para aprovechar a la obtención de ingresos sin afectar el bosque	Junio-septiembre para mejores prendimientos y protección de cultivos
3	Manejo Integral de Plagas	Parte media y baja para una atención y control más rápido	Enero-mayo por ser temporada seca y se facilita el transporte a los sitios
4	Establecer cosechadoras de agua	Parte media y baja para garantizar el riego y cantidad apropiada para cultivos	Junio-diciembre para aprovechar la temporada de invierno
5	Establecimiento de lagunas de Oxidación para aguas mieles	Parte media y baja para evitar contaminación de agua de la microcuenca	Marzo-junio para aprovechar la temporada seca y pueda darse tratamiento aeróbico
6	Restauración/reforestación de suelos degradados	Parte alta, media y baja para ganancia de cobertura y protección del suelo	Junio-septiembre para aprovechar temporada de invierno y lograr mejores prendimientos de las plantaciones
7	Elaboración de Zanjas de infiltración	Parte media y baja para aporte de humedad al suelo	Febrero-mayo temporada seca la construcción y en invierno la utilización
8	Protección y restauración de zonas aledañas de nacimientos de Agua	Parte alta, media y baja para favorecer las zonas de recarga de acuíferos	Enero-diciembre desarrollo de actividades de prevención ante incendios en temporada seca y recuperación de zonas degradadas en temporada de invierno
9	Compensación por Servicios Ecosistémicos	Parte alta, media y baja para desarrollo de acciones en pro de la microcuenca	Enero-diciembre para favorecer o mejorar la calidad y cantidad de agua de la microcuenca
10	Establecimiento de programas de monitoreo ambiental (Agua, Bosque y suelo)	Parte alta, media y baja para manejo de estadísticas y aportes para mejoras en el manejo de los recursos de la microcuenca	Enero-diciembre para generación de datos de variables que permitan hacer análisis para toma de mejores decisiones
11	Establecimiento de muros de Gaviones	Parte baja para minimizar el riesgo por desborde de la microcuenca	Enero-mayo para aprovechar la temporada de verano para el establecimiento y evitar inundaciones en parcelas o áreas de cultivo de la parte baja de la microcuenca

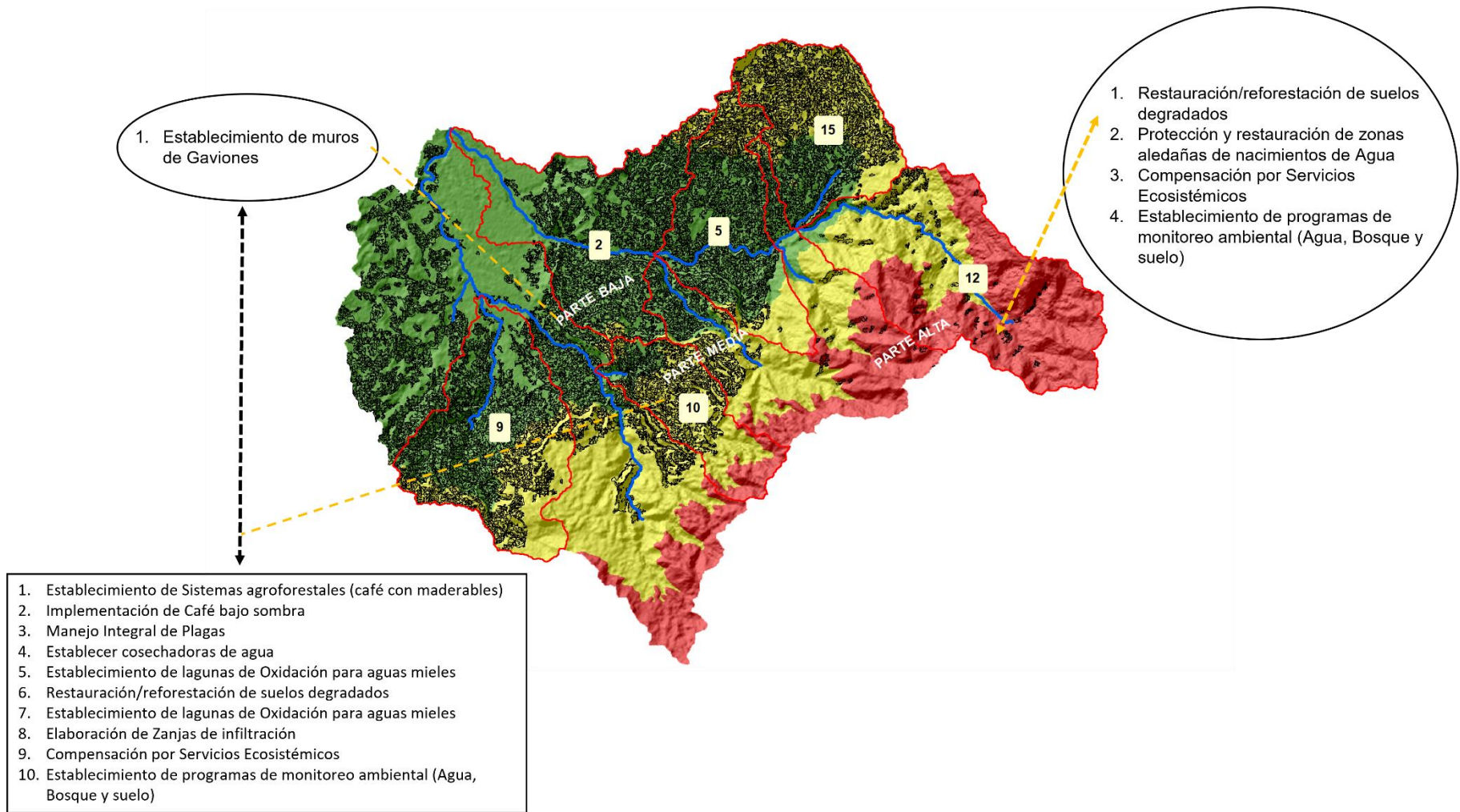


Figura 30. Zonificación altitudinal con propuestas y estrategias SbN y AbE para la microcuenca río Aruco en sitios prioritarios de producción de café

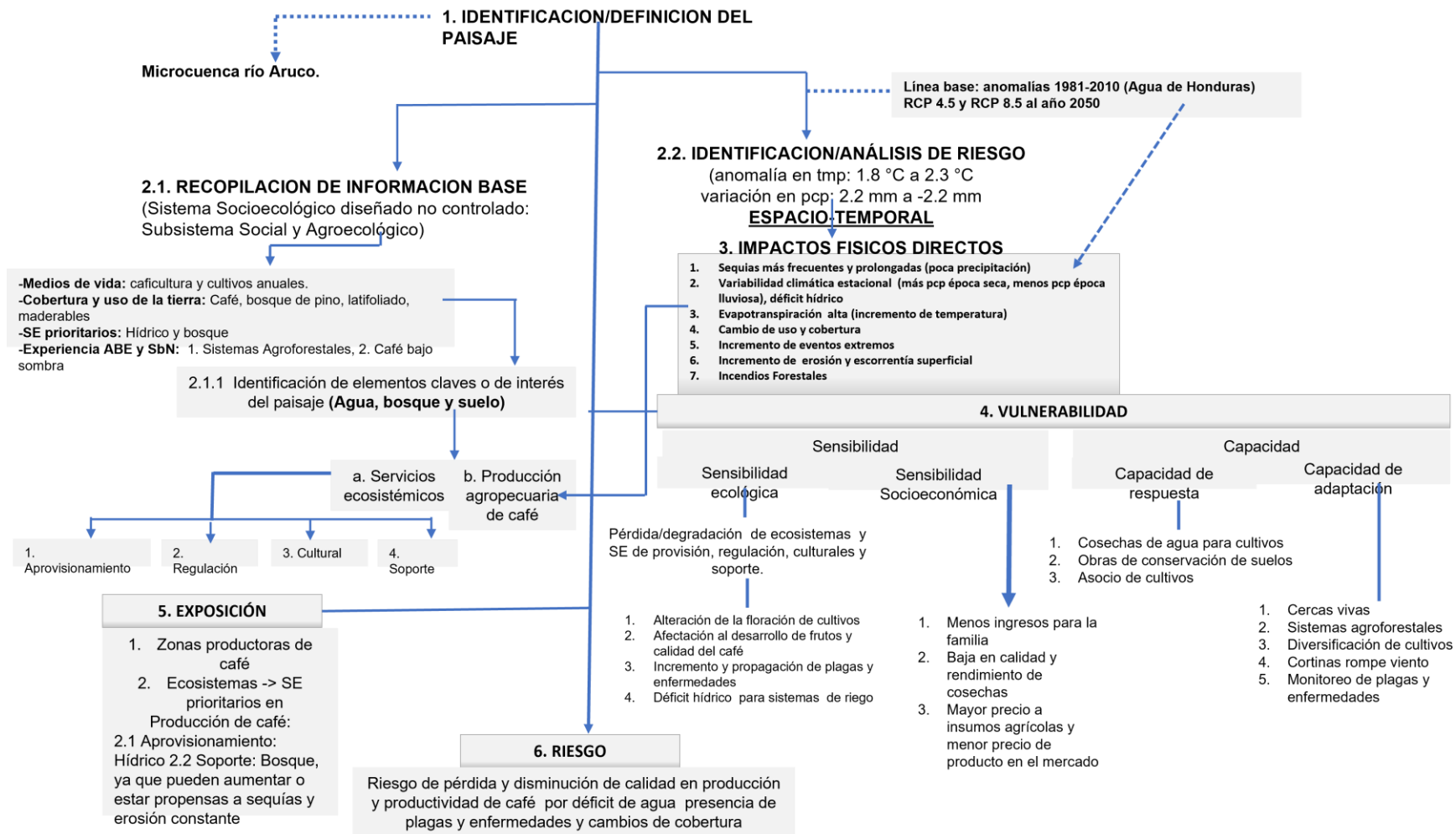


Figura 31. Cadena de Impacto en producción de Café en Microcuenca río Aruco

Fuente: con base en Ríos (2022).

9. ALCANCES Y LIMITACIONES

9.1 Alcances

1. Se pudieron conocer las anomalías climáticas en precipitación (pcp) y temperatura (tmp) al año 2050 para la microcuenca río Aruco.
2. Se logró desarrollar de forma exitosa la modelación en SWAT para 2 escenarios climáticos (RCP 4.5 y RCP 8.5) y 2 escenarios hipotéticos de cambio de cobertura (al 50% y al 100%) para nuestra área de estudio.
3. Se logro conocer la fase donde las anomalías climáticas proyectadas (precipitación y temperatura) pueden impactar en el cultivo de café al año 2050. (cadena de impacto).

9.2 Limitaciones

1. Inexistencia de datos de registro a nivel diario en precipitación y temperatura en nuestro país y específicamente para nuestra microcuenca.
2. Falta de aforos de forma periódica para lograr mejores resultados de acorde al área específica que interés.

10. CONCLUSIONES

1. Escenarios climáticos futuros no afectan de manera significativa la dinámica hidrológica en la cuenca, los mayores impactos sobre el comportamiento hidrológico se dan bajo escenarios de pérdida de cobertura forestal asociada con escenarios de cambio climático.
2. Cambios en los patrones de la precipitación y temperatura en el periodo de junio a setiembre podrían afectar el desarrollo óptimo del cultivo del café, principalmente en procesos asociados a desarrollo de frutos, crecimiento de ramas y formación de hojas nuevas
3. Bajo escenarios de clima futuro y pérdida de cobertura forestal existe riesgo de pérdida en la producción de café en hasta un 25 % en la cuenca
4. El impacto en la cadena productiva del café afectará el medio de vida de los caficultores, por la disminución en sus ingresos, y la provisión de servicios ecosistémicos en la cuenca por presión sobre los ecosistemas en zonas vinculadas a la producción de café. Ordenamiento territorial que incluyan soluciones basadas en la naturaleza y acciones basadas en ecosistemas son alterativas para abordar esta situación.

11. RECOMENDACIONES

1. Identificar ecosistemas frágiles y/o prioritarios en zonas productoras de café con la finalidad de determinar y enfocar tipo de intervenciones que conlleven a crear resiliencia climática en este sistema Socioecológico.
2. Para la selección de SbN y AbEs se debe considerar el criterio de espacialización, es decir deben ser identificadas y diferenciadas de acuerdo con el sitio de implementación dentro de la cuenca.
3. El análisis presentado se realizó bajo escenarios climáticos considerados en el V reporte del IPCC (RCPs), se sugiere repetirlo bajo los escenarios del VI reporte (SSPs).

12. LITERATURA CONSULTADA

- Arnell, N. (2004). *Climate change and global water resources: SRES emissions and socioeconomic scenarios. Global environmental change 141:31-52.*
- Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas* (21 (1-2)), 136-147.
- Bunn, C., Lundy, M., Laderach, P., Girvetz, E., & Castro, F. (2018). *Café sostenible adaptado al clima en Honduras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). Cali. CO. 27.*
- Castro Pincay, C., & Barrezueta Unda, S. (s.f.). *Aspectos sociales y económicos: caso productores de café en la provincia El Oro. Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas, 3(1), 71-75.*
- CCAD. (2020). *Ecología basada en las zonas de vida por L. R. Holdridge.* Obtenido de sgsicadti:
<https://sigportal.sica.int/portal/home/item.html?id=96d25b682af2479e88bb2a7120b9bfdd&view=list&sortOrder=desc&sortField=defaultFSOrder#overview>
- Comisión Europea, Dirección General de Asociaciones Internacionales, & Rodríguez Mejía, E. (2022). *Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático en las comunidades de influencia del proyecto Agricultura Familiarmente Inteligente en la producción Resiliente de Alimentos (AFCI-PRA). (Serie de Documentos Técnicos EUROCLIMA+ n.12), Programa EUROCLIMA+, Bruselas.*
- Cubasch, U; Wuebbes, D; Chen, D; Facchini, M; Frame, D; Mahowald, N; Winther, J. (2013). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, UK. p. 119-158.
- Echeverría, Y. (23 de Noviembre de 2018). *Cadenas de impactos climáticos para realizar autodiagnosticos de vulnerabilidad. Coahuila, Mexico.*
- GIZ, EURAC, & ONU-EHS. (2018). *Evaluación de Riesgo Climático para la Adaptación basada en Ecosistemas-Una guía para planificadores y practicantes.*

- Gonzales-Celada, E. (2016). *Impacto del cambio climático y uso/cobertura en el comportamiento hidrológico, erosión hídrica y disponibilidad de agua para uso agrícola y humano en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del lago Atitlán, Guatemala.* .
- Hausfather, Z. (02 de 12 de 2019). *Carbon Brief clean on Climate*. Obtenido de <https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained/>
- Higuito, C. I. (2022). *Plan para adaptación al cambio climático y la respuesta a eventos adversos*. Corquin, Copán, Honduras.
- Higuito, C. I. (2022). *Plan para adaptación al cambio climático y la respuesta a eventos adversos*. San Pedro, Copán, Honduras.
- Higuito, C. I. (2022). *Plan para adaptación al cambio climático y la respuesta a eventos adversos*. Belen Gualcho, Ocotepeque.
- Higuito, C. I. (2022). *Plan para la adaptación al cambio climático y la respuesta a eventos adversos*. Corquin, Copán, Honduras.
- ICF. (2012). *Plan de Manejo Parque Nacional Montaña de Celaque*.
- ICF. (10 de Marzo de 2016). Reglamento Especial para la Implementación de Mecanismos de Compensación por Bienes y Servicios Ecosistémicos. 20. Tegucigalpa M.D.C, Honduras.
- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). (23 de Febrero de 2023). *Manual técnico para una caficultura sostenible y productiva (en línea)*. Consultado 10 marzo 2023. disponible en: https://issuu.com/cesarmaradiaga2/docs/pdf_manual_t_cnico_para_una_caficultur_a_sostenible.
- IHCAFE. (2022). *Memoria Cosecha 2021-2022*.
- IHCIT. (2012). *Atlas climático y gestión de riesgo de Honduras*. Tegucigalpa M.D.C.
- Imbach, P., Molina, L., Locatelli, B., & Corrales, L. (2010). *Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos hidrológicos al cambio climático en Mesoamérica. Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina, 32p.*
- IPCC. (2014). *Impactos, Adaptación y vulnerabilidad-resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al Quinto informe de Evaluación (GTII IE5) del IPCC*. Suiza.
- IPCC. (2014). *Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)]*. Ginebra, Suiza, 157p.
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. *Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A.

Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)). Cambridge University Press. In Press.

- LIDEMA. (2011). *Cartilla Medios de vida y Cambio Climático*. La Paz, Bolivia: SOIPA Ltda.
- Martinez-Rodriguez, M., Viguera, B., Donatti, C., Harvey, C., & Alpizar, F. (2017). *Cómo enfrentat el cambio climático desde la agricultura: Prácticas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE)*. *Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE)*. 40 páginas.
- Martinez-Rodriguez, M., Viguera, B., Donatti, C., Harvey, C., & Alpizar, F. (2017). *La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura*. *Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE)*. 40 páginas.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. (2008). *Agrocadena de Café*. Costa Rica.
- Municipalidad Sensenti. (2022). *Plan de Emergencia Municipal*. Sensenti, Ocotepeque, Honduras.
- Navarro-Racines, C., Monserrate, F., Llanos-Herrera, L., Obando, D., & Córdoba, J. (2014). *Desarrollo de los escenarios climáticos de Honduras y módulo académico de capacitación*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Dirección Nacional de Cambio Climático de MiAmbiente. 140p.
- Ríos, J. N. (2021). Notas de Clase de Maestría Virtual de Cuencas Hidrográficas.
- Ríos, J. N. (Noviembre de 2021). Servicios Ecosistémicos (bases conceptuales). *contenido de clase de Maestría en Cuencas Hidrográficas*. (N. Rios, Recopilador)
- Ríos, N. (2022). Conceptos básicos sobre peligro, exposición, Vulnerabilidad y riesgo climático [Notas de Clases].
- Salas Zapata, W. A., Rios Osorio, L. A., & Alvarez del Castillo, J. (2011). Bases Conceptuales para una clasificación de los sistemas socioecológicos de la investigación en sostenibilidad, 8 (2). *Revista Lasallista de Investigación*, págs. 136-142.
- UICN. (2019). *Soluciones AbE*.
- UICN. (Febrero de 2020). Estandar Global de la UICN para las soluciones basadas en la naturaleza .
- UICN, & WWF. (2022). Soluciones basadas en la naturaleza.
- Vallejo, M. (2015). *Problemática Ambiental en Honduras: Respuestas desde el Derecho*. *La Revista de Derecho*. 35. 10.5377/lrd.v35i0.1782.
- Viguera, B., Martinez-Rodriguez, M., Donnati, C., Harvey, C., & Alpizar, F. (2017). *Impactos del cambio climático en la agricultura de Centroamérica, estrategias de mitigación y adaptación*. *Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE)*. 47 páginas.