



Solutions for environment and development
Soluciones para el ambiente y desarrollo

**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO**

**Integración de la adaptación al cambio climático en el manejo de cuencas; el caso de
la cuenca del río Acomé, Guatemala**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de
Posgrado como requisito para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Manejo y
Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas**

Por

Héctor Francisco Espinoza García

Turrialba, Costa Rica

2016

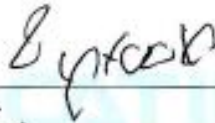
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y el Programa de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

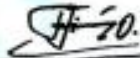
FIRMANTES:



Jorge Faustino, Ph.D.
Codirector de tesis



Ney Ríos, M.Sc.
Codirector de tesis



Francisco Jiménez, Dr.Sc.
Miembro Comité Consejero

Javier Saborío, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Francisco Jiménez, Dr. Sc.
Decano Programa de Posgrado



Héctor Francisco Espinoza García
Candidato

DEDICATORIA

*A Dios;
Fuente de sabiduría y modelo de los valores humanitarios
más sublimes y auténticos que guía mi vida.*

*A mis padres Héctor Manuel Espinoza Alarcón y Dora Amalia García Méndez;
Por apoyarme incondicionalmente en cada meta que me he propuesto,
por su dedicación, entrega, amor y ejemplo.*

*A mis hermanas Lucía Fernanda y Ana Paula;
Por ser mis cómplices y amigas, por su cariño, apoyo y bondad.*

*A mis segundas madres Dorisa Bel, Nelly Judith y Lourdes Ninneth;
Por estar presentes en cada momento de mi vida, por su apoyo incondicional, amor y cariño.*

*A mis primas María Jimena, María Laura y Gabriela María;
Por todo su cariño.*

*A la memoria de mis abuelos, José Manuel Espinoza Cabrera (+) y Dora del Carmen Alarcón Bonilla (+);
A quienes recuerdo siempre con tanto cariño, gracias por acompañarme y estar
conmigo en cada momento y lugar donde me encuentre.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, quien me brindo fortaleza, perseverancia y sabiduría para sacar adelante y terminar con éxito una más de las metas que me he propuesto.

Al Fondo Académico Henry A. Wallace, por haber confiado en mí y otorgarme la beca y el financiamiento para realizar mis estudios de posgrado en CATIE.

A mi comité asesor, a los profesores Jorge Faustino y Javier Saborío, por la orientación y apoyo brindado, al profesor Francisco Jiménez, por su siempre buena disposición de ayudarme y orientarme, por su ejemplo y calidad de ser humano, a Ney Rios, por haber compartido conmigo su tiempo, conocimiento, experiencia y oficina de trabajo, por su paciencia, motivación y ánimos que siempre me brindó.

A los profesores, al personal administrativo de la escuela de posgrado y al personal de la biblioteca Orton, especialmente a Kattia, Javier, Juan, Greivin, Luis y Andrés, por todo el apoyo brindado durante este tiempo de formación académica.

A todo el equipo del ICC 2015, con quienes tuve la oportunidad de compartir durante mi investigación, gracias por su tiempo y amistad. Principalmente al Dr. Alex Guerra, por la oportunidad que me brindó de realizar mi investigación en la institución, a Luis Reyes por su apoyo y colaboración desde el primer día, a German Alfaro por haberme presentado en el ICC, por su apoyo y colaboración, a los miembros del comité de seguimiento; Héctor, Sergio, Oscar y Juan Andrés, gracias por el tiempo y los aportes que me brindaron. A los compañeros epeistas que tuve el privilegio de conocer, gracias por todo.

A Cristóbal Villanueva, la primera persona del CATIE a quién conocí, y a quien le agradezco el apoyo que me brindó desde aquel primer momento en el cual nos presentaron a través de un email.

Al Ing. Agr. Walter Soel García, quien despertó en mí el interés y el deseo de estudiar en CATIE en el primer año de universidad, en aquella clase de Producción de Granos Básicos.

A mi tía Chiqui y su linda familia, gracias por recibirme en Santa Lucia, abrirme las puertas de su casa y permitirme compartir con ellos durante mi etapa de campo.

A mi amigo Alexis y a su familia, gracias por el apoyo y la hospitalidad que me brindaron durante toda mi fase de campo.

A mis compañero de promoción 2014-2015, especialmente a mis compas; Alex, Fernando y Willan a quienes recordaré siempre con mucho aprecio y admiración. Gracias por su amistad y compañía durante todo este tiempo.

CONTENIDO

RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	3
1.2 OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	4
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.2.2 <i>Objetivos específicos y preguntas de investigación</i>	4
1.3 MARCO REFERENCIAL	5
1.3.1 <i>Cambio climático</i>	5
1.3.2 <i>Modelización climática</i>	5
1.3.3 <i>Modelos Climáticos Globales (MCG) y Regionales (MCR)</i>	5
1.3.4 <i>Incertidumbre de los modelos regionales</i>	6
1.3.5 <i>Escenarios de cambio climático</i>	7
1.3.6 <i>Adaptación al cambio climático</i>	7
1.3.7 <i>Anomalías climáticas</i>	8
1.3.8 <i>Normal climatológica o clima normal</i>	8
1.4 PRINCIPALES RESULTADOS.....	8
1.5 PRINCIPALES CONCLUSIONES	11
1.6 LITERATURA CITADA	12
CAPÍTULO II	14
ARTÍCULO I.....	14
EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RÉGIMEN HÍDRICO Y EL SECTOR AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ, GUATEMALA, CON ÉNFASIS EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (<i>SACCHARUM OFFICINARUM</i>).....	14
RESUMEN	14
1. INTRODUCCIÓN	15
2. METODOLOGÍA.....	16
2.1 <i>Etapa 1. Revisión de literatura, recolección y conformación de la base de datos</i>	17
2.2 <i>Etapa 2. Análisis temporal y espacial de los datos</i>	18
2.3 <i>Etapa 3. Identificación de señales de cambio climático y revisión de literatura</i>	19
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4. CONCLUSIONES	31
5. LITERATURA CITADA	32
ARTÍCULO II	34

IDENTIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN ASOCIADAS AL RECURSO HÍDRICO Y AL SECTOR AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ, GUATEMALA	34
RESUMEN	34
1. INTRODUCCIÓN	35
2. METODOLOGÍA.....	36
2.1 <i>Etapa 1. Revisión de literatura y análisis del contexto</i>	37
2.2 <i>Etapa 2. Diseño y planificación del proceso</i>	37
2.3 <i>Etapa 3. Identificación de las medidas de adaptación al cambio climático</i>	37
2.4 <i>Etapa 4. Priorización de las medidas de adaptación</i>	38
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4. CONCLUSIONES	53
5. LITERATURA CITADA	54
CAPÍTULO III.....	56
PROPUESTA DE DISEÑO DE COMPONENTE DE ADAPTACIÓN COMO UN APOORTE AL PLAN DE MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ	56
1. FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO Y/O GESTIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	56
2. COMPONENTE DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	57
3. OBJETIVO Y ELEMENTOS DEL COMPONENTE DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	59
4. LITERATURA CITADA	62
CAPÍTULO IV.....	63
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	63

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. TRAYECTORIAS DE CONCENTRACIÓN REPRESENTATIVAS (RCP).....	7
FIGURA 2. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN IDENTIFICADAS SEGÚN CATEGORÍA DE CLASIFICACIÓN	9
FIGURA 3. ESTRUCTURA DEL COMPONENTE DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	10
FIGURA 4. ESQUEMA METODOLÓGICO UTILIZADO PARA DESARROLLAR EL ESTUDIO.....	16
FIGURA 5. DESCRIPCIÓN Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS PARA EL ESTUDIO.....	17
FIGURA 6. COMPORTAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL.....	20
FIGURA 7. COMPORTAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL	22
FIGURA 8. CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN CENGICAÑA (CEN-CEN).....	23
FIGURA 9. CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN EL BÁLSAMO (PAN-BAL).....	23
FIGURA 10. CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN COSTA BRAVA (SDT-CBR)	23
FIGURA 11. CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN TEHUANTEPEC.....	24
FIGURA 12. CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN TRINIDAD SAN DIEGO (SDT-TRI)	24
FIGURA 13. CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN BOUGANVILIA.....	24
FIGURA 14. CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN BONANZA (LUT-BON).....	25
FIGURA 15. CLIMOGRAMA PARA LA ESTACIÓN SAN ANTONIO EL VALLE (MAG-SAV)	25
FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN CENGICAÑA (CEN-CEN)	27
FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN TEHUANTEPEC (LUT-TEH)	27
FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN SAN ANTONIO EL VALLE (MAG-SAV).....	27
FIGURA 19. MAPAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA 2030, ESCENARIOS RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	29
FIGURA 20. MAPAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA 2050, ESCENARIOS RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	29
FIGURA 21. MAPAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 – WORLDCLIM	29
FIGURA 22. ESQUEMA METODOLÓGICO EMPLEADO PARA ALCANZAR EL SEGUNDO OBJETIVO.....	36
FIGURA 23. FORMATO DE ENCUESTA UTILIZADO PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	38
FIGURA 24. NÚMERO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN IDENTIFICADAS SEGÚN CATEGORÍAS	41
FIGURA 25. ESQUEMAS DEL PLAN DE MANEJO, GESTIÓN O COGESTIÓN DE CUENCAS.....	57
FIGURA 26. ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL COMPONENTE DE ADAPTACIÓN	58
FIGURA 27. ESTRUCTURA Y ELEMENTOS DEL COMPONENTE DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	61
FIGURA 28. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA, MÍNIMA Y MÁXIMA 2030, RCP 4.5 - CCAFS-CLIMATE.....	63
FIGURA 29. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA, MÍNIMA Y MÁXIMA 2030, RCP 8.5 - CCAFS-CLIMATE.....	63
FIGURA 30. GRÁFICA DE TEMPERATURA MEDIA 2030, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	64
FIGURA 31. MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA 2030, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	64
FIGURA 32. GRÁFICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA 2030, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	65
FIGURA 33. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	65
FIGURA 34. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	66
FIGURA 35. MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	66
FIGURA 36. GRÁFICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE	67
FIGURA 37. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA 2050, RCP 4.5 - WORLDCLIM.....	67
FIGURA 38. MAPA DE TEMPERATURA MEDIA 2050, RCP 8.5 - WORLDCLIM.....	68
FIGURA 39. GRÁFICA DE TEMPERATURA MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - WORLDCLIM.....	68
FIGURA 40. MAPA DE PRECIPITACIÓN MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - WORLDCLIM.....	69
FIGURA 41. GRÁFICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - WORLDCLIM.....	69
FIGURA 42. GRÁFICA DE TEMPERATURA MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE Y WORLDCLIM.....	70
FIGURA 43. GRÁFICA DE PRECIPITACIÓN MEDIA 2050, RCP 4.5 Y 8.5 - CCAFS-CLIMATE Y WORLDCLIM	70
FIGURA 44. CLIMOGRAMAS ANUALES SEGÚN ESTRATO ALTITUDINAL PARA LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ.....	71
FIGURA 45. CLIMOGRAMAS MENSUALES SEGÚN ESTRATO ALTITUDINAL PARA LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ	71

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1. ANOMALÍAS CLIMÁTICAS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN	9
CUADRO 2. PORCENTAJE DE COMPLETACIÓN DE LOS DATOS SEGÚN ESTACIÓN METEOROLÓGICA	18
CUADRO 3. ANOMALÍAS DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN	28
CUADRO 4. DESCRIPCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN.....	37
CUADRO 5. DATOS DE TEMPERATURA MEDIA (TM) UTILIZADOS EN LA INTERPOLACIÓN CON IDW	72
CUADRO 6. DATOS DE PRECIPITACIÓN MEDIA (PM) UTILIZADOS EN LA INTERPOLACIÓN CON IDW	72
CUADRO 7. ANOMALÍAS MENSUALES DE TEMPERATURA 2030 Y 2050 - WORLDCLIM Y CCAFS-CLIMATE	73
CUADRO 8. ANOMALÍAS MENSUALES DE PRECIPITACIÓN 2030 Y 2050 - WORLDCLIM Y CCAFS-CLIMATE	74

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACC	Adaptación al Cambio Climático
ALC	América Latina y el Caribe
AR5	Fifth Assessment Report
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BM	Banco Mundial
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CC	Cambio Climático
CCAFS	Program on Climate Change, Agriculture and Food Security
CDKN	Alianza Clima y Desarrollo
CE	Comisión Europea
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CCSM4	Community Climate System Model, versión 4
GIZ	Agencia Alemana de Cooperación Técnica (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
MCG	Modelo Climático Global
MCR	Modelo Climático Regional
NCAR	National Center for Atmospheric Research
RCP	Representative Concentration Pathways
WRF	Weather Research and Forecasting

RESUMEN

El presente estudio se realizó en la cuenca del río Acomé, ubicada en la vertiente del Pacífico, en Guatemala. Posee un área aproximada de 891 km², de la cual el 83% está siendo ocupada para el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). El objetivo del estudio fue determinar medidas de adaptación al cambio climático, asociadas al recurso hídrico y la producción agrícola. La investigación consistió de tres fases principales: a) el análisis actual y futuro del clima, con el fin de identificar evidencias de cambio climático y determinar anomalías. Los resultados indican que la temperatura media anual de la cuenca del río Acomé, con base en la media anual registrada para el periodo de 1950-2000, se ha incrementado en 0.8°C. La precipitación ha experimentado una disminución del 2.73%. Con respecto a las proyecciones futuras, la cuenca presentaría incrementos en la temperatura media anual para el año 2030 mayores a 1.5°C, así como en la precipitación de 0.30%. Para el año 2050, se esperarían incrementos en la temperatura media anual mayores a 2°C y disminución en la precipitación de 0.36%; b) identificación y priorización participativa con actores locales de medidas de adaptación al cambio climático para la cuenca. Las medidas de mayor prioridad fueron: la elaboración e implementación de planes de concientización y capacitación para usuarios del agua, la creación y/o fortalecimiento de una institución encargada de medir (aforar) el agua, con el fin de coordinar su distribución, y la generación de conocimiento para reducir conflictividad y/o conflictos; c) elaboración de una propuesta de componente de adaptación al cambio climático, para ser integrado al plan de manejo de la cuenca. La propuesta incluye diferentes medidas de adaptación, entre las cuales se destaca: el cambio en los sistemas de riego por otros más eficientes, la integración de las autoridades gubernamentales en los temas de manejo de agua y la creación de estrategias de comunicación entre los actores de la cuenca para coordinar el uso de los recursos, cuya implementación permitirá un mejor manejo de la cuenca y sus recursos naturales, principalmente del agua.

Palabras clave: adaptación al cambio climático, agricultura y recursos hídricos, caña de azúcar, planificación de cuencas.

ABSTRACT

This study was conducted in Acome river basin, located on the Pacific coast in Guatemala. It has an area of 891 km², of which 83% is being occupied for growing sugarcane (*Saccharum officinarum*). The aim of the study was to identify measures to adapt to climate change, associated with water resources and agricultural production. The research consisted of three main phases: a) the current and future climate analysis in order to identify evidence of climate change and identify anomalies. The results indicate that the average annual temperature of Acome river basin, based on the annual average recorded for the period 1950-2000, has increased by 0.8°C. Rainfall has experienced a decline of 2.73%. Regarding future projections, the basin will present increases in mean annual temperature by 2030 greater than 1.5°C, as well as increases in precipitation of 0.30%. By 2050, mean annual temperature is expected to have an increase greater than 2°C and rainfall will decrease 0.36% b) participatory identification and prioritization with local actors of adaptation to climate change for the basin. The measures with higher priorities were: the development and implementation of awareness and training plans for water users, the creation and / or strengthening of an institution in charge of measuring (gauging) water, in order to coordinate distribution, and knowledge generation to reduce conflict and / or conflict; c) preparation of a proposal for component adaptation to climate change, to be integrated into the management plan of the basin. The proposal includes different adaptation measures, among which are: the change in the most efficient irrigation systems, the integration of government authorities in the areas of water management and the creation of communication strategies between actors Basin to coordinate the use of resources, implementation of which will allow better management of the watershed and its natural resources, especially water.

Keywords: adaptation to climate change, agriculture and water resources, sugarcane, watershed planning.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS

Reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en el contexto del desarrollo sostenible es el objetivo del recientemente publicado Acuerdo de París. Para lograrlo propone mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de temperatura a 1.5°C, aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático, promover la resiliencia al clima, así como un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (CMNUCC 2015).

Esto constituye un desafío mundial si consideramos que solo en América Latina y el Caribe (ALC), cerca de 600 millones de habitantes experimentan, de manera dramática, los efectos del cambio climático (Landa *et al.* 2010). De acuerdo con Corrales (2010), en Centroamérica el promedio de temperatura anual ha aumentado en aproximadamente 1°C desde 1900. El aumento de días y noches cálidas se incrementaron en un 2.5% y un 1.7% por década, mientras que las noches y días fríos han disminuido 2.2% y 2.4%, respectivamente. Los extremos de temperatura muestran aumento de entre 0.2°C y 0.3°C por década. Los índices de precipitación, a pesar de la gran variabilidad espacial, indican que aunque no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación sí se ha observado una intensificación de las mismas. Esto quiere decir que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un periodo de tiempo más corto (Aguilar *et al.* 2005).

Guatemala es considerado, de acuerdo con Oglesby y Rowe (2015), uno de los países más vulnerables a los impactos del cambio climático. En los últimos 10 años ha sufrido eventos hidrometeorológicos extremos, que han repercutido en los principales sectores productivos del país, ocasionando pérdidas económicas e impactos sociales y ambientales.

Como un ejemplo están los impactos del huracán Mitch en 1998, que causó afectaciones y pérdidas que ascendieron a 748 millones de dólares, lo que representó cerca del 4% del PIB en ese año. Las sequías que se produjeron en 2001 causaron pérdidas de 22.4 millones de dólares. La tormenta tropical Stan en el 2005 ocasionó pérdidas de 988 millones de dólares, equivalentes a 3.6% del PIB 2004, que provocó daños y pérdidas en zonas agrícolas de 15 departamentos, entre ellos Escuintla (Mora *et al.* 2010), departamento en el cual se encuentra ubicada la cuenca del río Acomé, objeto de estudio en la presente investigación.

Esto significó daños en un área aproximada de 61,000 hectáreas y pérdidas en la producción de cultivos de exportación como la caña de azúcar, principal cultivo en la zona. Un ejemplo del daño provocado al cultivo de la caña puede verse en la relación de la producción proyectada (sin Stan) y la esperada (tras Stan) para la temporada 2004-2005 la cual era de 17 782 401 toneladas y 17 337 841 toneladas respectivamente, lo que refleja pérdidas en la producción de 444 560 toneladas, equivalentes en porcentaje a 2.5 de la producción total (Mora *et al.* 2010).

Resultados del estudio de Oglesby y Rowe (2015), sobre "*Impactos climáticos para Guatemala: resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5¹*" muestran un calentamiento en Guatemala entre el presente y la década de 2060 que va desde menos de 1°C a más de 3°C. Este escenario es preocupante si se considera que los cambios en el clima no se pueden evitar, ni modificar (Landa *et al.* 2010) y que muchas de las actividades productivas y sociales son altamente dependientes del mismo; siendo la agricultura el más claro ejemplo de ello (Lavell 2013).

Estos cambios en el clima, principalmente en la precipitación y la temperatura, toman relevancia en un territorio como la cuenca del río Acomé, donde de acuerdo con el ICC (2012), el 83% de la misma (equivalentes a 739.53 km²) está siendo ocupada para el cultivo de la caña de azúcar, actividad productiva que representa la principal fuente de trabajo en la zona. Este cultivo es muy sensible a los cambios del clima, en particular a la magnitud y rapidez del cambio climático (IPCC 1997).

En este contexto, la adaptación juega un papel fundamental en la reducción de la vulnerabilidad de los sistemas (principalmente productivos) ante los efectos del cambio climático y contribuye a la relación costo-efectividad de la reducción de desastres como medida de adaptación (EIRD 2008). Algunos ejemplos de esta contribución y de la importancia que la adaptación ha tenido en algunos países del mundo, de acuerdo con EIRD (2008) son los siguientes: desde el año 1960 al 2000 China gastó \$3,15 mil millones en medidas para controlar las inundaciones. Se calcula que con ello evitó pérdidas por un monto aproximado de US\$12.000 millones. El proyecto de reconstrucción y prevención de inundaciones de Río de Janeiro rindió una tasa interna de rendimiento superior al 50% y en Vietnam, un proyecto para la plantación de manglares cuyo propósito era proteger a las poblaciones costeras de los tifones y las tormentas rindió una proporción de costo beneficio del 52% durante el período entre 1994 y el 2001.

Por ello, resulta indispensable que tanto a nivel nacional como regional se tome medidas y se emprenda acciones para hacer frente a los efectos del cambio climático (Corrales 2010). Pues si bien es un fenómeno inequívoco, de origen antropogénico (IPCC 2014) y de alcance global, a través de la adaptación se puede llegar a mitigar su impacto ambiental, económico y social.

La presente investigación pretende por tal razón, analizar los efectos del cambio climático sobre el recurso hídrico y el sector agrícola en la cuenca del río Acomé, particularmente en el cultivo de la caña de azúcar (por ser la principal actividad económica de la misma) e identificar y priorizar medidas de adaptación que una vez implementadas en campo, contribuyan a mitigar los efectos del cambio climático. Para el lograrlo se elaboraron climogramas mensuales y anuales con el objetivo de identificar cambios y tendencias en las principales variables climáticas estudiadas (precipitación y temperatura) y se realizó la determinación de anomalías, empleando las plataformas CCAFS-Climate y WorldClim para descargar los respectivos escenarios de cambio climático con base en el Community Climate System Model, versión 4 (CCSM4). Así mismo, se desarrollaron talleres con los principales actores de la cuenca, a efecto de generar una lista de medidas de adaptación, que luego fueron priorizadas según urgencia e importancia de implementación al corto, mediano y largo plazo. Estas medidas fueron integradas a su vez en una propuesta de componente de adaptación para el plan de manejo.

¹ Informe completo disponible en: <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/1442.pdf>

La tesis se divide en cuatro capítulos: el capítulo I que incluye la síntesis general de la tesis acompañada de los objetivos, las preguntas de investigación, la revisión de literatura, los principales resultados y conclusiones. El capítulo II que comprende los dos artículos que integran la tesis, el artículo I "Efectos del cambio climático en el régimen hídrico y el sector agrícola en la cuenca del río Acomé, Guatemala, con énfasis en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)", y el artículo II "Identificación y priorización de medidas de adaptación asociadas al recurso hídrico y al sector agrícola en la cuenca del río Acomé, Guatemala". El capítulo III contiene la propuesta de diseño del componente de adaptación al cambio climático y el capítulo IV corresponde a la información complementaria.

1.1 Justificación e importancia

La región de ALC enfrenta actualmente una situación grave de exposición a múltiples riesgos relacionados con el clima, tales como: ciclones tropicales, inundaciones, sequías y oleadas de calor, aumentos de la temperatura y cambios en los regímenes de lluvias. Estos cambios de frecuencia e intensidad de fenómenos extremos relacionados con el clima afectarán la salud de la población, sus medios de subsistencia, la situación económica, el ambiente, la disponibilidad de recursos naturales (Mapplecroft 2014), la infraestructura productiva, la producción agrícola y la disponibilidad y calidad del agua.

Resultados del clima proyectado para el período 2050-2099 mostraron para Centroamérica reducciones significativas en la mediana de la precipitación de hasta 10.5%, así como incrementos de temperatura de 3°C durante 2050 a 2099 para la región Norte y hasta 4°C para la región Sur de Centroamérica (Hidalgo *et al.* 2013).

De acuerdo con Mapplecroft (2014), Guatemala presenta el mayor riesgo de vulnerabilidad en Mesoamérica y ocupa el segundo lugar, después de Haití, con respecto al índice de vulnerabilidad al cambio climático, con un puntaje de 0,75 y una categoría de riesgo extrema. Estudios realizados por Oglesby y Rowe (2015), presentan evidencia al respecto, señalando que Guatemala muestra un calentamiento entre el presente y la década de 2060 que va desde menos de 1°C a más de 3°C. Estas temperaturas más cálidas conducirían a mayor estrés por evapotranspiración, pudiendo tener efectos perjudiciales para las actividades humanas, especialmente para la agricultura.

Ante los evidentes cambios en el clima, y considerando que la variabilidad del mismo afecta directamente a la agricultura por ser esta actividad inherentemente sensible, resulta importante analizar los efectos del cambio climático sobre el recurso hídrico como elemento indispensable para la producción agrícola. Esto es particularmente relevante en la cuenca del río Acomé, donde el 83% de su territorio es ocupado para el cultivo de la caña de azúcar, actividad que representa un aporte importante al PIB agrícola del país.

Mediante el análisis temporal y espacial de datos meteorológicos, la elaboración de escenarios de cambio climático, la determinación de anomalías para las variables de precipitación y temperatura, y la identificación y priorización de medidas de adaptación, este estudio pretende proporcionar elementos que favorezcan la planificación de la adaptación al cambio climático en la cuenca del río Acomé.

1.2 Objetivos y preguntas de investigación

1.2.1 Objetivo general

Determinar medidas de adaptación al cambio climático asociadas al recurso hídrico y al sector agrícola en la cuenca del río Acomé, con énfasis en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

1.2.2 Objetivos específicos y preguntas de investigación

Determinar los efectos del cambio climático en el régimen hídrico y el sector agrícola en la cuenca del río Acomé, con énfasis en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).

- a. ¿Cuáles son los cambios (actuales y bajo escenarios de cambio climático) de la precipitación y la temperatura en la cuenca?
- b. ¿Dónde se encuentran ubicados espacialmente esos cambios?
- c. ¿Cuáles son los efectos del cambio climático sobre el recurso hídrico y el cultivo de la caña de azúcar?

Identificar y priorizar de medidas de adaptación asociadas al recurso hídrico y al sector agrícola en la cuenca del río Acomé.

- a. ¿Cuáles son las posibles medidas de adaptación, asociadas al recurso hídrico y al sector agrícola que pueden ser implementadas en la cuenca del río Acomé?
- b. ¿Cuál es el nivel de priorización al corto, mediano y largo plazo de las medidas de adaptación identificadas?
- c. ¿Cuáles son las áreas donde deberían de ubicarse las medidas de adaptación priorizadas?

Desarrollar el componente de adaptación asociado al recurso hídrico y al sector agrícola en la cuenca del río Acomé.

- a. ¿Qué elementos deberá de considerar el componente de adaptación al cambio climático?
- b. ¿Cuál es la estructura que deberá seguir el componente de adaptación al cambio climático?

1.3 Marco referencial

1.3.1 Cambio climático

El cambio climático es un problema común de toda la humanidad (CMNUCC 2015). Es un fenómeno inequívoco de origen antropogénico² (IPCC 2014) y de alcance global. Es inevitable que continúe. Afectará a las personas tanto en el aspecto físico como económico, en particular en los países pobres o en vías de desarrollo por ser los más vulnerables (BM 2010). Representa una amenaza apremiante y con efectos potencialmente irreversibles para las sociedades humanas y el planeta (CMNUCC 2015).

De acuerdo con el IPCC (2007; 2014) y Oglesby y Rowe (2015), el término denota un cambio en el estado del clima, a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante un período o escala de tiempo prolongado de varias décadas o más. A su vez, establecen que el mismo puede deberse a procesos naturales o forzamientos externos³ y a los cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso del suelo.

En las últimas décadas, se ha llevado a cabo un enorme esfuerzo tecnológico e investigador para explicar este fenómeno y tratar de predecir su tendencia futura. Desarrollar modelos que permitan simular el sistema climático (modelización climática) y que sean capaces de reproducir el cambio observado para finalmente, determinar los factores que contribuyen al mismo, es un claro ejemplo de esos esfuerzos. Estos modelos son la única herramienta de la que se dispone en la actualidad para tratar de estimar el cambio climático a nivel cuantitativo en el futuro (Gutiérrez y Pons 2006).

1.3.2 Modelización climática

Un modelo es un conjunto de ecuaciones que pretenden representar globalmente el sistema climático o alguna de sus características, unas condiciones iniciales y las representaciones mediante parámetros de algunos procesos. Un modelo por lo tanto, pretende ser una representación simplificada del comportamiento de la naturaleza (Llebot 2009).

1.3.3 Modelos Climáticos Globales (MCG) y Regionales (MCR)

Para simular la evolución del sistema climático ha sido necesario desarrollar complejos modelos numéricos denominados Modelos Climáticos Globales (MCG). Estos modelos permiten simular la respuesta del clima a diferentes escenarios futuros de emisión, y así, estimar el cambio futuro del sistema con cierta confianza. Estos modelos numéricos son una representación matemática simplificada de los procesos que tienen lugar entre los distintos componentes del sistema climático: atmósfera,

² La certeza de que los humanos causaron la mayor parte del cambio climático desde 1950 fue mayor en el AR5 (entre un 95% y un 100%), en comparación con la certeza que había en 2007 (entre 90% y 100%) y en más aún si se compara con la del 2001 que era del 66%.

³ El término «forzamiento radiativo» ha sido utilizado por el IPCC con el sentido específico de una perturbación externa impuesta al balance radiativo del sistema climático de la Tierra, que puede conducir a cambios en los parámetros climáticos.

hidrosfera, criósfera, litosfera y biosfera (Gutiérrez y Pons 2006). Se clasifican indicando tanto el tipo de modelo como el grado de resolución (Llebot 2009).

Los MCG son modelos tridimensionales donde sus variables dependen de las coordenadas horizontales (latitud y longitud) y de la altura. Explícitamente intentan reproducir los sistemas de circulación en la atmósfera y en el océano que contribuyen al transporte horizontal y vertical del calor y del vapor de agua, entre otros parámetros climáticos. La resolución de la red de estos modelos se basa en celdas de entre 1° y 3° de latitud y de longitud que corresponden a una franja horizontal aproximada de 100 km a 300 km y una resolución vertical de entre 200 y 400 m (Llebot 2009).

Los resultados a escala mundial de los MCG son útiles para describir las características generales y las tendencias a gran escala del cambio climático, pero no son muy robustos a escala local o regional (generalmente entre 10 km y 20 km), para lo que se requieren Modelos Climáticos Regionales (MCR) (BID 2010).

Los MCR no son más que las versiones de los MCG desarrollados sobre un área (o dominio) limitada, en lugar para el mundo entero. Estos modelos se utilizan para abordar las limitaciones de escala horizontal del MCG, pudiéndose desarrollar con una resolución horizontal de 10 a 50 km (Oglesby y Rowe 2015). El método mediante el cual dichos modelos a escala mundial son regionalizados se conoce como *downscaling* (BID 2010).

Algunos ejemplos de estos modelos son el Weather Research and Forecasting (WRF), que es un modelo regional utilizado para la investigación y la predicción operacional⁴ y el Community Climate System Model, versión 4 (CCSM4) que es un modelo climático acoplado empleado para simular el sistema climático de la tierra. Este último está compuesto por cuatro modelos diferentes que simulan simultáneamente la atmósfera, el océano, la superficie terrestre y el hielo marino (Oglesby y Rowe 2015). Ambos modelos fueron utilizados en el estudio titulado "*Impactos climáticos para Guatemala: resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5*".

1.3.4 Incertidumbre de los modelos regionales

La simulación de escenarios regionales de cambio climático se caracteriza por la presencia de distintas fuentes de incertidumbre que afectan a todos los pasos del proceso, desde el establecimiento de escenarios de emisión, hasta los modelos globales y la simulación a escala regional. Las más relevantes según Llebot (2009):

- La representatividad de los escenarios propuestos de evolución de las emisiones.
- La falta de conocimiento completo del ciclo del carbono.
- Las herramientas, es decir, los modelos aún muestran una dispersión demasiado grande reflejando la sensibilidad de los modelos del clima a pequeños cambios en el forzamiento externo del sistema climático.

⁴ Aunque originalmente se diseñó como un modelo de pronóstico de mesoescala, el WRF se ha adaptado para su uso en el estudio del clima y se ha convertido en un modelo climático regional ampliamente utilizado y de fácil acceso para la comunidad científica internacional.

- La importancia de otros subsistemas del sistema climático, como por ejemplo los modelos de la evolución de usos del suelo.
- Las diferentes técnicas de regionalización (estadísticas y dinámicas) añaden incertidumbre a las proyecciones locales de cambio climático.
- Los modelos de impacto de las consecuencias de un determinado cambio en las condiciones ambientales sobre una determinada actividad económica también tienen una gran dosis de incertidumbre, ya que utilizan visiones fenomenológicas muchas veces poco probadas, incluso, poco desarrolladas.

1.3.5 Escenarios de cambio climático

El quinto informe de evaluación del IPCC AR5, establece cuatro nuevos escenarios de emisiones denominados Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Estos nuevos escenarios se basan en una combinación de modelos de evaluación integrados, modelos climáticos sencillos, modelos de la química atmosférica y modelos del ciclo global del carbono.

Estos modelos se caracterizan por el cálculo aproximado que hacen del forzamiento radiativo (FR) total en el año 2100 con relación con al año 1750. Comprenden como un escenario de mitigación conducente a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP 2.6); dos escenarios de estabilización (RCP 4.5 y RCP 6.0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP 8.5) como se muestra en la **Figura 1**.

	FR	Tendencia del FR	[CO ₂] en 2100
RCP2.6	2,6 W/m ²	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m ²	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m ²	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m ²	creciente	936 ppm

Figura 1. Trayectorias de Concentración Representativas (RCP)

Fuente: (IPCC 2014).

1.3.6 Adaptación al cambio climático

La adaptación se refiere a los "ajustes en el comportamiento de un sistema y las características que mejoran su capacidad para hacer frente al estrés externo, a las diferentes amenazas, a los riesgos y estímulos climáticos reales o esperados, a las oportunidades y a la misma vulnerabilidad" (Brooks 2003; Smith et al. 2000; Pielke 1998; Feenstra et al. 1998; Smit y Pilifosova 2003; Quintero et al. 2012).

Por su parte el IPCC (2012), coincide al indicar que la adaptación por sí misma es un proceso de ajustes, pero señala además que los mismos son experimentados por los sistemas humanos y naturales con el fin de moderar el daño a los efectos reales o previstos del clima, o bien, explorar beneficios u

oportunidades ante referidos efectos. También, indica que existen en el contexto del cambio climático, tres tipos de adaptación: la preventiva y reactiva, la privada y pública, y la autónoma y planificada.

Con respecto a los objetivos que persigue la adaptación según Debels *et al.* (2009), establecen que estos pueden resumirse en tres: 1) reducir la sensibilidad del sistema al cambio climático, 2) reducir la exposición del sistema al cambio climático y 3) aumentar la resiliencia del sistema para enfrentar los cambios.

1.3.7 Anomalías climáticas

El término describe la desviación del clima desde el punto de vista estadístico, es decir, la diferencia entre el valor del elemento climático registrado (en un periodo de tiempo determinado, por ejemplo un mes), con respecto a su valor medio histórico (IDEAM 2005).

1.3.8 Normal climatológica o clima normal

En climatología se utiliza los valores promedios para definir y comparar el clima. La normal climática es una medida utilizada con este propósito y representa el valor promedio de una serie continua de observaciones de una variable climatológica, durante un periodo de por lo menos 30 años. Para fines prácticos, se ha establecido por acuerdos internacionales periodos de 30 años a partir de 1901 (IDEAM 2005).

1.4 Principales resultados

Los resultados muestran que la temperatura media anual de la cuenca del río Acomé, con base en la media anual registrada para el periodo de 1950-2000, se ha incrementado en 0.8°C. La precipitación por su parte, ha experimentado para el mismo periodo una disminución del 2.73%. Con respecto a las proyecciones futuras, la cuenca presentará incrementos en la temperatura media anual para el año 2030 mayores a 1.5°C. Así como incrementos en la precipitación de 0.30%. Para el año 2050 se esperan incrementos en la temperatura media anual mayores a 2°C y pérdidas en la precipitación de 0.36%.

Se estima que estas variaciones de temperatura y precipitación producirán cambios en el régimen hídrico de la cuenca, y esto a su vez, tendrá impactos en el cultivo de la caña de azúcar, principalmente es sus etapas de iniciación, macollamiento y elongación, mismos que coinciden con la época seca, donde la demanda de riego es alta y la cuenca en general presenta déficit hídrico. El **Cuadro 1** resume las proyecciones y anomalías de temperatura y precipitación media estimadas para el año 2030 y 2050, bajo escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 en la cuenca del río Acomé.

Cuadro 1. Anomalías climáticas de temperatura y precipitación

Año proyectado	Escenario	Modelo	Base de datos	Temperatura media (°C)	Rango de anomalías (°C)	Anomalía media (°C)
2030	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	28.22	De 0.82 a 1.91	1.31
2030	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	28.54	De 1.24 a 2.22	1.63
2050	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	28.63	De 1.40 a 2.37	1.72
2050	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	29.28	De 1.90 a 2.99	2.37
2050	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	WorldClim	28.94	De 1.59 a 2.55	2.03
2050	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	WorldClim	29.5	De 2.15 a 3.13	2.59
Año proyectado	Escenario	Modelo	Base de datos	Precipitación media (mm)	Rango de anomalías (mm)	Anomalía media (mm)
2030	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	1930.05	De -24.10 a 45.05	0.44
2030	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	1914.61	De -24.76 a 43.35	-0.36
2050	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	1882.83	De -26.65 a 41.27	-2.12
2050	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	1890.11	De -26.38 a 41.41	-1.7
2050	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	WorldClim	1837.67	De -26.49 a 38.02	-4.13
2050	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	WorldClim	1661.255	De -33.96 a 24.27	-13.34

Para la identificación de las medidas de adaptación se llevaron a cabo talleres con los principales actores de la cuenca, quienes identificaron y generaron un listado de 64 medidas de adaptación, clasificadas en 9 categorías distintas. La **Figura 2** muestra el número de medidas de adaptación identificadas según categoría de clasificación.

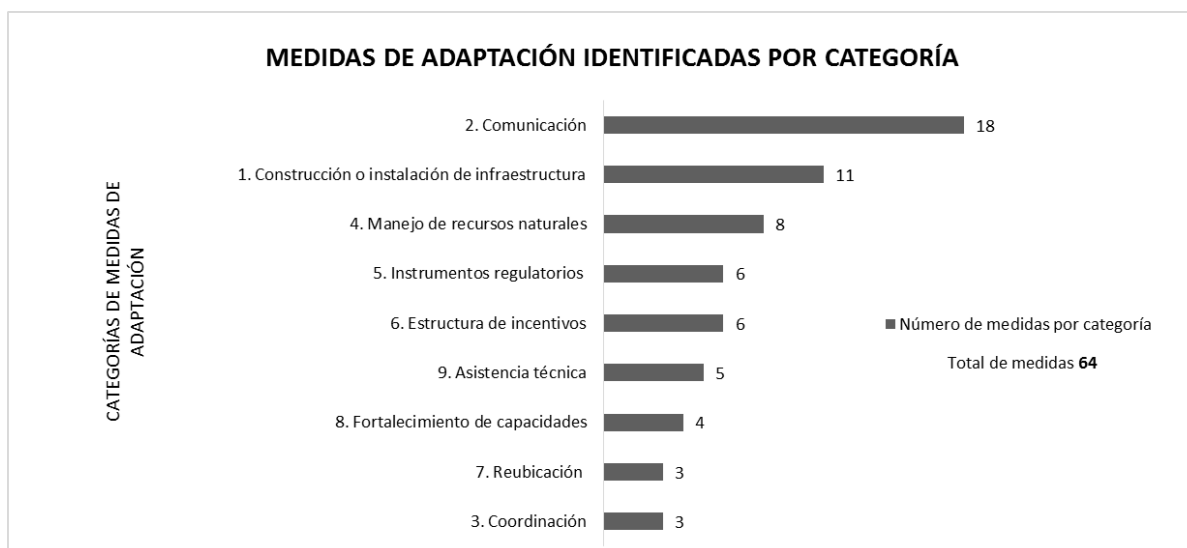


Figura 2. Medidas de adaptación identificadas según categoría de clasificación

La priorización se realizó por categoría, según promedio ponderado de las frecuencias obtenidas en la encuesta realizada a los actores de la cuenca, donde las medidas de adaptación que obtuvieron los promedios más altos, representan las medidas más importantes y urgentes de implementar al corto mediano y largo plazo.

Con respecto a la propuesta de componente de adaptación al cambio climático, se plantea integrar las 64 medidas de adaptación identificadas y priorizadas por los actores de la cuenca, en cinco programas principales. El objetivo del establecimiento de componentes es la definición específica de intervención mediante soluciones consistentes y adecuadas al funcionamiento de la cuenca y la interacción social, económica, biofísica y ambiental. Estas soluciones están constituidas por los proyectos como elementos integradores de cada programa. Los proyectos pueden ser las propias medidas de adaptación priorizadas o bien una combinación e integración de las mismas. La **Figura 3** presenta los elementos que dan origen y conforman el componente de adaptación al cambio climático.

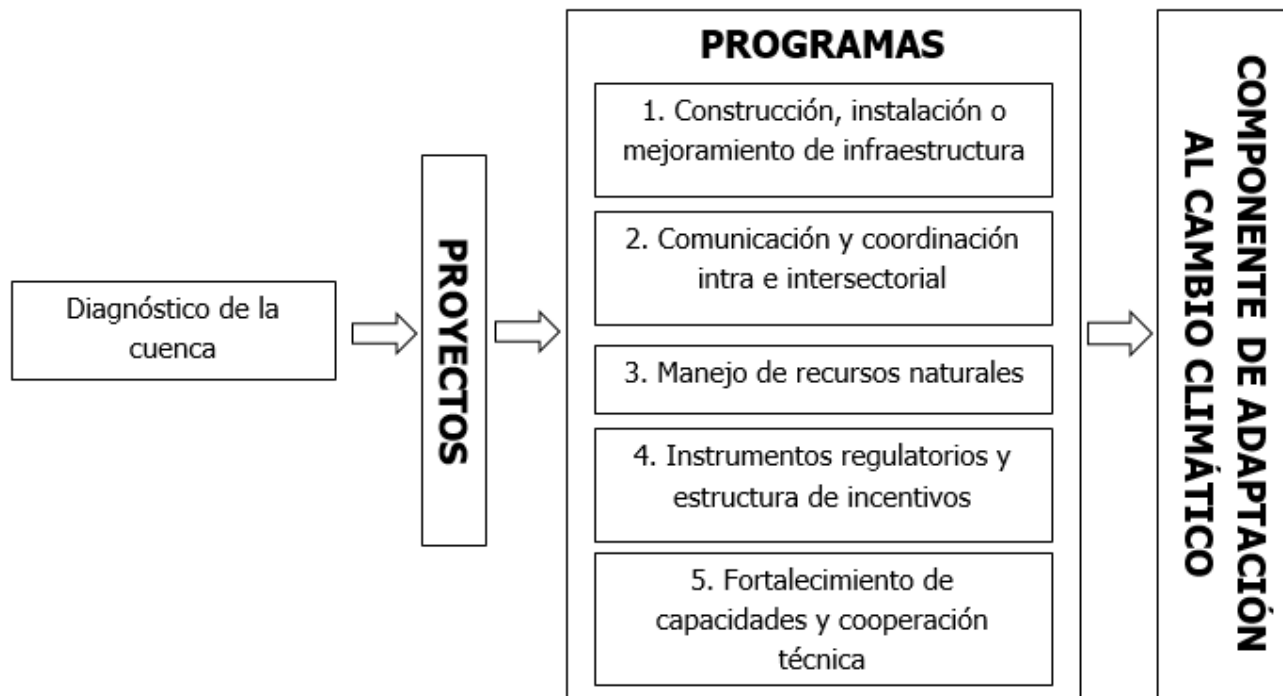


Figura 3. Estructura del componente de adaptación al cambio climático

1.5 Principales conclusiones

En comparación con el periodo de 1950-2000 la temperatura media anual de la cuenca se ha incrementado en 0.8°C y la precipitación ha disminuido 2.73%. Bajo escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 se prevé para el año 2030 un incremento de la temperatura media de 1.31 y 1.63°C, respectivamente. Para el año 2050 el incremento de temperatura media bajo las mismas condiciones sería de 1.72 a más de 2.30°C. La precipitación, presentaría incrementos de 0.44% para el año 2030 bajo un escenario RCP de 4.5, y una disminución de 0.36% para un escenario RCP de 8.5. Para el año 2050 se espera pérdidas de precipitación de 2.12% para un escenario RCP de 4.5 y de hasta 13.34% un escenario RCP de 8.5.

Los cambios en la temperatura y la precipitación tendrían lugar principalmente en la parte alta de cuenca, correspondiente al estrato alto, con incrementos de temperatura entre 1 y 1.5°C para el 2030 bajo un escenario RCP 4.5 y más de 2°C para un escenario de 8.5, así como disminuciones fuertes en la precipitación (entre 21% para para el 2030 bajo un escenario RCP 4.5 y de 24% para un escenario de 8.5). Para el año 2050 las condiciones tienen a intensificarse siguiendo la misma tendencia. Los estratos bajo y litoral presentarían incrementos en la temperatura, pero serán menores que en el estrato alto. Lo que está relacionado con el efecto regulador del océano sobre las áreas más cercanas a la costa y la circulación del viento.

Las variaciones de temperatura y precipitación afectarían el régimen hídrico de la cuenca, y este a su vez, tendría impactos en el cultivo de la caña de azúcar, principalmente es sus etapas de iniciación, macollamiento y elongación, mismas que coinciden con la época seca, donde la demanda de agua para riego es alta y la cuenca en general presenta déficit hídrico. Sin embargo, estos factores climáticos no serán los únicos que causen cambios en el régimen hídrico de la cuenca, pues resultan igual de importantes en este proceso, el cambio de uso del suelo, la demanda y el uso mismo del recurso.

La cuenca del río Acomé requiere de intervenciones individuales y colectivas. Medidas y acciones a nivel de cuenca que garanticen el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, principalmente del suelo y agua. Las medidas de adaptación al cambio climático priorizadas con los valores más altos en cada una de las categorías, son el reflejo de aquellas medidas que según los actores, son las más importantes y urgentes de implementar en la cuenca. Las medidas de adaptación priorizadas deberán de implementarse en principio, en aquellas zonas donde los cambios climáticos presentarán cambios más pronunciados.

La integración de las medidas de adaptación en proyectos y estos a su vez en programas, constituyen la base a través de la cual se puede planificar e implementar una adaptación oportuna en la cuenca del río Acomé. No existen al momento estudios de adaptación al cambio climático en la cuenca, por lo que la lista de medidas de adaptación identificadas y priorizadas por los actores de la misma, constituye un punto de partida importante para planificar, coordinar e implementar acciones que incrementen la capacidad de adaptación en la cuenca.

1.6 Literatura citada

Aguilar, E; Peterson, T; Obando, PR; Frutos, R; Retana, J; Solera, M; Soley, J; García, IG; Araujo, R; Santos, AR. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012) 110D23: Bahamondes, R. s.f. Manejo de cuencas hidrográficas. Chile, 14 p.

BID (Banco Interamericano de Desarrollo). 2010. La ciencia del cambio climático. Manual práctico para tomadores de decisiones en Mesoamérica. Washington, D.C., 32 p.

BM (Banco Mundial). 2010. Informe sobre el desarrollo mundial 2010. Desarrollo y cambio climático; panorama general, un nuevo clima para el desarrollo. Washington DC, 60 p.

Brooks, N. 2003. Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework. Tyndall Centre for Climate Change Research Working Paper 38:1-20.

CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2015. Acuerdo de París. París, Francia, 40 p.

Corrales, L. 2010. Informe Final. Efectos del Cambio Climático para Centroamérica. 55 p.

Dazé, A; Ambrose, K; Ehrhart, C. 2010. Manual para el análisis de capacidad y vulnerabilidad climática. Perú, CARE Perú. 52 p.

Debels, P; Szlafsztein, C; Aldunce, P; Neri, C; Carvajal, Y; Quintero-Angel, M; Celis, A; Bezanilla, A; Martínez, D. 2009. IUPA: a tool for the evaluation of the general usefulness of practices for adaptation to climate change and variability. *Natural hazards* 502:211-233.

EIRD (Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres). 2008. El cambio climático y la reducción del riesgo de desastres. Ginebra, Naciones Unidas. 14 p.

Feenstra, JF; Burton, I; Smith, JB; Tol, RS. 1998. Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies. UNEP. 464 p.

Gutiérrez, JM; Pons, MR. 2006. Modelización numérica del cambio climático: bases científicas, incertidumbres y proyecciones para la Península Ibérica. *Revista de Cuaternario y Geomorfología* 20 (3-4):15-28.

Hidalgo, HG; Amador, JA; Alfaro, EJ; Quesada, B. 2013. Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology* 495:94-112.

ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático). 2012. Diagnóstico de la cuenca del río Acomé. Escuintla, Guatemala, 30 p.

IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, Colombia). 2005. Atlas Climatológico de Colombia. Parte I, aspectos nacionales. Bogotá, Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 18 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Por: Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge University Press, 582 p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). 1997. Resumen para responsables de políticas. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad. Informe especial del Grupo de trabajo II del IPCC. 27 p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Ginebra, Suiza. 114 p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 151 p.

Landa, R; Ávila, B; Hernández, M. 2010. Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe. México, British Council, PNUD México, Cátedra UNESCO-IMTA, FLACSO México. 140 p.

Lavell, A. 2013. La adaptación al cambio climático y la gestión del riesgo: reflexiones e implicancias. Lima, Perú., Proyecto Inversión Pública y Adaptación al Cambio Climático-GIZ / Flacso. 24 p.

Llebot, JE. 2009. Un breve relato sobre cómo podemos saber si cambia el clima. Revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra 17.2:128-140.

Mapplecroft. 2014. Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe. Ed. Caf (Banco De Desarrollo De América Latina).

Mora, J; Ramírez, D; Ordaz, J; Acosta, A; Serna, B. 2010. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA. México, 75 p.

Oglesby, R; Rowe, C. 2015. Impactos climáticos para Guatemala: Resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5. Guatemala, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 40 p.

Pielke, RA. 1998. Rethinking the role of adaptation in climate policy. Global Environmental Change 82:159-170.

Quintero, AM; Carvajal Escobar, Y; Aldunce, P. 2012. Adaptación a la variabilidad y el cambio climático; intersecciones con la gestión del riesgo. Revista luna azul 34:257-271.

Smit, B; Pilifosova, O. 2003. Adaptation to climate change in the context of sustainable development and equity. Sustainable Development 89:9.

Smith, B; Burton, I; Klein, RJ; Wandel, J. 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability. Climatic change 45:223-251.

CAPÍTULO II

ARTÍCULO I

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RÉGIMEN HÍDRICO Y EL SECTOR AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ, GUATEMALA, CON ÉNFASIS EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR (*SACCHARUM OFFICINARUM*)

RESUMEN

El estudio se realizó en la cuenca del río Acomé, Guatemala, con el objetivo de determinar los efectos potenciales del cambio climático sobre el régimen hídrico y el sector agrícola de la cuenca, principalmente en la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), por ser el principal cultivo en la zona, ya que ocupa 83% del área total de la cuenca. Se realizaron dos tipos de análisis, temporal y espacial. El análisis temporal consideró la elaboración de climogramas, a través de los cuales fue posible analizar el comportamiento y la distribución mensual de la temperatura y la precipitación en la cuenca, tanto para la época seca como lluviosa. El análisis espacial, comprendió la elaboración de mapas de temperatura y precipitación actual, bajo los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5, para los años 2030 y 2050, así como la determinación de las respectivas anomalías climáticas. Los resultados muestran que la temperatura media anual de la cuenca del río Acomé, con base en la media anual registrada para el periodo de 1950-2000, se ha incrementado en 0.8°C. La precipitación se ha reducido 2.73%. Con respecto a las proyecciones futuras, la cuenca presentaría incrementos en la temperatura media anual para el año 2030 mayores a 1.5°C, así como incrementos en la precipitación de 0.30%, para el año 2050 se espera incrementos en la temperatura media anual mayores a 2°C y disminución de la precipitación de 0.36%. Estas variaciones de temperatura y precipitación producirían cambios en el régimen hídrico de la cuenca, y este a su vez, tendría impactos en el cultivo de la caña de azúcar, principalmente es sus etapas de iniciación, macollamiento y elongación, mismas que coinciden con la época seca, donde la demanda de agua para riego es alta y la cuenca en general presenta déficit hídrico. La comprensión de los cambios y ubicarlos espacialmente permitirán la planificación e implementación de medidas de adaptación.

Palabras clave: precipitación, temperatura, análisis temporal, análisis espacial, escenarios de cambio climático.

1. Introducción

El cambio climático provoca cambios en la frecuencia, intensidad, extensión espacial y duración de los fenómenos climáticos, y puede dar lugar a extremos sin precedentes, a través de desastres de lento desarrollo (sequías consecutivas) y eventos extremos (fuertes inundaciones) (CDKN 2012). De acuerdo con Corrales (2010), en Centroamérica el promedio de temperatura anual ha aumentado en aproximadamente 1°C desde 1900. El aumento de días y noches cálidas se incrementaron en un 2.5% y un 1.7% por década, mientras que las noches y días fríos han disminuido 2.2% y 2.4% respectivamente. Los extremos de temperatura muestran aumento de entre 0.2°C y 0.3°C por década.

Los índices de precipitación, a pesar de la gran variabilidad espacial, indican que aunque no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación, sí se ha observado una intensificación de las mismas. Esto indica que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un periodo de tiempo más corto (Aguilar *et al.* 2005).

Resultados del clima proyectado en el período 2050-2099 mostraron, para Centroamérica reducciones significativas en la mediana de la precipitación de hasta 10.5%, así como incrementos de temperatura de 3°C durante el periodo comprendido entre los años 2050 y 2099 para la región Norte y hasta 4°C para la región Sur de Centroamérica (Hidalgo *et al.* 2013). Estudios realizados por Oglesby y Rowe (2015), presentan también evidencia al respecto para Guatemala, con un calentamiento entre el presente y la década de 2060 que va desde menos de 1°C a más de 3°C. Muchos de estos eventos tendrían impactos directos en los sistemas agrícolas ahora y en el futuro (CDKN 2012), la infraestructura productiva, la disponibilidad y la calidad del agua.

El sector agrícola está entre los sectores más vulnerables a los efectos del cambio climático y los extremos meteorológicos, debido principalmente a su dependencia de los recursos naturales como el agua y los servicios ecosistémicos. El abastecimiento de agua para la actividad agrícola será fundamental para sostener la producción (CDKN 2012).

El cambio climático afecta la rapidez de recarga de las aguas subterráneas y al espesor de las masas freáticas (IPCC 2008), lo que perjudica también la disponibilidad del agua proveniente de fuentes superficiales o pozos poco profundos. El aumento de las temperaturas y de la variabilidad de la precipitación generarían en conjunto una mayor demanda de agua de riego (IPCC 2008), lo que resultaría en una mayor presión sobre el recurso hídrico.

Estos cambios en el clima, principalmente en la precipitación y la temperatura, toman relevancia en un territorio como la cuenca del río Acomé, donde de acuerdo con el ICC (2012), el 83% (equivalentes a 739.53 km²) está siendo ocupada para el cultivo de la caña de azúcar. Siendo para el sector en general, los ríos con el 63%, las norias con el 15%, los pozos profundos con el 11%, los pozos artesanales con el 1% y las aguas residuales con el 10% las principales fuentes de agua para la actividad del riego en la zona (CENGICANÍA 2012).

Mediante el análisis temporal y espacial de datos meteorológicos, la elaboración de escenarios de cambio climático y la determinación de anomalías para las variables de precipitación y temperatura, el presente estudio pretende dar respuesta a tres preguntas principales; 1) ¿Cuáles son los cambios (actuales y bajo escenarios de cambio climático) de la precipitación y la temperatura en la cuenca? 2) ¿Dónde se encuentran ubicados espacialmente esos cambios? y 3) ¿Cuáles son los efectos del cambio climático sobre el recurso hídrico y el cultivo de la caña de azúcar?, por ser la actividad productiva que representa la principal fuente de trabajo en la zona, y que es sensible a los cambios del clima, y en particular, a la magnitud y rapidez del cambio climático (IPCC 1997).

2. Metodología

La metodología consta de tres etapas. La primera corresponde a la revisión de literatura, recolección y conformación de la base de datos. La segunda considera el análisis temporal y espacial de los datos. La tercera está orientada a la revisión de literatura e identificación de señales (actuales y futuras) de cambio climático. La **Figura 4** resume la metodología empleada para alcanzar el objetivo planteado.

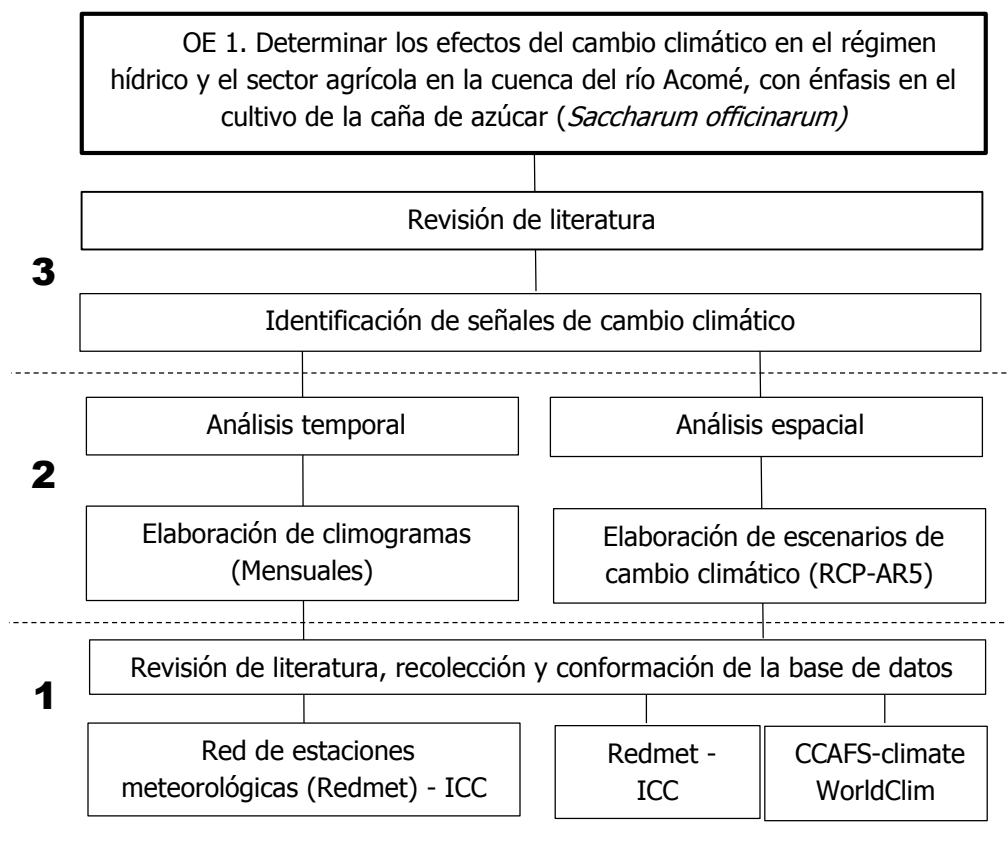


Figura 4. Esquema metodológico utilizado para desarrollar el estudio

2.1 Etapa 1. Revisión de literatura, recolección y conformación de la base de datos

La revisión de literatura se realizó con el objetivo de conocer el estado actual de la cuenca, los diferentes estudios que se han realizado en la zona y poder identificar las fuentes de datos meteorológicos disponibles. Para la recolección de los datos se contó con registros diarios de tres estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la cuenca del río Acomé (El Bálsamo, Tehuantepec y Bouganvillia), y cinco estaciones meteorológicas ubicadas alrededor de la misma (Cengicaña, Costa Brava, Trinidad San Diego, Bonanza y San Antonio El Valle⁵). En la **Figura 5** se describe el detalle de las estaciones meteorológicas utilizadas, así como su ubicación y distribución espacial dentro y fuera de la cuenca.

Los datos se obtuvieron de la red de estaciones meteorológicas (Redmet) del ICC⁶, descargándolos directamente del Sistema de Información Meteorológica de la Agroindustria Azucarera de Guatemala (SIM). Con base en la información climática recolectada en el SIM se conformó la respectiva base de datos.

ESTACIÓN	ESTRATO*	F_INICIO	ALTITUD**	LONGITUD	LATITUD	UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES
Cengicaña CEN-CEN	Alto	19/11/1997	297	-91.055468	14.330962	
El Bálsamo PAN-BAL	Medio	13/02/2002	280	-91.003744	14.281468	
Costa Brava SDT-CBR	Medio	16/10/2008	151	-90.920738	14.237773	
Tehuantepec LUT-TEH	Bajo	4/3/1998	67	-91.103443	14.168625	
Trinidad San Diego SDT-TRI	Bajo	1/6/2003	71	-90.844006	14.153762	
Bouganvillia MAG-BOU	Bajo	14/02/2004	54	-90.933352	14.11769	
Bonanza LUT-BON	Litoral	23/10/2003	29	-91.187235	14.078341	
San Antonio El Valle MAG-SAV	Litoral	27/02/2002	10	-91.200961	13.995364	

*Estrato Alto: >300 msnm, Medio: 100-300 msnm, Bajo: 40-100 msnm, Litoral: 0-40 msnm / ** msnm

Figura 5. Descripción y distribución espacial de las estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio

El **Cuadro 2** muestra el periodo de estudio utilizado por estación, así como los registros diarios disponibles y el porcentaje de completación de los mismos, según tipo de variable climática.

⁵ Ubicadas alrededor de la cuenca a ≤ 10 km del límite de la misma.

⁶ La Redmet del ICC cuenta al año 2015 con 21 estaciones automáticas localizadas en la vertiente del Pacífico. Las mismas registran información cada 15 minutos de precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad de la hoja, velocidad y dirección del viento. Para la consulta y descarga de los datos es necesario crear un usuario y registrarse en el sistema a través del siguiente enlace: <http://redmet.icc.org.gt/login>

Cuadro 2. Porcentaje de completación de los datos según estación meteorológica

ESTACIÓN	PERIODO DE ESTUDIO Y TOTAL DE REGISTROS DIARIOS	NUMERO DE REGISTROS DIARIOS DISPONIBLES Y PORCENTAJE DE COMPLETACIÓN POR TIPO DE VARIABLE CLIMÁTICA			
		TEMP. MÍNIMA	TMP. MÁXIMA	TMP. MEDIA	PRECIPITACIÓN
Cengicaña CEN-CEN	01/01/1999 – 31/12/ 2014 5,844 = 100%	5,636 96.44%	5,636 96.44%	5,636 96.44%	5,750 98.39%
El Bálsamo PAN-BAL	13/02/2002 – 31/12/ 2014 4,662 = 100%	4,566 97.94%	4,566 97.94%	4,566 97.94%	4,384 94.04%
Costa Brava SDT-CBR	16/10/2008 – 31/12/ 2014 2,268 = 100%	2,268 100%	2,268 100%	2,268 100%	2,268 100%
Tehuantepec LUT-TEH	01/01/1999 – 31/12/ 2014 5,844 = 100%	5355 91.63%	5355 91.63%	5355 91.63%	5745 98.31%
Trinidad San Diego SDT-TRI	01/06/2003 – 31/12/ 2014 4,231 = 100%	4042 95.53%	4042 95.53%	4042 95.53%	4135 97.73%
Bouganvilia MAG-BOU	14/02/2004 – 31/12/ 2014 3,974 = 100%	3666 90.59%	3666 90.59%	3666 90.59%	3785 95.24%
Bonanza LUT-BON	23/10/2003 – 31/12/ 2014 4,088 = 100%	3994 97.70%	3994 97.70%	3994 97.70%	3993 97.68%
San Antonio El Valle MAG-SAV	27/02/2002 – 31/12/ 2014 4,691 = 100%	4549 96.97%	4549 96.97%	4549 96.97%	4597 98.00%

2.2 Etapa 2. Análisis temporal y espacial de los datos

Para el análisis temporal de los datos se realizaron los correspondientes climogramas mensuales. En ellos se identificaron cambios y tendencias de la precipitación y la temperatura. Los climogramas fueron elaborados con promedios mensuales, para cada estación meteorológica según registros diarios disponibles. Así mismo, se analizó el comportamiento y la distribución de la precipitación para la época seca, por coincidir con la mayor demanda de agua para riego y con las etapas fenológicas más sensibles de caña de azúcar. Para el efecto se elaboraron gráficas de precipitación.

El análisis espacial consistió en describir y analizar el clima futuro, a través de la elaboración de mapas de precipitación y temperatura actual y bajo escenarios de cambio climático, así como la determinación de anomalías climáticas. Para el efecto se hizo uso de las plataformas CCAFS-Climate y WorldClim.

En la plataforma CCAFS-Climate se descargaron para las variables de precipitación y temperatura, escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 para los años 2030 y 2050, utilizando el Community Climate System Model, versión 4 (CCSM4), que es un modelo climático acoplado utilizado para simular el sistema climático de la tierra (Oglesby y Rowe 2015), desarrollado por el National Center for Atmospheric Research (NCAR).

Si bien el objetivo de la investigación no es comparar plataformas de descarga de datos futuros, se consideró oportuno elaborar también escenarios de cambio climático haciendo uso de la plataforma WorldClim, de la cual se descargaron los escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 para el año 2050

(como promedio para el periodo comprendido entre los años de 2041-2060). El formato de archivo es GeoTIFF.

Ambas plataformas presentan datos de escala reducida y en las dos se consideró al descargar los mismos una resolución de 30 segundos. A través de la implementación de ArcMap 10.1 se trabajaron los escenarios de cambio climático y se elaboraron los mapas correspondientes. Para el mapa de temperatura media histórica se consideró el efecto de inversión térmica⁷. Las fórmulas empleadas para la determinación de las anomalías fueron las siguientes:

Para anomalías de temperatura:

$$AT = TF - TA$$

Donde;

AT = Anomalías de temperatura en °C

TF = Temperatura futura bajo escenarios de cambio climático

TH = Temperatura actual

Para anomalías de precipitación en porcentaje:

$$AP (\%) = \left[\frac{PF - PA}{PA} \right] * 100$$

Donde;

AP (%) = Anomalías de precipitación en porcentaje

PF = Precipitación futura bajo escenarios de cambio climático

PH = Precipitación actual

2.3 Etapa 3. Identificación de señales de cambio climático y revisión de literatura

Una vez generados los climogramas y elaborados los escenarios de cambio climático, se procedió a realizar el análisis correspondiente, con el objetivo de identificar cambios y/o tendencias en el comportamiento y distribución de los datos, relacionándolos con etapas fenológicas del cultivo de la caña de azúcar.

⁷ Una inversión térmica corresponde a una correlación inversa entre la altitud y la temperatura. Se da cuando al aumentar una de las variables (altitud) la otra disminuye (temperatura).

3. Resultados y discusión

Análisis temporal de los datos

El comportamiento y distribución anual de las precipitaciones (régimen pluviométrico) en la cuenca del río Acomé es de tipo regular o constante, característico de los climas de la zona ecuatorial, con lluvias abundantes y bien repartidas durante el año. La precipitación media actual oscila entre 1281 mm y 3339 mm, con una media de 1944 mm, lo que representa una disminución de 2.73% si se compara con los registros de precipitación media obtenidos para el periodo de 1950-2000⁸ (Hijmans *et al.* 2005).

La distribución de la precipitación en la cuenca del río Acomé es muy marcada para cada época del año. En la época seca, por ejemplo, comprendida entre los meses de noviembre a abril, se presenta por lo general, una disminución considerable de la precipitación, siendo mucho más evidente en los meses de diciembre y enero (principalmente para los estratos bajo y litoral). En la época lluviosa por el contrario, comprendida entre los meses de mayo y octubre, se presentan meses muy húmedos, principalmente en los estratos alto y medio de la cuenca, siendo junio y septiembre los meses que presentan mayores incrementos en la precipitación. Sin embargo, en octubre y agosto también ocurren incrementos considerables en la precipitación. El mes de julio, por el contrario, presenta en todos los estratos una disminución de la precipitación, atribuida a la canícula o veranillo de San Juan. Todos estos cambios y variaciones se pueden observar en la **Figura 6**, donde se muestra el comportamiento y distribución de la precipitación para cada mes y época del año.

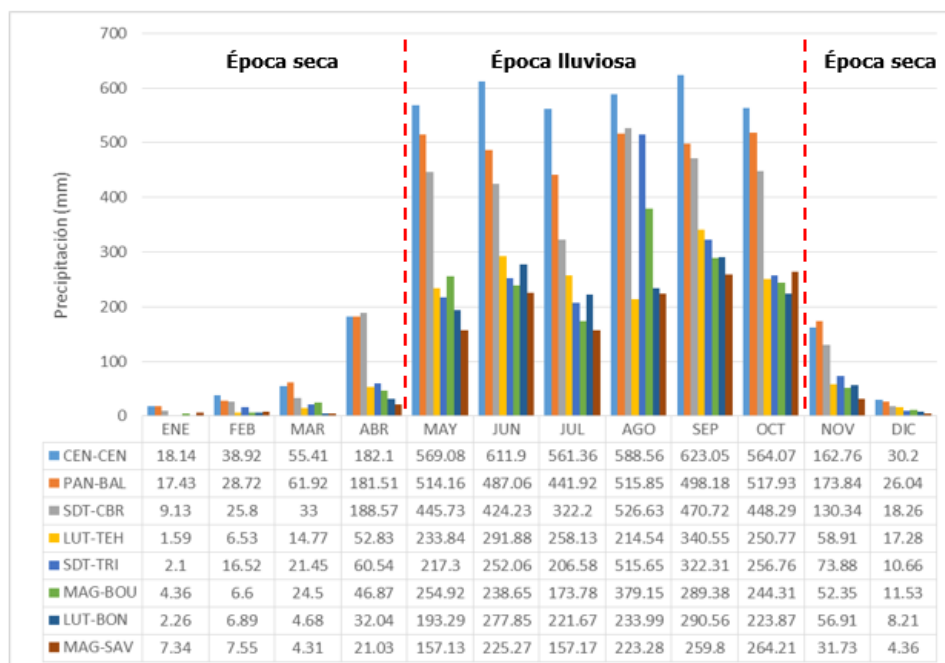


Figura 6. Comportamiento y distribución de la precipitación mensual

⁸ La precipitación media para el periodo de 1950-2000 es de 1998.31mm.

Estas observaciones coinciden con las descritas por Magaña *et al.* (1999), quienes describen que en el litoral del océano Pacífico, el patrón anual de precipitaciones se caracteriza por la presencia de una estación seca que va de noviembre a abril o mayo, y una estación lluviosa que dura el resto del año (mayo/junio a noviembre), con los máximos de precipitaciones observados durante el mes de junio, y luego durante los meses de septiembre y octubre. El fortalecimiento de los vientos alisios durante el mes de julio, que normalmente produce un máximo de precipitaciones en el litoral del Caribe y Sur de México, resulta en un período seco denominado canícula o veranillo en el litoral del Pacífico.

El ciclo anual de precipitación en la zona Sur de México y América Central presenta una distribución bimodal con máximas durante el mes de junio y los meses septiembre - octubre, y una reducción relativa durante los meses de julio y agosto. El inicio de la estación lluviosa en el litoral del Pacífico de América Central ocurre alrededor del mes de mayo, y está asociado a una actividad máxima de conectividad en la región al Norte del Ecuador, específicamente en la región este del océano Pacífico, cuando la temperatura de la superficie del mar alcanza alrededor de 29°C. Luego a mediados de año, la temperatura superficial de la región este del océano Pacífico disminuye alrededor de 1°C debido a la reducción de la radiación solar y a la aceleración de los vientos alisios (CCAD;SICA 2010).

Esta reducción de la temperatura de 29 a 28°C resulta también en una reducción de la actividad convectiva, dando lugar a la canícula o veranillo entre los meses de julio y agosto. A finales de agosto nuevamente se incrementa la actividad convectiva por la disminución de la velocidad de los vientos alisios y la mayor frecuencia de los vientos monzónicos, alcanzando un máximo de la temperatura superficial (alrededor de 28.5 °C) en la región este del océano Pacífico. Este incremento de temperatura incrementa también la actividad convectiva y las precipitaciones alcanzan su máximo en los meses de septiembre y octubre (CCAD;SICA 2010).

Este comportamiento de variación estacional de los vientos y las temperaturas del mar son los fenómenos que mejor explican la bimodalidad del patrón de precipitaciones en la región (CCAD;SICA 2010), pudiéndose observar claramente los cambios y las variaciones para cada mes en las **Figuras 6 y 7**, correspondientes al comportamiento de la precipitación y la temperatura, respectivamente, en la cuenca.

Con respecto a la temperatura media actual de la cuenca, esta oscila entre 24.46°C y 27.27°C con una media de 26.91°C, lo que representa un incremento de 0.8°C, si lo comparamos con los registros de temperatura media obtenidos para el periodo de 1950-2000 (Hijmans *et al.* 2005). Estos cambios son comparables también con los incrementos de la temperatura mundial en superficie entre 1906 y 2005, cuya tendencia apunta a un calentamiento de 0.74°C, acentuado principalmente en los últimos 50 años (IPCC 2008).

De acuerdo con el IPCC (2014), los datos de temperatura de la superficie terrestre y oceánica, combinados y promediados globalmente, calculados a partir de una tendencia lineal, muestran un

calentamiento de 0.85 (0.65 a 1.06) °C⁹ durante el período 1880-2012, siendo el incremento total entre el promedio del período 1850-1900 y el período 2003-2012 de 0.78°C.

En Centroamérica de acuerdo con Corrales (2010), el promedio de temperatura anual ha aumentado en aproximadamente 1°C desde 1900. A nivel global, desde 1950, han ocurrido cambios sin precedentes en los últimos decenios a milenios, siendo sucesivamente cada uno de los últimos tres decenios más cálidos que la superficie de la Tierra que cualquier decenio anterior desde 1850 (IPCC 2014). Se han registrado incrementos de 0.2 y 0.3°C por década, en temperaturas máximas y mínimas para un periodo de 40 años comprendido entre 1961 y 2003 (Aguilar *et al.* 2005).

Con respecto al comportamiento de la temperatura media anual en la cuenca, es el mes de abril donde se presenta los mayores incrementos, alcanzando valores mayores a los 27.5°C para los estratos alto y medio, y mayores a 28.5°C para los estratos bajo y litoral. Por el contrario, para el mes de junio, se presenta un descenso en la temperatura media anual, que puede estar atribuido a los incrementos de precipitación que experimenta este mes durante la época lluviosa, generando condiciones altas de humedad relativa.

El mes de julio también experimenta pequeños picos de incremento, atribuidos principalmente a la canícula o veranillo de San Juan. Posterior a este periodo la temperatura comienza a descender, principalmente por el incremento de la precipitación que se da en los meses de agosto, septiembre y octubre, llegando a las temperaturas más bajas del año en el mes de diciembre. Estos cambios y variaciones se pueden observar en la **Figura 7**, donde se muestra el comportamiento y distribución de la temperatura media para cada mes y época del año.

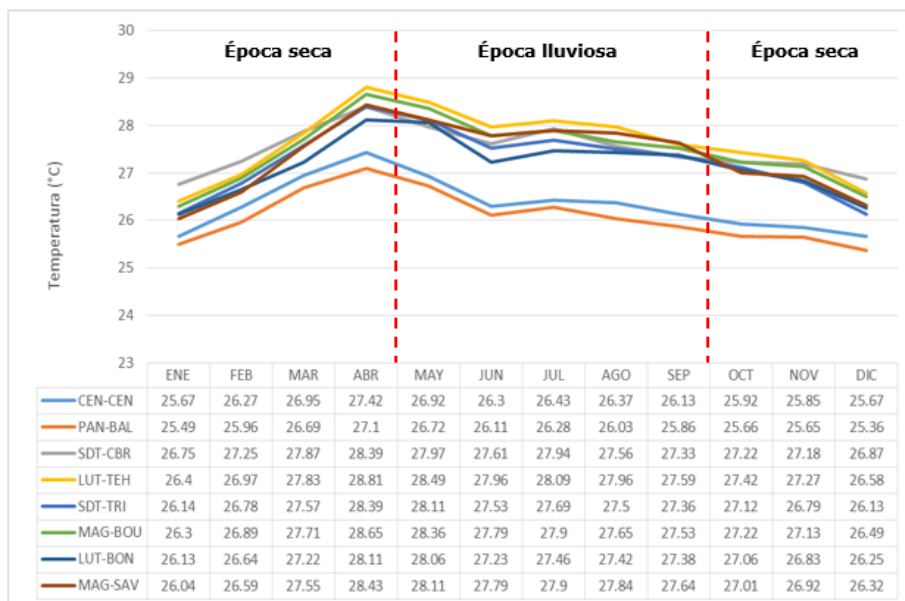


Figura 7. Comportamiento y distribución de la temperatura media mensual

⁹ En el AR5 la incertidumbre se mide utilizando intervalos de incertidumbre del 90% (valores en paréntesis). Estos intervalos de incertidumbre del 90%, expresados entre corchetes, tienen previsiblemente un 90% de probabilidad de abarcar el valor estimado. Siendo no necesariamente simétricos en torno a la mejor estimación correspondiente.

En los climogramas de las **Figuras 8-15** se puede observar el comportamiento de la precipitación y la temperatura para cada estación meteorológica, según el estrato altitudinal en el que se ubican:

ESTRATO ALTO >300 msnm

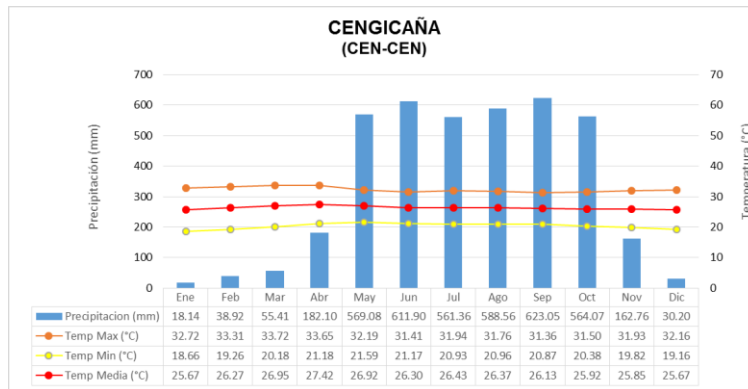


Figura 8. Climograma para la estación Cengicaña (CEN-CEN)

ESTRATO MEDIO DE 100-300 msnm

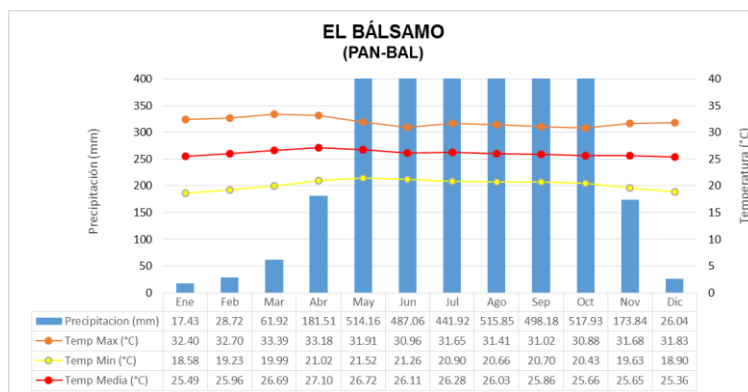


Figura 9. Climograma para la estación El Bálamo (PAN-BAL)

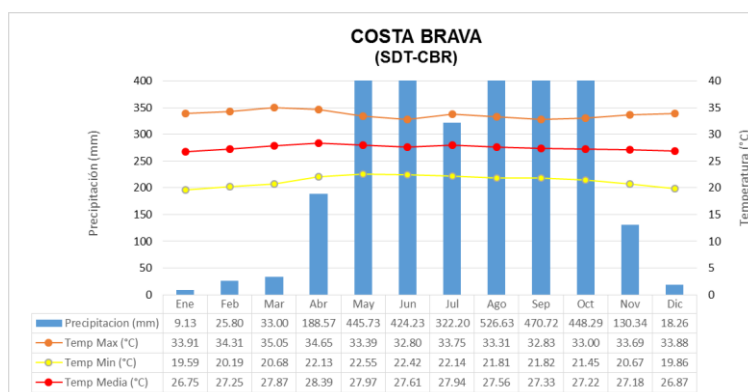


Figura 10. Climograma para la estación Costa Brava (SDT-CBR)

ESTRATO BAJO DE 40-100 msnm

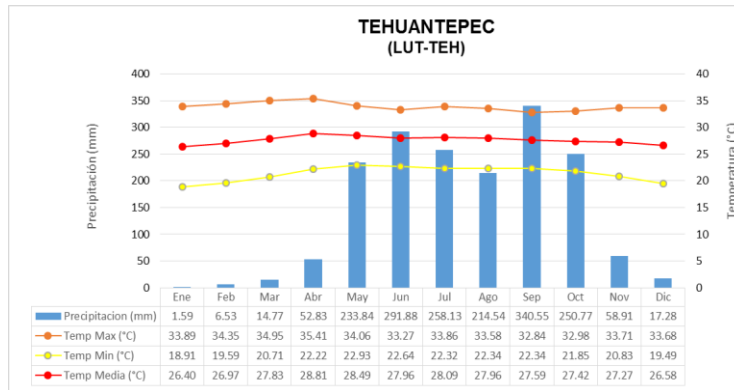


Figura 11. Climograma para la estación Tehuantepec (LUT-TEH)

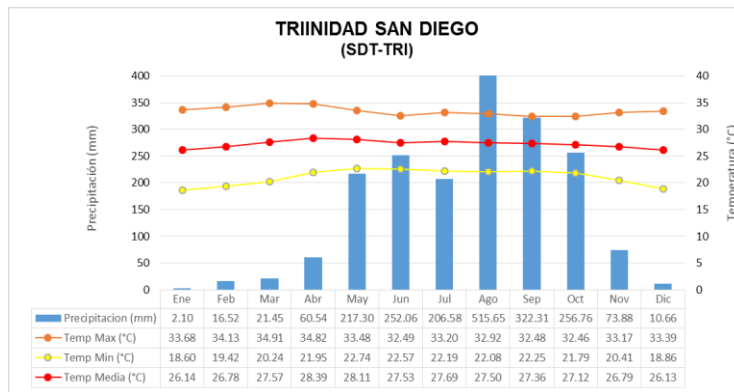


Figura 12. Climograma para la estación Trinidad San Diego (SDT-TRI)

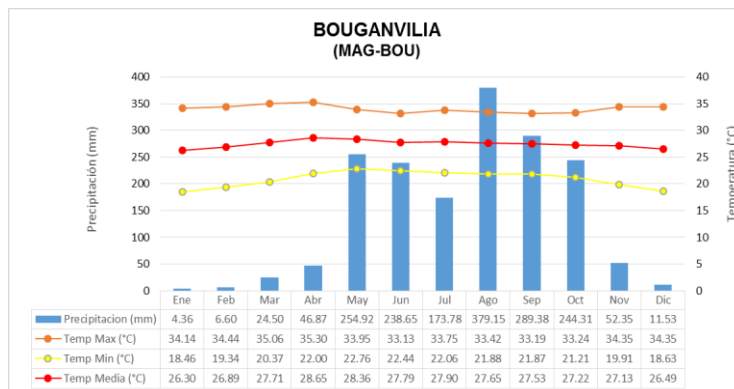


Figura 13. Climograma para la estación Bouganvilia (MAG-BOU)

ESTRATO LITORAL DE 0- 40 msnm

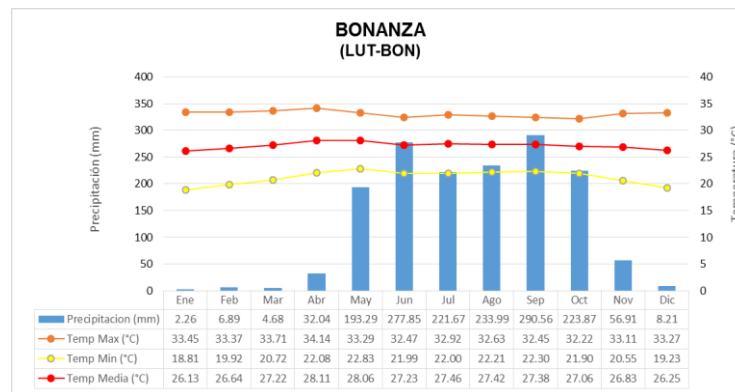


Figura 14. Climograma para la estación Bonanza (LUT-BON)

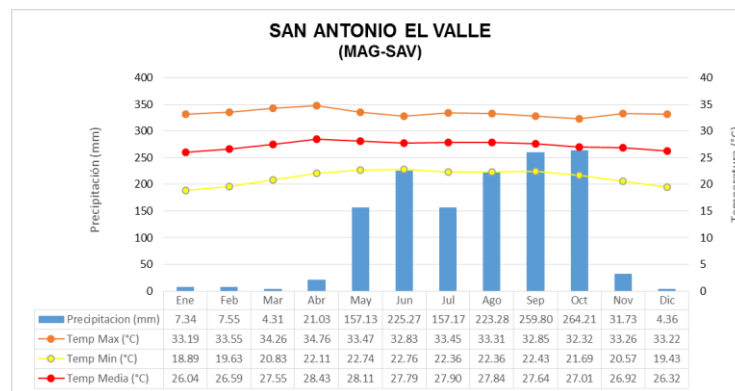


Figura 15. Climograma para la estación San Antonio El Valle (MAG-SAV)

Los climogramas muestran la variación climática que experimenta la cuenca en cuanto a temperatura, precipitación y amplitud térmica¹⁰. Estas son distintas en cada una de las estaciones y están influenciadas principalmente por la altitud (fenómeno de inversión térmica). La estación meteorológica de Cengicaña (CEN-CEN) por ejemplo, está ubicada en el estrato alto, a 297 msnm y presenta registros de precipitación mayores a 600 mm en el mes de septiembre y de alrededor de 18.5 mm en el mes de enero, siendo estos sus meses extremos. Con respecto a las temperaturas medias, estas oscilan entre 25.67°C para el mes de diciembre (menos cálido) hasta los 26.95 °C para el mes de abril (más cálido).

Contrario a estas condiciones de humedad, la estación de San Antonio El Valle (MAG-SAV), ubicada en el estrato litoral, a 10 msnm, presenta precipitaciones que oscilan entre los 264 mm en octubre, y 4.36 mm en diciembre. La temperatura media es de 28.43°C en abril y de 26.04°C en enero; esto representa en comparación con los registros de la estación de Cengicaña una diferencia de 1.5°C con

¹⁰ Considerada baja (<10°C) por la proximidad de la cuenca al mar.

respecto a la temperatura media del mes más cálido y alrededor de 330 mm para la precipitación media del mes más lluvioso.

Estas diferencias de precipitación y temperatura entre estratos, hacen que la definición del estrato altitudinal, sea el primer paso del proceso de planificación del riego en la zona cañera de Guatemala (CENGICAÑA 2012). Estos cambios en el clima toman relevancia en la cuenca del río Acomé, si consideramos que el 83% de la misma (equivalentes a 739.53 km²), está siendo ocupada para el cultivo de la caña de azúcar ICC (2012), y que el riego en esta zona se desarrolla (junto con la zafra) en el período seco, del 15 de noviembre al 15 de mayo. La intensidad y necesidad de riego se incrementa en la dirección al mar, debido al aumento del déficit hídrico (CENGICAÑA 2012), lo cual se puede confirmar con lo que indican los climogramas elaborados para cada estación meteorológica, en los diferentes estratos altitudinales.

En cuanto a la sensibilidad de la caña de azúcar al déficit hídrico, las de etapas iniciación o preparación, con una duración de 45 días, y elongación o rápido crecimiento con una duración aproximada de seis meses, son consideradas las etapas más sensibles al déficit hídrico, por lo que deben tener prioridad para la aplicación del riego en cada uno de los periodos de corte (CENGICAÑA 2012).

En la etapa de iniciación resulta importante garantizar el suministro del riego poscorte para asegurar la población óptima, así como la eficiencia de las labores de fertilización y control de malezas. En cortes o siembras del primer periodo de zafra, el período crítico para el riego en la etapa de elongación se produce entre abril y mayo, siendo más evidentes cuando incide el fenómeno "ENSO" en su fase cálida (Niño). Este fenómeno causa un retraso en las lluvias, que puede llegar a inicios de junio en el estrato bajo y litoral; en esta situación, se ha cuantificado reducciones en el tonelaje de 10 a 20 TCH, si no se aplica riego en este período de retraso de las lluvias (CENGICAÑA 2012).

En cortes o siembras del segundo período de zafra (enero a marzo) el período crítico es en la fase final de la etapa de elongación, especialmente cuando el invierno termina a mediados de octubre. La etapa de macollamiento es también sensible, por lo que debe considerarse como prioridad dos para la aplicación del riego (CENGICAÑA 2012).

El riego en la zona cañera de Guatemala, y particularmente en la cuenca del río Acomé, resulta una actividad difícil de planificar cuando se tiene un cultivo altamente dependiente del agua en sus principales etapas de desarrollo, más aún si esta actividad se realiza en la época seca, como es el caso, donde el régimen de precipitación se reduce considerablemente. Esto se puede observar en las **Figuras 16, 17 y 18**, correspondientes a los estratos alto, medio y litoral respectivamente, que muestran el comportamiento y la distribución de la precipitación para cada estación meteorológica, según estrato altitudinal.

Se puede observar claramente en cada uno de los estratos, la disminución considerable de precipitación, principalmente para los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril que ha ocurrido con el transcurso del tiempo, lo que dificulta la planificación del riego en la zona.

ESTRATO ALTO >300 msnm

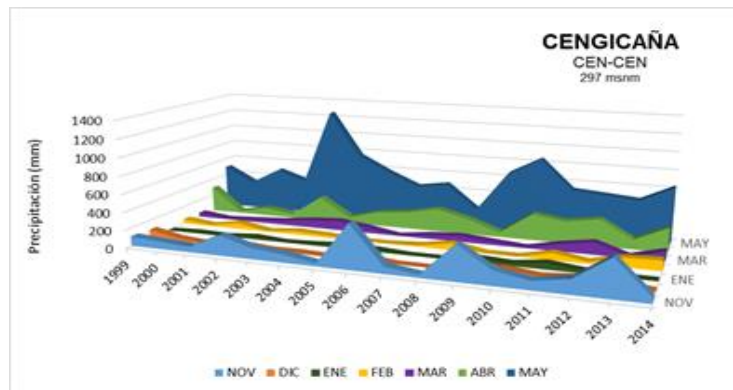


Figura 16. Distribución anual de la precipitación para la estación Cengicaña (CEN-CEN)

ESTRATO MEDIO DE 100-300 msnm

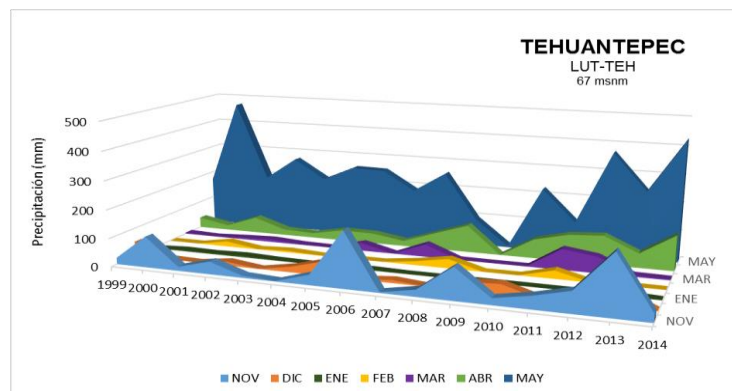


Figura 17. Distribución anual de la precipitación para la estación Tehuantepec (LUT-TEH)

ESTRATO LITORAL DE 0- 40 msnm

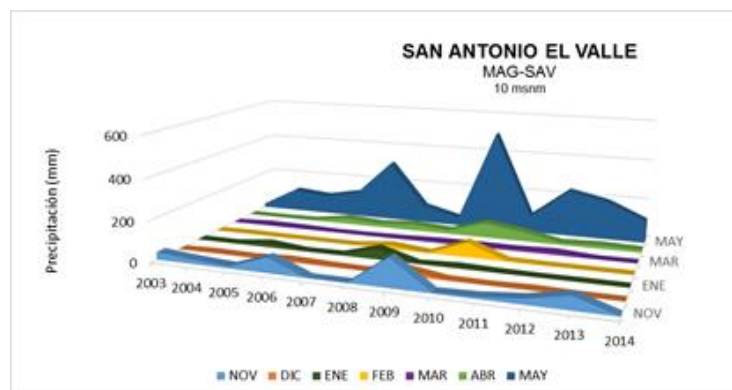


Figura 18. Distribución anual de la precipitación para la estación San Antonio El Valle (MAG-SAV)

Análisis espacial de los datos:

La elaboración de los mapas de temperatura y precipitación media actual y bajo escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 para los años 2030 y 2050, permitieron determinar los cambios que referidas variables meteorológicas pueden llegar a experimentar en el futuro, así como su ubicación espacial en la cuenca. El **Cuadro 3** presenta un resumen de los cambios proyectados, según escenario, año y plataforma utilizada para el proceso de elaboración de los mismos.

Cuadro 3. Anomalías de temperatura y precipitación

Año proyectado	Escenario	Modelo	Base de datos	Temperatura media (°C)	Rango de anomalías (°C)	Anomalía media (°C)
2030	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	28.22	De 0.82 a 1.91	1.31
2030	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	28.54	De 1.24 a 2.22	1.63
2050	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	28.63	De 1.40 a 2.37	1.72
2050	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	29.28	De 1.90 a 2.99	2.37
2050	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	WorldClim	28.94	De 1.59 a 2.55	2.03
2050	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	WorldClim	29.5	De 2.15 a 3.13	2.59
Año proyectado	Escenario	Modelo	Base de datos	Precipitación media (mm)	Rango de anomalías (%)	Anomalía media (%)
2030	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	1930.05	De -24.10 a 45.05	0.44
2030	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	1914.61	De -24.76 a 43.35	-0.36
2050	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	1882.83	De -26.65 a 41.27	-2.12
2050	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	CCAFS-climate	1890.11	De -26.38 a 41.41	-1.7
2050	RCP 4.5	NCAR-CCSM4	WorldClim	1837.67	De -26.49 a 38.02	-4.13
2050	RCP 8.5	NCAR-CCSM4	WorldClim	1661.255	De -33.96 a 24.27	-13.34

Estas variaciones pueden observarse espacialmente en los siguientes mapas, donde se manifiestan los cambios que pueden llegar a experimentarse en la cuenca, indicando la ubicación en que se presentarían con mayor o menor intensidad.

En cuanto a la temperatura, los mayores cambios se presentarían en la parte alta de la cuenca, correspondiente principalmente al estrato alto, en donde se prevén incrementos de 1.31°C para el año 2030, bajo un escenario RCP 4.5 y de 1.63°C para un escenario RCP 8.5. La precipitación bajo esas mismas condiciones de modelación, presentaría para el año 2030 un incremento del 0.44%, lo que representa con base en la precipitación media actual de 1943 mm, un aumento de 855 mm anuales. Contrario a este incremento, bajo un escenario RCP 8.5 se prevén disminuciones en la precipitación de 0.36%, equivalentes a 700 mm anuales.

Para el año 2050 las condiciones de temperatura se intensifican, alcanzando un incremento en la media mayor a 1.5 °C para un escenario RCP 4.5 y de 2.5 °C para un escenario RCP 8.5. En las **Figuras 19 - 21** se muestra la distribución espacial de las anomalías de temperatura y precipitación para los años 2030 y 2050.

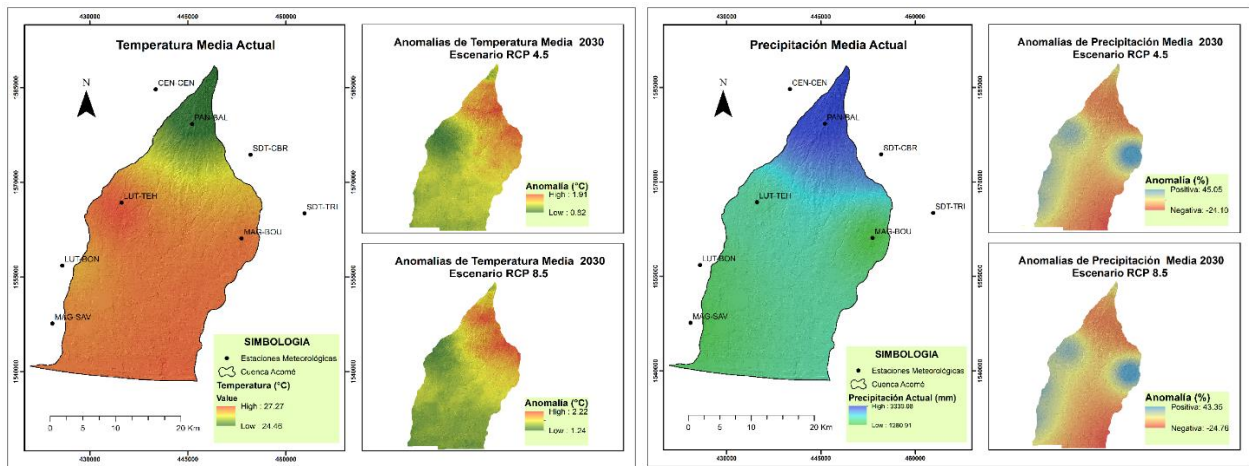


Figura 19. Mapas de precipitación y temperatura 2030, escenarios RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-climate

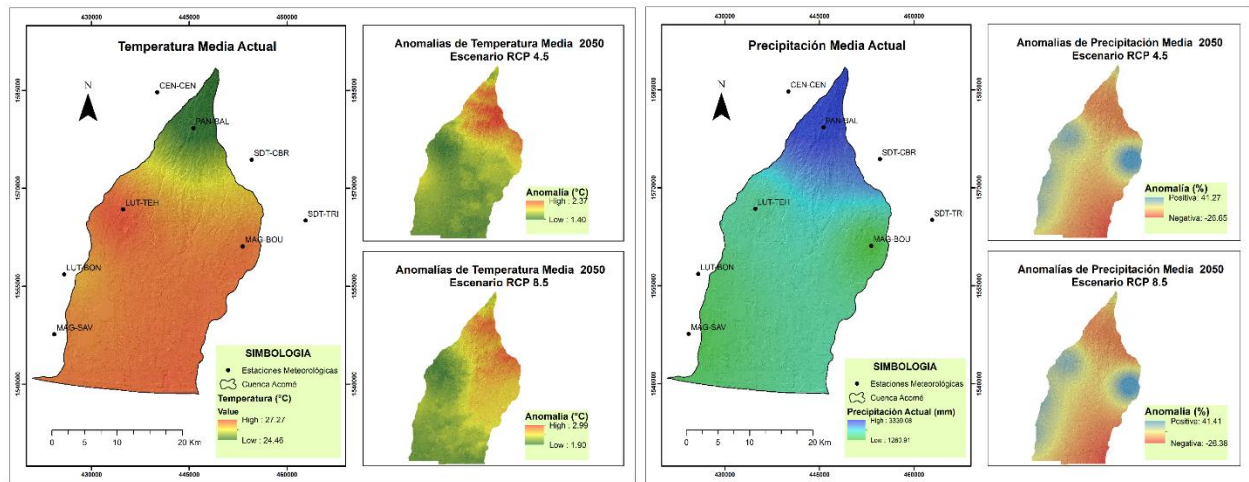


Figura 20. Mapas de precipitación y temperatura 2050, escenarios RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-climate

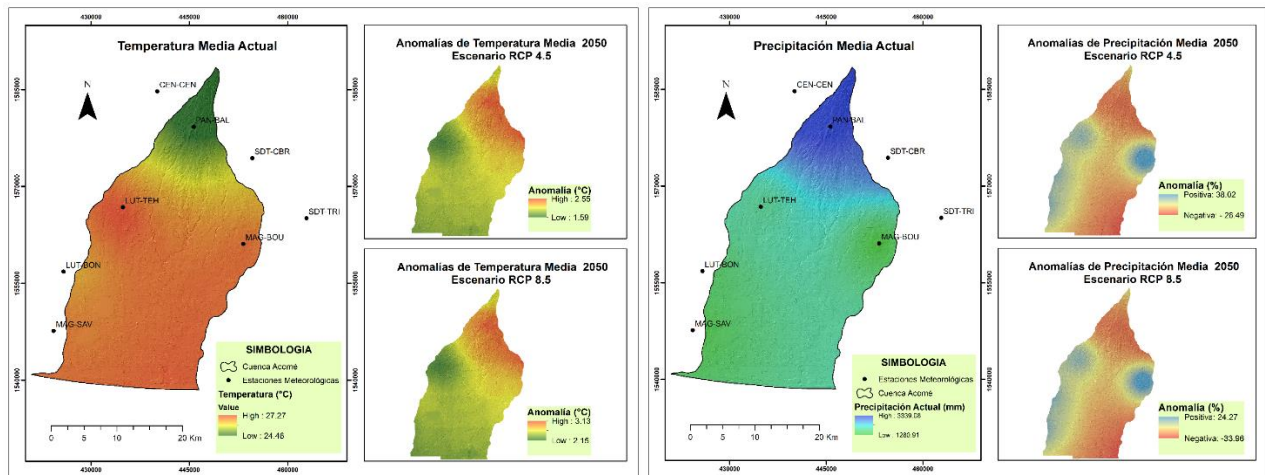


Figura 21. Mapas de precipitación y temperatura 2050, RCP 4.5 y 8.5 – WorldClim

En América Central, todos los países han realizado proyecciones de cambio climático, y las han divulgado en las respectivas comunicaciones nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Estas proyecciones de aumento de temperatura para los años 2030, 2050 y 2100, oscilan entre 1.0 y 1.5°C, 1.5 a 2.1°C, y 3.0 a 3.7°C, respectivamente, con ligeras variaciones individuales si se analiza país por país. Solamente en el caso de Belice, la temperatura proyectada para el año 2100 es del orden de 1.0 a 3.5°C mayor (CCAD;SICA 2010).

Las proyecciones del (IPCC 2007) para los años 2020, 2050 y 2080, siempre en América Central, indican que la temperatura aumenta en rangos ligeramente mayores durante la estación lluviosa, pero al 2080 el incremento de temperaturas podría alcanzar rangos de 1.0 a 5.0°C durante la estación seca, y 1.3 a 6.6°C durante la estación húmeda.

En el caso de las precipitaciones, para Honduras, Nicaragua, Guatemala y El Salvador, las proyecciones realizadas para los años 2030, 2050 y 2100, proyectan reducciones en el rango de 11 a 14%, 16 a 21%, y 30 a 36%, respectivamente (Banco Mundial, 2009; Ramírez, 2007) citados por (CCAD;SICA 2010).

De acuerdo con Corrales (2010), en Centroamérica el promedio de temperatura anual ha aumentado en aproximadamente 1°C desde 1900. El aumento de días y noches cálidas se incrementaron en un 2.5% y un 1.7% por década, mientras que las noches y días fríos han disminuido 2.2% y 2.4% respectivamente. Los extremos de temperatura muestran aumento de entre 0.2°C y 0.3°C por década.

Los índices de precipitación, a pesar de la gran variabilidad espacial, indican que aunque no hay aumentos importantes en la cantidad de precipitación sí se ha observado una intensificación de las mismas. Esto quiere decir que los patrones de precipitación han cambiado de forma que ahora llueve más intensamente en un periodo más corto (Aguilar *et al.* 2005).

Estudios coordinados por la CEPAL en 2010 confirman el aumento gradual de las temperaturas y reducción de las precipitaciones en la región. Estos escenarios indican que se verá afectada la disponibilidad del recurso hídrico para todos los usos. El estudio muestra anomalías de temperatura media para Guatemala de 1.97°C (escenario A2-2050) y 1.48°C (escenario B2-2050), y anomalías de precipitación media anual de 12.72% (escenario A2-2050) y 0.08% (escenario B2-2050)¹¹ (CCAD;SICA 2010).

Resultados del clima proyectado en el período 2050-2099 mostraron para Centroamérica reducciones significativas en la mediana de la precipitación de hasta 10.5%. Así como incrementos de temperatura de 3°C durante el periodo de 2050 a 2099 para la parte norte y hasta 4°C para la parte sur de la región (Hidalgo *et al.* 2013).

¹¹ Esto con base al promedio de tres modelos y la climatología del periodo comprendido entre 1980-2000.

Un estudio de Oglesby y Rowe (2015), titulado "*Impactos climáticos para Guatemala: resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5¹²*" indican un calentamiento en Guatemala entre el presente y la década de 2060 que va desde menos de 1°C a más de 3 °C.

Estos estudios permiten comparar los resultados obtenidos en la cuenca del río Acomé y, determinar tendencias similares, incrementos en la temperatura media anual y ganancias y pérdidas en la precipitación; esta última con mayor incertidumbre en su distribución y comportamiento.

4. Conclusiones

En comparación con el periodo de 1950-2000 la temperatura media anual de la cuenca ha tenido un incremento de 0.8°C y la precipitación una disminución de 2.73%. Bajo escenarios de cambio climático RCP 4.5 y 8.5 se prevé para el año 2030 un incremento de la temperatura media de 1.31 y 1.63°C, respectivamente. Para el año 2050, el incremento de temperatura media bajo las mismas condiciones sería de 1.72 a más de 2.30°C. La precipitación, por su parte, presentará incrementos de 0.44% para el año 2030 bajo un escenario RCP de 4.5 y una disminución de 0.36% para un escenario RCP de 8.5. Para el año 2050 se esperan pérdidas de precipitación de 2.12% para un escenario RCP de 4.5 y de hasta 13.34% un escenario RCP de 8.5.

Los cambios en la temperatura y la precipitación tendrán lugar principalmente en la parte alta de cuenca, correspondiente al estrato alto de la misma, con posibles incrementos de temperatura (entre 1 y 1.5°C para el 2030 bajo un escenario RCP 4.5 y más de 2°C para un escenario de 8.5) y disminuciones en la precipitación (entre 21% para para el 2030 bajo un escenario RCP 4.5 y de 24% para un escenario de 8.5). Para el año 2050 las condiciones tienen a intensificarse siguiendo la misma tendencia. Los estratos bajo y litoral presentaran incrementos en la temperatura, pero serían menores que en el estrato alto, lo que posiblemente está relacionado con el efecto regulador del océano sobre las áreas más cercanas a la costa y los patrones de circulación del viento.

Las variaciones de temperatura y precipitación producirán cambios en el régimen hídrico de la cuenca, y este a su vez, tendría impactos en el cultivo de la caña de azúcar, principalmente es sus etapas de iniciación, macollamiento y elongación, mismas que coinciden con la época seca, donde la demanda de agua para riego es alta y la cuenca, en general, presenta déficit hídrico. Sin embargo, estos factores climáticos no serán los únicos que podrían causar cambios en el régimen hídrico de la cuenca, resultan igual de importantes en este proceso, el cambio de uso del suelo, la demanda y el uso mismo del recurso hídrico.

¹² Informe completo disponible en: <http://www.marn.gob.gt/Multimedios/1442.pdf>

5. Literatura citada

Aguilar, E; Peterson, T; Obando, PR; Frutos, R; Retana, J; Solera, M; Soley, J; García, IG; Araujo, R; Santos, AR. 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012) 110D23: Bahamondes, R. s.f. Manejo de cuencas hidrográficas. Chile, 14 p.

CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo); SICA (Sistema de la Integración Centroamericana). 2010. Estrategia Regional de Cambio Climático. Documento ejecutivo. El Salvador, 93 p.

CDKN (Alianza Clima y Desarrollo). 2012. La Gestión de Riesgos de Eventos Extremos y Desastres en el Sector Agrícola: Aprendizajes del Informe (SREX) del IPCC. 36 p.

CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). 2012. El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala. Eds. M Melgar; A Meneses; H Orozco; O Pérez; R Espinosa. Guatemala, 512 p.

Corrales, L. 2010. Informe Final. Efectos del Cambio Climático para Centroamérica. 55 p. Dazé, A; Ambrose, K; Ehrhart, C. 2010. Manual para el análisis de capacidad y vulnerabilidad climática. Perú, CARE Perú. 52 p.

Hidalgo, HG; Amador, JA; Alfaro, EJ; Quesada, B. 2013. Hydrological climate change projections for Central America. *Journal of Hydrology* 495:94-112.

Hijmans, RJ; Cameron, SE; Parra, JL; Jones, PG; Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology* 2515:1965-1978.

ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático). 2012. Diagnóstico de la cuenca del río Acomé. Escuintla, Guatemala, 30 p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). 1997. Resumen para responsables de políticas. Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad. Informe especial del Grupo de trabajo II del IPCC. 27 p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Ginebra, Suiza. 114 p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 151 p.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2008. El cambio climático y el agua. Bryson Bates, Zbigniew W. Kundzewicz, Shaohong Wu, Jean Palutikof Ed. 224 p. (Documento técnico VI del IPCC).

Magaña, V; Amador, JA; Medina, S. 1999. The midsummer drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate* 126:1577-1588.

Oglesby, R; Rowe, C. 2015. Impactos climáticos para Guatemala: Resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5. Guatemala, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 40 p.

ARTÍCULO II

IDENTIFICACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN ASOCIADAS AL RECURSO HÍDRICO Y AL SECTOR AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ, GUATEMALA

RESUMEN

El propósito del presente estudio es identificar y priorizar medidas de adaptación al cambio climático (asociadas al recurso hídrico y el sector agrícola) en la cuenca del río Acomé. Para el efecto se llevaron a cabo talleres con los principales actores de la cuenca, quienes identificaron y generaron un listado de 64 medidas de adaptación, clasificadas en nueve categorías. La priorización de las medidas de adaptación identificadas se realizó por categoría según promedio ponderado de las frecuencias obtenidas en una encuesta realizada a los actores de la cuenca. Donde las medidas de adaptación que obtuvieron los promedios más altos, representan las medidas más importantes y urgentes de implementar al corto mediano y largo plazo. Las medidas de mayor prioridad fueron: la elaboración e implementación de planes de concientización y capacitación para usuarios del agua, la creación y/o fortalecimiento de una institución encargada de medir (aforar) el agua, con el fin de coordinar su distribución, y la generación de conocimiento para reducir conflictividad y/o conflictos. Las categorías con el mayor número de medidas identificadas fueron la de comunicación, con 18 medidas, y la categoría de construcción o instalación de infraestructura con 11. Estas medidas constituyen para el sector en particular y para la cuenca en general, aquellas acciones que se han realizado, se están realizando y se podrían implementar y/o mejorar para promover el uso sostenible de los recursos naturales en la cuenca.

Palabras clave: actores clave, caña de azúcar, corto, mediana y largo plazo.

1. Introducción

Reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en el contexto del desarrollo sostenible es el objetivo del recientemente publicado Acuerdo de París. Para lograrlo se propone mantener el aumento de la temperatura mundial por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales y continuar los esfuerzos para limitar ese aumento de temperatura a 1.5°C, aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático, promover la resiliencia al clima, así como un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (CMNUCC 2015).

Esto constituye un desafío mundial si consideramos que solo en América Latina y el Caribe (ALC), cerca de 600 millones de habitantes experimentan ya, de manera dramática, los efectos del cambio climático (Landa *et al.* 2010). La misma región enfrenta actualmente una situación grave de exposición a múltiples riesgos relacionados con el clima, tales como: ciclones tropicales, inundaciones, sequías y oleadas de calor, aumentos de la temperatura y de los regímenes de lluvias (Mapplecroft 2014).

Guatemala es considerado, de acuerdo con Oglesby y Rowe (2015), uno de los países más vulnerables a los impactos del cambio climático. De acuerdo con Mapplecroft (2014), el país presenta el mayor riesgo y vulnerabilidad en Mesoamérica y ocupa el segundo lugar, después de Haití, con respecto al índice de vulnerabilidad al cambio climático, con un puntaje de 0.75 y una categoría de riesgo extrema. En los últimos 10 años ha sufrido eventos hidrometeorológicos extremos, que han repercutido en los principales sectores productivos del país, ocasionando pérdidas económicas e impactos sociales y ambientales.

Como un ejemplo están los impactos del huracán Mitch en 1998, que causó afectaciones y pérdidas que ascendieron a 748 millones de dólares, lo que representó cerca del 4% del PIB en ese año. Las sequías que se produjeron en 2001 causaron pérdidas de 22,4 millones de dólares. La tormenta tropical Stan, en el 2005, causó pérdidas de 988 millones de dólares, equivalentes a 3,6% del PIB 2004 y provocó daños y pérdidas en zonas agrícolas de 15 departamentos del país (Mora *et al.* 2010).

Sin embargo, si bien el cambio climático es un fenómeno inequívoco, de origen antropogénico (IPCC 2014) y de alcance global, aunque existen medidas para adaptarse a él y mitigar su impacto ambiental, económico y social. Por ello, resulta indispensable, que tanto a nivel nacional como regional, se tomen medidas y emprendan acciones para hacer frente a uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad (Corrales 2010), por lo que la adaptación oportuna y planificada permitirá un adecuado y gradual manejo de los costos, evitando el traspaso o externalización de productores a consumidores, del sector privado hacia el sector público y de las generaciones actuales a las futuras (Samaniego 2009).

La adaptación juega un papel fundamental en la reducción de la vulnerabilidad de los sistemas (principalmente productivos) ante los efectos del cambio climático y contribuye a la relación costo-efectividad de la reducción de desastres como medida de adaptación (EIRD 2008).

La implementación de las acciones de adaptación al cambio climático deberán de formularse como un proceso de aprendizaje que vaya de abajo hacia arriba, que redunde en la remoción de barreras y

en asegurar las condiciones de sostenibilidad mediante el fortalecimiento de instituciones locales y espacios de diálogo entre actores relevantes (CE 2013), fortalecimiento institucional, desarrollo de capacidades, formulación de políticas e instrumentos regulatorios para garantizar la funcionalidad de los sistemas de gestión de riesgo, reconociendo el conocimiento y las capacidades existentes para enfrentar los eventos climáticos extremos, a fin de adaptarse al cambio climático (EIRD 2008).

Dazé *et al.* (2010), reconocen que la adaptación es un proceso que demanda la participación de numerosos actores a múltiples niveles y en diversos sectores, y que exige el conocimiento de la vulnerabilidad de los individuos, hogares y comunidades. El propósito del presente estudio es identificar y priorizar medidas de adaptación al cambio climático (asociadas al recurso hídrico y el sector agrícola) en la cuenca del río Acomé.

2. Metodología

La metodología consideró cuatro etapas: 1) revisión de literatura y análisis del contexto, 2) diseño y planificación del proceso, 3) identificación de las medidas de adaptación y 4) la priorización de las mismas. En la **Figura 22** se presenta el esquema metodológico empleado para el efecto.

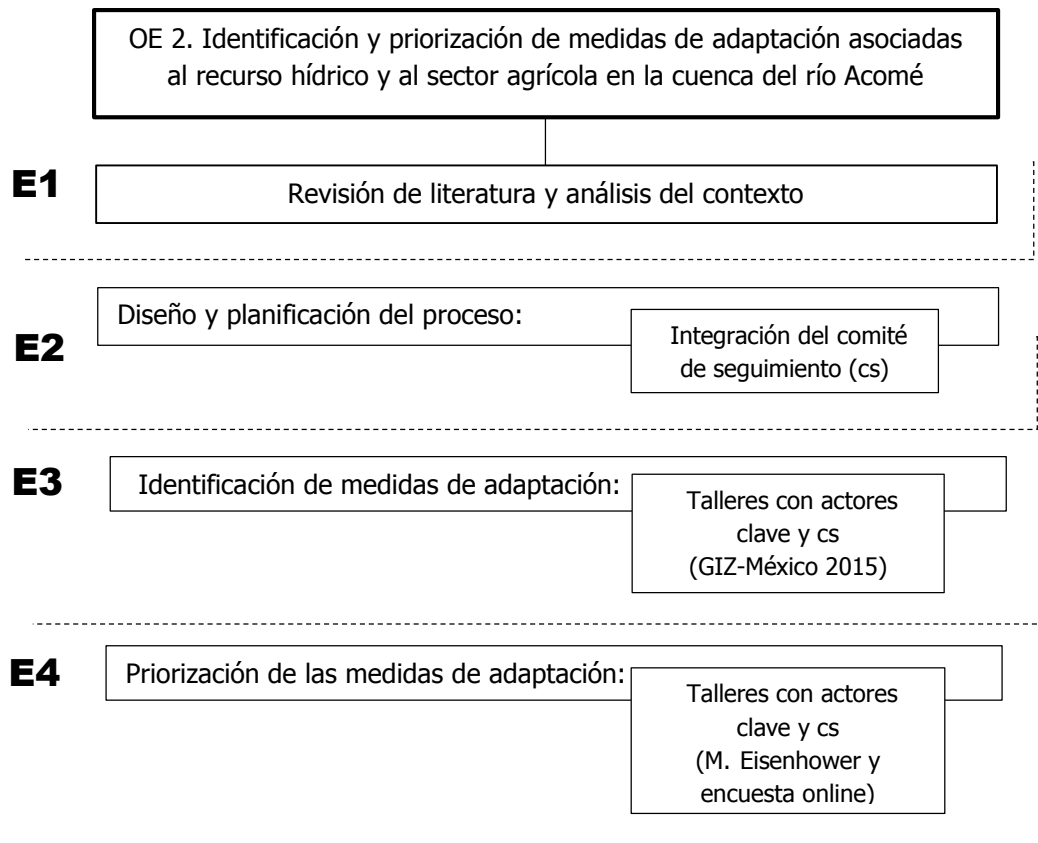


Figura 22. Esquema metodológico empleado para alcanzar el segundo objetivo

2.1 Etapa 1. Revisión de literatura y análisis del contexto

Se revisó información secundaria, tesis e investigaciones que permitieran conocer la situación ambiental, social y económica de la cuenca en estudio.

2.2 Etapa 2. Diseño y planificación del proceso

Para el efecto se integró a lo interno del ICC un denominado comité de seguimiento, donde participaron técnicos, investigadores y coordinadores de los programas de manejo integrado de cuencas, clima e hidrología y gestión de riesgos de referida institución, así como un consultor independiente responsable de la elaboración del diagnóstico y plan de manejo de la cuenca del río Acomé, con quienes desde el principio se determinaron y establecieron objetivos, tiempos, escalas y formas de trabajo, se identificaron actores clave, expertos y colaboradores, se definieron fechas de talleres y reuniones de trabajo para revisar y discutir avances.

2.3 Etapa 3. Identificación de las medidas de adaptación al cambio climático

Para la identificación de medidas de adaptación al cambio climático se llevaron a cabo talleres con miembros del comité de seguimiento y gerentes de riego de los ingenios Pantaleón, Magdalena y San Diego. El marco conceptual utilizado para orientar el proceso de identificación de medidas de adaptación fue el propuesto por (GIZ 2014). Este considera nueve categorías de clasificación, detalladas en el **Cuadro 4**, y dos grupos de medidas de adaptación; las blandas (*soft*), que son aquellas medidas que contribuyen a la reducción de la vulnerabilidad, pero de una manera indirecta; y las duras (*hard*), que son medidas tangibles, que también buscan reducir la vulnerabilidad, pero que pueden hacerlo de una manera más directa.

Cuadro 4. Descripción de las categorías de medidas de adaptación

No.	Categoría de medidas de adaptación	Descripción
1.	Construcción o instalación de infraestructura	Medidas que incluyen una estructura física como un resultado.
2.	Comunicación	Medidas que incrementan la información y el conocimiento.
3.	Coordinación	Medidas que promueven la gestión y coordinación de proyectos.
4.	Manejo de recursos naturales	Medidas que se enfocan en mejorar el manejo de recursos naturales para lidiar con los impactos del cambio climático.
5.	Instrumentos regulatorios	Medidas que regulan y delimitan legal u oficialmente un comportamiento o acción específica.
6.	Estructura de incentivos	Medidas que promueven y facilitan la adaptación en pequeña escala a través de motivaciones específicas.
7.	Reubicación	Medidas que implican el movimiento de población o estructuras para reducir las presiones.
8.	Fortalecimiento de actividades	Medidas que consideran capacitaciones de actores relevantes para mejorar el conocimiento sobre consecuencias del cambio climático y reacciones a este.
9.	Asistencia técnica	Medidas que implican la diseminación de información técnica para incrementar el conocimiento sobre ciertas técnicas (por ejemplo, capacitación para construir y usar bombas o generadores de viento)

Fuente: Adaptado de (GIZ 2014)

2.4 Etapa 4. Priorización de las medidas de adaptación

La priorización se realizó a través de una encuesta en línea, diseñada con base en la matriz Eisenhower, como se muestra en la **Figura 23**, donde se les pidió a los encuestados (actores de la cuenca y expertos conocedores de la temática, pero ajenos al sector) que indicarán según su conocimiento y experiencia, el grado de importancia (baja, media o alta) de cada medida de adaptación identificada previamente (64 en total) y la urgencia de implementación de la misma al corto plazo (medidas que deberán ejecutarse en un plazo menor a 2 años), mediano plazo (medidas que deberán ejecutarse entre 2 y 4 años) y largo plazo (medidas que pueden ejecutarse en un plazo mayor a 4 años). Así mismo, se consideró en el diseño de la encuesta para cada una de las medidas, un apartado para comentarios y/o sugerencias, donde los encuestados tenían la libertad de escribir y manifestar su opinión al respecto de cada medida de adaptación.

Figura 23. Formato de encuesta utilizado para la priorización de las medidas de adaptación

3. Resultados y discusión

Las medidas de adaptación identificadas por categoría en los talleres realizados con los actores clave y miembros del comité de seguimiento fueron en total 78. De ese total de medidas identificadas, luego de realizar la revisión correspondiente y considerar (cuando fue necesario) su reclasificación dentro de cada categoría, se obtuvo un listado final con 64 medidas de adaptación identificadas:

Categoría 1	Medidas de adaptación identificadas
<i>Construcción o instalación de infraestructura</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Construcción de pozos de absorción como una medida para la recarga de acuíferos. 2. Construcción de pozos protegidos para aprovechar acuíferos subterráneos. 3. Establecimiento de obras para la conservación del suelo. 4. Construcción de sistemas de captación de agua para uso agrícola y doméstico. 5. Revestimiento de canales de conducción para riego. 6. Diseño y construcción de obras de riego y drenaje regionales, a nivel de cuenca. 7. Cambio en los sistemas de riego por otros más eficientes.
Medidas identificadas: 11	

8. Construcción de estructuras de aforo en puntos estratégicos de la cuenca.
9. Construcción de diques o bordas para el control y manejo de inundaciones.
10. Mejora de represas y vados actuales.
11. Construcción y manejo de embalses o reservorios para el almacenamiento de agua.

Categoría 2

Medidas de adaptación identificadas

Comunicación
Medidas identificadas: 18

12. Realizar giras de trabajo para ampliar el conocimiento y generar ideas para adaptarlas a la zona.
13. Implementación de un programa de divulgación de manejo y conservación de suelos.
14. Implementar programas de educación en el sector (diplomados, especializaciones, cursos, etc) que permitan crear capacidades en materia de gestión y manejo integrado de recursos hídricos
15. Fomentar la participación de los productores de palma y banano en el tema de uso y aprovechamiento del agua.
16. Incluir a los productores independientes de caña en el uso y manejo del agua.
17. Crear estrategias de comunicación entre los actores de la cuenca para coordinar el uso de los recursos, conocer los proyectos que cada actor y sector realiza, para sacar el máximo provecho y no duplicar acciones.
18. Trabajar capacitaciones y concientización a nivel comunitario y con actores tomadores de decisiones (municipalidades, COCODES, agroindustrias, etc.) sobre el tema del agua.
19. Fomentar un manejo de información menos restringido entre el sector y los actores.
20. Elaborar e implementar planes de concientización y capacitación para usuarios del agua.
21. *Benchmarking* entre usuarios del agua.
22. Desarrollar una estrategia de comunicación para el manejo del recurso hídrico a nivel regional.
23. Promover una mayor socialización de resultados de proyectos e investigaciones tanto del ICC, como del sector azucarero en general.
24. Elaboración de planes de gestión de riesgos en comunidades más vulnerables.
25. Elaborar estudios sobre valoración de los servicios ambientales y/o ecosistémicos de la cuenca.
26. Elaboración e implementación de planes de ordenamiento territorial.
27. Estimación de la variación de caudales de ríos con base en lluvias del año anterior para planificar la oferta de agua.
28. Promover estudios que permitan conocer las entradas y salidas de agua de cada una de las cuencas y determinar así, el posible redireccionamiento del recurso.
29. Evaluar sistemas constructivos en zonas de inundación comunitarias.

Categoría 3

Medidas de adaptación identificadas

Coordinación
Medidas identificadas: 3

30. Integrar a autoridades gubernamentales en los temas de manejo de agua (drenaje, riego, uso doméstico).
31. Fomentar proyectos multiutilitarios que beneficien a múltiples actores.
32. Creación de comité, mesa técnica o grupo de trabajo que lidere la gestión del agua a nivel regional o de cuencas.

Categoría 4

Medidas de adaptación identificadas

Manejo de recursos naturales
Medidas identificadas: 8

33. Identificación de zonas de baja producción para destinarlas al establecimiento de bosques.
34. Recuperación de riberas de ríos y zanjones con especies nativas.
35. Reforestación y protección del estrato alto de la cuenca.
36. Restauración de bosques de ribera.
37. Implementación de estrategias locales y regionales para el manejo sostenible de los recursos naturales.
38. Desarrollo de corredores biológicos.
39. Reforestación en bosques de mangle y restauración de los mismos.
40. Determinación y manejo del caudal ecológico.

Categoría 5

Medidas de adaptación identificadas

41. Que a través de ASAZGUA se establezcan políticas a cumplir, donde se advierta la eficiencia de los sistemas de riego, estableciendo mínimo aceptable por sistema.

<i>Instrumentos regulatorios</i>		42. Establecimiento de una normativa sobre el agua en la cuenca con todos los actores, que permita el uso del recurso de una manera eficiente sin afectar la producción, ni perjudicar la disponibilidad del recurso para otros fines.
Medidas identificadas: 6		43. Creación y/o fortalecimiento de institución encargada de medir (aforar) el agua con el fin de coordinar su distribución posterior, a través de una medición constante de la cantidad de agua existente.
		44. Ampliar la política ambiental del sector azucarero hacia otros sectores; banano, palma y hule, con el objetivo de reducir la conflictividad social.
		45. Medición constante de parámetros físicos y químicos del agua.
		46. Adaptar instrumentos de política nacional a nivel local.
	Categoría 6	Medidas de adaptación identificadas
<i>Estructura de incentivos</i>		47. Establecer metodologías de reconocimiento a los ingenios que sobresalgan por el uso eficiente del agua.
Medidas identificadas: 6		48. Trabajar a nivel local a través del pago por servicios ambientales.
		49. Reducción de pago de impuestos por implementación de proyectos de adaptación.
		50. Promover la adopción de certificaciones o sellos verdes que propicien el buen uso y manejo del agua en el sector agrícola de la cuenca.
		51. Promover incentivos para la implementación de bosques de riberas.
		52. Financiamiento de estudios de prefactibilidad para la validación de medidas de adaptación.
	Categoría 7	Medidas de adaptación identificadas
<i>Reubicación</i>		53. Movimiento de vertederos (basureros) para garantizar la calidad de agua en el futuro.
Medidas identificadas: 3		54. Cambio de zonas de cultivo para la implementación de reservorios.
		55. Reubicación de poblados, comunidades o sistemas productivos en áreas menos vulnerables.
	Categoría 8	Medidas de adaptación identificadas
<i>Fortalecimiento de capacidades</i>		56. Promover la integración con los actores de la cuenca a fin de concientizar y capacitar para establecer estrategias conjuntas.
Medidas identificadas: 4		57. Sensibilización sobre el tema del agua en las agroindustrias (caña, banano, palma, etc.).
		58. Dar a conocer la terminología básica sobre cambio climático en los diferentes sectores y con los diversos actores.
		59. Generar conocimiento para reducir conflictividad y/o conflictos.
	Categoría 9	Medidas de adaptación identificadas
<i>Asistencia técnica</i>		60. Capacitación y/o transferencia de tecnologías sobre uso eficiente de agua para riego.
Medidas identificadas: 5		61. Apoyo y seguimiento para el desarrollo de proyectos de adaptación.
		62. Asistencia técnica a los usuarios de la cuenca por parte de las instituciones de gobierno, ONG e instituciones privadas.
		63. Capacitación sobre riesgo y amenaza de los sistemas productivos (en el tema de seguros).
		64. Realizar capacitaciones técnicas sobre gestión y manejo del agua.

La **Figura 24** muestra la distribución y el número de medidas identificadas por categoría. Desde la categoría 2 correspondiente a comunicación con 18 medidas identificadas, hasta la categoría 3 de coordinación con tres medidas de adaptación identificadas, para hacer en total 64.

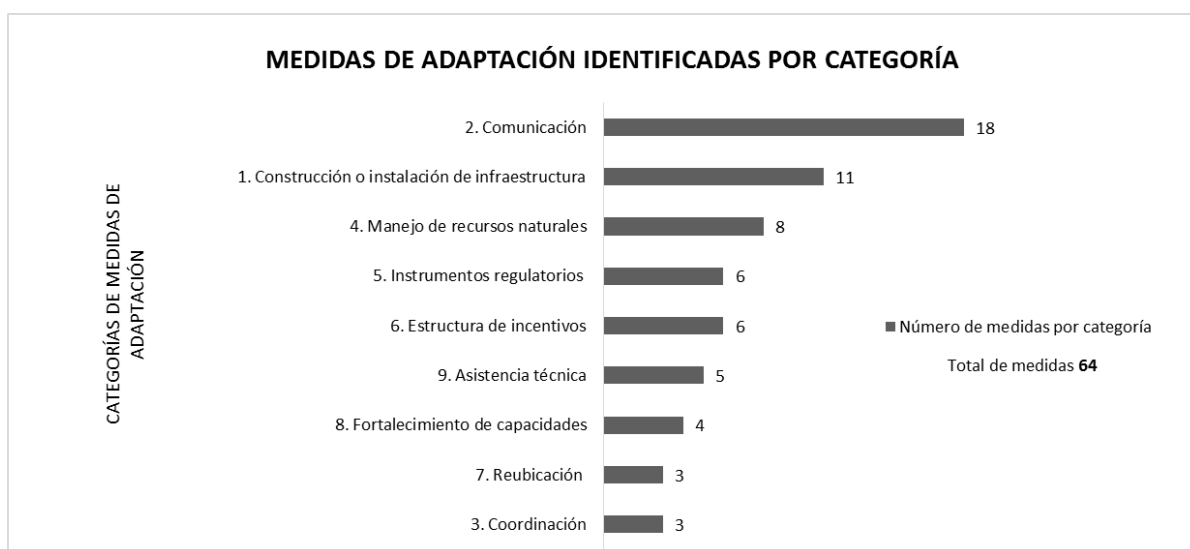


Figura 24. Número de medidas de adaptación identificadas según categorías

Resulta importante indicar que la identificación de las medidas de adaptación, se realizó con especial énfasis en el recurso hídrico y la producción agrícola de la cuenca, por ser esta la principal actividad económica en la zona y ser altamente dependiente de la disponibilidad de agua que se produce anualmente en la cuenca.

Priorización de las medidas de adaptación identificadas

La priorización de las medidas de adaptación identificadas se realizó por categoría, según promedio ponderado de las frecuencias obtenidas en la encuesta realizada a los actores clave de la cuenca, miembros del comité de seguimiento y expertos. En este sentido, las medidas de adaptación que tienen los promedios más altos, representan las medidas más importantes y urgentes de implementar en la cuenca del río Acomé, en el corto, mediano y largo plazo. Luego de realizar la priorización de las medidas anteriormente identificadas, se obtuvo el siguiente listado de medidas priorizadas por categoría:

Categoría 1	No. Medidas de adaptación	Valor obtenido¹³
<i>Construcción o instalación de infraestructura</i>	7. Cambio en los sistemas de riego por otros más eficientes.	2.24
	11. Construcción y manejo de embalses o reservorios para el almacenamiento de agua.	2.19
	3. Establecimiento de obras para la conservación del suelo.	2.12
	4. Construcción de sistemas de captación de agua para uso agrícola y doméstico.	2.09
	1. Construcción de pozos de absorción como una medida para la recarga de acuíferos.	2.07
	6. Diseño y construcción de obras de riego y drenaje regionales, a nivel de cuenca.	2.06
	9. Construcción de diques o bordas para el control y manejo de inundaciones.	2.05
	10. Mejora de represas y vados actuales.	2.03
	Medidas identificadas: 11	

¹³ Este valor hace referencia al nivel de priorización que obtuvo la medida de adaptación dentro de su respectiva categoría. Un valor más alto por lo tanto, indica la importancia y urgencia que la implementación de la medida de adaptación tiene para la cuenca.

		2. Construcción de pozos protegidos para aprovechar acuíferos subterráneos.	1.88
		8. Construcción de estructuras de aforo en puntos estratégicos de la cuenca.	1.85
		5. Revestimiento de canales de conducción para riego.	1.68
Categoría 2	No. Medidas de adaptación		Valor obtenido
		20. Elaborar e implementar planes de concientización y capacitación para usuarios del agua.	2.44
		18. Trabajar capacitaciones y concientización a nivel comunitario y con actores tomadores de decisiones (municipalidades, COCODES, agroindustrias, etc.) sobre el tema del agua.	2.34
		13. Implementación de un programa de divulgación de manejo y conservación de suelos.	2.28
		17. Crear estrategias de comunicación entre los actores de la cuenca para coordinar el uso de los recursos, conocer los proyectos que cada actor y sector realiza, para sacar el máximo provecho y no duplicar acciones.	2.28
		27. Estimación de la variación de caudales de ríos con base en lluvias del año anterior para planificar la oferta de agua.	2.25
		19. Fomentar un manejo de información menos restringido entre el sector y los actores.	2.24
		28. Promover estudios que permitan conocer las entradas y salidas de agua de cada una de las cuencas y determinar así, el posible redireccionamiento del recurso.	2.23
<i>Comunicación</i>		23. Promover una mayor socialización de resultados de proyectos e investigaciones tanto del ICC, como del sector azucarero en general.	2.20
Medidas identificadas: 18		14. Implementar programas de educación en el sector (diplomados, especializaciones, cursos, etc) que permitan crear capacidades en materia de gestión y manejo integrado de recursos hídricos.	2.18
		16. Incluir a los productores independientes de caña en el uso y manejo del agua	2.18
		29. Evaluar sistemas constructivos en zonas de inundación comunitarias.	2.17
		12. Realizar giras de trabajo para ampliar el conocimiento y generar ideas para adaptarlas a la zona.	2.16
		15. Fomentar la participación de los productores de palma y banano en el tema de uso y aprovechamiento del agua.	2.16
		24. Elaboración de planes de gestión de riesgos en comunidades más vulnerables.	2.03
		26. Elaboración e implementación de planes de ordenamiento territorial.	1.98
		22. Desarrollar una estrategia de comunicación para el manejo del recurso hídrico a nivel regional.	1.91
		25. Elaborar estudios sobre valoración de los servicios ambientales y/o ecosistémicos de la cuenca.	1.88
		21. <i>Benchmarking</i> entre usuarios del agua.	1.79
Categoría 3	No. Medidas de adaptación		Valor obtenido
		30. Integrar a autoridades gubernamentales en los temas de manejo de agua (drenaje, riego, uso doméstico).	2.30
<i>Coordinación</i>		31. Fomentar proyectos multiutilitarios que beneficien a múltiples actores.	2.26
Medidas identificadas: 3		32. Creación de comité, mesa técnica o grupo de trabajo que lidere la gestión del agua a nivel regional o de cuencas.	2.16
Categoría 4	No. Medidas de adaptación		Valor obtenido
		40. Determinación y manejo del caudal ecológico.	2.25
<i>Manejo de recursos naturales</i>		34. Recuperación de riberas de ríos y zanjones con especies nativas.	2.19
Medidas identificadas: 8		37. Implementación de estrategias locales y regionales para el manejo sostenible de los recursos naturales.	2.12
		39. Reforestación en bosques de mangle y restauración de los mismos.	2.11

	35.	Reforestación y protección del estrato alto de la cuenca.	2.10
	36.	Restauración de bosques de ribera.	2.07
	38.	Desarrollo de corredores biológicos.	2.03
	33.	Identificación de zonas de baja producción para destinarlas al establecimiento de bosques.	1.59
Categoría 5	No.	Medidas de adaptación	Valor obtenido
	43.	Creación y/o fortalecimiento de institución encargada de medir (aforar) el agua con el fin de coordinar su distribución posterior, a través de una medición constante de la cantidad de agua existente.	2.41
<i>Instrumentos regulatorios</i>	45.	Medición constante de parámetros físicos y químicos del agua.	2.23
	41.	Que a través de ASAZGUA se establezcan políticas a cumplir, donde se advierta la eficiencia de los sistemas de riego, estableciendo mínimo aceptable por sistema.	2.20
Medidas identificadas: 6	42.	Establecimiento de una normativa sobre el agua en la cuenca con todos los actores, que permita el uso del recurso de una manera eficiente sin afectar la producción, ni perjudicar la disponibilidad del recurso para otros fines.	2.15
	44.	Ampliar la política ambiental del sector azucarero hacia otros sectores; banano, palma y hule, con el objetivo de reducir la conflictividad social.	2.15
	46.	Adaptar instrumentos de política nacional a nivel local.	2.15
Categoría 6	No.	Medidas de adaptación	Valor obtenido
	48.	Trabajar a nivel local a través del pago por servicios ambientales.	2.15
	52.	Financiamiento de estudios de prefactibilidad para la validación de medidas de adaptación.	2.15
<i>Estructura de incentivos</i>	50.	Promover la adopción de certificaciones o sellos verdes que propicien el buen uso y manejo del agua en el sector agrícola de la cuenca.	2.12
Medidas identificadas: 6	51.	Promover incentivos para la implementación de bosques de riberas.	2.10
	47.	Establecer metodologías de reconocimiento a los ingenios que sobresalgan por el uso eficiente del agua.	1.96
	49.	Reducción de pago de impuestos por implementación de proyectos de adaptación.	1.83
Categoría 7	No.	Medidas de adaptación	Valor obtenido
	53.	Movimiento de vertederos (basureros) para garantizar la calidad de agua en el futuro.	2.35
<i>Reubicación</i>	54.	Cambio de zonas de cultivo para la implementación de reservorios.	2.13
Medidas identificadas: 3	55.	Reubicación de poblados, comunidades o sistemas productivos en áreas menos vulnerables.	1.85
Categoría 8	No.	Medidas de adaptación	Valor obtenido
	59.	Generar conocimiento para reducir conflictividad y/o conflictos.	2.36
<i>Fortalecimiento de capacidades</i>	56.	Promover la integración con los actores de la cuenca a fin de concientizar y capacitar para establecer estrategias conjuntas.	2.30
Medidas identificadas: 4	58.	Dar a conocer la terminología básica sobre cambio climático en los diferentes sectores y con los diversos actores.	2.19
	57.	Sensibilización sobre el tema del agua en las agroindustrias (caña, banano, palma, etc.).	2.15
Categoría 9	No.	Medidas de adaptación	Valor obtenido
<i>Asistencia técnica</i>	64.	Realizar capacitaciones técnicas sobre gestión y manejo del agua.	2.35

Medidas identificadas: 5	60. Capacitación y/o transferencia de tecnologías sobre uso eficiente de agua para riego.	2.23
	61. Apoyo y seguimiento para el desarrollo de proyectos de adaptación.	2.17
	62. Asistencia técnica a los usuarios de la cuenca por parte de las instituciones de gobierno, ONG e instituciones privadas.	2.06
	63. Capacitación sobre riesgo y amenaza de los sistemas productivos (en el tema de seguros).	2.02

Las medidas de adaptación priorizadas en cada una de las categorías, constituyen aquellas acciones que de acuerdo con los actores de la cuenca, se han realizado, se están realizando y se podrían implementar y/o mejorar para promover el uso sostenible de los recursos naturales dentro de la cuenca, principalmente del agua.

En este sentido, resulta necesario y conveniente analizar a lo interno de las categorías, aquellas medidas que han sido ponderadas con los valores más altos, así como aquellas que han obtenido valores medios y bajos, con el fin de encontrar tendencias de manejo. De igual forma, se incorporan a la discusión (en cursiva y entre comillas) los diferentes comentarios que surgieron durante el proceso de priorización de las medidas de adaptación.

Construcción o instalación de infraestructura

Con lo que respecta a la categoría de construcción o instalación de infraestructura (donde se consideraron aquellas medidas que incluyen una estructura física como un resultado), se identificaron un total de 11 medidas. Todas ellas relacionadas al uso, manejo y aprovechamiento del agua. Estas representan el 17% del total de medidas identificadas, siendo la segunda categoría con el mayor número de medidas después de la categoría de comunicación.

Al respecto de las medidas con los tres promedios ponderados más altos; cambio en los sistemas de riego por otros más eficientes, construcción y manejo de embalses o reservorios para el almacenamiento de agua y, establecimiento de obras para la conservación del suelo (con 2.24, 2.19 y 2.12, respectivamente), los actores han manifestado que la primera de estas medidas, *"debe de construirse bajo una visión a largo plazo y acompañarse de un plan de inversión atractivo y respaldado con estudios e información del ICC y otras instituciones sobre el recurso hídrico"*. Además es *"necesario establecer planes estratégicos para mejorar la eficiencia de los diferentes sistemas de riego utilizados por los usuarios del recurso hídrico de la cuenca"*.

Con respecto a la segunda medida, correspondiente a la construcción y manejo de embalses o reservorios para el almacenamiento de agua, manifestaron que se requiere para el efecto del *"diseño de un sistema de obras de acuerdo con las características específicas de la cuenca del río Acomé"*.

Para el establecimiento de obras para la conservación del suelo, consideraron que *"es de carácter urgente, establecer los mecanismos de conservación de suelos para garantizar la sostenibilidad de la agricultura, evitar asolvamiento de los ríos y por ende deterioro de la cuenca"*.

Para el resto de medidas priorizadas (de hecho con valores muy cercanos a las tres primeras) se manifestaron también sugerencias y aportes importantes por parte de los actores. Uno de ellos es con respecto a la integración de medidas para facilitar y favorecer su implementación, poniendo como ejemplo, que el revestimiento de canales de riego puede integrarse con la construcción de estructuras de aforo, proponiendo a la vez *"capacitar a la población para el monitoreo de caudales"* lo que resulta hasta cierto punto, una propuesta muy ambiciosa (pero necesaria) de autoregulación en el uso y aprovechamiento del recurso, que además favorecería la transparencia y participación de los diferentes actores en la gestión del mismo.

Con respecto al diseño y construcción de obras de riego y drenaje regionales, a nivel de cuenca, manifiestan la necesidad de que exista para ese fin *"un ente rector o administrador en donde participen todos los actores que usan el recurso hídrico"*, lo que indican *"permitiría un manejo más organizado del recurso"*.

Para la construcción de pozos de absorción como una medida para la recarga de acuíferos manifestaron que *"la definición concreta de lugar y forma, requiere conocimiento técnico, convencimiento y acuerdo"*. Además, señalan que *"esta actividad debe de respaldarse mediante una investigación seria sobre los acuíferos, caracterizarlos y más previo a su implementación"*. También indican que preferiblemente *"deben estar combinados con otras estructuras y/o prácticas que contribuyan a la regulación hidrológica"*. *"Cuidando de no utilizar los acuíferos superficiales que aportan agua a los pozos artesanales, norias, aguadas, etc."*

También, recomiendan *"realizar los estudios necesarios para no dañar la cuña salina y evitar la contaminación de los acuíferos profundos, construyendo obligatoriamente los sellos sanitarios correspondientes a la profundidad que los estudios determinen"*.

Para la construcción de diques o bordas para el control y manejo de inundaciones como medida de adaptación, manifestaron que se *"requiere conocimiento más cercano del comportamiento de las fuentes y planificación para asegurar sean las más apropiadas y eficientes y contribuyan a proteger el interés común y luego los intereses individuales"*.

Para el revestimiento de canales de conducción de agua para riego, manifestaron que es una medida que en principio depende del tipo de revestimiento que se proponga; si es con material vegetal o concreto. De ser utilizado este último material opinan que es una *"actividad que debería de encamisarse a desaparecer y migrar a sistemas más eficientes y de mejor tecnología"*. Indicando que *"no es necesario realizarla"* porque *"tiene costos muy altos, además de que reduce el área de infiltración afectando la recarga hídrica de los mantos acuíferos"*. Agregando que *"un buen diseño de los canales puede hacer eficiente la conducción del agua"*.

Recomiendan en cuanto al establecimiento de las obras para la conservación del suelo, que estas se implementen *"principalmente en zonas vulnerables a erosión hídrica (parte alta y media de la zona cañera)"* lo que demanda estudios que permitan conocer e identificar espacialmente las áreas críticas

que dentro de la cuenca deben de considerarse prioritarias para la implementación de este tipo de medidas.

Comunicación

Si bien la división por categorías de las medidas de adaptación, no pretende establecer un orden de importancia y/o comparación entre las mismas. La cantidad de medidas identificadas en cada una de las categorías, sí resulta ser útil como un indicador del tipo de acciones que demanda y requiere el sector agrícola en particular y la cuenca en general.

En este sentido, si se considera que la categoría de comunicación, representa más del 25% del total de las medidas identificadas, puede decirse que el mayor reto al cual se enfrenta el sector agrícola de la cuenca, no es técnico, ni económico, sino de comunicación, principalmente intra e inter sectorial e institucional.

Crear estrategias de comunicación entre los actores de la cuenca para coordinar el uso de los recursos, conocer los proyectos que cada actor y sector realiza, para sacar el máximo provecho y no duplicar acciones es uno de los grandes retos del sector en esta categoría. Fomentar, además, la participación de los productores de palma y banano en el tema de uso y aprovechamiento del agua es un reto de igual envergadura, por lo que algún actor en la cuenca deberá de liderar el proceso y tomar la iniciativa al respecto.

Los mismos actores de la cuenca reconocen la necesidad de hacerlo y de conocer además las "*demandas hídricas*" de quienes hacen uso del agua. Además, reconocen que es importante incluir a los productores independientes de caña en el uso y manejo del agua, "*identificarlos y poder crear una base de datos de ellos*" lo que promoverá, según indican, "*un manejo integral del recurso hídrico*".

Elaborar estudios en temas diversos e importantes para el conocimiento del funcionamiento y dinámica de la cuenca es necesario. Estudios sobre la valoración de los servicios ambientales y/o ecosistémicos de la cuenca es un "*tema importante que no reconocen los usuarios agroindustriales*". Por lo que la generación de información al respecto, podría incluso favorecer y facilitar la toma de decisiones.

Además, estudios que permitan conocer las entradas y salidas de agua de cada una de las cuencas y determinar así, el posible redireccionamiento del recurso resultan también de mucha utilidad, los "*balances hídricos a nivel de microcuencas u otras unidades hidrológicas más pequeñas*" constituyen herramientas valiosas al momento de planificar el uso del agua. Además, los estudios de este tipo permitirían conocer "*quienes más usan el agua, para qué y cuáles son sus prácticas*", lo que dentro de una GIRH resulta ser vital.

La elaboración e implementación de planes de ordenamiento territorial también es importante para los actores, pero señalan que estos deberán de realizarse "*de forma participativa y realista, no soñadora, con valores económicos de cuanto hay que invertir y los beneficios a corto mediano y largo plazo*".

Así mismo, reflexionan sobre la elaboración e implementación de planes de concientización y capacitación para usuarios del agua, donde manifiestan que los mismos deberán de realizarse *"sobre uso equitativo, uso eficiente y uso sostenido, las ventajas de equilibrar; así como la necesidad de valorar el agua y entender que hacerla accesible tiene un costo y que disponerla luego de usarla, también"*.

Con respecto a la estimación de la variación de caudales de ríos con base a lluvias del año anterior para planificar la oferta de agua, reconocen la importancia de *"planificar la producción agroindustrial en base a la disponibilidad hídrica"*. Considerando que *"lo único seguro es lo inseguro"* en cuando al régimen irregular de lluvias se refiere. Reconociendo además que *"la referencia de un año a otro permitirá en el futuro construir escenarios"* que a su vez permitan y favorezcan la planificación del recurso.

"El conocer el área o el medio en que se vive hace que se busquen técnicas y/o métodos para conservar los recursos limitados", por lo que realizar giras de trabajo para ampliar el conocimiento y generar ideas para adaptarlas a la zona con el acompañamiento de *"comunidades, sectores productivos y sector gubernamental"* resulta ser muy importante.

A su vez, trabajar capacitaciones y concientización a nivel comunitario y con actores tomadores de decisiones (municipalidades, COCODES, agroindustrias, etc.) sobre el tema del agua es importante. Así se manifestó en la priorización de las medidas dentro de esta categoría, cuyo objetivo es agrupar aquellas medidas que incrementen la información y el conocimiento de los actores en la cuenca.

Fomentar un manejo de información menos restringido entre el sector y los actores es un tema sumamente importante en el proceso de gestión, al respecto los actores hacen referencia que *"compartir información es compartir intereses, retos, oportunidades, conflictos, lo que permite crear confianza entre actores, así como tomar decisiones basadas en la misma información"*. Las estrategias de comunicación y divulgación para el manejo y la conservación del suelo y agua, así como una mayor socialización de resultados de proyectos e investigaciones generados en el sector, pueden ser algunas de las medidas que contribuyan y brinden una solución a este tipo de inconvenientes.

Al respecto de quienes deberían de participar en estas estrategias de comunicación, los actores manifestaron que en general convendría que fueran los usuarios del agua: *"autoridades locales, comunidades rurales, prestadores de servicios técnicos, vendedores de equipos y servicios, escuelas, sector público y sector privado, así como los sectores de caña, banano y palma, la municipalidad, las camaroneras, los pescadores y salineros"* lo que *"promueve la relación de confianza con los actores, sectores y usuarios de la región"*.

"Divulgar la información que se genera a todos los usuarios o actores de la sociedad dentro y fuera de la región" es importante y necesario si consideramos que *"el enfoque de gestión integrada del agua, es útil en la medida en que se integra y participa un mayor número de usuarios"*.

Coordinación

Para facilitar la comunicación y promover la coordinación de las actividades, es de suma importancia involucrar a la mayor cantidad de actores presentes en la cuenca, para esto podría ser oportuna la creación de un comité, mesa técnica o grupo de trabajo que lidere la gestión del agua a nivel regional o de cuencas, lo que da lugar a que *"si los derechos de uso no están claramente definidos, este sea el espacio para plantear y tratar controversias y conflictos"*.

El objetivo del comité deberá ser por sobre todo promover la integración de las autoridades gubernamentales en los temas de manejo de agua y en conjunto fomentar proyectos multifinalitarios que beneficien a múltiples actores. Estas intenciones son en general el objetivo que persiguen las tres medidas que integran esta categoría, misma que resulta ser un reflejo de la categoría de comunicación, por el complemento e importancia que una significa para la otra.

Manejo de recursos naturales

El manejo de los recursos naturales en la cuenca del río Acomé es un tema importante para el sector, más aún si consideramos que estos recursos están representados principalmente por el suelo y el agua, como elementos indispensables para el desarrollo de la agricultura en la zona.

Las medidas que integran esta categoría son aquellas que buscan mejorar y promover el manejo sostenible de los recursos naturales, principalmente con el fin de lidiar y contrarrestar los efectos e impactos del cambio climático, siendo ocho medidas las que integran esta categoría, lo que representa el 12% del total de las mismas.

A lo interno de la categoría resulta interesante analizar la preocupación que existe entre los actores por llegar a determinar y manejar el caudal ecológico del río. Esta representa la medida mejor valorada de la categoría con 2.25, lo que resulta importante, si consideramos que el caudal base de las principales corrientes de la cuenca, en ocasiones es reducido a tal grado, que deja de correr aguas abajo, sin lograr desembocar en el mar. Con respecto a esta medida los actores manifiestan que *"el monitoreo de caudales es el primer paso para este tema"*.

La segunda y tercer medida con los valores más altos (2.19 y 2.12 respectivamente) son acciones que promueven y buscan la recuperación de las riveras de los ríos y zanjones con especies nativas, a través de la implementación de estrategias locales y regionales que promuevan el manejo sostenible de los recursos naturales, con la participación y el compromiso de todos los actores que hacen uso del agua.

Los actores comparten la necesidad de la cuenca por promover estas medidas al reconocer que *"es importante propiciar el establecimiento de especies nativas bajo el arreglo de bosque de ribera"*, incluso como una medida que favorece *"la restauración de corredores biológicos"*, utilizando para el efecto *"la normativa vigente"*.

Esto tiene mucha relación con las medidas de reforestación y protección del estrato alto de la cuenca, reconociendo que la actividad *"es importante para las áreas de recarga hídrica"*. Para el efecto recomiendan hacer la reforestación *"de acuerdo a la capacidad de uso de la tierra"*, *"evaluando que tan agresivo y masivo serían esas reforestaciones, pues puede en algún momento reducir la oferta de agua en la cuenca en los primeros años, por lo que debería de ir acompañado con trabajos en la parte baja de las cuencas, principalmente para la época de estiaje"*.

La identificación de zonas de baja producción para destinarlas al establecimiento de bosques también es una medida correspondiente a esta categoría, señalando al respecto que *"sería mejor identificar zonas de recarga hídrica para reforestar y captar mayor cantidad de agua para acuíferos y reforestar zonas donde no se pueda sembrar"*. *"Utilizando de igual forma información de capacidad de uso de la tierra para este tema"*

Instrumentos regulatorios

Esta categoría considera todas aquellas medidas que regulan y delimitan legal u oficialmente un comportamiento o acción específica. La categoría está integrada por seis medidas de adaptación que persiguen por sí mismas dicho fin.

La medida de adaptación mejor valorada en esta categoría (con 2.41) hace referencia a la creación y/o fortalecimiento de una institución que sea la encargada de medir (aforar) el agua con el fin de coordinar su distribución posterior, a través de una medición constante de la cantidad de agua existente. Para el efecto, los actores manifiestan que *"puede ser una institución que tenga la confianza de todos los actores y muestre los resultados de manera imparcial"* o bien *"que sea una comitiva o grupo, integrado por miembros o representantes de cada actor para que sirvan como auditores"*. Consideran importante, además, incluir en ella a representantes de entidades de gobierno.

La medición constante de los parámetros físicos y químicos del agua fue la segunda medida mejor valorada (con 2.23), para lo cual los actores consideran que deberá ser una actividad que se realice *"periódicamente, según sea acordado entre los actores"* y para el efecto deberán *"tener equipo disponible"*.

Ampliar la política ambiental del sector azucarero hacia otros sectores, como: banano, palma y hule, con el objetivo de reducir la conflictividad social resulta ser una propuesta interesante e integradora. *Una "política regional o de la cuenca, para que no se vea como una imposición del sector, que se construya en conjunto y que el comité o grupo de actores sea el encargado de darle seguimiento al cumplimiento", donde ASAZGUA establezcan políticas a cumplir y, se fomente la eficiencia de los sistemas de riego, estableciendo un mínimo aceptable por sistema, lo que "podría aplicarse exclusivamente a los miembros de la Asociación"*.

En definitiva, es necesario establecer una normativa sobre el uso y aprovechamiento del agua en la cuenca con todos los actores, que permita el uso del recurso de una manera eficiente sin afectar la producción, ni perjudicar la disponibilidad del recurso para otros fines.

Estructura de incentivos

La categoría de incentivos integra aquellas medidas de adaptación que promueven y facilitan la adaptación a través de motivaciones específicas. La propuesta de la reducción de pago de impuestos por implementación de proyectos de adaptación es un claro ejemplo de ellas. Los actores indican que es *"muy buena idea, pero hay que crear la estrategia para llevar a donde corresponde SAT¹⁴, Municipalidades, etc."*

Otra de las medidas de adaptación propuesta en esta categoría, busca promover incentivos para la implementación de los bosques de riberas, además, trabajar a nivel local a través del pago por servicios ambientales.

Reubicación

La medida de adaptación mejor valorada en esta categoría (con 2.35) hace referencia al movimiento de vertederos (basureros a cielo abierto) para garantizar la calidad de agua en el futuro. La reubicación de poblados, comunidades o sistemas productivos en áreas menos vulnerables es, de igual forma, una de las medidas que integran esta categoría. Los actores reconocen lo difícil de esta medida señalando que *"técnicamente puede ser sencillo definir, pero socialmente quién ofrecerá opciones económicas y sociales principalmente a los grupos socialmente vulnerables"*. Un actor manifestó:

"Históricamente el tema de reubicación de poblados en Guatemala no ha funcionado, la gente regresa a su lugar de origen, por lo cual considero que se deben promover otro tipo de medidas. Más que re ubicar a los poblados, se debe trabajar en análisis de riesgos y aplicar un plan de ordenamiento territorial y reglamentos de construcción por medio de las municipalidades, así como fortalecer las DMP¹⁵ para garantizar una supervisión eficiente y se apliquen dichos reglamentos. De esta manera evitar que se construya en lugares de alto riesgo y estas zonas sean aprovechadas para otras actividades, acordes a la zona y que se adapten a las amenazas".

Fortalecimiento de capacidades

La medida mejor valorada en esta categoría busca generar conocimiento para reducir la conflictividad en la cuenca. Además de promover la integración con los actores de la cuenca a fin de concientizar y capacitar para establecer estrategias conjuntas. Importante resulta dar a conocer la terminología sobre cambio climático y sensibilizar sobre el tema del agua en las agroindustrias (caña, banano, palma, etc.).

¹⁴ Superintendencia de Administración Tributaria

¹⁵ Dirección Municipal de Planificación

Asistencia técnica

La asistencia técnica a los usuarios de la cuenca por parte de las instituciones de gobierno, ONG e instituciones privadas es una buena idea, pero es difícil según los actores *"por la debilidad de la institucionalidad pública nacional"*.

Algunas consideraciones

Estudios realizados sobre el cambio climático, asociados principalmente al cultivo de la caña de azúcar en Guatemala (CENGICAÑA 2012; Melgar y Quemé s.f.), establecen que el impacto del cambio climático afecta a toda la cadena de valor: campo, cosecha, transporte y fábrica. A su vez, describen diferentes estrategias de adaptación, que consisten en un mejoramiento o ampliación de actividades que ya están siendo desarrolladas por los productores de caña de azúcar, los ingenios azucareros, el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA) o el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). Entre estas estrategias se encuentran: el mejoramiento genético, la programación del riego utilizando parámetros del clima-océano, suelo, caña de azúcar, la implementación de sistemas de riego más eficientes, el uso del balance hídrico, el estudio de niveles freáticos y análisis del aporte capilar, el almacenamiento y la eficiencia en la conducción del agua.

Para la adaptación del cultivo de la caña de azúcar al cambio climático, hay varias opciones de adaptación que se pueden considerar, tanto en el campo como en la fábrica. Sin embargo, la mayoría de impactos del clima podrían darse en el campo y éstos incidirían en una menor productividad, por lo que el mayor potencial de adaptación se encuentra ahí. Entre estas opciones de adaptación para el cultivo de la caña de azúcar se encuentran: aumentar la disponibilidad de agua para riego a través de la inversión en infraestructura de riego, la instalación de obras de almacenamiento de agua dentro de las fincas, el uso y desarrollo de variedades de caña de azúcar que sean más eficientes en el uso del agua y que resistan mejor las sequías, la eficiencia en las tecnologías de riego, la capacitación continua del personal para implementar los cambios en el manejo de los cultivos según los nuevos requerimientos, la conservación del suelo, la diversificación de cultivos y el mejoramiento de información y pronósticos del clima (CENGICAÑA 2012).

Estos estudios permitieron identificar una serie de medidas de adaptación que se han implementado y desarrollado en la agroindustria azucarera, sin embargo, estas enfatizan sobre el cultivo de la caña de azúcar (en campo y fábrica) y el uso y manejo del agua con fines de riego, pero no consideran la gestión integral del agua bajo un enfoque de cuencas, ni la comunicación y/o coordinación inter e intra sectorial, lo que tiende a generar conflictos por el uso del recurso.

Por tal razón, independientemente del tipo de medida de adaptación y de la categoría a la que pertenezca, es importante considerar en el manejo de la cuenca, el carácter biofísico y social de la misma. Si bien la cuenca se conceptualiza en su sentido más amplio como una fuente natural de captación y concentración de agua, en un sentido social, de acuerdo con Umaña (2007), la cuenca se considera esencialmente un espacio producido por el conjunto de las relaciones e interacciones sociales

de apropiación y uso de los recursos que ella contiene. Por ello, debe ser considerada como una realidad socialmente construida a partir de las relaciones económicas, culturales, sociales y políticas que se establecen entre los diferentes sectores.

Como espacio social, la cuenca hidrográfica puede ser considerada también como un bien común, ya que la forma como se manejan y regulan sus recursos conlleva significativas implicaciones para grandes segmentos de la población. En este sentido, los diferentes usos de las cuencas hidrográficas deberían de ser reguladas de tal manera que los costos y beneficios de su manejo sean socialmente compartidos. Esto constituye un cambio en la estructura de las relaciones entre los individuos, que supone la creación o el fomento de valores como la solidaridad, la cooperación y la reciprocidad entre actores y sectores para facilitar la implementación de acciones de manejo (Umaña 2007).

Con base en el listado elaborado de medidas de adaptación al cambio climático para la cuenca del río Acomé, resulta importante tener presente estas dimensiones, procurando alcanzar un manejo adecuado de la cuenca a través de la implementación de las mismas. De acuerdo con Tschinkel (2001), una práctica de manejo de cuencas verdaderamente exitosa inicia un proceso que continúa cambiando el paisaje y permite percibir visualmente sus efectos sobre el mismo.

4. Conclusiones

La cuenca del río Acomé requiere de intervenciones individuales y colectivas. Medidas y acciones a nivel de cuenca que garanticen el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, principalmente del suelo y agua. Estas medidas de adaptación pueden ser de dos tipos; las blandas (*soft*), que son aquellas medidas que contribuyen a la reducción de la vulnerabilidad, pero de una manera indirecta; y las duras (*hard*), que son medidas tangibles, que también buscan reducir la vulnerabilidad, pero que pueden hacerlo de una manera más directa. Ambos tipos de medidas se complementan y son necesarias de implementar en la cuenca. Sin embargo, antes de llevar a cabo la implementación de cualquier medida de adaptación, es necesario reevaluar la medida, determinar si existen medidas de ese tipo en la zona y comprobar su éxito y efectividad, además de hacer un análisis costo-beneficio de las mismas. Esto permitirá garantizar la permanencia y funcionalidad de la medida con el transcurso del tiempo.

Las medidas de adaptación priorizadas en cada una de las categorías, constituyen aquellas acciones que, de acuerdo con los actores de la cuenca, se han realizado, se están realizando y se podrían implementar y/o mejorar para promover el uso sostenible de los recursos naturales dentro de la cuenca, principalmente del agua. Las medidas de adaptación al cambio climático priorizadas con los valores más altos en cada una de las categorías son, según los actores, las más importantes y urgentes de implementar en la cuenca. En este sentido, resulta necesario y conveniente analizar a lo interno de las categorías, aquellas medidas que han sido ponderadas con los valores más altos, así como aquellas que han obtenido valores medios y bajos, con el fin de encontrar tendencias de manejo. Para la cuenca del río Acomé particularmente, se puede determinar, de acuerdo con el número de medidas identificadas por categoría, que es prioritario en términos generales, crear o fortalecer los canales de comunicación entre actores y sectores, ya que el 25% del total de las medidas identificadas corresponden a la categoría de comunicación, el 17% a la categoría de construcción o instalación de infraestructura y el 12% corresponden a la categoría de recursos naturales; las dos últimas requieren de la comunicación y/o coordinación entre actores para su implementación al nivel de cuenca.

Las medidas de adaptación priorizadas deberían de implementarse en principio, en aquellas zonas donde el cambio climático presentará variaciones más pronunciadas en cuanto a la temperatura y la precipitación. Para el efecto, resulta necesario tener estudios que permitan identificar y observar espacialmente esos cambios, con el fin de orientar las medidas de adaptación más oportunas a las áreas de la cuenca donde se requieran con mayor prioridad. Para facilitar y orientar este trabajo es relevante tener mapas climáticos futuros y determinar las áreas críticas de la cuenca, con base al uso actual y potencial de la misma.

5. Literatura citada

CE (Comisión Europea). 2013. Buenas prácticas para la adaptación al cambio climático en la América Latina rural: opciones y lecciones desde el enfoque de medios de vida. Programa EUROCLIMA, Dirección General de Desarrollo y Cooperación – EuropeAid, Comisión Europea. Bruselas, Bélgica, 114 p.

CENGICAÑA (Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar). 2012. El Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala. Eds. M Melgar; A Meneses; H Orozco; O Pérez; R Espinosa. Guatemala, 512 p.

CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático). 2015. Acuerdo de París. París, Francia, 40 p.

Corrales, L. 2010. Informe Final. Efectos del Cambio Climático para Centroamérica. 55 p. Dazé, A; Ambrose, K; Ehrhart, C. 2010. Manual para el análisis de capacidad y vulnerabilidad climática. Perú, CARE Perú. 52 p.

Dazé, A; Ambrose, K; Ehrhart, C. 2010. Manual para el análisis de capacidad y vulnerabilidad climática. Perú, CARE Perú. 52 p.

EIRD (Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres). 2008. El cambio climático y la reducción del riesgo de desastres. Ginebra, Naciones Unidas. 14 p.

GIZ (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH) 2014. Metodología para la Identificación y Priorización de Medidas de Adaptación frente al Cambio Climático (diapositivas) México.

IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 151 p.

Landa, R; Ávila, B; Hernández, M. 2010. Cambio climático y desarrollo sustentable para América Latina y el Caribe. México, British Council, PNUD México, Cátedra UNESCO-IMTA, FLACSO México. 140 p.

Mapplecroft. 2014. Índice de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la región de América Latina y el Caribe. Ed. Caf (Banco De Desarrollo De América Latina).

Melgar, M; Quemé, JL. s.f. Adaptación del cultivo de la caña de azúcar al cambio climático en Guatemala. Guatemala, 13 p.

Mora, J; Ramírez, D; Ordaz, J; Acosta, A; Serna, B. 2010. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA. México, 75 p.

Oglesby, R; Rowe, C. 2015. Impactos climáticos para Guatemala: Resultados preliminares de los modelos climáticos regionales y globales IPCC AR5. Guatemala, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 40 p.

Samaniego, J, (comp). 2009. Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. Santiago, Chile, Naciones Unidas. 48 p.

Tschinkel, H. 2001. ¿Qué Realmente Funciona en el Manejo de Cuencas Hidrográficas? algunas lecciones para Guatemala. Guatemala, 22 p.

Umaña, IA. 2007. Las cuencas y la gestión del riesgo a los desastres naturales en Guatemala. Guatemala, FAO-Guatemala. 49 p.

CAPÍTULO III

PROPUESTA DE DISEÑO DE COMPONENTE DE ADAPTACIÓN COMO UN APOORTE AL PLAN DE MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO ACOMÉ

1. Formulación del plan de manejo y/o gestión de cuencas hidrográficas

Los planes de manejo y gestión de cuencas, en el contexto global, se conceptualizan como *"instrumentos directrices para ordenar las acciones que requiere una cuenca hidrográfica, para lograr un uso sostenible de sus recursos naturales"*. El diseño del plan de manejo y gestión de cuencas, requiere de una formulación técnica, un enfoque, luego definir el modelo que le corresponde¹⁶ y finalmente el proceso técnico y social para definir las actividades (Jiménez 2014).

De acuerdo con Jiménez (2014), la formulación técnica consiste en definir la forma de solucionar el problema, para pasar del modelo de estado al modelo de soluciones, este paso es estratégico y orienta las decisiones técnicas del planificador, considerando:

- a. Gestión administrativa, bajo una eficiente organización que permita el ordenamiento territorial e institucional para apoyar las acciones del plan.
- b. Visión integral, involucrando a todos los sectores y actores, en forma coherente.
- c. El plan debe ser único, no habrá duplicidad ni competencia, sino complementariedad.
- d. Carácter dinámico y continuo.
- e. Proyectivo, para establecer logros en plazos diferentes.
- f. Horizonte de tiempo definido en función de demanda, oferta, tiempo.
- g. Debe ser reconocido y aceptado, pero idealmente realizado en conjunto con los actores clave de la cuenca.

Existen diferentes formatos para organizar el plan de manejo y/o gestión de una cuenca, dependiendo de los objetivos, de la demanda, de las necesidades, del tiempo disponible, de los recursos económicos y humanos disponibles. La estructura y contenido, también, puede variar si se trata de un plan de manejo o un plan de gestión¹⁷ (Jiménez 2014). La **Figura 25** presenta los elementos que corresponden a un plan de manejo y/o gestión de una microcuenca, subcuenca o cuenca.

¹⁶ Los modelos de planes de manejo de cuencas, subcuencas o microcuencas, se ajustan a la problemática que tiene que resolver, al potencial y oportunidades, y a los métodos de trabajo que adoptarán los actores. Si la cuenca está muy degradada es conveniente que se aplique un modelo de recuperación o de rehabilitación, en el otro extremo, si la cuenca está protegida y tiene vocación de conservación/servicios, seguro que se aplicará un modelo conservacionista o de protección, en otros casos se aplica un criterio de multiobjetivos o uso múltiple. También es posible que los modelos se ajusten al nivel de complejidad que se aplique a la cuenca, solo los recursos naturales o será un modelo con enfoque integral.

¹⁷ El plan de manejo enfatiza en cómo lograr la sostenibilidad de los recursos naturales, por lo tanto define programas y proyectos relacionados con la producción y conservación. El plan de gestión/cogestión tiene componentes específicos para lograr la implementación.



Figura 25. Esquemas del plan de manejo, gestión o cogestión de cuencas

Fuente: (Jiménez 2014)

2. Componente de adaptación al cambio climático

Los componentes se refieren a los programas y proyectos que se han definido como prioritarios para enfrentar la situación o problemas o para aprovechar las potencialidades y oportunidades que se identificaron y priorizaron en el diagnóstico de la cuenca. El conjunto de los programas y proyectos constituyen los componentes del plan. Estos no deben ser numerosos, se trata en lo posible de manejar entre 4 o 5 componentes (Jiménez 2014), o bien entre 5 a 7, integrando los objetivos y soluciones comunes (World Vision 2004).

Lo más importante de los componentes es que respondan a las definiciones del diagnóstico y resuelvan las causas a los problemas analizados (World Vision 2004). De acuerdo con Umaña (2002), además de los componentes clásicos que tradicionalmente se ha considerado en los planes de manejo de cuencas (reforestación, conservación de suelos, capacitación, etc.) se han venido desarrollado nuevos componentes que hoy se deberán de considerar incorporar en los mismos, entre ellos: gestión de riesgos, manejo de vulnerabilidad, servicios ambientales, participación comunitaria, fortalecimiento local, incidencia, políticas ambientales, ecoturismo y educación ambiental, así como el componente de cambio climático, que actualmente se considera clave en la planificación del manejo de las cuencas.

Con base en lo anteriormente descrito, se consideró por el tamaño de la cuenca del río Acomé y por el número de medidas de adaptación identificadas y priorizadas para la misma, diseñar el componente de adaptación bajo cinco programas principales:

1. Construcción, instalación o mejoramiento de infraestructura.
2. Comunicación y coordinación intra e intersectorial.
3. Manejo de recursos naturales.
4. Instrumentos regulatorios y estructura de incentivos.
5. Fortalecimiento de capacidades y cooperación técnica.

Estos programas surgen de las diferentes categorías que se consideraron para llevar a cabo la identificación y priorización de las medidas de adaptación, lo que facilita la integración de las mismas en la estructura del componente. Los programas y proyectos son por lo tanto, un conjunto de acciones realizadas con fines de contribuir a la sustentabilidad ambiental de la misma (Bahamondes s.f.). En la **Figura 26** se presenta el esquema correspondiente a los diferentes elementos que dan origen y conforman en este caso el componente de adaptación al cambio climático.

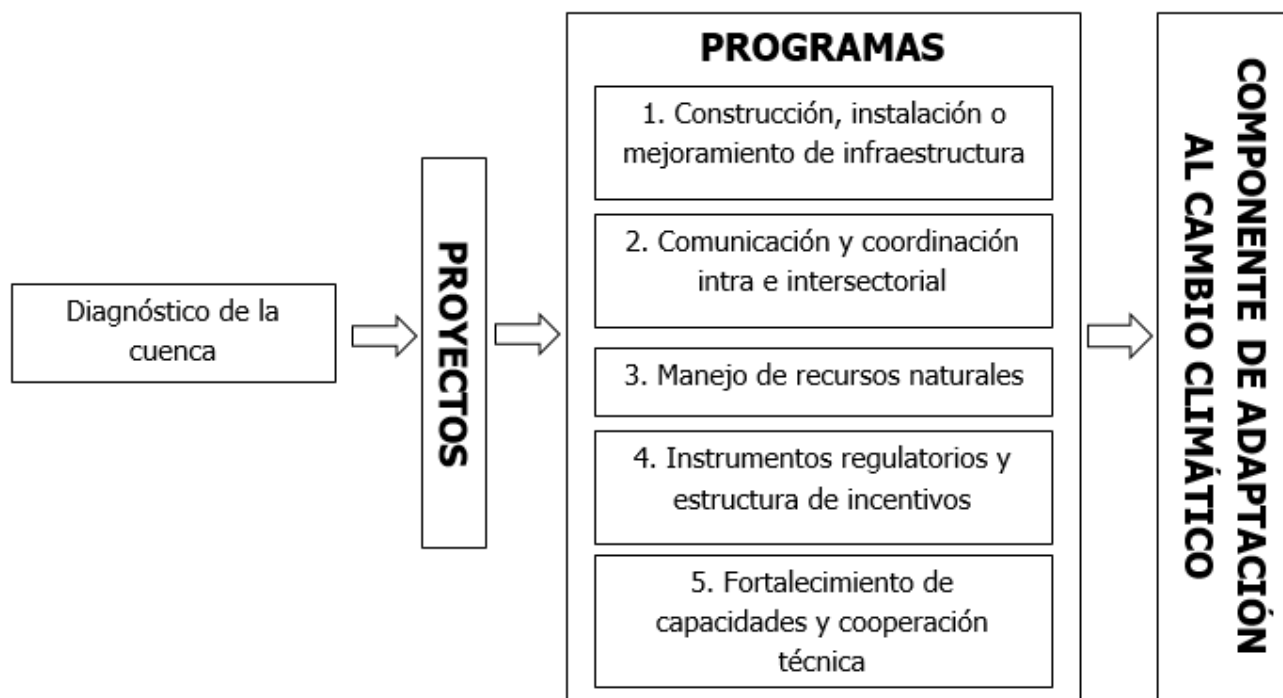


Figura 26. Elementos que integran el componente de adaptación

3. Objetivo y elementos del componente de adaptación al cambio climático

El objetivo del establecimiento de componentes, es la definición específica de intervención mediante soluciones homogéneas y consistentes en un campo disciplinario articulado al funcionamiento de la cuenca y la interacción social, económica, biofísica y ambiental (World Vision 2004;Jiménez 2014). En un plan de manejo cuando existe más de un componente, estos deberán de contener idealmente los siguientes elementos:

- a. Nombre del componente
- b. Ubicación (en qué partes de la cuenca se implementará)
- c. Justificación de ese componente
- d. Estrategias para la implementación de ese componente
- e. Intervención (objetivos, resultados esperados, actividades para cada resultado, indicadores de resultados o metas, medios de verificación)
- f. Responsable de la implementación (comité de cuencas, organización, institución, etc.)
- g. Cronograma trimestral, idealmente mensual, para la implementación del componente.
- h. Costo estimado para implementar ese componente (por año)

De acuerdo con World Vision (2004), los factores claves para el diseño de los componentes son:

- a. El (los) recurso(s) estratégico(s) integrador(es) de la cuenca y las actividades que dependen de ella, productividad, área de influencia física y económica.
- b. Los sistemas de producción y de conservación.
- c. Los problemas y las necesidades de la población, agricultores y usuarios de los recursos de la cuenca.
- d. El estado de la cuenca, su capacidad de soporte y limitantes en el sitio y en el entorno.
- e. Cuáles son los aspectos de interés de la comunidad, agricultores, usuarios e instituciones de la cuenca o que dependen de la cuenca.
- f. Nivel de organizaciones y efectividad de la participación.
- g. Expectativa de intervención (recursos humanos, institucionales y financieros)
- h. Capacidad de autogestión y nivel de participación de las instituciones locales en los procesos de toma de decisiones.
- i. Rentabilidad social y económica

Siendo el objetivo del presente trabajo proponer el diseño de un solo componente, resulta innecesario ocupar la estructura sugerida para la elaboración y descripción del mismo.

Sin embargo, así como los componentes tienen idealmente una estructura sugerida, los programas y proyectos también cuentan con la propia. De acuerdo con Jiménez (2014), los diferentes programas que integran un componente (para este caso el de adaptación) deberán al menos de contar con la siguiente estructura y descripción:

- a. Nombre del programa
- b. Ubicación (en qué partes de la cuenca se implementará)
- c. Justificación del programa (situación o problema, beneficiarios, y beneficios)
- d. Estrategias para la implementación de ese programa
- e. Intervención (objetivos, resultados esperados, actividades para cada resultado, indicadores de resultados o metas, medios de verificación)
- f. Responsable de la implementación (comité de cuencas, organización, institución, etc.)
- g. Cronograma al menos trimestral, idealmente mensual, para la implementación del programa.
- h. Costo estimado para implementar ese componente (por año)

Con respecto a los proyectos, que son parte a su vez de los diferentes programas, se deberá identificar y formular con base en el diagnóstico de la cuenca. En tal sentido, un proyecto puede ser una medida de adaptación identificada y priorizada según su importancia y necesidad de implementación (al corto, mediano o largo plazo), o bien la combinación de varias medidas que se complementan entre sí. Un ejemplo de esto fue manifestado por una de las personas que participó en la encuesta realizada para la priorización de las medidas de adaptación, haciendo referencia a que *“tanto el revestimiento de canales de riego, como la construcción de estructuras de aforo, podrían agruparse en una sola medida”*.

De acuerdo con Jiménez (2014), la estructura de cada uno de los proyectos deberán de considerar al menos la siguiente estructura y elementos:

- a. Nombre del programa
- b. Objetivo del programa
- c. Nombre del proyecto
- d. Objetivo del proyecto
- e. Actividades y/o acciones
- f. Ubicación
- g. Duración
- h. Instituciones vinculadas a su ejecución
- i. Actores / participantes
- j. Monto total
- k. Anexos de referencia

Es importante reconocer que el trabajo y esfuerzo de una sola institución no resolverá los problemas tan complejos y multisectoriales de la gestión integral de una cuenca; por lo tanto, es necesario unir esfuerzos y fortalezas interinstitucionales a través del trabajo en asocio (Jiménez 2014), para lograr uno de los objetivos fundamentales que es la concertación de intereses y necesidades de los actores locales, de las organizaciones y de las instituciones presentes.

A continuación, en la **Figura 27** se presenta el esquema general propuesto para la estructura y desarrollo del componente de adaptación al cambio climático en general y para cada uno de los elementos que lo integran en específico.

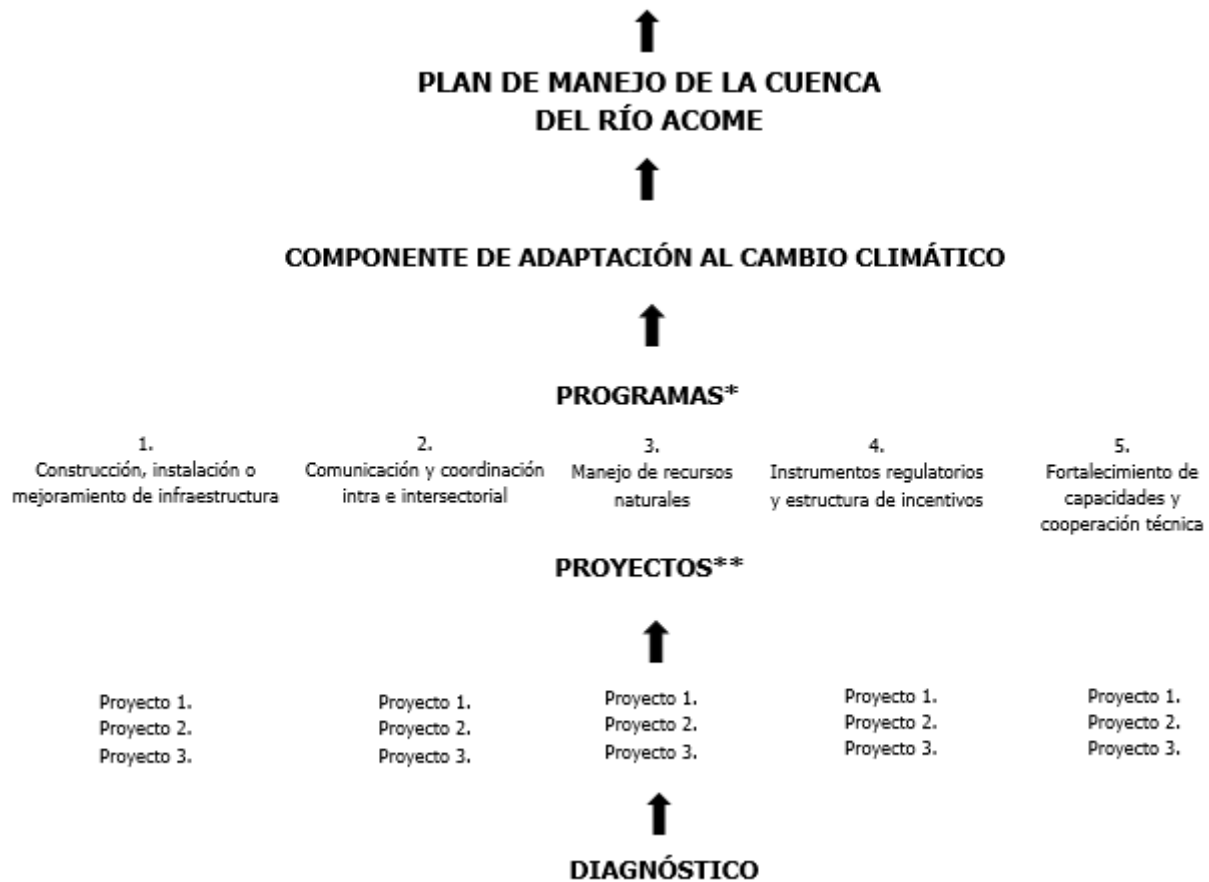


Figura 27. Estructura y elementos del componente de adaptación al cambio climático

***Estructura de los programas:**

- a. Nombre del programa
- b. Ubicación
- c. Justificación
- d. Estrategias para la implementación
- e. Intervención
- f. Responsable de la implementación
- g. Cronograma
- h. Costo estimado para la implementación

****Estructura de los proyectos:**

- a. Nombre del programa
- b. Objetivo del programa
- c. Nombre del proyecto
- d. Objetivo del proyecto
- e. Actividades y/o acciones
- f. Ubicación
- g. Duración
- h. Instituciones vinculadas a su ejecución
- i. Actores / participantes
- j. Monto total
- k. Anexos de referencia

La integración de las medidas de adaptación en proyectos y estos a su vez en programas, constituyen la base a través de la cual se puede planificar e implementar una adaptación oportuna en la cuenca del río Acomé.

4. Literatura citada

Bahamondes, R. (s.f.). Manejo de cuencas hidrográficas. Chile, 14 p.

Jiménez, F. 2014. Planificación del manejo y gestión de cuencas. Curso de manejo y gestión de cuencas I. Escuela de Posgrado. CATIE, Costa Rica, 29 p.

Umaña, E. 2002. Taller de capacitación. Educación ambiental con enfoque en manejo cuencas y prevención de desastres. Módulo de manejo de cuencas hidrográficas y protección de fuentes de agua. Nicaragua, 27 p.

World Vision. 2004. Manual de Manejo de Cuencas. El Salvador, 104 p.

CAPÍTULO IV

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

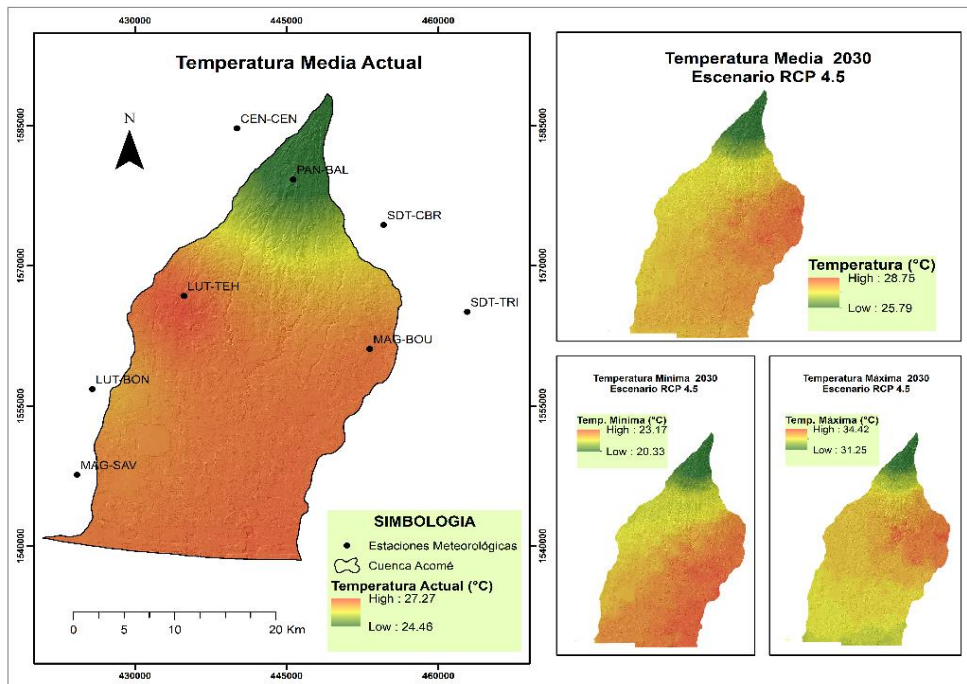


Figura 28. Mapa de temperatura media, mínima y máxima 2030, RCP 4.5 - CCAFS-climate

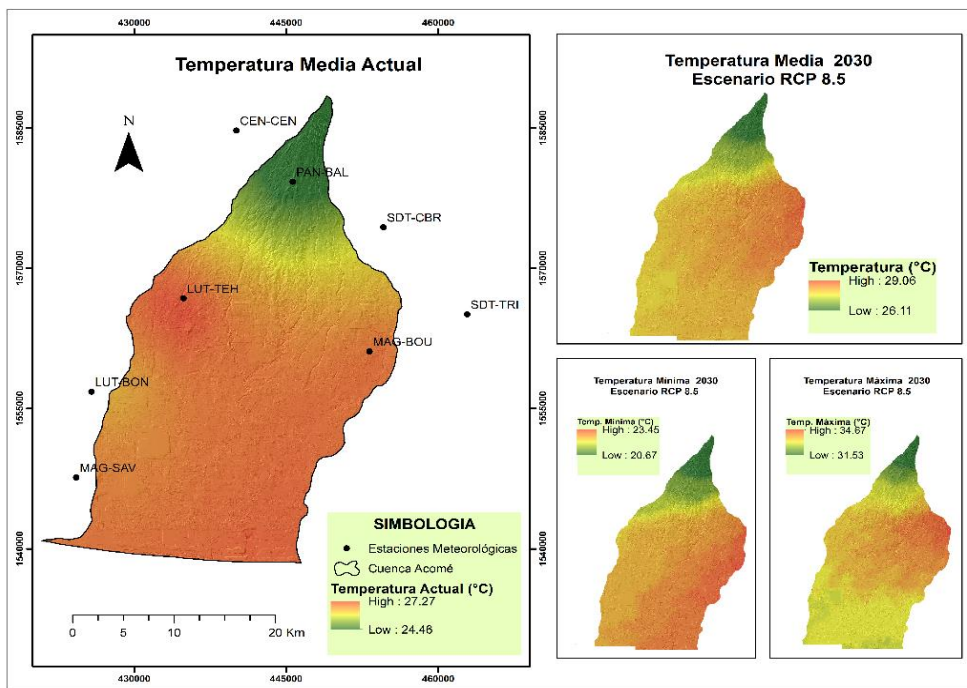


Figura 29. Mapa de temperatura media, mínima y máxima 2030, RCP 8.5 - CCAFS-climate

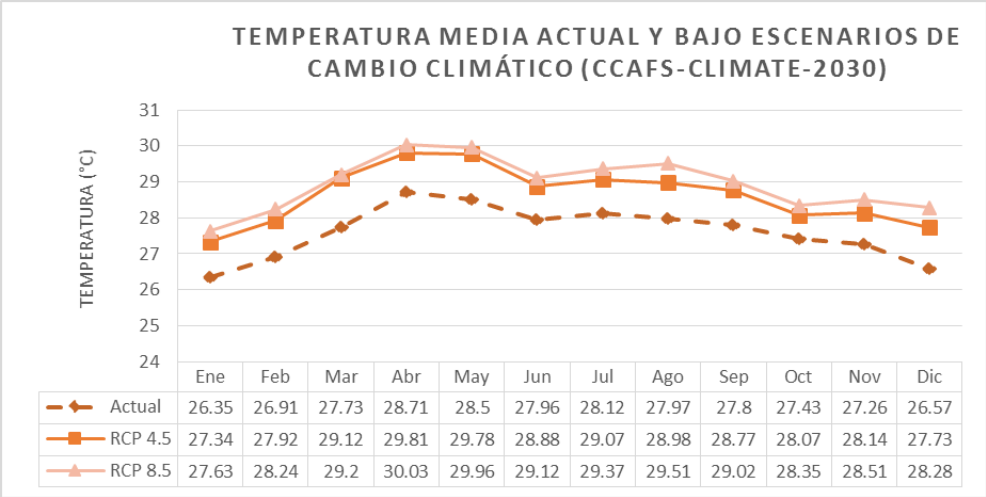


Figura 30. Gráfica de temperatura media 2030, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-Climate

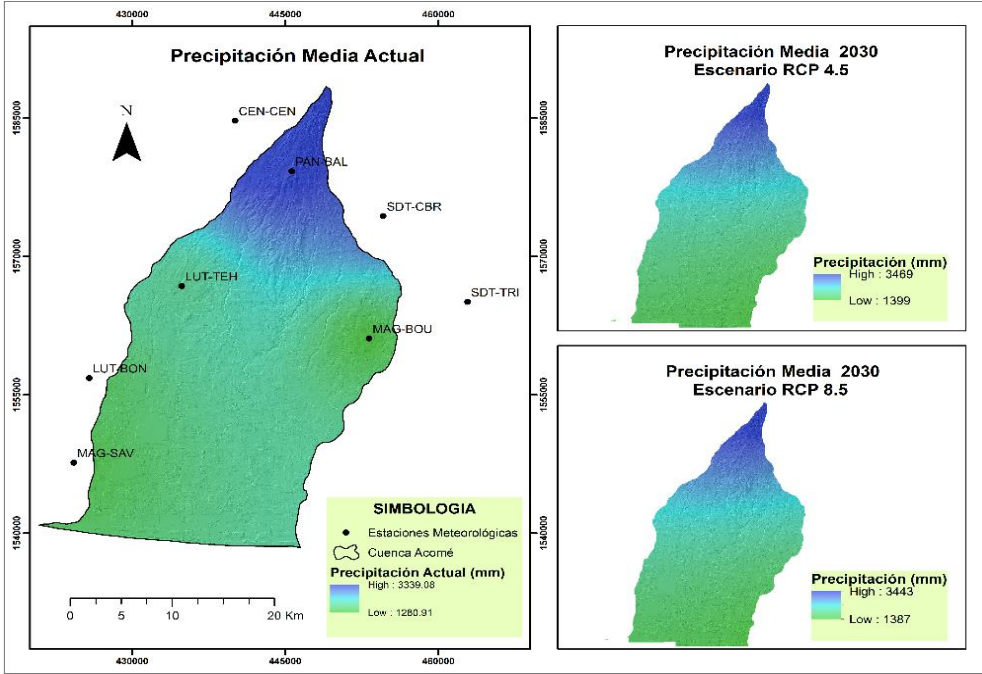


Figura 31. Mapa de precipitación media 2030, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-climate

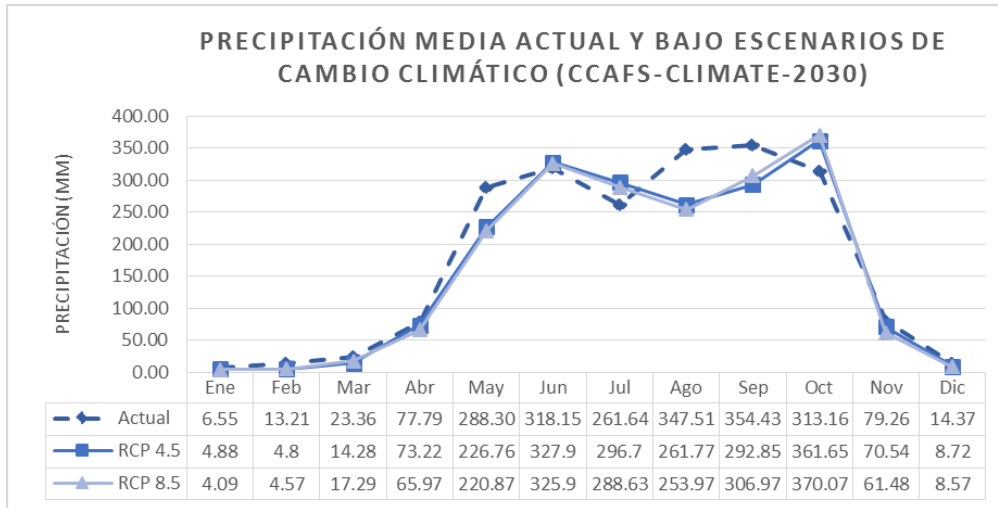


Figura 32. Gráfica de precipitación media 2030, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-Climate

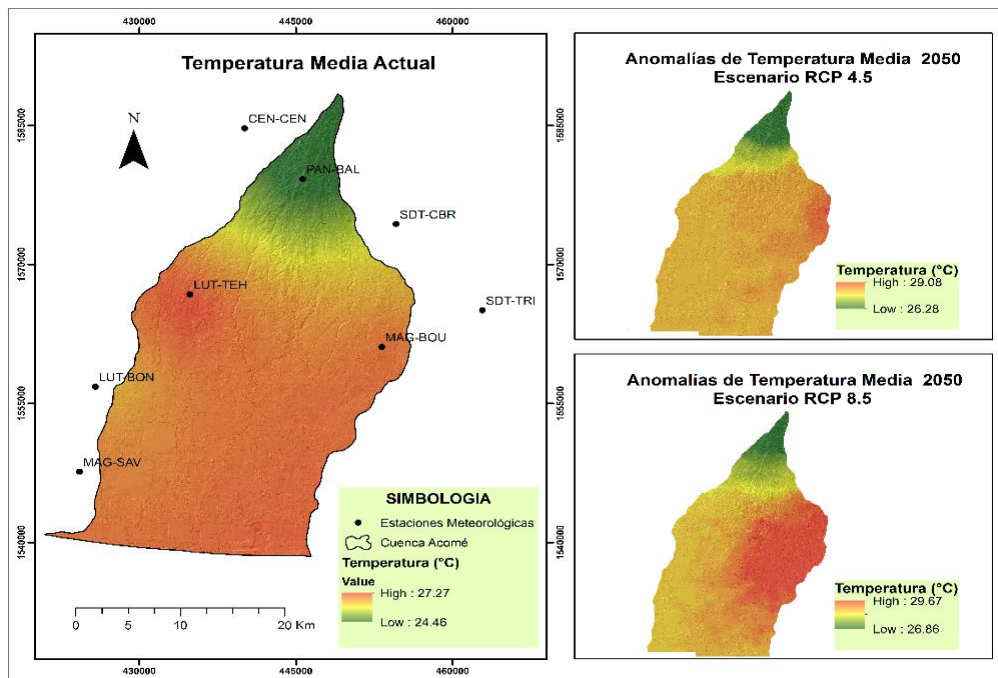


Figura 33. Mapa de temperatura media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-climate

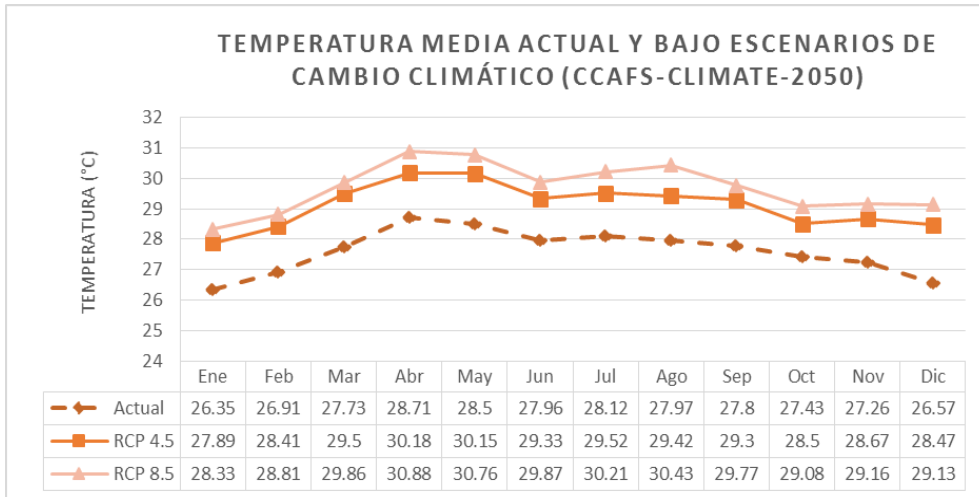


Figura 34. Mapa de temperatura media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-climate

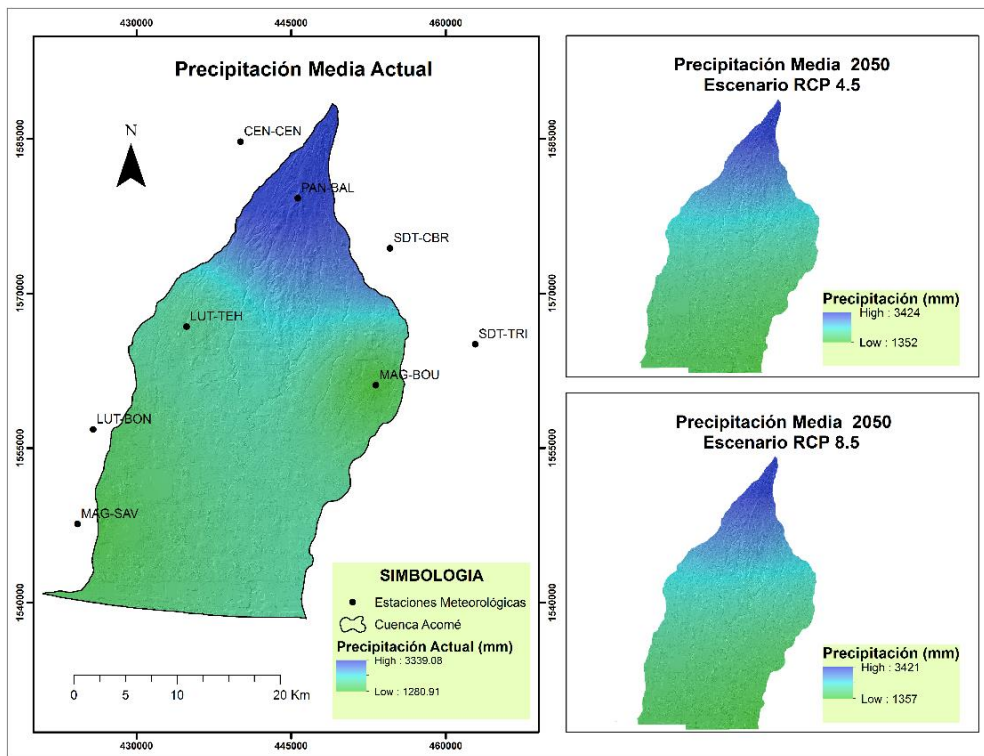


Figura 35. Mapa de precipitación media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-climate

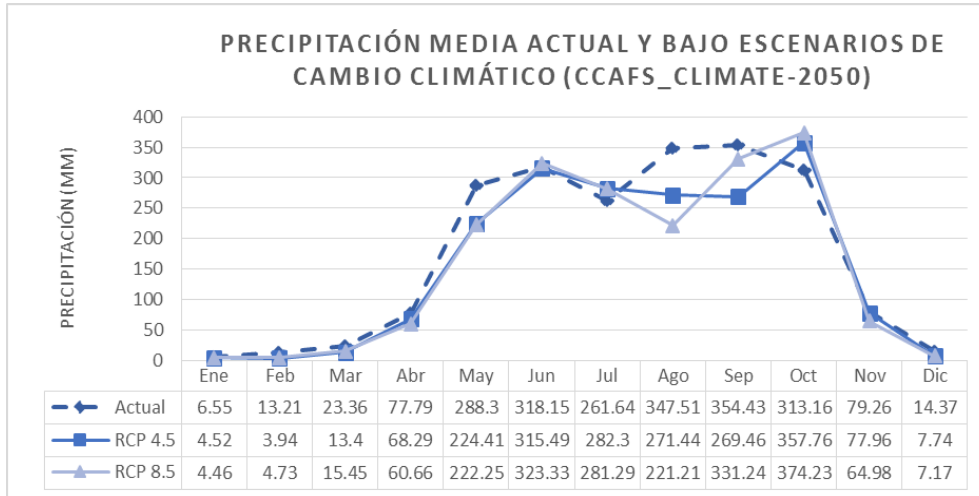


Figura 36. Gráfica de precipitación media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-Climate

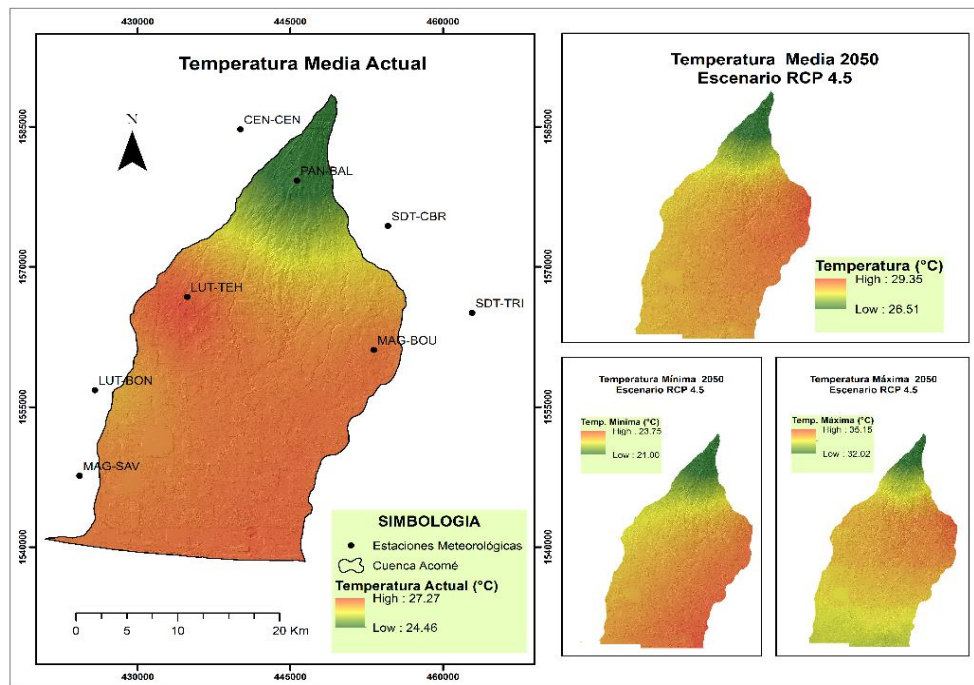


Figura 37. Mapa de temperatura media 2050, RCP 4.5 - WorldClim

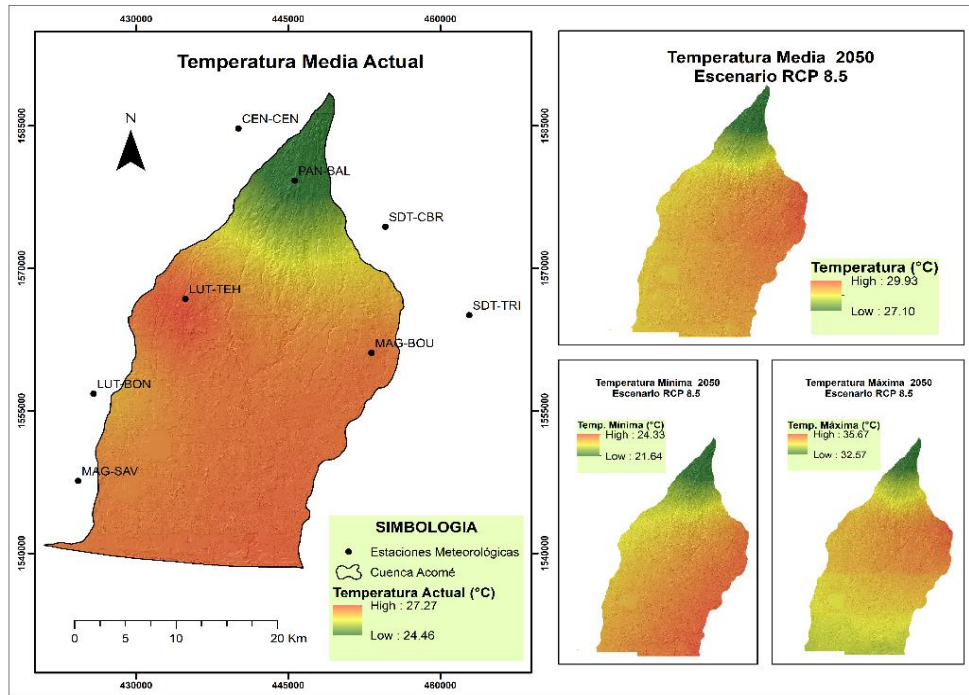


Figura 38. Mapa de temperatura media 2050, RCP 8.5 - WorldClim

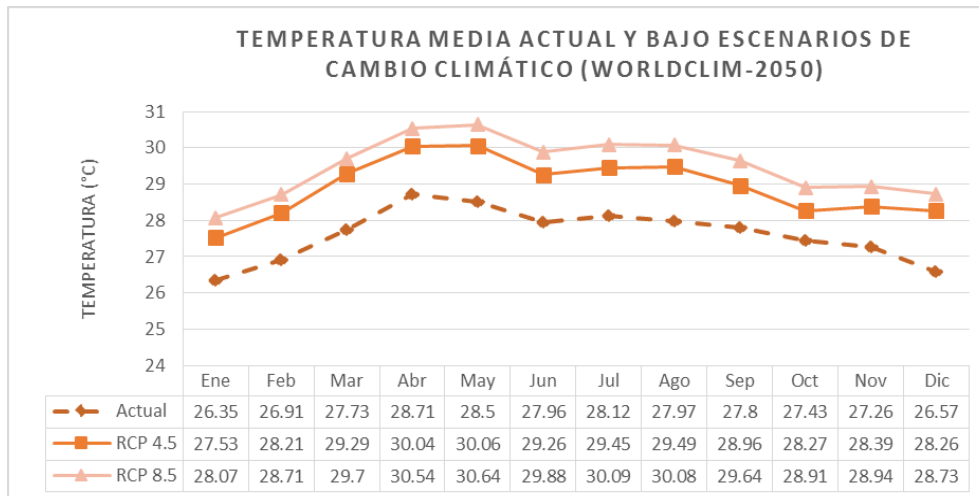


Figura 39. Gráfica de temperatura media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - WorldClim

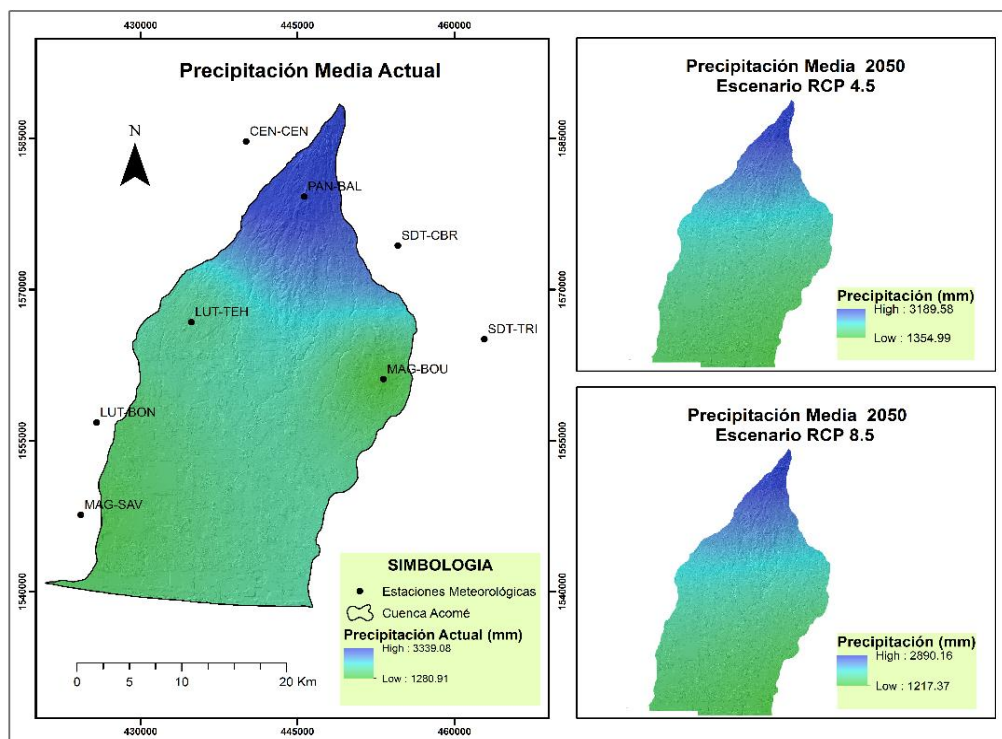


Figura 40. Mapa de precipitación media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - WorldClim

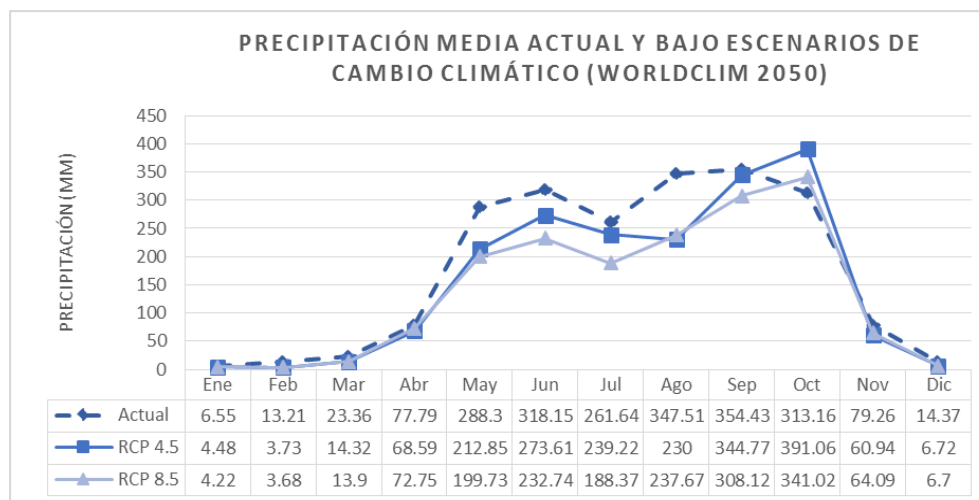


Figura 41. Gráfica de precipitación media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - WorldClim

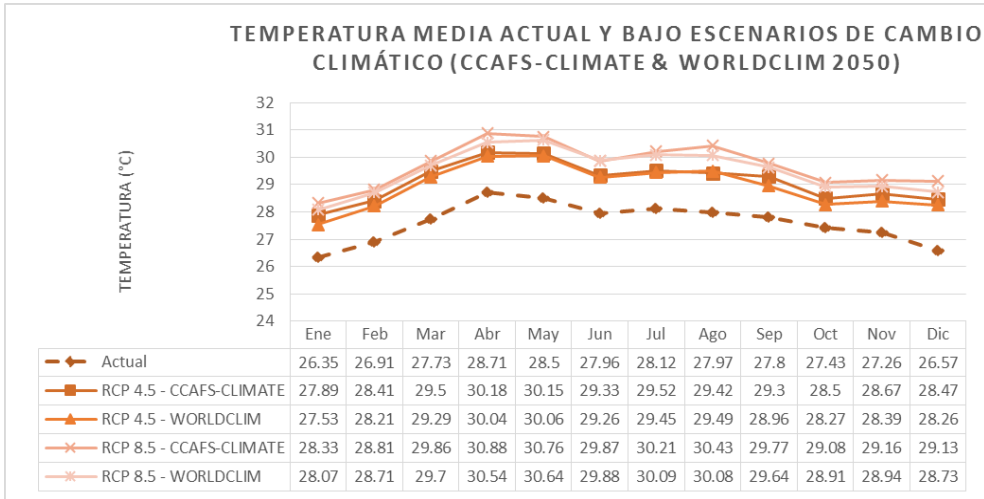


Figura 42. Gráfica de temperatura media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-CLIMATE y WorldClim

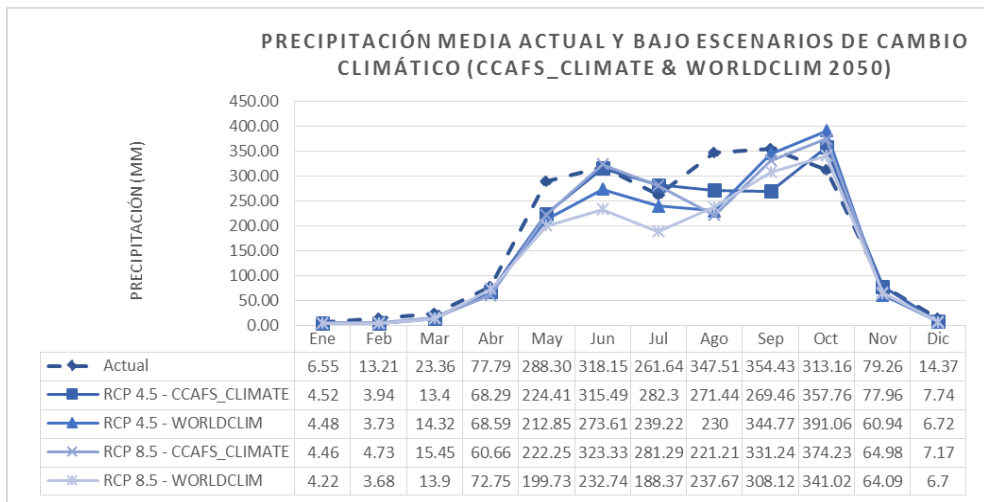


Figura 43. Gráfica de precipitación media 2050, RCP 4.5 y 8.5 - CCAFS-CLIMATE y WorldClim

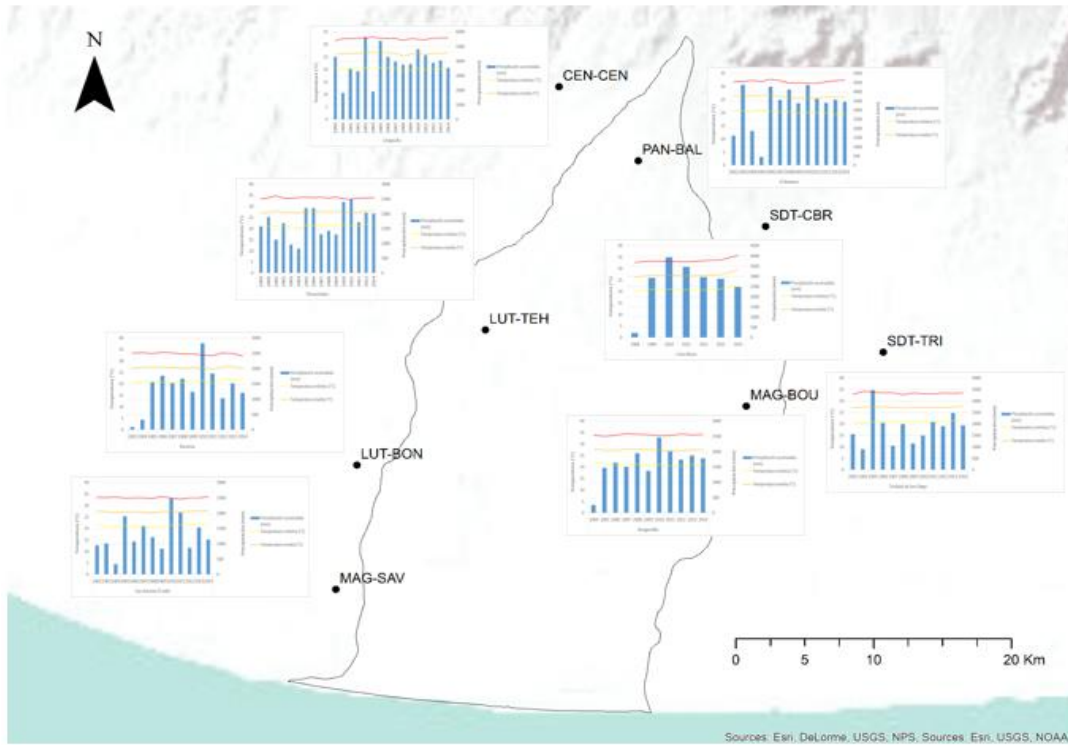


Figura 44. Climogramas anuales según estrato altitudinal para la cuenca del río Acomé

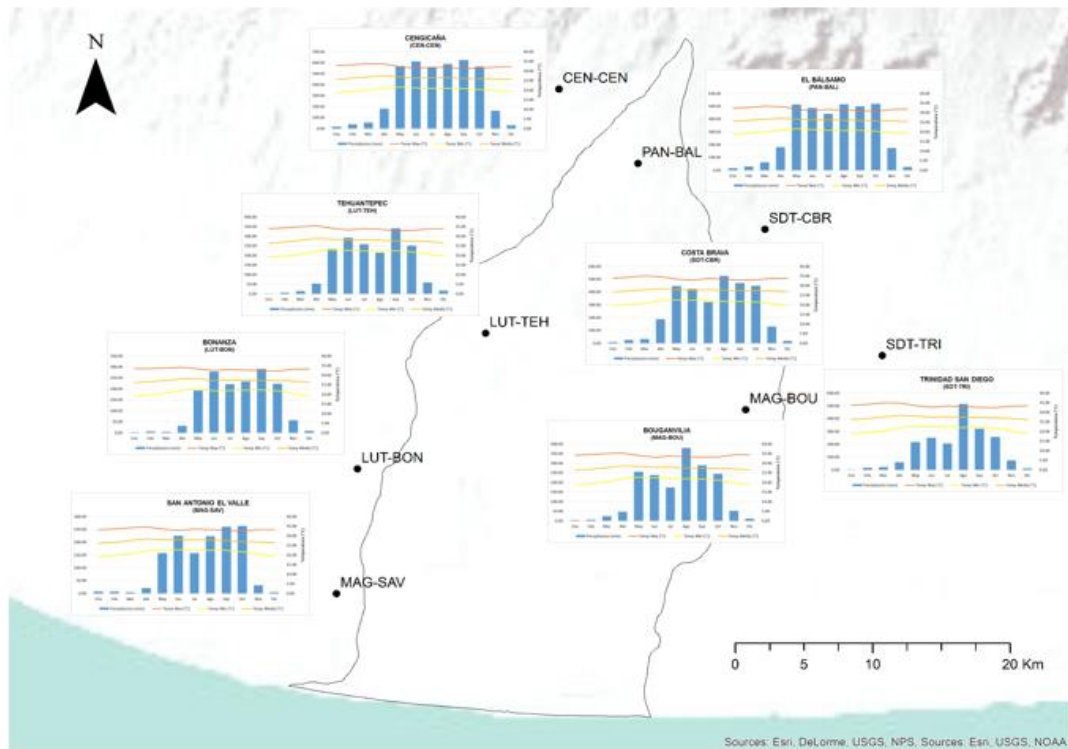


Figura 45. Climogramas mensuales según estrato altitudinal para la cuenca del río Acomé

Cuadro 5. Datos de temperatura media (tm) utilizados en la interpolación con IDW

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CEN-CEN	25.67	26.27	26.95	27.42	26.92	26.30	26.43	26.37	26.13	25.92	25.85	25.67
PAN-BAL	25.49	25.96	26.69	27.10	26.72	26.11	26.28	26.03	25.86	25.66	25.65	25.36
SDT-CBR	26.75	27.25	27.87	28.39	27.97	27.61	27.94	27.56	27.33	27.22	27.18	26.87
LUT-TEH	26.40	26.97	27.83	28.81	28.49	27.96	28.09	27.96	27.59	27.42	27.27	26.58
SDT-TRI	26.14	26.78	27.57	28.39	28.11	27.53	27.69	27.50	27.36	27.12	26.79	26.13
MAG-BOU	26.30	26.89	27.71	28.65	28.36	27.79	27.90	27.65	27.53	27.22	27.13	26.49
LUT-BON	26.13	26.64	27.22	28.11	28.06	27.23	27.46	27.42	27.38	27.06	26.83	26.25
MAG-SAV	26.04	26.59	27.55	28.43	28.11	27.79	27.90	27.84	27.64	27.01	26.92	26.32
tmh (°C)	26.35	26.91	27.73	28.71	28.5	27.96	28.12	27.97	27.8	27.43	27.26	26.57

Cuadro 6. Datos de precipitación media (pm) utilizados en la interpolación con IDW

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
CEN-CEN	18.14	38.92	55.41	182.10	569.08	611.90	561.36	588.56	623.05	564.07	162.76	30.20
PAN-BAL	17.43	28.72	61.92	181.51	514.16	487.06	441.92	515.85	498.18	517.93	173.84	26.04
SDT-CBR	9.13	25.80	33.00	188.57	445.73	424.23	322.20	526.63	470.72	448.29	130.34	18.26
LUT-TEH	1.59	6.53	14.77	52.83	233.84	291.88	258.13	214.54	340.55	250.77	58.91	17.28
SDT-TRI	2.10	16.52	21.45	60.54	217.30	252.06	206.58	515.65	322.31	256.76	73.88	10.66
MAG-BOU	4.36	6.60	24.50	46.87	254.92	238.65	173.78	379.15	289.38	244.31	52.35	11.53
LUT-BON	2.26	6.89	4.68	32.04	193.29	277.85	221.67	233.99	290.56	223.87	56.91	8.21
MAG-SAV	7.34	7.55	4.31	21.03	157.13	225.27	157.17	223.28	259.80	264.21	31.73	4.36
pmh (mm)	6.55	13.21	23.36	77.79	288.30	318.15	261.64	347.51	354.43	313.16	79.26	14.37

Cuadro 7. Anomalías mensuales de temperatura 2030 y 2050 - WorldClim y CCAFS-Climate

RCP 4.5 WorldClim 2050	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	TEMP. MEDIA ACTUAL	26.35	26.91	27.73	28.71	28.5	27.96	28.12	27.97	27.8	27.43	27.26	26.57
	TEMP. MEDIA FUTURA	27.53	28.21	29.29	30.04	30.06	29.26	29.45	29.49	28.96	28.27	28.39	28.26
	ANOMALÍA TMP. MEDIA	1.18	1.30	1.56	1.33	1.56	1.30	1.33	1.52	1.16	0.84	1.13	1.69
RCP 8.5 WorldClim 2050	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	TEMP. MEDIA ACTUAL	26.35	26.91	27.73	28.71	28.5	27.96	28.12	27.97	27.8	27.43	27.26	26.57
	TEMP. MEDIA FUTURA	28.07	28.71	29.7	30.54	30.64	29.88	30.09	30.08	29.64	28.91	28.94	28.73
	ANOMALÍA TMP. MEDIA	1.72	1.80	1.97	1.83	2.14	1.92	1.97	2.11	1.84	1.48	1.68	2.16
RCP 4.5 CCAFS 2050	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	TEMP. MEDIA ACTUAL	26.35	26.91	27.73	28.71	28.5	27.96	28.12	27.97	27.8	27.43	27.26	26.57
	TEMP. MEDIA FUTURA	27.89	28.41	29.5	30.18	30.15	29.33	29.52	29.42	29.3	28.5	28.67	28.47
	ANOMALÍA TMP. MEDIA	1.54	1.50	1.77	1.47	1.65	1.37	1.40	1.45	1.50	1.07	1.41	1.90
RCP 8.5 CCAFS 2050	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	TEMP. MEDIA ACTUAL	26.35	26.91	27.73	28.71	28.5	27.96	28.12	27.97	27.8	27.43	27.26	26.57
	TEMP. MEDIA FUTURA	28.33	28.81	29.86	30.88	30.76	29.87	30.21	30.43	29.77	29.08	29.16	29.13
	ANOMALÍA TMP. MEDIA	1.98	1.90	2.13	2.17	2.26	1.91	2.09	2.46	1.97	1.65	1.90	2.56
RCP 4.5 CCAFS 2030	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	TEMP. MEDIA ACTUAL	26.35	26.91	27.73	28.71	28.5	27.96	28.12	27.97	27.8	27.43	27.26	26.57
	TEMP. MEDIA FUTURA	27.34	27.92	29.12	29.81	29.78	28.88	29.07	28.98	28.77	28.07	28.14	27.73
	ANOMALÍA TMP. MEDIA	0.99	1.01	1.39	1.10	1.28	0.92	0.95	1.01	0.97	0.64	0.88	1.16
RCP 8.5 CCAFS 2030	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	TEMP. MEDIA ACTUAL	26.35	26.91	27.73	28.71	28.5	27.96	28.12	27.97	27.8	27.43	27.26	26.57
	TEMP. MEDIA FUTURA	27.63	28.24	29.2	30.03	29.96	29.12	29.37	29.51	29.02	28.35	28.51	28.28
	ANOMALÍA TMP. MEDIA	1.28	1.33	1.47	1.32	1.46	1.16	1.25	1.54	1.22	0.92	1.25	1.71

Cuadro 8. Anomalías mensuales de precipitación 2030 y 2050 - WorldClim y CCAFS-Climate

RCP 4.5 WorldClim 2050	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	PCP. MEDIA ACTUAL	6.55	13.21	23.36	77.79	288.30	318.15	261.64	347.51	354.43	313.16	79.26	14.37
	PCP. MEDIA FUTURA	4.48	3.73	14.32	68.59	212.85	273.61	239.22	230.00	344.77	391.06	60.94	6.72
	ANOMALÍA PCP. MEDIA	-31.60	-71.76	-38.70	-11.83	-26.17	-14.00	-8.57	-33.81	-2.73	24.88	-23.11	-53.24

RCP 8.5 WorldClim 2050	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	PCP. MEDIA ACTUAL	6.55	13.21	23.36	77.79	288.30	318.15	261.64	347.51	354.43	313.16	79.26	14.37
	PCP. MEDIA FUTURA	4.22	3.68	13.9	72.75	199.73	232.74	188.37	237.67	308.12	341.02	64.09	6.7
	ANOMALÍA PCP. MEDIA	-35.57	-72.14	-40.50	-6.48	-30.72	-26.85	-28.00	-31.61	-13.07	8.90	-19.14	-53.38

RCP 4.5 CCAFS 2050	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	PCP. MEDIA ACTUAL	6.55	13.21	23.36	77.79	288.30	318.15	261.64	347.51	354.43	313.16	79.26	14.37
	PCP. MEDIA FUTURA	4.52	3.94	13.4	68.29	224.41	315.49	282.3	271.44	269.46	357.76	77.96	7.74
	ANOMALÍA PCP. MEDIA	-30.99	-70.17	-42.64	-12.21	-22.16	-0.84	7.90	-21.89	-23.97	14.24	-1.64	-46.14

RCP 8.5 CCAFS 2050	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	PCP. MEDIA ACTUAL	6.55	13.21	23.36	77.79	288.30	318.15	261.64	347.51	354.43	313.16	79.26	14.37
	PCP. MEDIA FUTURA	4.46	4.73	15.45	60.66	222.25	323.33	281.29	221.21	331.24	374.23	64.98	7.17
	ANOMALÍA PCP. MEDIA	-31.91	-64.19	-33.86	-22.02	-22.91	1.63	7.51	-36.34	-6.54	19.50	-18.02	-50.10

RCP 4.5 CCAFS 2030	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	PCP. MEDIA ACTUAL	6.55	13.21	23.36	77.79	288.30	318.15	261.64	347.51	354.43	313.16	79.26	14.37
	PCP. MEDIA FUTURA	4.88	4.8	14.28	73.22	226.76	327.9	296.7	261.77	292.85	361.65	70.54	8.72
	ANOMALÍA PCP. MEDIA	-25.50	-63.66	-38.87	-5.87	-21.35	3.06	13.40	-24.67	-17.37	15.48	-11.00	-39.32

RCP 8.5 CCAFS 2030	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	PCP. MEDIA ACTUAL	6.55	13.21	23.36	77.79	288.30	318.15	261.64	347.51	354.43	313.16	79.26	14.37
	PCP. MEDIA FUTURA	4.09	4.57	17.29	65.97	220.87	325.9	288.63	253.97	306.97	370.07	61.48	8.57
	ANOMALÍA PCP. MEDIA	-37.56	-65.40	-25.98	-15.19	-23.39	2.44	10.32	-26.92	-13.39	18.17	-22.43	-40.36

Primer listado de medidas de adaptación generado por los actores de la cuencas de l río Acomé

Nombre de la medida:

1. Construcción de pozos de absorción para provocar la recarga de acuíferos y evitar daño por exceso aguas abajo.
2. Construcción de pozos protegidos para aprovechar acuíferos subterráneos.
3. Establecimiento de obras para la conservación del suelo.
4. Construcción de sistemas de captación de agua para uso agrícola y doméstico.
5. Revestimiento de canales de conducción para riego.
6. Construcción de hidromódulos en conjunto a una red de distribución que garantice la distribución del agua.
7. Diseño y construcción de obras de drenaje regionales.
8. Diseño y construcción de proyectos de riego regionales.
9. Cambios de los sistemas de riego por gravedad por otros sistemas más eficientes.
10. Construcción de estructuras de aforo.
11. Construcción de diques (bordas) para el manejo de inundaciones.
12. Construcción y manejo de embalses o reservorios para el almacenamiento de agua.
13. Mejora de represas y vados actuales.
14. Realizar giras de trabajo a zonas donde ya se tengan infraestructuras de adaptación para ampliar el conocimiento y generar ideas para adaptarlas a la zona.
15. Fomentar la participación de los productores de palma y banano en el tema del agua.
16. Incluir a los productores independientes de caña en el uso y manejo del agua.
17. Establecer vías de comunicación entre los actores de la cuenca para coordinar el uso de los recursos, conocer los proyectos que cada sector realiza para sacar el máximo provecho y no duplicar acciones.
18. Trabajar capacitaciones y concientización a nivel comunitario y con actores tomadores de decisiones (municipalidades, COCODES, agroindustrias, etc.).
19. Fomentar un manejo de información menos restringido entre el sector y los actores.
20. Realizar capacitaciones técnicas sobre el manejo de agua.
21. Crear un grupo de actores y usuarios del agua.
22. Benchmarking entre usuarios del agua (implica aprender de lo que está haciendo el otro y entonces adaptar sus propias prácticas según lo aprendido, realizando los cambios necesarios, no se trata solamente de copiar una buena práctica, sino que debe de efectuarse una adaptación a las circunstancias y características propias).
23. Socializar y divulgar resultados de proyectos en boletines.
24. Desarrollar una estrategia de comunicación para el manejo del recurso hídrico a nivel regional.
25. Mayor socialización de resultados de proyectos del ICC, así como del sector azucarero.
26. Integar a autoridades gubernamentales en los temas de manejo de agua (drenaje, riego, uso doméstico).
27. Fomentar proyectos multiutilitarios, que beneficien a múltiples actores.
28. Crear comités para el manejo integral del recurso hídrico, tanto en crisis como en abundancia.
29. Coordinar trabajos y obras multifinalitarias.
30. Crear un comité local y/o regional para la gestión de los recursos naturales.
31. Elaboración de planes de gestión de riesgos en comunidades más vulnerables.
32. Identificación de zonas de baja producción para destinarlas al establecimiento de bosques.
33. Recuperación de riveras de ríos y zanjones con especies nativas (naturalización)
34. Reforestación y protección del estrato alto de la cuenca.
35. Restauración de bosques de ribera.
36. Implementación de estrategias locales y regionales para el manejo sostenible de los recursos naturales.
37. Desarrollo de corredores biológicos.
38. Reforestación en zonas de los bosques de mangle y restauración de los mismos.
39. Manejo del caudal ecológico.
40. Implementación de un programa de divulgación de conservación de suelos.
41. Valoración de los servicios ambientales de la cuenca.
42. Que a través de ASAZGUA se establezcan políticas a cumplir, donde se advierta la eficiencia de los sistemas de riego, estableciendo mínimo aceptable por sistema.
43. Establecer una normativa del uso de agua en la cuenca con todos los actores.
44. Leyes o reglamentos internos que permitan el uso del recurso de una manera eficiente sin afectar la producción.
45. Creación o fortalecimiento de institución encargada de medir (aforar) el agua con el fin de coordinar su distribución posterior, a través de una medición constante de la cantidad de agua existente.
46. Reglamento regulatorio de uso del agua.
47. Ampliar la política ambiental del sector azucarero hacia otros sectores; banano, palma y hule, con el objetivo de reducir la conflictividad social.
48. Conocer, divulgar y cumplir con la legislación y normativas existentes (una vez cumplido esto, se podría pensar en el desarrollo de normativas sectoriales, locales o regionales).
49. Implementación de planes de ordenamiento territorial.
50. Medición constante de parámetros físicos y químicos del agua.
51. Adaptar instrumentos de política nacional a nivel local.

52. Establecer metodologías de reconocimiento a los ingenios que sobresalgan por el uso eficiente del recurso hídrico.
53. Capacitación sobre riesgo y amenaza de los sistemas productivos (en el tema de seguros).
54. Trabajar a nivel local a través del pago por servicios ambientales.
55. Reducción de pago de impuestos por implementación de proyectos de adaptación.
56. Aprovechamiento del recurso para la generación de energía.
57. Promover la adopción de sellos verdes o certificaciones para el buen uso del agua.
58. Promover incentivos para la implementación de bosques de riberas.
59. Financiar estudios de pre factibilidad para la ejecución de las medidas de adaptación.
60. Movimiento de vertederos, para garantizar la calidad de agua en el futuro.
61. Cambio de zonas de cultivo para la implementación de reservorios.
62. Ubicación de poblados comunidades o sistemas productivos en áreas menos vulnerables.
63. Reubicación de fincas no productivas.
64. Promover la integración con todos los actores de la cuenca a fin de concientizar y capacitar para establecer estrategias conjuntas.
65. Desarrollar modelos de predicción de cantidad de lluvia y recarga hídrica.
66. Estimación de la variación de caudales de ríos con base a lluvias del año anterior para planificar la oferta de agua.
67. Sensibilización sobre el tema del agua en las agroindustrias (caña, banano, palma, etc.)
68. Promover estudios que permitan conocer las entradas y salidas de agua de cada una de las cuencas y determinar así, el posible redireccionamiento del recurso.
69. Evaluar sistemas constructivos en zonas de inundación comunitarias.
70. Dar a conocer la terminología básica sobre cambio climático en los diferentes sectores y con los diversos actores.
71. Generar conocimiento para reducir conflictividad y/o conflictos.
72. Trabajar en la transferencia de tecnología.
73. Elaborar e implementar planes de concientización y capacitación para usuarios del agua.
74. Implementar programa de educación a distintos niveles.
75. Capacitación y/o transferencia de tecnologías sobre uso eficiente de agua para riego.
76. Apoyo y seguimiento para el desarrollo de proyectos de adaptación.
77. Creación de mesa técnica, comité o grupo de trabajo que lidere la gestión del agua.
78. Asistencia técnica a los usuarios de la cuenca por parte de las instituciones de gobierno, ONG e instituciones privadas.