



Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

**Evaluación de prácticas de agricultura climáticamente inteligente en huertos caseros
bajo diferentes escenarios económicos y de cambio climático en Nicaragua Central**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de
Posgrado como requisito para optar al grado de**

MAGISTER SCIENTIAE

en Agroforestería y Agricultura Sostenible

Camilo Vélez González

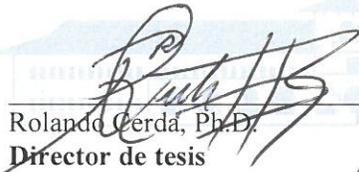
Turrialba, Costa Rica

2018

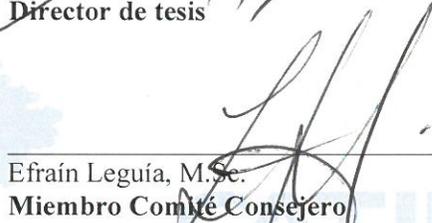
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERIA Y AGRICULTURA SOSTENIBLE

FIRMANTES:



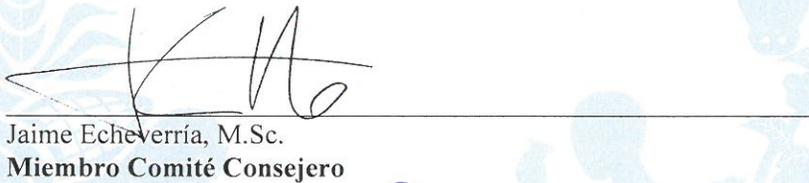
Rolando Cerda, Ph.D.
Director de tesis



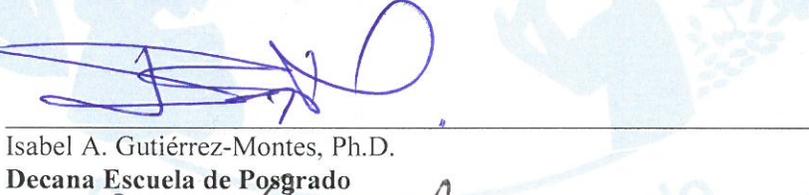
Efraín Leguía, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



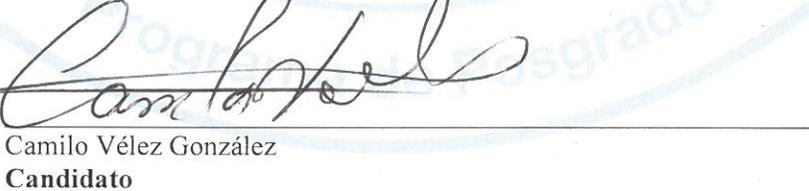
Amílcar Aguilar, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Jaime Echeverría, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.
Decana Escuela de Posgrado



Camilo Vélez González
Candidato

DEDICATORIA

Esta tesis será dedicada a la comunidad científica, la que esta permanentemente probando, descubriendo y analizando todos los temas relacionados a la vida. Doy gracias a Dios que me llena de sabiduría para tomar decisiones grandes.

A mi familia Gustavo Velez, Margarita Gonzalez y Lina Velez que siempre me apoyaron en todo el proceso.

Al CCAFS por los fondos de apoyo de te maestría y financiamiento de la investigación.

A todos los profesores, personal administrativo de la Escuela de Posgrado de CATIE y el personal de la biblioteca Orton por todo el apoyo en estos dos años.

Al Rolando Cerdas director y consejero de tesis por compartir su conocimiento con paciencia y sobre todo por su calidad humana.

A los miembros del comité de tesis Amilcar y Efrain por sus oportunas sugerencias y apoyo a la investigación.

Al equipo de la unidad de bioestadística de CATIE por su gran colaboración.

A las familias agricultoras nicaragüenses de las comunidades y veredas de EL Tuma – La Dalia que compartieron su tiempo, experiencias y alimentos.

A los asistentes de campo Fairin y Manuel, gracias por tanto apoyo y compromiso.

CONTENIDO

Contenido

CONTENIDO	IV
ÍNDICE DE FIGURAS	V
LISTA DE ABREVIATURAS	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. Justificación	2
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
3. MARCO CONCEPTUAL.....	3
3.1. Definición de cambio climático y variabilidad climática	3
3.1.1. Proyecciones de cambio climático para Centroamérica y Nicaragua	4
3.1.2. Variabilidad climática en la región.....	4
3.2. El sector agrícola frente al cambio climático	5
3.2.1. Impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en Nicaragua	6
3.3. Contexto de la agricultura climáticamente inteligente en Nicaragua	6
3.3.1. Entorno favorable para desarrollar el concepto de la agricultura climáticamente inteligente	7
3.4. Importancia de los huertos caseros.....	8
3.4.1. Relevancia económica de los huertos caseros como sistema productivo	8
3.4.2. Experiencias relacionadas con la utilización de las prácticas ACI	9
3.4.3. Evaluaciones económicas de las prácticas ACI.....	10
3.5. Nueva generación de escenarios y métodos para la investigación y evaluación de cambio climático ..	11
3.5.1. La próxima generación de escenarios para la investigación y la evaluación del cambio climático ..	11
3.5.2. Características principales de los escenarios climáticos.....	12
3.5.3. Modelos climáticos, sus componentes e incertidumbres	12
3.6. Características climáticas del municipio El Tuma - La Dalia	13
4. RESULTADOS	13
5. CONCLUSIONES	15
CAPÍTULO II	18
1. INTRODUCCIÓN	18
2. METODOLOGÍA	19
2.1. Ubicación geográfica y datos generales de la zona de estudio	20
2.2. Antecedentes de la priorización de prácticas ACI con base en indicadores y criterios para NicaCentral	21
2.3. Definición de las prácticas ACI para huertos caseros	21

2.4. Etapas de desarrollo del trabajo.....	21
2.4.1. Definición de escenarios económicos (Fase 1).....	22
2.4.2. Definición de escenarios climáticos (Fase 1)	23
2.4.3. Datos climáticos utilizados.....	24
2.4.4. Entrevistas semiestructuradas sobre cambios de rendimientos en las prácticas ACI (Fase 2)	25
2.4.5. Cálculo de indicadores económicos (VAN; B/C).....	26
2.4.6. Análisis estadístico (Fase 4)	28
3. RESULTADOS	29
3.1. Descripción de los escenarios climáticos	29
.....	32
3.2. Definición de escenarios económicos	32
3.3. Rendimientos de los cultivos.....	32
3.3.1. Rendimientos por cultivos según la percepción de los evaluadores	33
3.3.2. Analisis de componentes principales.....	38
3.4. Indicadores económicos según el análisis de varianza	39
4. DISCUSIÓN	43
4.1. Escenarios de cambio climático en la región.....	43
4.2. El impacto del cambio climático sobre la agricultura	44
4.3. Implicaciones metodológicas y el uso de supuestos y escenarios económicos	45
4.4 Análisis beneficio - costo para las prácticas seleccionadas	46
4.5. Priorización de prácticas con base en los indicadores VAN y B/C	47
4.6. Implicaciones para la priorización de prácticas ACI.....	48
4.7. Implicaciones metodológicas y prácticas para la priorización y adopción de prácticas de ACI	49
5. CONCLUSIONES	49
6. REFERENCIAS	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Nicaragua Central.	20
Figura 2. Etapas de la metodología paso a paso.....	22
Figura 3. Ilustración del protocolo de extracción de datos climáticos.....	25
Figura 4. Precipitación mensual de enero 2000 – 2017.	30
Figura 5. Curvas de precipitación y temperatura para a) escenarios 2,6; y b) 8,5 para periodos futuros de 2020 al 2049.....	32
Figura 6. Biplot a) evaluadores (Técnicos, Expertos y productores) y rendimientos de todos los cultivos; b) Biplot; Percepción de evaluador en relación con rendimientos... ..	39
Figura 7. VAN: Valor Actual Neto; Practica ACI (EMAF); (SMRT); (MHO); (C/R).	40
Figura 8. B/C: Relacion Beneficio Costo; Practica ACI (EMAF); (SMRT); (MHO); (C/R)	42

ÍNDICES DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción breve de prácticas seleccionadas para huertos caseros.	21
Cuadro 2. Escenarios económicos según Echeverría et al. (2016)	32
Cuadro 3. Medias de rendimientos (\pm desvío estándar) por cultivo, mostrando los escenarios climáticos proyectados a un futuro cercano 2020 – 2049.....	33
Cuadro 4. Medias, desviación estándar mínimos y máximos de los rendimientos en frutos/árbol/año de la practica (EMAF); según la opinión de tres tipos de evaluadores.	35
Cuadro 5. Medias, desviación estándar mínimos y máximos de los rendimientos en kg/planta/año de la practica (SMRT); según la opinión de tres tipos de evaluadores.	35
Cuadro 6. Medias, desviación estándar mínimos y máximos de los rendimientos en kg/planta/año de las practica (MHO); según la opinión de tres tipos de evaluadores	36
Cuadro 7. Medias, desviación estándar mínimos y máximos de los rendimientos en kg/planta/año de las practica (C/R); según la opinión de tres tipos de evaluadores.	36
Cuadro 8. Prueba de hipótesis VAN.	39
Cuadro 9. Prueba de hipótesis B/C.	41

LISTA DE ABREVIATURAS

ABC: Análisis beneficio-costo

ACI: Agricultura climáticamente inteligente

AGF: Agricultura familiar

BC: Beneficio-costo

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza

CC: Cambio climático

CCAFS: Climate Change Agriculture and Food Security

CMIP5: Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

ENACC: Estrategia Nacional Ambiental y del Cambio Climático

GCM: General circulation models

GEI: Gases de efecto invernadero

HC: Huertos caseros

IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

MAP: Programa Agroambiental Mesoamericano

PNDH: Plan nacional de desarrollo humano

RCP: Rutas de concentración representativas

SAF: Sistemas agroforestales

TeSAC: Territorios sostenibles adaptados al clima

TCI: Territorio climatimente inteligente

TIR: Tasa interna de retorno

VAN: Valor actual neto

B/C: Relación beneficio/costo

RESUMEN

En las últimas décadas la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe se ha fortalecido, pasando de un 14,7% de población afectada por el hambre en 1990 a un 5,5% en el 2014 (FAOSTAT 2016), cumpliendo con la meta del hambre de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Sin embargo, los países centroamericanos están experimentando eventos climáticos extremos que están afectando a la agricultura y, por consiguiente, a los medios de vida rurales. Esta investigación está enmarcada dentro del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP-Noruega): fue realizada conjuntamente con los responsables de desarrollar la metodología de portafolios de inversión y consolidada para cubrir la necesidad de priorizar prácticas del enfoque de agricultura climáticamente inteligente (ACI). Las prácticas seleccionadas ya han sido parte de los portafolios de inversión para Nicaragua. El presente estudio evaluó el perfil costo-beneficio de la introducción de opciones de ACI en los sistemas de producción de huertos caseros en el municipio del Tuma - La Dalia, con el principal objetivo de destacar las prácticas que se comporten mejor bajo escenarios contrastantes de cambio climático y económicos. Los indicadores relacionados con la rentabilidad usados son VAN y B/C. A partir del cálculo de diferencias en los ensambles de multi-modelos en los dos escenarios correspondientes a las rutas de concentración representativas (RCP 2,6 y RCP 8,5), con un horizonte futuro 2020 – 2049, interpolados por el método delta o *downscaling*, desarrollado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y un escenario de variabilidad climática con base en el cálculo de anomalías climáticas con respecto al promedio histórico del 2000 al 2017, se obtuvieron los insumos necesarios para desarrollar la metodología de evaluación con base a la percepción de 30 actores clave en el territorio. El análisis estadístico de beneficio-costos (ABC) se utilizó para abordar la variabilidad de las evaluaciones en campo y la alta incertidumbre en torno al cambio en los valores de los parámetros según los escenarios expuestos. Las prácticas de raíces y tubérculos seguidas por frutales en patio, fueron más rentables durante su ciclo de vida, marcando indicadores positivos en la mayoría de los escenarios. Se espera que algunas prácticas sean ideales para las áreas propensas a la sequía y la variabilidad climática, lo que presenta un mayor grado de adopción y adaptación en el territorio. Este documento argumenta que se necesita una comprensión profunda de los costos y beneficios de las posibles opciones de ACI para canalizar las inversiones de manera efectiva hacia intervenciones tanto a corto como a largo plazo.

Palabras claves: Análisis beneficio-costos, agricultura climáticamente inteligente, agricultura familiar, huertos caseros, cambio climático.

ABSTRACT

In recent decades, food and nutrition security in Latin America and the Caribbean has strengthened, from 14.7% of the population affected by hunger in 1990, to 5.5% in 2014 (FAOSTAT, 2016), meeting the goal of hunger of the Millennium Development Goals. However, the Central American countries are experiencing extreme weather events that are affecting agriculture and subsequently rural livelihoods. This research is framed within MAP-Norway's work program with those responsible for developing the investment portfolio methodology and consolidated to cover the need to prioritize practices of the ACI approach. The selected practices have already been part of the investment portfolios for Nicaragua. This study evaluated the cost-benefit profile of the introduction of ACI options in home garden production systems in the municipality of Tuma la Dalia, with the main objective of highlighting practices that perform better under contrasting scenarios of climate change and economic perspective towards Nicaragua. The indicators related to profitability used are VAN and B/C. From the calculation of differences in the multi-model assemblies in the two scenarios corresponding to the representative concentration paths (RCP 2.6 and RCP 8.5) with a future horizon 2020 - 2049, interpolated by a delta or downscaling method, developed by CIAT and a scenario of climatic variability based on the calculation of climatic anomalies, with respect to the historical average from 2000 to 2017. This were the necessary inputs to develop the evaluation methodology based on the perception of 30 key actors in the territory. The statistical analysis of cost-benefit (ABC) was used to address the variability of the evaluations in the field and the high uncertainty around the change in the values of the parameters according to the scenarios presented. The practices of roots and tubers followed by fruit trees in the yard, were superior in their profitability during their life cycle, marking positive indicators in most of the scenarios. It is expected that some practices are ideal for areas prone to drought and climate variability, which presents a greater degree of adoption and adaptation in the territory. This paper argues that a deep understanding of the costs and benefits of possible ACI options are needed to channel investments effectively towards both short-term and long-term interventions.

Keywords: Cost - benefit analysis, climate smart agriculture, home garden, family agriculture, cambio climatico.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los efectos del cambio climático (CC) han afectado negativamente el crecimiento económico de los países en desarrollo, poniendo en riesgo los esfuerzos por reducir la pobreza y la seguridad alimentaria (Feldman y Cortés 2016). Dichos efectos dependerán en gran medida de las condiciones locales, tanto climáticas como económicas (CEPAL 2013). Centroamérica apunta a ser la región más perjudicada por efectos del CC especialmente en cuanto a seguridad alimentaria (IPPC 201).

Las variables climáticas intervienen directa e indirectamente en los procesos fisiológicos y reproductivos de las plantas. Los cambios en algunos factores ambientales como la precipitación y la temperatura afectan la productividad de los cultivos debido a los efectos en la fotosíntesis, respiración, transpiración y división celular. La variabilidad climática se expresa como cambios en la frecuencia y severidad de los eventos. Los impactos de las variables y sus interacciones pueden ser evaluados a nivel de sistema productivo, diferenciándose en tiempo y zona geográfica (Rody *et al.* 2012).

Para enfrentar los impactos negativos del cambio climático, en el 2012 surgió el enfoque de agricultura climáticamente inteligente (ACI). La definición más utilizada para ACI es la que estableció la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) la cual indica que es “aquella agricultura que incrementa de manera sostenible la productividad, la resiliencia (adaptación), reduce/elimina GEI (mitigación) donde es posible, y fortalece los logros de metas nacionales de desarrollo y de seguridad alimentaria” (Lipper *et al.* 2014).

Dentro de la ACI, la agricultura familiar (AGF) es una de las prácticas más promisorias especialmente para mejorar el bienestar de familias rurales en zonas vulnerables al cambio climático. Según FAO (2014), “La AGF incluye todas las actividades agrícolas de base familiar y está relacionada con varios ámbitos del desarrollo rural. Es también una forma de clasificar la producción agrícola, forestal, pesquera, pastoril y acuícola gestionada y operada por una familia y que depende principalmente de la mano de obra familiar, incluyendo tanto a mujeres como a hombres”. La AGF representa más del 75% de los alimentos en América Latina. Esta actividad representa diversas fuentes de ingresos, alimentos, medicina y servicios ecosistémicos.

Uno de los sistemas más aplicados en la agricultura familiar son los huertos caseros, también conocidos como patios o solares en fincas centroamericanas. Estos sistemas han prevalecido en las economías locales mundiales, produciendo el alimento de familias rurales y generando excedentes para la venta y el comercio (Lok 1998). En el desarrollo

agropecuario, los huertos caseros forman parte de una estrategia eficaz y equitativa tanto para reducir la pobreza, como para aumentar la seguridad alimentaria (CCAFS y FAO 2014).

Sin embargo, el estudio de huertos caseros tropicales y la composición de sus prácticas, tanto en materia productiva como económica, no tienen aún una base sólida de estudios científicos que respalde su efectividad (Kumar y Nair 2004, Lok 1998). Existen vacíos de información en temas económicos, ambientales y sociales relacionados a los sistemas agroforestales y su capacidad de contribuir con el desarrollo de territorios climáticamente inteligentes (Arrieta 2015).

Para contribuir a la reducción de vacíos de información, el Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP) del CATIE, empezó a trabajar desde el año 2013 bajo el enfoque de ACI y de territorios climáticamente inteligentes (TCI). Una de las actividades más importantes del MAP fue la priorización de prácticas de ACI, desarrolladas en NicaCentral, Nicaragua y en Trifinio (región transfronteriza compartida por Guatemala, Honduras y El Salvador). En estos territorios se identificaron las prácticas ACI más promisorias en cuatro sistemas productivos: sistemas agroforestales (SAF) con cultivos perennes como café y cacao, huertos caseros/patios, SAF con granos básicos y pasturas/ganadería, mediante una evaluación cualitativa del aporte de cada práctica a los pilares de la ACI (productividad, adaptación y mitigación) y una evaluación económica cuantitativa de cada una de ellas.

Dichas evaluaciones, realizadas por MAP, tomaron en cuenta el desempeño actual de las prácticas más promisorias en comparación con el desempeño de prácticas tradicionales. Sin embargo, considerando los cambios climáticos que se pueden dar a futuro, todavía surgen preguntas importantes como ¿Cuál sería el desempeño agronómico y económico de las prácticas ACI en escenarios contrastantes de cambio climático? Dado que los factores económicos como precios de productos y costos de producción son fluctuantes y susceptibles a cambiar, también cabe la pregunta ¿Cuáles serían las prácticas ACI que se desempeñarían mejor bajo combinaciones de escenarios climáticos y económicos contrastantes?

1.2. Justificación

El presente trabajo pretende contribuir al campo de investigación de prácticas de ACI mediante una metodología original que permitiría identificar las mejores prácticas de ACI (en desempeño productivo y económico) en combinación de escenarios climáticos y económicos contrastantes. Para nuestro conocimiento, estudios que combinan ambos tipos de escenarios, no se han realizado hasta el momento. El trabajo llevado a cabo se enfocó en prácticas ACI aplicadas en huertos caseros. No obstante, la metodología podría ser aplicada a prácticas en cualquier otro uso de la tierra. El conocimiento de prácticas ACI promisorias es necesario para promover mejor su implementación a nivel de campo y promoverlas a diferentes niveles (locales, nacionales, regionales) buscando una mayor inversión en ellas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Identificar las prácticas de agricultura climáticamente inteligente en huertos caseros que se desempeñan mejor bajo diferentes escenarios económicos y de cambio climático en el municipio El Tuma – La Dalia.

2.2. Objetivos específicos

Describir dos escenarios futuros de cambio climático y un escenario de variabilidad climática para el municipio El Tuma – La Dalia.

Definir escenarios positivos y pesimistas en cuanto a variables económicas (costos, precios y tasas de descuento) para hacer un análisis de sensibilidad usando los indicadores valor actual neto y costo/beneficio de las prácticas ACI seleccionadas.

Comparar el desempeño (productivo y económico) de prácticas de agricultura climáticamente inteligente en huertos caseros con combinaciones de escenarios climáticos y económicos.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. Definición de cambio climático y variabilidad climática

La realidad del cambio climático es inequívoca, según concluye el cuarto informe del IPCC 2007. Son evidentes las observaciones del incremento en la temperatura y la variabilidad climática que en los últimos 50 años son más adversos que en cualquier periodo anterior en los últimos 1300 años. Algunos de los eventos en los que el CC se pone de manifiesto son: patrones de precipitación, salinidad de los océanos, patrones de viento, sequías, lluvias torrenciales, ondas de calor e intensidad de los ciclones tropicales (Conde y Saldaña 2007). El Programa de Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) del CGIAR, considera que el cambio climático es la variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado, normalmente decenios o incluso más (CCAFS 2014).

La variabilidad climática se refiere a los registros históricos del clima de una región o sitio. Para estudios científicos relacionados a la agricultura, los eventos climáticos extremos (sequías, lluvias torrenciales, ondas de calor, heladas, vientos fuertes, inundaciones) son estudiados en su comportamiento, tendencias y anomalías (CCAFS 2014). En América Latina, el fenómeno del Niño, es la fuente más importante de variabilidad climática y ha causado grandes pérdidas económicas e impactos sociales. Los huracanes que provoca esta oscilación son más frecuentes y más severos en la región centroamericana y caribeña e impactan directamente la agricultura (Conde y Saldaña 2007).

3.1.1. Proyecciones de cambio climático para Centroamérica y Nicaragua

El istmo centroamericano se encuentra entre dos sistemas oceánicos donde convergen diversas vertientes climáticas. Tiene influencia del fenómeno El Niño que conlleva sequías, inundaciones, ciclones, etc. (Milan 2012). Esta región está considerada como un “*hot-spot*” promisorio a cambios futuros en el clima. (Giorgi 2006). La agricultura en Centroamérica es el sector más vulnerable a estos efectos sobre todo en una región sustentada en gran medida por los medios rurales.

En el marco de la iniciativa (IPCC 2007), se plantean escenarios sobre las posibles alteraciones de temperatura y precipitación debidas al CC. La seguridad alimentaria dependerá no solo de la capacidad adaptativa de producir cultivos más resilientes y adaptados, también de sistemas socio-agroecológicos que prioricen prácticas estratégicas en cada sector productivo de la región centroamericana (Borouncle 2014).

Los impactos debidos a cambios en precipitación, sequías y escorrentía pueden ser resultado de un conjunto de eventos acumulados que individualmente no son tan extremos (IPCC 2007b; IPCC 2011). A pesar de algunas discrepancias y anomalías que alteran las proyecciones de precipitación, estos escenarios muestran una reducción de los volúmenes de lluvia entre -8,20% (B2) y -11,5% (A2) en proyección al corto plazo en el territorio nicaragüense (MARENA 2008).

En el modelo HadCM3 (clima considerablemente más seco y caliente que el de referencia), las proyecciones para los escenarios B2 y A2 muestran una reducción de los volúmenes de lluvia en casi todo el país, con el predominio de valores que están entre -30% y -50% respectivamente (MAGFOR 2013).

Los cambios en temperatura según modelos del IPCC muestran cómo se componen dichos escenarios que, en resumen, marcan aumentos de temperatura de entre 0,50°C y 0,57°C (B2) y entre 0,63°C y 0,80°C (A2) al 2020 (en el corto plazo) y con una diferencia aún mayor al 2100, alcanzando rangos de 2,20°C a 2,67°C (B2) y 3,60°C a 4,73°C (A2) (CEPAL 2012).

Ramírez y Ordaz (2010) señalan que el escenario climático B2 proyecta que los regímenes de temperatura podrían aumentar 2,4°C hacia el año 2100 respecto al promedio registrado entre 1980-2000, y que la precipitación se reduciría 24%. Las proyecciones correspondientes al escenario climático A2 son más extremas y estiman un incremento en la temperatura de 4,3°C y una caída en la precipitación pluvial del doble que en el escenario B2.

3.1.2. Variabilidad climática en la región

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) en su cuarto informe del 2007 indica que los eventos de precipitación intensa han aumentado en conjunto con

temperaturas altas y el rápido calentamiento de las masas oceánicas. También reporta que las influencias antropogénicas han contribuido con esta intensificación. Los expertos de este panel observaron que la atribución de la variabilidad climática está asociada a cambios en la media, varianza del patrón de distribución, probabilidad de ocurrencia y la suma de los mismos indicadores (IPCC, 2007b; 2011).

Los sistemas productivos en las regiones tropicales son altamente sensibles a la variabilidad climática debido a que los calendarios productivos se proyectan con base al régimen de lluvias donde influyen la frecuencia, la intensidad y la estacionalidad, principalmente. La falta de información y adaptación a estos riesgos genera mayor incertidumbre para la planificación de la agricultura (FAO 2014). Las medidas de adaptación al CC son parte de la estrategia regional de promover alternativas que generen procesos de desarrollo más sostenibles (CEPAL 2012). La construcción de resiliencia climática en las comunidades rurales constituye un imperativo para la seguridad alimentaria en América Latina (Altieri y Nicholls 2008).

3.2. El sector agrícola frente al cambio climático

El sector agrícola de Nicaragua enfrenta desafíos grandes en cuanto a productividad, transferencia de tecnología y acceso a mercados. El encausamiento de los sectores productivos hacia sistemas de información permite adaptar prácticas y tecnologías encaminadas a contrarrestar efectos de la variabilidad climática (CCAFS año). Según el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), el sector agrícola no está equipado para responder a desastres naturales como los que se han percibido en épocas pasadas.

Nicaragua se encuentra en el tercer lugar de riesgo y exposición al CC en el mundo, siendo directamente afectado por eventos extremos durante periodo de 1992-2011, según el Global Climate Risk Index (CRI) (CEPAL 2012). Según el Banco Centroamericano de Integración Económica, el 46% de la población nicaragüense se encuentra en estado de pobreza y el 15% en extrema pobreza (MARENA 2008).

En Nicaragua, más de la mitad de la población carece de servicios básicos de saneamiento y tiene acceso limitado a la atención sanitaria (Ortiz, 2012). Su población se ve constantemente afectada por eventos extremos que, según proyecciones, aumentarán en frecuencia e intensidad debido al CC. Este país se considera sensible a los impactos de cambio climático por su bajo nivel de adaptación a eventos extremos (PNUD 2009).

Nicaragua cuenta desde el año 2010 con la Estrategia Nacional Ambiental de Cambio Climático (ENACC). Esta propuesta identifica la importancia de una estrategia sectorial que contribuya a conformar un modelo de adaptación socioeconómica y ambiental de los sistemas de producción más sensibles ante la variabilidad climática. Se requiere de un esfuerzo de todas las partes para reconciliar un acuerdo entre las instituciones y las prioridades que se incluyen (MAGFOR 2013).

3.2.1. Impactos del cambio climático sobre la producción agrícola en Nicaragua

El régimen de precipitación de Nicaragua, en general, es bimodal. Una estación seca de diciembre-abril seguida por la temporada de lluvias de mayo-noviembre, interrumpida por un breve período seco de julio hasta agosto. Este periodo se conoce como canícula o veranillo de San Juan (Schmidt *et al.* 2012). La variabilidad en la estacionalidad del periodo de canícula es determinante para la agricultura campesina. Este importante factor de riesgo expone la planeación de cultivos básicos como el arroz, frijol y maíz (Magaña *et al.* 1999).

Los sistemas productivos en las regiones tropicales son altamente sensibles a la variabilidad climática debido a que los calendarios productivos se proyectan con base al régimen de lluvias donde influyen la frecuencia, la intensidad y la estacionalidad principalmente. La falta de información y adaptación a este cambio genera un vacío de información debido a una mayor incertidumbre en la planificación de la agricultura (FAO 2014).

En el estudio de Nelson *et al.* (2009) se reconocen tres impactos principales en la agricultura a causa del CC: (i) un deterioro en el rendimiento de los cultivos; (ii) efectos en el nivel de precios, producción y consumo; y (iii) efectos en el consumo calórico *per cápita* y nutrición infantil. El efecto de los precios de los alimentos proyectados para Centroamérica al 2050 estima un aumento entre un 18% y 34% del precio. Esto tiene que ver principalmente con la productividad de los cultivos frente a los fenómenos climáticos extremos (OCDE-FAO 2013).

Estudios que incorporan el efecto de la degradación de suelo predicen altas pérdidas de producción de granos básicos al año 2020. La producción de frijol será la más afectada, con disminuciones en torno al 25% para Nicaragua (CRS 2012). Además, el cambio climático afectará la seguridad alimentaria al impactar la disponibilidad y acceso a alimentos, así como la estabilidad de los almacenamientos de alimentos y la volatilidad de los precios (Feldman y Cortés 2016).

La afectación del clima sobre la producción ha sido estudiada por varias décadas por métodos experimentales y funciones de producción. En 1994 Mendelsohn, Nordhaus y Shaw propusieron el método Ricardiano como el más adecuado, ya que toma en cuenta la adaptación de los productores, los ingresos netos y el valor de la tierra (referencia). Los proponentes de este método analizan el efecto de estas variables en la toma de decisión de los agricultores. (Feldman y Cortés 2016). El modelo parte del siguiente supuesto: el precio de mercado de la tierra coincide con el valor presente neto del flujo de beneficios esperados de la producción agropecuaria optimizada.

3.3. Contexto de la agricultura climáticamente inteligente en Nicaragua

La superficie agrícola total de Nicaragua se estima en aproximadamente 6 millones de hectáreas, que representan el 45% de la superficie terrestre total del país. La mayoría de

las tierras agrícolas (54%) está dedicada a las áreas de pastoreo, seguido por el maíz (4,5%) y el frijol (3,4%). La agricultura es un sector clave en la economía nicaragüense que representa el 17% del producto interno bruto (PIB) por concepto de exportaciones. Sus principales productos son: café (producido principalmente por pequeños agricultores en los sistemas agroforestales), ganadería vacuna (carne, lácteos y ganado en pie), caña de azúcar, maní, maíz y frijol (Nowak *et al* 2015).

Más de la mitad de los agricultores del país (55%) cultivan en menos de 7 ha de tierra. Los pequeños agricultores poseen menos de 1,75 ha en promedio y representan aproximadamente el 33% de los agricultores, mientras que los agricultores de subsistencia con 0,7 ha o menos representan el 18,5% (CEPAL 2015).

3.3.1. Entorno favorable para desarrollar el concepto de la agricultura climáticamente inteligente

Nicaragua cuenta con una política general para el ordenamiento territorial con el objetivo de orientar el uso del territorio en forma sostenible; a través del plan de adaptación nacional se genera la propuesta de “Contribuir a la transformación de los sistemas actuales de producción, en sistemas sostenibles, los cuales, basados en los principios ecológicos, permitan mejorar las condiciones de vida de los productores (MAGFOR 2013).

Parte de los retos del desarrollo agrícola es consolidar los esfuerzos para el desarrollo de capacidades locales y así lograr que la ACI supere las barreras de adopción y se ajusten a la realidad del cambio climático. Diferentes organismos y entidades como FAO, FIDA, Banco Mundial, PMA, PNUD y otras organizaciones (GCAI/CCAFS), se han consolidado para abordar estos temas y apoyar a los países con alta vulnerabilidad socioeconómica y ambiental a implementar los enfoques climáticamente inteligentes (FAO 2010).

La agricultura de los países en desarrollo debe emprender una transformación significativa para responder a los retos que la vinculan con la seguridad alimentaria y el CC. El programa MAP ha trabajado en la última década apoyando a organizaciones como el CIAT y CCAFS en la construcción de territorios climáticamente inteligentes. En el caso de Nicacentral, ubicado en la región centro norte del país entre los municipios de Jinotega; Waslala y Matiguas, se consolidó la priorización de prácticas “climáticamente inteligentes” identificadas para ser implementadas como sistemas agrícolas sostenibles, bajo un enfoque ecosistémico resiliente con el objetivo de trabajar a escala de paisaje y asegurar la coordinación y la cooperación intersectorial (Villareyna *et al* 2016).

Es necesaria una propuesta integral de adaptación considerando la vulnerabilidad del país hacia el CC, con base en las necesidades, las brechas de conocimiento, investigación, desarrollo de tecnologías y metodologías, además de la conservación y producción de variedades y especies apropiadas. Es necesaria una mayor capacidad institucional y apoyo financiero público y privado para mejorar la difusión de información climáticamente

inteligente y la transferencia de información a grandes números de agricultores que responda a las necesidades de inversión del sector agrícola (FAO 2010).

3.4. Importancia de los huertos caseros

Los huertos caseros (HC) son uno de los sistemas productivos que contienen una serie de prácticas que se han sumado al gran abanico de opciones (ASAC año). Estas han sido recopiladas en el compendio del Marco de Priorización de Inversiones en ASAC, uno de los proyectos del Programa de Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CATIE). La agricultura climáticamente inteligente en Nicaragua, como en otros países alrededor del mundo, promueve cambios proyectando la adecuación climática de las zonas de producción para las generaciones futuras (CCAFS 2015).

Comúnmente un HC se define como una combinación entre cultivos de diferentes especies y diferentes componentes productivos, en ocasiones en asociación con animales domésticos, desarrollados en la zona de patio, cerca de las casas. Dentro de un ambiente social se reflejan la historia, tradiciones y condiciones socioeconómicas de las familias rurales. Los HC demuestran el conocimiento local que ha sido transmitido por las comunidades más antiguas y auto-determinadas, dedicadas a la conservación de los recursos genéticos que los rodean (Nair y Kumar 2006).

Los huertos caseros han sido considerados un “misterio económico” debido a que la valoración económica de estos sistemas generalmente resulta en números negativos. Una de las razones es que los estudios no consideran factores que pueden generar externalidades positivas dentro de la finca, que por lo general no son cuantificables o tangibles (Altieri y Nicholls 2008).

Los productos encontrados en estos sistemas no están generalmente relacionados a los mercados internos, sino más bien enfocados en brindar una serie de funciones medicinales, culturales y estéticas con el objetivo de cubrir el sustento familiar con base en las necesidades locales (Arrieta 2015).

3.4.1. Relevancia económica de los huertos caseros como sistema productivo

El estudio realizado por Arrieta (2015) en los ocho municipios de Nicacentral cubrió temas socioeconómicos y biofísicos para 260 fincas caracterizadas en el territorio por actores clave vinculados al proyecto MAP. Entre sus resultados identificaron 42 cultivos anuales, 28 frutales y 10 especies de animales domésticos. Los cinco cultivos encontrados con mayor frecuencia en las fincas fueron chiltoma, tomate, zanahoria, cebolla y pepino. También identificó las prácticas priorizadas por el portafolio de inversión MAP-Nicacentral (Cuadro 1), según la cualde los 80 productos aprovechables (cultivo, frutal y animal) solo 17 (21%) son comercializados, lo cual demuestra que el gran valor oculto de los HC está en el autoconsumo y el uso interno en las fincas.

Arrieta (2015) menciona que los beneficios familiares de los HC variaban desde US\$725/año hasta US\$5444/año. Estos resultados fueron considerados como ahorros significativos puesto que son costos evitados por las familias. La canasta básica de Nicaragua es de US\$5577/año y se divide en tres rubros: alimento (66%), servicios básicos (23%) y vestuario (11%). El gasto por compra de alimentos representa US\$3700 aproximadamente. El porcentaje de ahorro que representa el beneficio del autoconsumo o va desde el 20% al 147%. Un jornalero promedio en Nicaragua recibe un pago de US\$3,85 por día, mientras que el ingreso por concepto del HC está entre US\$3,30 y US\$58,90 diarios (Arrieta 2015).

El territorio de Nicacentral (Figura 1) comprende áreas con huertos caseros en los ocho municipios. En promedio cubren áreas de 0,24 ha, que van desde patios pequeños de 0,0105 ha hasta áreas de 1,0 ha. Las prácticas evaluadas en el sistema de huertos caseros incluyen alimentación de aves, establecimiento y manejo de árboles frutales, siembra de hortalizas mixtas, producción artesanal de semillas de hortalizas, elaboración y uso de abonos orgánicos (compost), diseño de patio, siembra y manejo de cultivo de ramadas (Villareyna *et al* 2016).

Los HC representan un área para la producción de alimentos fundamental para la dieta e ingresos familiares, provee beneficios y servicios ambientales, promoviendo la biodiversidad y un paisaje diverso. La descripción de las prácticas y la interpretación económica se encuentran en el (Cuadro 1).

3.4.2. Experiencias relacionadas con la utilización de las prácticas ACI

Varios estudios de CC han analizado los datos históricos del clima y han encontrado que hay una fuerte tendencia de calentamiento en todo Nicaragua. Esta tendencia se manifiesta a través de aumentos diurnos en la temperatura ~ 0,40°C por década (CCAFS 2015). Estos cambios no afectan igualmente todos los sistemas productivos por lo que la metodología de selección de prácticas se ajusta según las necesidades vistas por los actores en cada territorio. Las condiciones en la temporada seca muestran una prolongación de la sequía hasta siete meses provocando temperaturas más elevadas de los que los umbrales de producción normalmente toleran, por lo que son notorias las pérdidas en los cultivos, lo cual genera uno de los desafíos más importantes para el sistema de producción del país (Aguilar 2011).

Los sistemas agroforestales Quesungual y los cultivos intercalados son prácticas ACI que permiten a los pequeños productores diversificar los ingresos y contribuyen a la seguridad alimentaria de los hogares, al tiempo que mejoran la capacidad de adaptación a las condiciones de calor y sequía y generan interacciones biológicas que por procesos simbióticos recuperan la salud del suelo y por consiguiente la del cultivo. A medida que las temperaturas aumentan por encima del actual rango (18-28°C) para la producción de café, el cacao se acerca a su rango óptimo y se considera como cultivo alternativo importante. La tolerancia al calor puede mejorarse con la diversidad de especies en diferentes estratos, y

puede convertirse en una práctica importante en zonas secas como Waslala y Jinotega (Villareyna *et al.* 2016).

En Masaya se llevó a cabo un estudio que analizó las relaciones agroecológicas y socioeconómicas en 20 huertos caseros, se midieron variables de microzonación (asignación de área para usos y manejo específicos), uso y diversidad de plantas, ocupación, inversión laboral y generación de producto y beneficios e ingresos. Los resultados obtenidos identificaron diez micro-zonas y nueve usos de plantas; con un total de 324 especies, los huertos caseros generan una ocupación importante en la sociedad, con inversiones laborales promedio de 32,6 h por familia a la semana. Las familias obtuvieron al menos 40 productos vegetales diferentes (Méndez *et al.* 2001).

Comprender los roles de género relacionados con las actividades agropecuarias es fundamental para abordar la equidad en el momento de escalar las prácticas ACI. El rol masculino en las labores de campo se concentra en la ganadería, la silvicultura y las labores agrícolas contratadas, mientras que la mujer juega un papel importante en la producción agrícola para el consumo diario (Feldman y Cortés 2016).

3.4.3. Evaluaciones económicas de las prácticas ACI

En la planificación y formulación de políticas se plantean dos preocupaciones claves relacionadas con las decisiones de invertir y promover la adopción de prácticas agrícolas: i) que las prácticas sean rentables para las personas, garantizando una mayor probabilidad de adopción a largo plazo y ii) qué beneficios proveen. El análisis beneficio-costos (ABC) es una herramienta comúnmente usada para que los tomadores de decisiones evalúen las opciones de inversión (Sain *et al.* 2016).

El uso del ABC para evaluar las prácticas correctas en agricultura en relación con el CC ha dado lugar a un gran debate, principalmente por la incertidumbre en el impacto esperado este y las tasas de descuento seleccionadas. Sin embargo, los análisis económicos y las opciones metodológicas aplicadas con base en el conocimiento local son necesarios para evaluar la viabilidad de las prácticas bajo escenarios futuros de CC (Sain *et al.* 2016).

Algunas ACI son más atractivas que otras. Los HC en los dos territorios estudiados por el programa MAP es por mucho la actividad más atractiva económicamente. Esta práctica tiene una baja inversión inicial, usualmente usa mano de obra familiar y rápidamente empieza a generar ingresos, los cuales se derivan de varios productos lo que contribuye a la diversificación. Tienen la desventaja de que no se pueden implementar en grandes áreas por limitaciones de mercado y capital de trabajo; usualmente rondan 0,1 ha. No obstante, son un excelente complemento con otras actividades productivas (FAO 2014).

En el informe del ABC del MAP (indicar referencia) se muestran resultados finales de la evaluación llevada a cabo. Según los resultados de los indicadores evaluados, los huertos caseros se superan a otras prácticas productivas ocupando los primeros lugares en

generación de ingresos por unidad de área y rentabilidad. Tanto en Nicacentral como en el Trifinio, los HC se encuentran en los primeros lugares según los resultados obtenidos y únicamente compiten con los pastos de corte (Echeverría *et al.* 2016).

Según el informe del MAP (referencia), bajo un escenario pesimista (costos incrementan un 25 % y los ingresos disminuyen un 25 %), se tiene un efecto importante y hace que únicamente algunas prácticas ACI resulten aceptables. Sin embargo, todas las prácticas ACI tienen un desempeño mejor que el modelo tradicional; es decir, que bajo condiciones adversas del mercado la implementación de las prácticas ACI brindan algún nivel de protección.

3.5. Nueva generación de escenarios y métodos para la investigación y evaluación de cambio climático

Los avances en la ciencia y la observación del CC están proporcionando una comprensión más clara de la variabilidad inherente del sistema climático de la tierra y su probable respuesta a las influencias humanas y naturales (Ramírez 2011). Las implicaciones del CC para el medio ambiente y la sociedad dependerán no sólo de la respuesta del sistema terrestre a los cambios en los forzamientos radiativos, sino también en cómo la humanidad responde a través de cambios en la tecnología, la economía, el estilo de vida y la política (IPPC 2013).

Existen incertidumbres grandes sobre los forzamientos y las respuestas al CC que requieren el uso de escenarios futuros para explorar las posibles consecuencias de las diferentes opciones de respuesta (Moss 2010). Hasta la fecha, tales escenarios no han examinado adecuadamente las posibilidades cruciales, como la mitigación del CC y la adaptación, y se han basado en procesos de investigación que han frenado el intercambio de información entre científicos físicos, biológicos y sociales (Malte 2011).

3.5.1. La próxima generación de escenarios para la investigación y la evaluación del cambio climático

Cuando se consideran en la investigación sobre el CC, los escenarios climáticos ayudan a evaluar la incertidumbre acerca de la contribución humana al mismo, la respuesta del sistema terrestre a las actividades humanas, los impactos de una gama de climas futuros y las implicaciones de las diferentes medidas de mitigación. Los investigadores del fenómeno del CC de diferentes disciplinas han establecido un nuevo proceso para desarrollar escenarios (IPPC 2013).

El proceso de selección se basó en la evaluación previa de la literatura realizada por el Grupo de Trabajo III del IPCC durante el desarrollo del Cuarto Informe de Evaluación (referencia). De los 324 escenarios considerados, 32 cumplieron los criterios de selección y pudieron proporcionar datos en el formato requerido. Se seleccionó entonces un escenario individual para cada trayectoria de concentración representativas (RCP) (RCP2.6, RCP4.5,

RCP6.0 y RCP8.5) (Wayne 2013). Debido a que fueron producidos por cuatro diferentes modelos de evaluación, hay algunas inconsistencias en las relaciones entre emisiones y concentraciones que podrían complicar la interpretación de las consecuencias climáticas entre los cuatro escenarios diferentes (Wayne 2013).

3.5.2. Características principales de los escenarios climáticos

RCP 8.5 fue desarrollado utilizando el modelo MESSAGE y el Marco de Evaluación Integrada (IIASA) por el Instituto Internacional de Análisis de Sistemas Aplicados (IIASA), Austria. Este RCP se caracteriza por aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo, representativos de los escenarios de la literatura que conducen a altos niveles de concentración de gases de efecto invernadero (Wayne 2013).

RCP 6 fue desarrollado por el equipo de modelado AIM en el Instituto Nacional de Estudios Ambientales (NIES) en Japón. Se trata de un escenario de estabilización en el cual el forzamiento radiativo total se estabiliza poco después de 2100, sin sobrepasar, mediante la aplicación de una gama de tecnologías y estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Wayne 2013).

RCP 4.5 fue desarrollado por el equipo de modelización GCAM en el Laboratorio Pacific Northwest del Instituto de Investigación de Cambio Global (JGCRI) en los Estados Unidos. Se trata de un escenario de estabilización en el que el forzamiento radiativo total se estabiliza poco después de 2100, sin sobrepasar el nivel objetivo de forzamiento radiativo a largo plazo (Wayne 2013). Considera el empleo de una gama de tecnologías y estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (CCAFS 2014).

RCP2.6 fue desarrollado por el equipo de modelado IMAGE de la Agencia de Evaluación Ambiental de Países Bajos. Es un escenario de "pico y declive"; su nivel de forzamiento radiativo alcanza por primera vez un valor de alrededor de $3,1 \text{ W/m}^2$ a mediados de siglo y vuelve a $2,6 \text{ W/m}^2$ en el 2100 (Wayne 2013). Representa un escenario de mitigación fuerte después de 2100 (incluidas las emisiones negativas de CO_2), lo que hace que las concentraciones de CO_2 vuelvan a 360 ppm en 2300 (CCAFS 2014).

3.5.3. Modelos climáticos, sus componentes e incertidumbres

El Grupo de Trabajo sobre Modelado Acoplado (WGCM), con la contribución del proyecto, acordó promover un nuevo conjunto de modelos climáticos. Estos comprenden la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelo Acoplado (CMIP5). CMIP5 ofrece un contexto multi-modelo para: i) evaluar los mecanismos responsables de las diferencias de modelos asociadas con el ciclo del carbono y con las nubes; ii) examinar la capacidad de los modelos para predecir el clima en escalas de tiempo; iii) promover un conjunto de simulaciones de modelos con el fin de evaluar cómo son los modelos en la simulación del pasado reciente; 4) proporcionar proyecciones del cambio climático futuro. Considerando escenarios más realistas como los RCP de forzamiento radiativo y concentraciones de GEI.

Los modelos climáticos de circulación general (GCM) han sido la principal fuente de información para la construcción de escenarios climáticos y constituyen la base de la evaluación de impacto en CC sobre todas las escalas, desde lo local hasta lo global. Los errores en las simulaciones de GCM en relación con las observaciones históricas son grandes (Ramírez *et al.* 2013). Por lo tanto, es importante corregir los resultados del modelo de clima con el fin de producir proyecciones climáticas que sean más adecuadas para la modelización agrícola.

3.6. Características climáticas del municipio El Tuma - La Dalia

Precipitación y temperatura

De acuerdo con el sistema de clasificación de las zonas de vida de Holdridge (1967), el cual combina las variables de biotemperatura, precipitación y pisos altitudinales, en este municipio se encuentran las zonas de vida bosque húmedo subtropical (bmh - ST) y bosque muy húmedo subtropical cálido (bmh - STc); cada zona cubre aproximadamente el 50% del área. El municipio presenta un clima de bosque subtropical semi-húmedo, correspondiente al tropical semi-lluvioso, con una precipitación entre los 1300 y 2000 mm.

El estudio realizado por Pallqui y Hinojosa (2016) determina ciertas bases en la climatología de la comunidad de Wasaka ubicada en el centro del municipio El Tuma - La Dalia. Datos procesados por MAPN/ LMA 2015 detallan que la temperatura media anual es de 22,6°C y la precipitación media anual de 1404 mm; se evidencia dos periodos bien marcados: lluvioso y seco. La temperatura oscila entre los 23°C y 24°C. Pallqui y Hinojosa (2016), determinan que la precipitación y la temperatura no presentan diferencias significativas en las variables dentro del territorio de estudio, por lo tanto, se puede decir que es un territorio bastante homogéneo en cuanto al clima.

El periodo lluvioso tiene una duración de seis meses (junio a noviembre), presenta un patrón bimodal de precipitación; es decir, se presentan dos máximos que generalmente ocurren en los meses de julio y noviembre con una precipitación promedio mensual de 210 y 213 mm respectivamente, separados por un descenso moderado de lluvias que produce un déficit hídrico entre los meses de julio y agosto conocido como “canícula” (Pallqui y Hinojosa 2016).

4. RESULTADOS

El artículo se enfoca en identificar prácticas promisorias para el municipio del Tuma – La Dalia, que beneficien los tres pilares de la ACI, haciendo énfasis en el pilar de productividad mediante las actividades productivas mas promisoras que conforman cada práctica. Mediante entrevistas personalizadas se logró conocer la perspectiva y la opinión de tres grupos de evaluadores claves en el territorio, involucrados en el programa MAP y con un buen conocimiento de los 10 cultivos evaluados. Contrastando escenarios económicos y

de cambio climático, los entrevistados generaron nuevas percepciones sobre los rendimientos productivos de cada cultivo por práctica.

Los principales resultados encontrados se describen a continuación:

- ✓ Se definieron escenarios económicos con la ayuda de expertos, siguiendo lineamientos de anteriores propuestas de análisis económicos en prácticas ASAC expuestas por Sain (2015) y Echeverría (2014).
- ✓ Las cuatro prácticas seleccionadas se analizaron mediante un ABC completo, en el cual todas se ubicaron en un mismo estándar que considera mil metros cuadrados de cultivo.
- ✓ Para los escenarios económicos se elaboraron gráficos descriptivos para cada escenario de RCP a futuro (2020-2049) (Figura 4), según las coordenadas del territorio y con apoyo del CIAT, para la extracción de datos utilizando métodos de reducción de escala que considera 24 GCM y un alto grado de resolución y precisión estadística gracias a la metodología de reducción de escala propuesta por el Delta Method del CIAT.
- ✓ Se entrevistaron 10 productores con actitud de liderazgo y buen desempeño a lo largo del programa MAP, 10 técnicos especialistas en la promoción e implementación de huertos caseros y producción de patio en el marco de la ACI y la agroecología y 10 expertos con experiencia en huertos caseros en la region y del CATIE.
- ✓ Según las figuras 6 y 7, para los indicadores B/C y VAN se muestra una interacción doble generada por el clima y la influencia de cada práctica. Aquí notamos que la práctica de raíces y tubérculos dio los resultados más positivos según la estabilidad mostrada por el VAN.
- ✓ La práctica de hortalizas orgánicas tiene los indicadores económicos más bajos. En los escenarios compuestos por indicadores de variabilidad climática, los resultados obtenidos son negativos (figuras 6 a) y b). Sin embargo, frente a un escenario más seco y caliente como el RCP 8.5, esta práctica tiene mejores resultados al igual que en el escenario económico positivo, mostrado por el VAN.
- ✓ Se generó una interacción triple en la cual se muestra una misma tendencia entre las prácticas vs escenarios, evidenciando que existe paralelismo en el patrón de la varianza, lo cual sugiere que la interacción no sea estadísticamente significativa con un p -valor 0,9788 (Figura 8).

5. CONCLUSIONES

- ✓ El enfoque participativo de la metodología involucra diferentes actores vinculados directamente al sector agropecuario, que permite la interacción conjunta para abordar futuros comunes con retos integrales e igualmente notables para el sector en los diversos horizontes.
- ✓ La metodología sirve como insumo para orientar, con herramientas cuyo énfasis puede ser más específico dando una perspectiva general de diversos escenarios posibles, la formulación de políticas y estrategias y la implementación de acciones precisas en ámbitos relacionados a garantizar la seguridad alimentaria de la población rural.
- ✓ La importancia de conocer las interacciones entre cambio climático y seguridad alimentaria de una manera integral nos permite verificar que el estudio tiene un impacto directo hacia el pilar de adaptación al cambio climático.
- ✓ Por esto invitamos a cambiar la cultura de investigación, a ser más orientada a la acción desde la construcción de portafolios de productos y prácticas promisorias para un territorio determinado, destacando su rendimiento productivo frente a diversas combinaciones de escenarios económicos y climáticos.
- ✓ Las iniciativas de estos proyectos deben ejecutarse mediante procesos participativos donde los actores clave lideren las medidas de adaptación sugeridas, sean relevantes para los más vulnerables al cambio climático y promuevan la generación de información sobre acciones que combinen producción, adaptación y mitigación.
- ✓ Consideramos que seguir esta agenda de trabajo nos acercará cada vez más a lograr encontrar soluciones que apunten a un sistema alimentario resiliente, donde la variable climática sea gestionada satisfactoriamente de manera que afecte lo menos posible a nuestras poblaciones más vulnerables.

6. REFERENCIAS

- Aguilar, MY. 2011. Impactos del cambio climático en la agricultura de América Central y en las familias productoras de granos básicos. Managua, Nicaragua, Centro Humboldt. 115 p.
- Altieri, MA; Nicholls, C. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. Agroecología 3:7-28.

- Arrieta Bolaños, S. 2015. Artículo I. Prácticas agroecológicas para mejorar la producción y la seguridad alimentaria en huertos caseros (HC). In Prácticas agroecológicas para mejorar la producción y la seguridad alimentaria en huertos caseros en Nicaragua Central. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 1-25.
- Arrieta Bolaños, S., 2015. Artículo III. Prácticas agroecológicas para mejorar la producción y la seguridad alimentaria: validación de prácticas más efectivas. In Prácticas agroecológicas para mejorar la producción y la seguridad alimentaria en huertos caseros en Nicaragua Central. Thesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 37-50.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Rodríguez-Sánchez, B., Medellín, C., Martínez-Valle, A. and Läderach, P., 2016. Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies. *Climatic Change*, pp.1-15.
- Climatico, E.S.E.C, 2014. Cambio climático. Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Ginebra, Suiza. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Organización Meteorológica Mundial.
- Conde-Álvarez, C; Saldaña-Zorrilla, S. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y Desarrollo* 23(2):23-30. Vignola, R., 2011. Percepción local ante variaciones en el clima y su impacto en comunidades de Waslala y El Cúa, Nicaragua. *Revista Centroamérica de Ciencias Sociales*, 8(2), pp.53-78.
- Feldman, AJL; Cortés, DH. 2016. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El Trimestre Económico* 83(332):459-496.
- Field, C. B. (2014). IPCC, Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad- Resumen para responsables de políticas. Contribución del grupo de trabajo II al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Giorgi, F. 2006. Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters* 33:4 p. doi:10.1029/2006GL 025734
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Fifth assessment report, Climate change 2013: The Physical Science Basis
- Kumar, BM; Nair, PR. 2004. The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems* 61(1-3):135-152.
- Lipper, L; Thornton, P; Campbell, BM; Baedeker, T; Braimoh, A; Bwalya, M; Hottle, R. 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change* 4:1068-1072.
- MAG – INETER. 2013. Uso potencial de la tierra. Compendio de mapas. Managua: Ministerio Agropecuario e Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
- Magaña V; Amador JA; Medina, S. 1999. The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate* 12(6):1577-1588.
- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales). 2008. Segundo inventario nacional de gases de efecto invernadero. Managua, Nicaragua..

- Méndez, VE; Lok, R; Somarriba, E. 2001. Interdisciplinary analysis of homegardens in Nicaragua: micro-zonation, plant use and socioeconomic importance. *Agroforestry Systems* 51(2):85-96.
- Mercado, L., Acuña, V., Rogelio, A., Cerda Bustillos, R., Aguilar, A., Padilla Castillo, D., ... & Martínez Barón, D. (2017). Promoviendo prácticas Agrícolas Climáticamente Inteligentes para enfrentar los efectos del cambio y la variabilidad climática en el centro-norte de Nicaragua (NicaCentral).
- Milán, P.J.A., 2012. Apuntes sobre el cambio climático en Nicaragua.
- Montenegro, R.J.V., Zarabozo, O.D. and Baca, M., 2015. Modelos de impacto en la agricultura teniendo en cuenta los escenarios de la agricultura del cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1), pp.1-50.
- Nelson, GC; Rosegrant, MW; Koo, J; Robertson, R; Sulser, T; Zhu, T; Ringler, C; Msangi, S; Palazzo, A; Batka, M; Magalhaes, M; Valmonte-Santos, R; Ewing, M; Lee, L. 2009. *Climate change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation*. Washington, D.C., United States of America. Intl Food Policy Res Inst. (Food Policy Report).
- Nowak, A; Corner-Dolloff, C; Lizarazo, M; Jarvis, A; Kray, H; Arce, C. 2015. *Climate-Smart Agriculture in Nicaragua*. Washington, D.C., United States of America, The World Bank Group. 16 p.
- Ordaz, J.L., Mora, J., Acosta, A., Serna Hidalgo, B. and Ramírez, D., 2010. Nicaragua: efectos del cambio climático sobre la agricultura
- Ortiz, R., 2012. El cambio climático y la producción agrícola. Banco Internacional de Desarrollo (BID), Unidad de Salvaguardias Ambientales (VPS/ESG), Notas Técnicas ESG-TN-383. 41pp.
- Ramirez-Villegas, J., Challinor, A. J., Thornton, P. K., & Jarvis, A. (2013). Implications of regional improvement in global climate models for agricultural impact research. *Environmental Research Letters*, 8(2), 024018
- Rody, YP; Cecílio, RA; Pezzopane, JEM; Ribeiro, A; Almeida, AQ. 2012. Influencia del cambio climático en los escenarios del futuro sobre plantaciones de Eucalipto. *Revista Ciencia Agronómica* 43(3):470-477.
- Salcedo, S., & Guzmán, L. (2014). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política*. Santiago: FAO.
- Torquebiau, E., 1992. Are tropical agroforestry home gardens sustainable?. *Agriculture, ecosystems & environment*, 41(2), pp.189-207.
- Villarreyna Acuña, R; Cerda Bustillos, R; Echeverría, Padilla, D; Suchini, JD; Posada, E; Moscoso, C; Mercado, L. 2016. Priorización de Inversiones en Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI): Prácticas agropecuarias de huertos caseros, granos básicos, sistemas agroforestales y pasturas priorizadas en el territorio Trifinio. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 57 p.

CAPÍTULO II

Artículo 1

Evaluación de prácticas de agricultura climáticamente inteligente en huertos caseros bajo diferentes escenarios económicos y de cambio climático en Nicaragua Central, municipio El Tuma - La Dalia, departamento de Matagalpa

1. INTRODUCCIÓN

Se prevé que en las próximas décadas el cambio climático tendrá efectos profundos en el sistema alimentario mundial. Un análisis reciente de los impactos futuros del cambio climático indica que el 70% de los estudios proyectan un descenso del rendimiento de los cultivos para la década de 2030, con pérdidas en el rendimiento entre 10 y 50%, según la mitad de los estudios (Challinor *et al.* 2014). Las opciones de adaptación incrementales tales como cambios en las variedades de cultivos y en los regímenes de manejo de llos mismos, pueden reducir, pero no eliminar las pérdidas. Las condiciones climáticas extremas que pueden superar los umbrales críticos para la producción agropecuaria, requerirán mecanismos cada vez más eficaces para mitigar el riesgo (IPCC 2012; Cai *et al.* 2014, Thornton *et al.* 2014).

El cambio climático ya está incrementando la temperatura promedio en todo el planeta y proyectando que en el futuro, las temperaturas sean no solo más altas, sino más inestables, lo que alterará la cantidad de lluvia, el lugar y el momento en que se den. La combinación de estos cambios aumentará la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, tales como huracanes, inundaciones, olas de calor, tormentas de nieve y sequías, lo que puede causar la elevación del nivel del mar y la salinización de las aguas subterráneas, así como perturbaciones en ecosistemas enteros (CCAFS y FAO 2014).

A futuro, tanto las opciones incrementales como transformacionales de adaptación deberán ser implementadas. Los cambios transformacionales podrían incluir modificaciones en ciertos sistemas de cultivo y ganaderos, retirarse de la agricultura, o cambios en la dieta (Vermeulen *et al.* 2013; Rippke *et al.* 2016). Del mismo modo, las acciones incrementales, tales como la intensificación sostenible para lograr menores emisiones por unidad de producto, serán necesarias, pero no suficientes para alcanzar los objetivos de mitigación sugeridos para la agricultura de los países en desarrollo (Scholes *et al.* 2014; Wollenberg *et al.* 2015). Los sistemas alimentarios tendrán que ser transformados, para mejorar el manejo de desperdicios y cambiar los patrones de dieta (Smith *et al.* 2013).

Respecto a las métricas de seguridad alimentaria y nutricional, El Marco de Estrategia y Resultados del CGIAR (CGIAR 2015), se basa en la visión de un sistema alimentario global más productivo, carbono neutral y proveedor de opciones nutritivas a precios asequibles.

Dicho marco consta de tres metas de alto nivel, las cuales responden a los objetivos del desarrollo sostenibles acordados en el año 2012 por la Organización de las Naciones Unidas. Estos objetivos son indicativos del dominio de intervención de donantes públicos y privados e inversionistas en el campo de la investigación agropecuaria para reducir la pobreza, mejorar la seguridad alimentaria y nutricional para la salud y mejorar los recursos naturales y los servicios ecosistémicos.

Desde hace un poco más de cinco décadas, diferentes instituciones a nivel mundial se han enfocado en modelar y proyectar la seguridad alimentaria a través de modelos cuantitativos o cualitativos, basados en proyecciones de tendencias y modelos de comercio global y estadísticas demográficas globales. Sin embargo, el proceso de modelar la seguridad alimentaria a futuro de una manera integral resulta ser complejo. Dado lo anterior, el uso de modelos de simulación para las ciencias agropecuarias resulta ser de gran utilidad. Actualmente, el desarrollo de 24 modelos agropecuarios ha tenido un gran avance científico y muchos modelos han incluido el cambio climático dentro de sus procesos (MacCalla y Revoredo, 2001).

Las proyecciones de los efectos del cambio climático en los sistemas agropecuarios resultan ser un complejo desafío, ya que es necesario incluir tanto variables fisiológicas del cultivo y climáticas como aspectos subyacentes relacionados con el comportamiento de mercados, ecosistemas y dinámicas poblacionales (CCAFS 2017).

El análisis beneficio-costos (ABC) es una herramienta frecuentemente utilizada por los responsables de la toma de decisiones para evaluar las opciones de inversión, especialmente en relación con la planificación gubernamental. Este enfoque permite considerar las incertidumbres sobre el impacto esperado del cambio climático y la fluctuación de tasas de descuento, entre otros (Sain *et al.* 2017). Los desafíos de las evaluaciones de impacto a pequeña escala generan mayor transparencia y comunicación sobre las fortalezas y limitaciones de las deliberaciones metodológicas aplicadas. Independientemente de si el cambio climático ocurre, brindar beneficios ahora y construir resiliencia en el futuro son opciones que hacen parte del enfoque de ACI (Campbell *et al.* 2016).

Para contribuir a responder estas preguntas, el presente estudio llevó a cabo una evaluación económica de prácticas ACI en huertos caseros. Esta evaluación contempló una proyección de la vulnerabilidad y adaptación ante las posibles condiciones climáticas actuales y futuras. Bajo este enfoque se analizaron las posibilidades de aumentar la capacidad adaptativa de pequeñas unidades productivas con prácticas enfocadas en huertos caseros, como respuesta ante posibles escenarios económicos y climáticos contrastantes.

2. METODOLOGÍA

La metodología de escenarios futuros se consolida a través del análisis de los retos del sistema agroalimentario mediante variables asociadas como rendimiento, producción, comportamientos fenológicos de los cultivos, al confrontarlos con escenarios contundentes

de cambio climático (CC) producto de la precipitación y temperatura. Los evaluadores generan una percepción bajo un criterio propio y con la ayuda del facilitador llevan los escenarios de cambio climático al lenguaje común del los productores del territorio (Anexo 3).

2.1. Ubicación geográfica y datos generales de la zona de estudio

El Tuma – La Dalia es un municipio del departamento de Matagalpa, Nicaragua. Es parte de un territorio ubicado en el centro norte del país conocido como NicaCentral por parte del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP) del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), que trabajó con un enfoque de desarrollo rural integral usando los principios de gestión territorial. El municipio está ubicado en el margen suroeste de la reserva de biosfera de Bosawás, en la región centro norte del país. Todos estos municipios convergen en el triángulo antes citado y en ellos se concentran alrededor de 23 000 familias productoras. El municipio El Tuma- La Dalia tiene una población de 56 681 habitantes (INIDE 2006), de los cuales el 85% es rural y el 15% urbano.

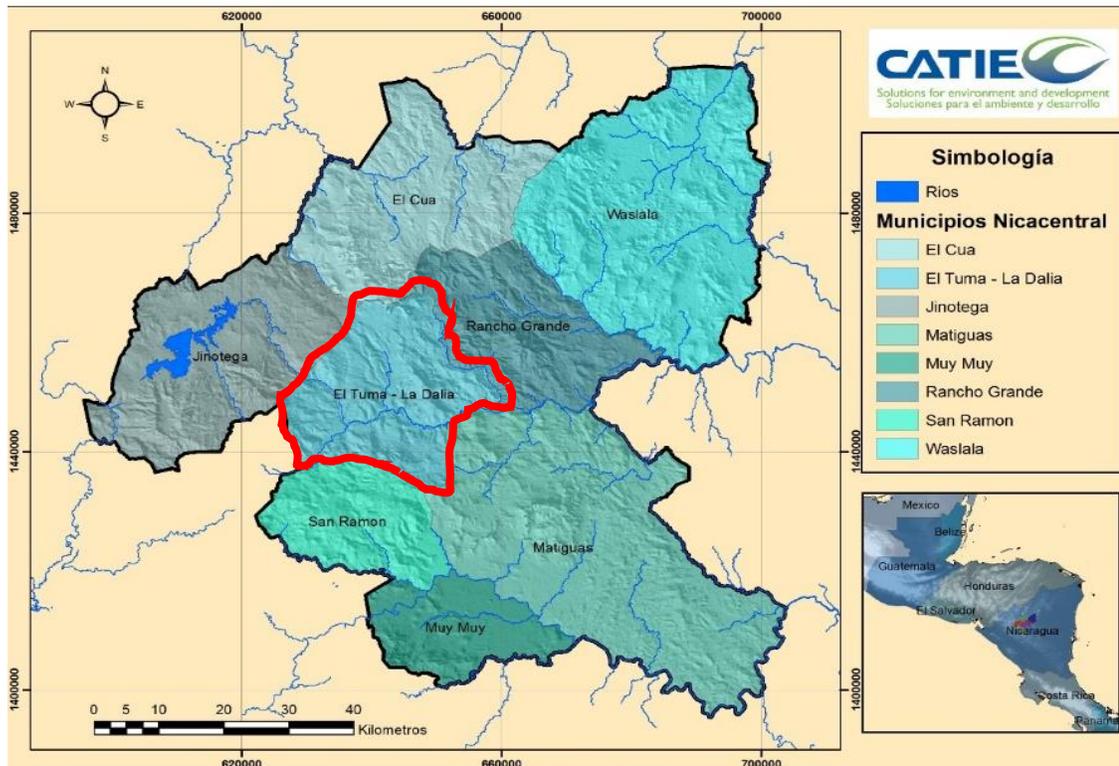


Figura 1. Municipio El Tuma – La Dalia, territorio de Nicaragua Central, Matagalpa, Nicaragua

2.2. Antecedentes de la priorización de prácticas ACI con base en indicadores y criterios para NicaCentral

El presente estudio realizó la evaluación de siete prácticas productivas promovidas para su producción en patios. Cuatro de las prácticas ACI fueron evaluadas como parte inicial del trabajo de tesis. La fase de evaluación preliminar partió de una lista de 60 prácticas agroecológicas y agroforestales promovidas por MAP y otras organizaciones locales en este municipio, en sistemas productivos de huertos caseros, granos básicos, sistemas agroforestales con café y/o cacao y pasturas/ganadería.

El marco de priorización comprendió cuatro fases, complementarias y aditivas, que permitieron el desarrollo de portafolios de inversión y selección de prácticas promisorias para enfrentar los efectos previstos de la variabilidad y el CC en un territorio (CCAFS y CIAT 2014). Cada fase incluyó herramientas participativas, incluyentes y flexibles, desarrolladas con actores claves a diferentes niveles. Se tomaron en cuenta diferentes criterios, prioridades y realidades contextuales, bajo el enfoque de sistemas productivos.

2.3. Definición de las prácticas ACI para huertos caseros

El presente estudio realizó la evaluación de cuatro prácticas seleccionadas del sistema productivo de huertos caseros (Cuadro 1), tres de las cuales están priorizadas en los portafolios de inversión de NicaCentral (MAP 2015).

Cuadro 1. Descripción breve de las prácticas seleccionadas de huertos

Práctica	Descripción breve	Productos evaluados	B/C	VAN (US\$)
Establecimiento y manejo de árboles frutales (EMAF)	Consiste en la siembra de árboles frutales de diferentes especies, en espacios disponibles dentro del huerto casero (1000 m ² aprox.), como alternativa para diversificar la producción y la dieta de las familias.	<i>Mangifera indica</i> , <i>Citrus sinensis</i> , <i>Persea americana</i>	2,7	751,05
Cultivos / ramadas (C/R)	Consiste en la siembra y manejo de plantas que crecen en forma de enredadera. Entre las especies más cultivadas se mencionan maracuyá o calala, granadilla, chayote (chaya), entre otros.	<i>Pasiflora edulis</i> , <i>Sechium edule</i>	2,1	659,70
Manejo de hortalizas orgánicas (bocashi) (MHO)	Consiste en la siembra y el manejo de hortalizas haciendo uso de prácticas de la agricultura orgánica utilizando insumos como: estiércol de animales, rastrojos, residuos de alimentos, carbón y microorganismos entre otros	<i>Solanum lycopersicum</i> , <i>Capsicum annum</i> , <i>Cucumis sativus</i>	1,21	531,57
Siembra y manejo de raíces y tubérculos (SMRT)	Consiste en establecer cultivos de raíces y tubérculos como yuca, camote, malanga (quequisque). Estos cultivos son importantes para diversificar la producción y la dieta familiar.	<i>Colocasia esculenta</i> , <i>Xanthosoma</i> ssp.	2,23	2399,41

2.4. Etapas de desarrollo del trabajo

El trabajo se desarrolló en cuatro fases principales como se muestra en la Figura 2. En la primera fase se definieron los escenarios económicos y climáticos para evaluar el

sistema productivo huertos caseros descritos en el marco de priorización del MAP (Mercado *et al.* 2017), mediante un análisis económico usando los indicadores VAN y B/C en tres escenarios económicos posibles (normal, pesimista y optimista). En esta fase se crearon los modelos climáticos con proyecciones según los escenarios de cambio climático (ariabilidad, pesimista RCP 8.5 y optimista RCP 2.6)

En la segunda fase se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con familias productoras para recoger información acerca de la percepción de cambios en rendimientos/producción de cultivos debido a nuevos contextos climáticos. En la tercera fase se realizaron los cálculos de los indicadores considerando los cambios en rendimientos observados por los actores encuestados para finalmente concluir con el análisis estadístico que permitió identificar las prácticas con mejores desempeños frente a escenarios contrastantes económicos y de cambio climático (Fase 4).

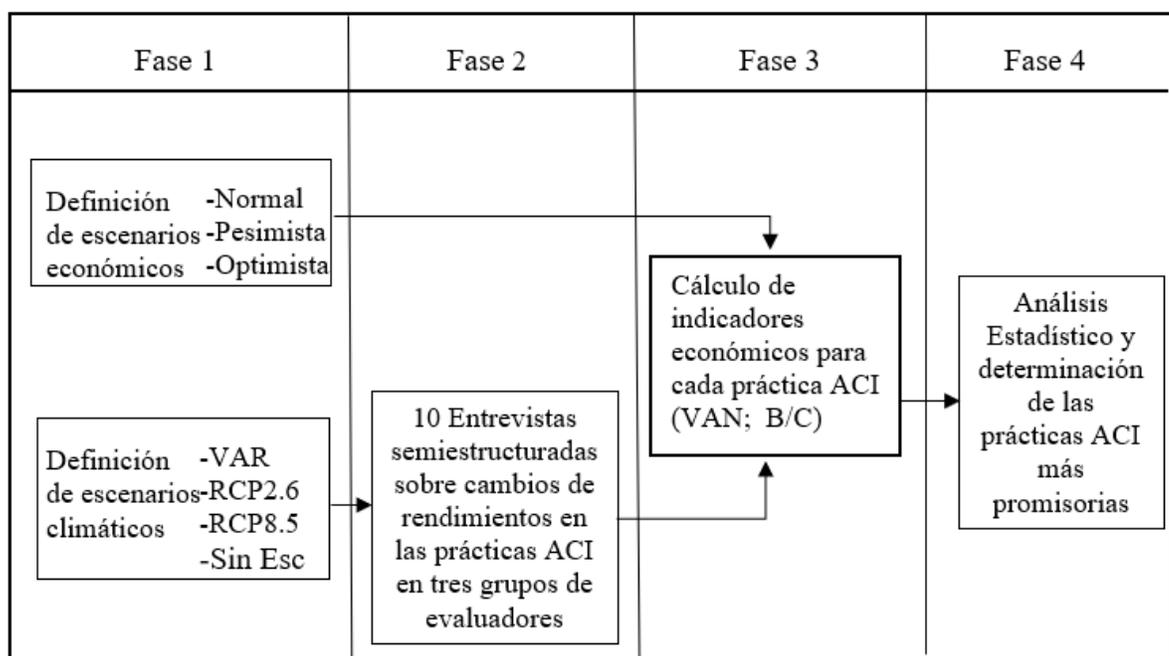


Figura 2. Etapas de la metodología paso a paso desarrollada para determinar las prácticas ACI más promisorias en el territorio Nica Central, Matagalpa, Nicaragua

2.4.1. Definición de escenarios económicos (Fase 1)

La metodología de evaluación económica para cada una de las prácticas ACI propuesta por Echeverría *et al.* (2016), indica la interpretación de estas prácticas aplicando diferentes supuestos que en conjunto desarrollan un ABC completo para cada práctica. El análisis económico utiliza como indicadores de rentabilidad el VAN y la relación B/C siempre y cuando el retorno de la inversión no sea cubierto en el primer año. Los indicadores fueron trabajados sobre los siguientes escenarios económicos:

Descripción de escenarios económicos

(i) Normal: Este escenario equivale a los supuestos básicos y la información recolectada. Tiene una tasa de descuento del 12% que se utiliza en el cálculo del VAN y la relación B/C.

(ii) Pesimista: En este escenario los costos se incrementan en un 25% y los ingresos disminuyen un 25%.

(iii) Optimista: En este escenario los costos se mantienen como en el escenario normal y los ingresos aumentan un 25%.

La aplicación de una tasa de descuento del 12% se debe a que comúnmente se utiliza como una estimación del costo social de oportunidad para el dinero por parte de organizaciones internacionales; también es utilizada en las valoraciones recientes de las prácticas ACI priorizadas en Guatemala por Sain *et al* (2017). La metodología propone la construcción de tres escenarios económicos para realizar proyecciones a partir del análisis de sensibilidad. Los escenarios positivo y el pesimista tendrá afectación sobre los resultados según la variación de los supuestos.

Debido a que existe una incertidumbre asociada a la estimación de los costos y beneficios en el tiempo, se consideró la aplicación de un análisis de sensibilidad a 15 años, el cual es un requisito indispensable para analizar posibles cambios a lo largo del ciclo de vida de la práctica.

2.4.2. Definición de escenarios climáticos (Fase 1)

Las proyecciones de los cambios en el sistema climático se hicieron utilizando una jerarquía de modelos climáticos que van desde modelos simples hasta modelos de complejidad intermedia y de modelos climáticos globales a modelos de sistemas terrestres. Estos modelos simulan cambios basados en un conjunto de escenarios de forzamientos antropogénicos. Las sustancias y procesos naturales y antropogénicos que alteran el presupuesto energético de la tierra son motores del cambio climático.

El forzamiento radiativo (RF) cuantifica el cambio en los flujos de energía causados por cambios en estos conductores (Wayne 2013). El Modelo Acoplado de la Fase 5 (CMIP5) del *World Climate Research Programme*, presenta un nivel de información sin precedentes sobre proyecciones de base, incluyendo nuevos modelos de representación más completa con forzamientos de radiación y rutas de concentración representativas (RCP) (IPCC 2013).

En este estudio se usaron modelos climáticos representativos para el territorio del municipio El Tuma – La Dalia, analizando las variables precipitación y temperatura para el periodo 2030–2050 bajo los escenarios RCP 2,6 y RCP 8,5 específicos para la región. Aquí presentamos un método de *downscaling* simple (llamado método Delta), basado en la suma de anomalías interpoladas a superficies climáticas mensuales de alta resolución de WorldClim (Hijmans *et al* 2005). El método produce una superficie alisada (interpolada) de

cambios en clima (deltas o anomalías) y luego aplica esta superficie interpolada al clima de referencia (WorldClim), teniendo en cuenta posibles sesgos debido a diferencias en las línea base.

El método contempla los siguientes supuestos:

1. Habrá cambios significativos solo entre largas distancias o escalas; por ejemplo, país o región.
2. La relación entre las variables según la línea base de los datos corrientes, se sostienen hacia el futuro y presentan cambios influenciados por anomalías entre las estaciones.

2.4.3. Datos climáticos utilizados

Los datos climáticos se solicitaron en formato de archivo de texto y se derivan de modelos de clima global (GCMs) considerando seis conjuntos de datos de observación. CCAFS y sus socios han desarrollado una aplicación en línea que permite analizar estos procesos climáticos futuros continuos. La consulta de datos se realizó a través del link <http://www.ccafs-climate.org/> (CCAFS 2014).

La base de datos se organizó en formato XLSX con el promedio, acumulado y desviación estándar de los pixeles dentro de la zona de estudio para cada año y modelo en el set de datos. La extracción y ordenamiento de los datos se hizo con el lenguaje de programación Python, creando una rutina usando los paquetes (SIG) y (Dataframes), base de datos en formato XLSX con el promedio, acumulado y desviación estándar de los pixeles dentro de la zona de estudio para cada año y modelo en el set de datos. Las estadísticas zonales se hacen con los pixeles dentro del área de estudio. En la Figura 3 se presenta el proceso de extracción de los datos climáticos.

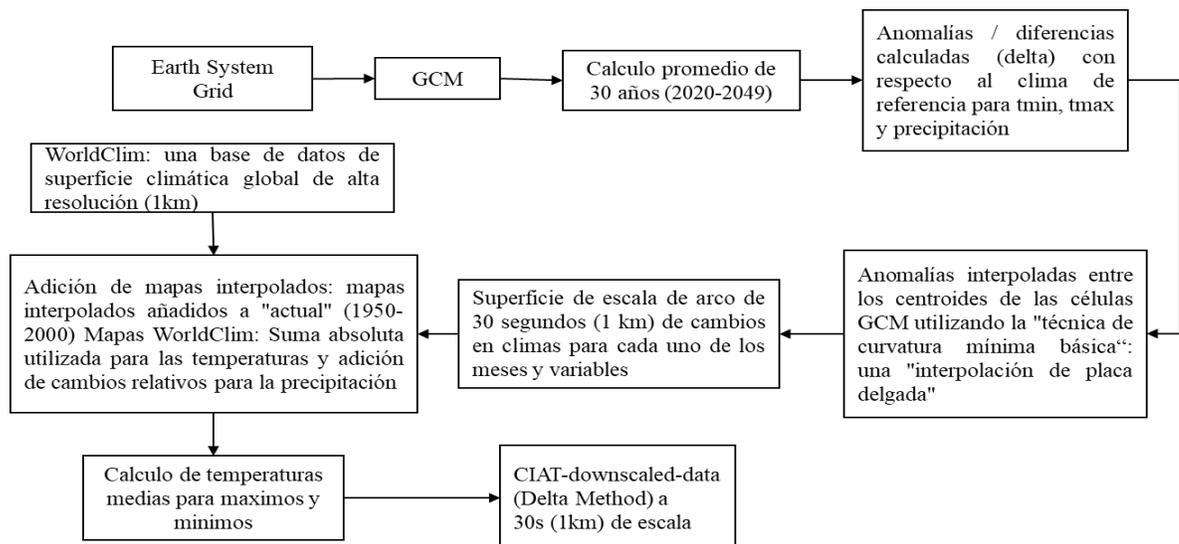


Figura 3. Ilustración del protocolo de extracción de datos climáticos

El procedimiento de la extracción de los datos climáticos consistió en completar los campos mostrados en el visor en el siguiente orden: i) Localización, ii) GCM serie de datos seleccionar CMIP5 diario, iii) selección de escenarios climáticos RCP, iv) elección de todos los modelos disponibles, v) considerar los datos de observación, vi) seleccionar periodos históricos y futuros, vii) selección de variables climáticas y meteorológicas; para este caso, temperaturas máximas y mínimas, media de temperatura y precipitación. Por último, escoger un formato de presentación de datos con tablas y gráficos.

Para desarrollar el escenario de variabilidad climática se realizó una extracción y ordenamiento de bases de datos históricos del *World Clim Data Base* del horizonte 2000 - 2017. El procedimiento para la extracción en CHIRPS fue el mismo que para los *datasets* del modelo RCP; es decir, usando los mismos paquetes explicados en el inciso 2.4.3. Se usó CHIRPS porque actualmente está validado con más de 400 estaciones meteorológicas de Centroamérica.

Fórmula para calculo de anomalías climáticas

$$[(Pi - \sum Pi / \sum Pi)] x 100$$

Donde:

Pi : precipitación inicial

$\sum Pi$: Promedio total

2.4.4. Entrevistas semiestructuradas sobre cambios de rendimientos en las prácticas ACI (Fase 2)

En el trabajo de campo se hicieron entrevistas semiestructuradas con el fin de obtener el criterio de cada grupo encuestado: técnicos, expertos y familias productoras. El personal entrevistado tenía un buen conocimiento sobre las prácticas ACI y el contexto sobre los impactos potenciales de cambio climático.

Los escenarios climáticos definidos fueron presentados de forma detallada durante la entrevista, en la que se incluyeron y discutieron los siguientes aspectos: (i) Los principios de la aplicación de cada práctica recientemente en un escenario normal. (ii) El comportamiento productivo de la práctica en relación con los escenarios climáticos definidos. La información recolectada se analizó y se obtuvieron los resultados de la producción obtenida en el marco de los escenarios climáticos considerados, los cuales fueron analizados financieramente para obtener los costos y beneficios agregados.

Para obtener una muestra representativa de los informantes obtener la participación de 10 expertos en huertos caseros, 10 técnicos especializados y 10 productores identificados en el territorio. Con el apoyo del equipo técnico de campo del programa MAP se seleccionaron los informantes mejor capacitados para lograr una representatividad homogénea en los datos obtenidos.

Las entrevistas permitieron obtener la información base para realizar la matriz de datos, la cual contiene 12 posibles combinaciones de información económica y climática entre los tres escenarios económicos y los cuatro escenarios climáticos. En cada combinación se evaluó la percepción de productores, técnicos y expertos, generando 48 posibles combinaciones o tipos de respuesta económicas por evaluador para lograr un total de 1440 datos.

2.4.5. Cálculo de indicadores económicos (VAN; B/C) (Fase 3)

Evaluación económica de las prácticas ACI seleccionadas

Para el ABC, el punto de partida es un escenario actual conocido también como “*status quo*”, el cual indica una alta vulnerabilidad del territorio según los escenarios económicos y climáticos. En este orden de ideas, la evaluación económica de las prácticas son parte del proceso de priorización (Mercado *et al.* 2017)

Para el análisis de los ingresos se sigue el mismo procedimiento. Para cada práctica se estima un modelo de ingresos en donde se toman en cuenta todas las posibles fuentes, dependiendo de la práctica. Se asumió que todos los productos del sistema generan un ingreso (como si todos fueran vendidos), aunque en la realidad muchos de los productos podrían ser para el autoconsumo familiar o alimentos para otras actividades de la misma finca. No obstante, de igual manera tienen un costo de oportunidad y por eso se incluyen monetariamente en los cálculos, con el fin de reflejar la contribución total del sistema a los ingresos familiares.

Descripción de estructura de costos

El ABC considera los costos de implementación y de mantenimiento que incluyen materiales y mano de obra. Los costos de la instalación son desembolsados por los agricultores en el momento de la adopción, mientras que los costos de mantenimiento se requieren periódicamente durante todo el ciclo de vida de la práctica.

Para representar la respuesta del rendimiento del cultivo bajo el uso de las prácticas ACI, se introduce el supuesto de que el rendimiento tiene una distribución de probabilidad triangular caracterizada por tres escenarios: el normal, uno positivo y uno negativo. La recopilación de datos sobre valores cambiantes se realizó aplicando los supuestos sobre el escenario normal.

Los indicadores económicos a evaluar incluyeron actividades y rubros de manejo e implementación de las prácticas. Los análisis se realizaron específicamente para el territorio de El Tuma – La Dalia, actualizando los costos y los ingresos de la línea base o situación actual sin intervención, propuesta por expertos de CATIE vinculados al territorio de interés.

Para realizar el ABC con base en las diferentes combinaciones de escenarios climáticos y económicos, se tomó en cuenta los siguientes indicadores económicos:

Valor actual neto

Es un criterio de evaluación de eficiencia confiable. El VAN debe ser positivo, esperando que los ingresos sobrepasen a los costos una vez estén actualizados en el tiempo, según se observa en la siguiente ecuación:

$$VAN_r = \sum_{t=0}^n \frac{B_t - C_t}{(1 + r)^t}$$

Donde:

r: tasa anual de descuento

t: número de períodos (años) a partir del inicio de la inversión

n: horizonte temporal de análisis

B: beneficios

I: ingresos

C: costos y egresos tanto en inversiones como en costos

Como se aprecia en la ecuación, el VAN varía con la tasa de descuento, la cual representa el costo de oportunidad de los recursos empleados y con el horizonte de análisis. La rentabilidad de la práctica se evalúa en función de percibir ingresos mayores a los costos. Si los beneficios totales considerados superan los costos, la actividad o práctica ACI es considerada económicamente eficiente (Echeverría 2016).

Relación beneficio/costo

Es la relación de la suma de los beneficios totales de las prácticas y de los costos totales. Por ejemplo, si por cada US\$1 invertido en la actividad el beneficio es igual o mayor a 1, la implementación de la práctica se considera económicamente viable (Echeverría 2016)

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{t=0}^n B_t / (1 + r)^t}{\sum_{t=0}^n C_t / (1 + r)^t}$$

En total se realizaron 30 entrevistas por práctica. Teniendo en cuenta que se evaluaron dos escenarios de los RCP, un escenario representativo de la variabilidad climática en la región, más el escenario actual o de línea base, se obtuvieron tres estimaciones porcentuales debido al cambio de rendimiento por práctica. En total se obtuvieron 48 resultados del VAN y de la relación B/C por evaluador. Al tener cuatro escenarios climáticos,

30 entrevistados, tres escenarios económicos y cuatro prácticas, se alcanzaron un total de 1440 respuestas del VAN y 1440 respuestas de la relación B/C.

2.4.6. Análisis estadístico (Fase 4)

Para cada uno de los indicadores se aplicó un modelo con tres factores de influencia para el estudio: las prácticas ACI, los escenarios climáticos y los escenarios económicos; las repeticiones fueron el número de encuestados (10 por grupo de evaluación). Se hizo un análisis de varianza (diseño completamente aleatorizado), para probar la influencia de cada factor individualmente, o de interacciones (combinaciones) entre los factores, sobre las variables de respuesta (VAN y B/C). Se hicieron pruebas estadísticas de valores modales y medias entre las combinaciones de prácticas-escenarios climáticos-escenarios económicos para comparar e identificar las prácticas que se desempeñan mejor. También se aplicó un análisis multivariado que permitió identificar qué tipo de actores clave dan información más congruente sobre rendimientos.

Modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + C_i + E_j + P_k + CE_{ij} + CP_{ik} + EP_{jk} + CEP_{ijk} + TP_{ijk} + E_{ijkl}$$

$Y_{ijkl} = \mu$ corresponde a la media general

C_i : efecto del i -ésimo tratamiento o variables climática

E_j : efecto de la j -ésima variable económica

P_k : efecto de la k -ésima práctica de huerto casero

CE_{ij} : interacción entre las variables climáticas y variables económicas

CP_{ik} : interacción entre las variables climáticas y las prácticas de huertos caseros

EP_{jk} : interacción entre las variables económicas y las prácticas de huertos caseros

CEP_{ijk} : triple interacción

TP_{ijk} : efecto aleatorio

E_{ijkl} : error aleatorio asociado con la unidad experimental en el bloque j que recibe el tratamiento i , comúnmente los términos de error se asumen normalmente distribuidos con esperanza cero y varianza común σ^2 .

3. RESULTADOS

3.1. Descripción de los escenarios climáticos

Se generó un escenario de cambio climático denominado escenario de variabilidad climática, con base en la inestabilidad climática de la región en los últimos años. Este escenario permitió mostrar mediante la información climática de los últimos 17 años, ocurrencias atípicas en la precipitación a lo largo de la estación seca. La Figura 4 muestra la variable precipitación en los meses de verano. Según el análisis de la precipitación de enero durante el periodo 2000 – 2017, se observa que este mes presentó un resultado totalmente anómalo durante el 2017, mostrando hasta tres valores por encima de la línea del 0. Los meses de febrero, marzo y abril muestran estabilidad en los años más recientes, aproximadamente desde el 2013. En el Anexo 3 (protocolo de entrevistas), se pueden observar la totalidad de gráficos relacionados al cálculo de anomalías de la variabilidad climática en la región.

Se definieron dos escenarios de cambio climático para el territorio, basados en los RCP. El primero, el RCP 2,6 fue desarrollado por el equipo de modelado IMAGE de la Agencia de Evaluación Ambiental de Países Bajos. Es un escenario de "pico y declive"; representa un escenario fuerte de mitigación después del 2100 (Wayne 2013), (incluidas las emisiones negativas de CO₂), lo que hace que las concentraciones de este gas se vuelvan a 360 ppm en el 2300 (CCAFS 2014).

Según la Figura 5a, el RCP2,6 muestra un aumento en la precipitación en la segunda temporada de lluvias, siendo octubre el mes más lluvioso y generando un balance de 22,5 mm. La Figura 5c muestra como el balance anual de temperatura se mantiene estable durante todo el año.

RCP 8.5 fue desarrollado utilizando el modelo MESSAGE y el Marco de Evaluación Integrada IIASA de Austria. Se caracteriza por aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo; es representativo de los escenarios que conducen a altos niveles de concentración de gases de efecto invernadero (Wayne 2013).

Según se muestra en la Figura 5b y d, el escenario RCP 8.5 presenta reducciones considerables en los primeros meses de lluvias, generando una reducción en el balance de -94,8 mm, la Figura 5d muestra un aumento considerable de la temperatura de 1°C en el horizonte de tiempo futuro 2020 – 2049.

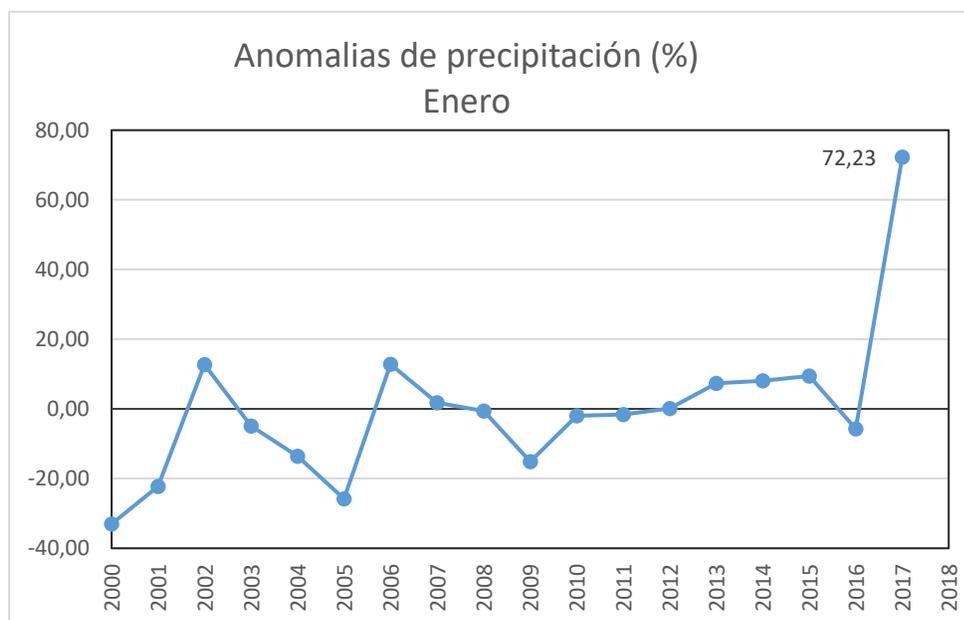
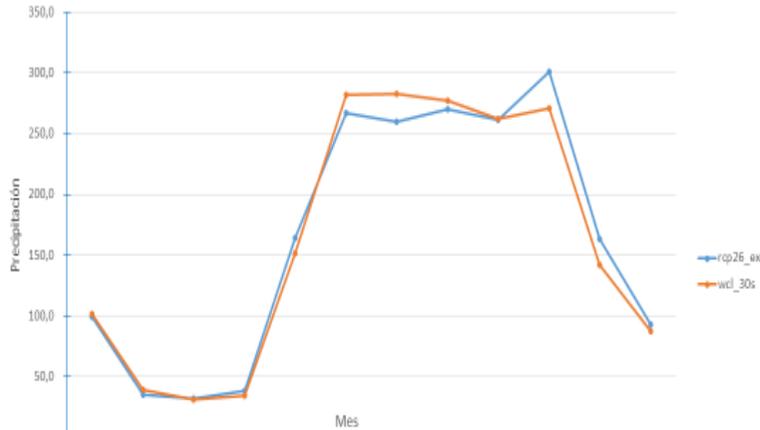


Figura 4. Representación gráfica de la precipitación promedio mensual de enero en función de la media durante el periodo 2000 – 2017 según datos del World Clim Data, municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua

a)

Escenarios 2.6
2020 - 2049
Precipitación



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
rcp26_extracts	98,8	34,6	31,4	38,5	164,1	267,0	259,6	270,2	261,6	301,4	163,5	92,6	1983,3
wcl_30s	101,6	38,7	31,2	33,8	151,0	282,1	282,6	277,6	262,3	271,2	141,6	87,1	1960,8
Diferencia (mm)	-2,8	-4,1	0,2	4,7	13,1	-15,1	-23	-7,4	-0,7	30,2	21,9	5,5	22,5

b)

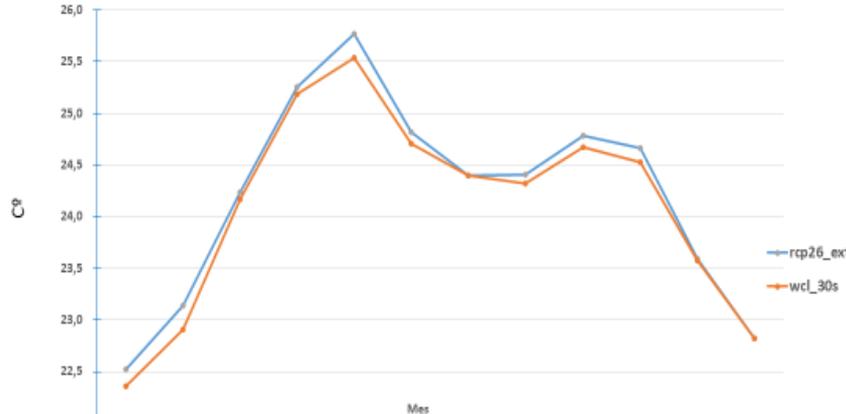
Escenario 8.5
2020 - 2049
Precipitación



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
rcp85_extracts	93,2	34,1	30,1	32,9	154,0	259,5	250,2	248,9	250,6	284,4	142,9	86,1	1866,9
wcl_30s	101,6	38,7	31,2	33,8	151,0	282,1	282,6	277,6	262,3	271,2	141,6	87,1	1960,8
Diferencia (mm)	-8,4	-4,6	-1,1	-9	3	-22,6	-32,4	-28,7	-11,7	13,2	1,3	-1	-94,8

c)

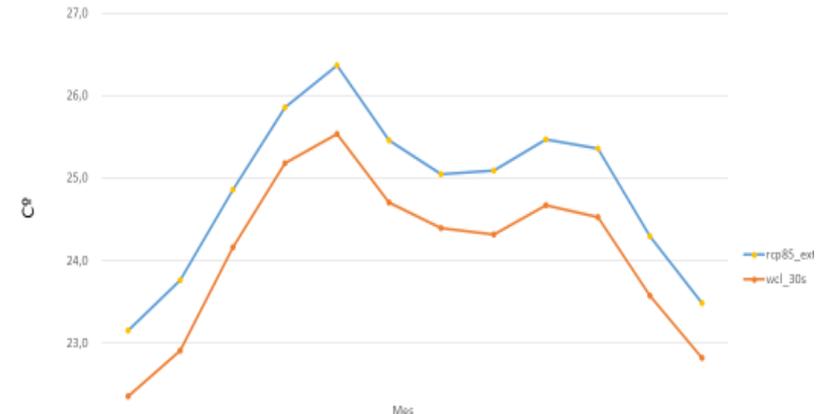
Escenario 2.6
Temperatura
2020-2049



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rcp26_extracts	22,5	23,1	24,2	25,3	25,8	24,8	24,4	24,4	24,8	24,7	23,6	22,8
wcl_30s	22,4	22,9	24,2	25,2	25,5	24,7	24,4	24,3	24,7	24,5	23,6	22,8
Diferencia (°C)	0,1	0,2	0	0,1	0,3	0,1	0	0,1	0,1	0,2	0	0

d)

Escenario
Temperatura
2020-2049



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
rcp85_extracts	23,2	23,8	24,9	25,9	26,4	25,5	25,0	25,1	25,5	25,4	24,3	23,5
wcl_30s	22,4	22,9	24,2	25,2	25,5	24,7	24,4	24,3	24,7	24,5	23,6	22,8
Diferencia (°C)	0,80	0,90	0,70	0,7	0,9	0,8	0,6	0,8	0,8	1	0,7	0,8

Figura 5. Curvas de precipitación para a) escenarios 2,6 y b) 8,5 y curvas de temperatura c) escenarios 2,6 y d) 8,5 para el periodo 2020 - 2049, municipio de El Tuma - La Dalia; Curvas de , municipio de El Tuma -La Dalia. Curvas históricas wcl_30s para a), b), c) y d). Marcas de registros totales acumulados y diferencias absolutas promedio en las barras azules.

3.2. Definición de escenarios económicos

Se elaboraron tres escenarios económicos para realizar proyecciones a partir del análisis de sensibilidad. El escenario positivo así como el pesimista, afectaron los resultados según la variación de los supuestos. La aplicación de una tasa de descuento del 12% se utilizó como una estimación del costo social de oportunidad (Sain *et al* 2017). En el Cuadro 2 se presentan los escenarios económicos propuestos por Echeverría *et al.* (2016).

Cuadro 2. Escenarios económicos según Echeverría *et al.* (2016)

	NORMAL	OPTIMISTA	PESIMISTA
Costo	1	1	1,25
Ingreso	1	1,25	0,75
Tasa de descuento (%)	12	12	12

Normal: Este escenario equivale a los supuestos básicos y la información recolectada. Tiene una tasa de descuento del 12% que se utiliza para el cálculo del VAN y de la relación B/C.

Pesimista: En este escenario los costos se incrementan en un 25% y los ingresos disminuyen un 25%.

Optimista: En este escenario los costos se mantienen como en el caso normal y los ingresos aumentan un 25%.

En el análisis de sensibilidad se consideró un horizonte de 15 años según lo considerado por Sain *et al*, 2017 y Mercado (2017), para cada práctica que, dependiendo del sistema productivo, incluyen rotaciones de hasta 15 años, con el objetivo de abarcar todos los rubros y los ingresos incluidos en prácticas de cultivos perennes que perciben ganancias a largo plazo.

3.3. Rendimientos de los cultivos

En el Cuadro 3 se representan los rendimientos por práctica separados por cultivo. Los resultados para la práctica (EMAF) muestran rendimientos similares y estadísticamente iguales para los escenarios RCP 2,6 y 8,5; sin embargo, en el escenario de variabilidad climática se reportan rendimientos menores, por debajo de Sin Esc (resultados de línea base).

Los rendimientos de la práctica SMRT se muestran estable, sin variaciones por encima de 1 kg por planta sobre la media productiva en ninguno de los escenarios. Estadísticamente no existen cambios en los rendimientos para esta práctica frente al escenario 2,6 y variabilidad; sin embargo, en el escenario 8,5 (más seco) se dan rendimientos más bajos, iguales al rendimiento base.

Los rendimientos de la práctica MHO muestran afinidad con el escenario 8,5, donde se dan los resultados estadísticos superiores. Este es el escenario de variabilidad escalona con la mayor afectación negativa sobre los rendimientos de la práctica.

Finalmente, la práctica de C/R indica sutilmente afectaciones en todos los escenarios en comparación del escenario base.

En el Cuadro 3 se presentan los resultados promedio de los cultivos con base a los resultados obtenidos de las entrevistas considerando los tres tipos de informantes. Se describen las medias marginales por cultivo; la desviación estándar (DE) está representada en cada media por el símbolo \pm . El p-value que representa el nivel de significancia para cada cultivo, municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua.

Cuadro 3. Medias de los rendimientos de los cultivos de las cuatro prácticas ACI consideradas (\pm desvío estándar) según los escenarios climáticos proyectados para el periodo 2020 – 2049

Práctica	Cultivo	Unidad	Sin Esc	Esc Var	RCP 2,6	RCP 8,5	E.E
EMAF	Mango	Frutos/ árbol/ año)	700b	539c \pm 142	770,2a \pm 103	738,5a \pm 76	17,65
	Aguacate		500a	426b \pm 97	491a \pm 63	477,33a \pm 93	13,74
	Naranja		400b	393b \pm 64	447,67a \pm 43	442a \pm 65	9,3
	Total		1600b	1358c \pm 228	1708a \pm 125	1657,3a \pm 152	27,86
SMRT	Quequisq	Kg/ planta/ año)	4,6a	4,53a \pm 0,42	4,69a \pm 0,6	4,42b \pm 0,4	0,07
	Malanga	2,6b	3,09a \pm 0,56	3,16a \pm 0,47	2,77b \pm 0,61	0,09	
	Total	7,2b	7,62a \pm 0,81	7,85a \pm 0,8	7,19b \pm 0,76	0,13	
MHO	Pepino	Kg/ planta/ año)	4a	3,18b \pm 0,78	3,9a \pm 0,43	3,91a \pm 0,82	0,11
	Chiltoma		5,2a	4,42b \pm 0,68	5,12a \pm 0,7	5,19a \pm 0,91	0,12
	Tomate		4b	2,89c \pm 0,62	3,8b \pm 0,58	4,73a \pm 0,5	0,9
	Total		13,2b	10,5c \pm 1,13	12,9b \pm 1,12	13,83a	0,22
C/R	Chaya	Kg/ planta/ año)	600a	559a \pm 106	611a \pm 83	464b \pm 164	19,63
	Maracuyá		1200a	969b \pm 145	983b \pm 230	1027b \pm 194	30,9
	Total		1800a	1528b \pm 182	1595b \pm 262	1492b \pm 311	41,13

3.3.1. Rendimientos por cultivos según la percepción de los evaluadores

En los siguientes cuadros se describen los rendimientos de cada cultivo según la percepción de los informantes. El Cuadro 4 muestra la producción media por árbol frutal al año. Se puede observar que los productores tienden a ser más severos en sus respuestas pues la desviación estándar (DE) de los datos obtenidos muestran una mayor dispersión de la

media general en la mayoría de los casos. En los escenarios RCP 8,5 y Esc Var, los expertos estiman mayores rendimientos mientras que en el RCP 2,6 los resultados son similares a los provenientes de técnicos y productores.

El Cuadro 5 presenta los resultados de la práctica SMRT. Como se muestra, esta práctica mantiene una menor variabilidad en los datos con respecto a las demás. Los técnicos tienden a calificar los rendimientos más altos para quequisque; el RCP 2,6 es el escenario más favorable. Para el cultivo de malanga, los expertos perciben mayores rendimientos en los escenarios RCP 8,5 y Esc Var, mientras que en el RCP 2,6 son menores.

El Cuadro 6 muestra la percepción de los informantes respecto a la práctica MHO. Según los resultados obtenidos, se muestra una mayor variabilidad o discordancia entre las percepciones en el escenario Es Var, pues la percepción de los tres grupos de informantes tiende a ser más severa y consistente frente a este escenario. Los expertos y los técnicos tienden a evaluar rendimientos más altos en el escenario RCP 8,5, mientras que los productores muestran mayor afinidad por el escenario RCP 2,6.

El Cuadro 7 presenta los resultados de la práctica C/R. Según se observa, los rendimientos son menores según la evaluación de los productores tanto en maracuyá como en chaya (ambos cultivos de ramada); así mismo, se destaca la evaluación del grupo de productores ya que sugiere menores rendimientos que los técnicos y los expertos, en todos los escenarios analizados. En términos generales, el cultivo de maracuyá presenta mayores rendimientos en el escenario RCP 8,5, mientras que en el cultivo de chaya son menores y se da mayor afinidad al RCP 2,6.

Estos valores coinciden con las medias generales mostradas en el Cuadro 3. Es importante recalcar que los rendimientos observados en este cuadro son ponderaciones basadas en los resultados mostrados en los cuadros 4, 5, 6 y 7.

Rendimientos práctica de establecimiento y manejo de árboles frutales en patio

Cuadro 4. Medias, desviación estándar, mínimos y máximos de los rendimientos de frutos/árbol/año de las práctica EMAF, según la opinión de los tres tipos de informantes en tres escenarios de CC y en el escenario Sin Esc denominado “*business as usual*” o línea base, , municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua

Práctica (EMAF)	Tipo de Evaluador	Rend RCP 2,6				Rend RCP 8,5				Rend Esc Var				Rend Sin Esc			
		MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX
Rendimiento de mango	Expertos	706	29,55	650	750	780	51,86	700	900	614	87,64	450	730	700	0	700	700
	Productores	853	129,7	700	1100	697	75,85	500	800	498	137,42	300	700	700	0	700	700
	Técnicos	751,5	54,77	630	630	738,5	75,77	600	830	505	163,32	200	700	700	0	700	700
Rendimiento aguacate	Expertos	492	56,04	400	600	505	75,19	350	630	529	51,75	450	650	500	0	500	500
	Productores	531	58,86	450	660	432	84,34	300	550	409	62,44	300	500	500	0	500	500
	Técnicos	450	46,89	375	500	495	102,85	300	650	340	60,39	250	450	500	0	500	500
Rendimiento naranja	Expertos	442	39,86	400	500	498	65,41	400	600	437	49,63	400	550	400	0	400	400
	Productores	446	33,49	400	500	402	33,36	350	450	370	74,05	260	550	400	0	400	400
	Técnicos	455	53,09	400	550	424,5	48,05	360	500	371	39,77	320	450	400	0	400	400

Rendimiento de práctica siembra y manejo de raíces y tubérculos en patio

Cuadro 5. Medias, desviación estándar, mínimos y máximos de los rendimientos en kg/planta/año de la práctica SMRT, según la opinión de los tres tipos de informantes en tres escenarios de CC y en el escenario Sin Esc denominado “*business as usual*” o línea base, municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua

Práctica (SMRT)	Tipo de Evaluador	Rend RCP 2,6				Rend RCP 8,5				Rend Esc Var				Rend Sin Esc			
		MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX
Rendimiento quequisque	Expertos	4,22	0,3	3,8	4,6	4,43	0,2	4	4,6	4,68	0,3	4,3	5,1	4,6	0	4,6	4,6
	Productores	4,62	0,3	4	5,1	4,11	0,12	4	4,3	4,16	0,3	3,8	4,5	4,6	0	4,6	4,6
	Técnicos	5,22	0,6	4,5	6,5	4,73	0,41	4,1	5,6	4,75	0,5	4	5,6	4,6	0	4,6	4,6
Rendimiento malanga	Expertos	2,9	0,2	2,6	3,2	3,17	0,47	2,6	4,2	3,55	0,5	2,8	4	2,6	0	2,6	2,6
	Productores	3,27	0,5	2,6	4,3	2,39	0,44	1,9	3,1	2,91	0,5	2,4	4	2,6	0	2,6	2,6
	Técnicos	3,32	0,5	2,6	4,2	2,75	0,66	1,8	4	2,81	0,4	2	3,4	2,6	0	2,6	2,6

Rendimiento de práctica manejo de hortalizas orgánicas en patio

Cuadro 6. Medias, desviación estándar, mínimos y máximos de los rendimientos en kg/planta/año de las práctica MHO, según la opinión de los tres tipos de informantes en tres escenarios de CC y en el escenario Sin Esc denominado “*business as usual*” o línea base, municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua .

Práctica (MHO)	Tipo de Evaluador	Rend RCP 2,6				Rend RCP 8,5				Rend Esc Var				Rend Sin Esc			
		MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX
Rendimiento pepino	Expertos	3,81	0,2	3,4	4	4,4	0,2	4	4,8	3,9	0,2	3,6	4,3	4	0	4	4
	Productores	4,11	0,6	2,5	4,9	2,9	0,5	2,2	4	2,4	0,4	1,8	3,2	4	0	4	4
	Técnicos	3,9	0,3	3,4	4,5	4,5	0,4	4	5	3,2	0,7	1,8	4	4	0	4	4
Rendimiento chiltoma	Expertos	5,3	0,3	4,7	5,8	5,9	0,6	5,2	7,3	4,4	0,6	3,7	5,2	5,2	0	5,2	5,2
	Productores	5,55	0,7	3,8	6,2	4,1	0,5	3,6	4,7	5	0,2	4,7	5,4	5,2	0	5,2	5,2
	Técnicos	4,51	0,6	3,6	5,4	5,5	0,5	4,8	6,2	3,9	0,6	3	4,5	5,2	0	5,2	5,2
Rendimiento tomate	Expertos	3,38	0,3	2,8	4	4,5	0,5	4	5,6	3	0,4	2,4	3,8	4	0	4	4
	Productores	4,31	0,6	3,6	5,6	4,8	0,6	4	5,6	2,7	0,6	1,8	3,8	4	0	4	4
	Técnicos	3,8	0,4	3	4,4	4,8	0,4	4	5,5	3	0,7	2	4	4	0	4	4

Rendimiento de práctica Cultivo de Ramadas en patio

Cuadro 7. Medias, desviación estándar, mínimos y máximos de los rendimientos en kg/planta/año de las práctica C/R, según la opinión de tres tipos de informantes en tres escenarios de CC y en el escenario Sin Esc denominado “*business as usual*” o línea base, municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua

Práctica (C/R)	Tipo de Evaluador	Rend RCP 2,6				Rend RCP 8,5				Rend Esc Var				Rend Sin Esc			
		MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX	MEDIA	DE	MIN	MAX
Rendimiento maracuyá	Expertos	980	65	900	1100	1095	66,1	1000	1200	1035	82	900	1200	1200	0	1200	1200
	Productores	946	361	400	1400	825	187	550	1100	909	185	600	1200	1200	0	1200	1200
	Técnicos	1024	160	720	1200	1163	102	1000	1380	964	124	800	1200	1200	0	1200	1200
	Expertos	630	41	600	700	560	74,7	500	750	652	41	600	700	600	0	600	600

Rendimiento chaya	Productores	542	87	425	670	347	215	80	850	461	93	350	600	600	0	600	600
	Técnicos	663	60	600	780	486	84,8	300	600	565	73	470	700	600	0	600	600

3.3.2. Analisis de componentes principales

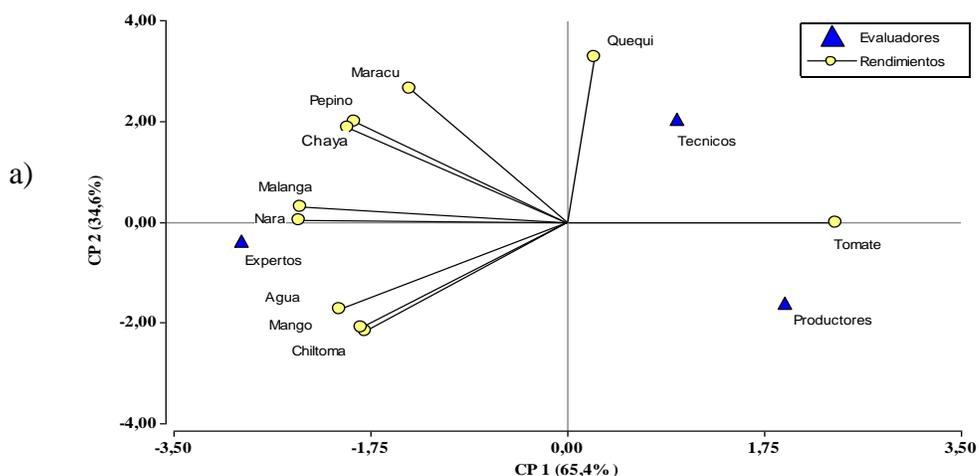
El análisis multivariado permite analizar la interdependencia de variables métricas y encontrar una representación gráfica óptima de la variabilidad de los datos. El análisis de componentes principales (Figura 6), describe un nuevo conjunto de variables agrupadas (componentes principales) no correlacionadas que explican la estructura de variación de los datos.

En la Figura 6a, el eje horizontal divide la opinión de los expertos de la de los técnicos y productores. Los primeros valoran rendimientos mayores en los cultivos de naranja, aguacate, mango, pepino, chiltoma, chaya, maracuyá y malanga. La dirección de los vectores sobre el gradiente horizontal nos indica que los técnicos predijeron mayores valores en quequisque y los productores se afianzan más hacia altos rendimientos en tomate (Figura 6a).

En el plano vertical, los técnicos predicen valores altos para quequisque, mientras que el tomate está más asociado a los productores. Sobre el mismo plano se observa que los técnicos opinan que existe una mayor afinidad entre los rendimientos altos de maracuyá, pepino, chaya y malanga, mientras que los productores consideran una afinidad mayor con los cultivos de chiltoma, mango y aguacate.

La Figura 6a explica el 100% de la variabilidad. Cada valor (tipo de informante) está promediado o constituye el centroide de todas las distancias que vemos en la Figura 6b. Esta presenta dos ejes y explica un 47% de la variabilidad sobre una dimensión más clara de cómo se percibe la variabilidad, según la percepción de 10 informantes que componen cada grupo.

La Figura 6b indica una mayor interdependencia en el vector de los expertos. Según la representación gráfica se nota una mayor dispersión de los productores y los técnicos que en el caso de los expertos. La correlación de los resultados de los expertos (puntos verdes) es positiva en ambos planos, lo que sugiere que son más severos en sus respuestas. El biplot mostrado en la Figura 6a y , representa la variabilidad de respuesta según el tipo de informante. Estas variaciones son evidenciadas y aceptadas para el estudio, ya que permiten generar los análisis económicos posteriores.



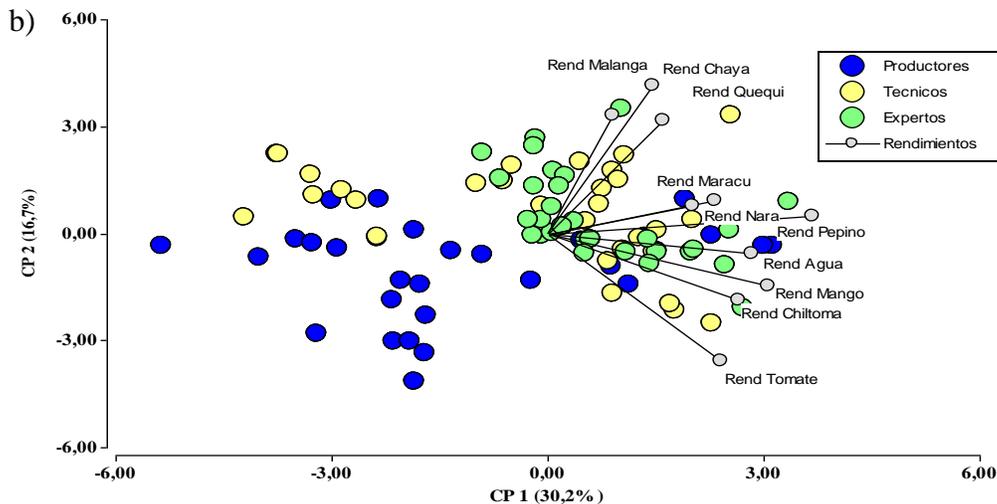


Figura 6. Biplot a) cada triángulo representa el centroide de todos los informantes (técnicos, expertos y productores). Los círculos amarillos son rendimientos de todos los cultivos. Biplot b) percepción por tipo de evaluador con relación a los rendimientos. El total de puntos provienen de 30 informantes en cada uno de los cuatro escenarios de cambio climático, lo cual aporta 120 opiniones, divididas en tres grupos, para obtener 40 valores por tipo de informante, municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua.

3.4. Indicadores económicos según el análisis de varianza

Valor actual neto

Para el análisis de varianza según el modelo estadístico determinado, se derivaron las interacciones posibles (Cuadro 8) para el VAN. La prueba de hipótesis interpreta los factores considerando que las interacciones del clima y los resultados económicos no son significativos con un “p-value” de 0,9788, al igual que la interacción triple clima, económico y práctica con un “p-value” 0,9997. Las interacciones dobles, clima-práctica y económico-práctica son significativas y se describen en la Figura 6.

Cuadro 8. Prueba de hipótesis del valor actual neto considerando las interacciones del clima, aspectos económicos y prácticas ACI, municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa

1	Esc.Clima	3	94	9,1	<0,0001
2	Esc.Econ	2	94	748,31	<0,0001
3	Practicas	3	94	459,09	<0,0001
4	Esc.Clima:Esc.Econ	6	94	0,19	0,9788
5	Esc.Clima:Practicas	9	94	10,35	<0,0001
6	Esc.Econ:Practicas	6	94	80,17	<0,0001
7	Esc.Clima:Esc.Econ:Prac	18	94	0,22	0,9997

Según se observa en el Cuadro 8, existen interacciones entre las práctica y el clima para los cuatro escenarios climáticos definidos (Figura 7). Se destaca que la práctica de raíces y tubérculos es la más promisoría, notándose en la Figura 7a una tendencia positiva de la práctica. El patrón es similar para las demás prácticas a excepción de la tres (hortalizas orgánicas), la cual es negativa en el escenario “Var”.

Las prácticas más estables son las SMRT y EMAF, lo cual quiere decir que el VAN es poco afectadas por los contrastes de los escenarios. La Figura 7b muestra que la práctica EMAF es la más promisoria en comparación de las otras prácticas en todos los escenarios analizados. El escenario con más precipitación y temperatura estable (RCP 2.6), se muestra favorable para todas las prácticas, a excepción de la MHO. Esta práctica presenta afinidad con el escenario 8,5 (más seco y mayor temperatura) y tiene afectación negativa en el escenario “Esc Var” al igual que la práctica MHO, la cual es negativa en ambas figuras.

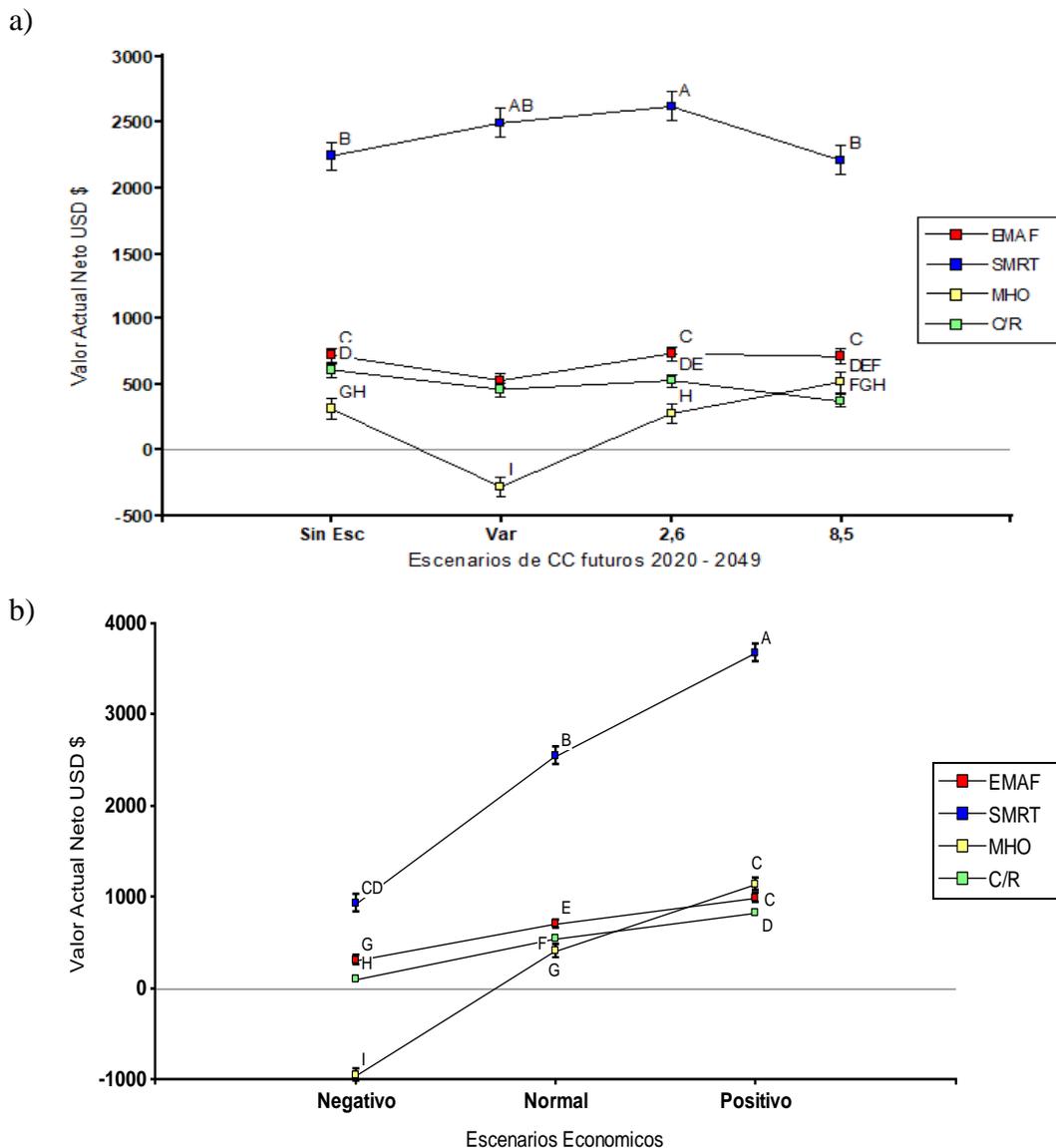


Figura 7. Valor actual neto de las prácticas de agricultura climáticamente inteligente establecimiento y manejo de árboles frutales en patio (EMAF), siembra y manejo de raíces y tubérculos (SMRT), manejo de hortalizas orgánicas (MHO) y cultivo de ramadas en patio (C/R), municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua.

Gráficos de interacciones para el VAN. Efecto de la interacción entre los escenarios RCP 2,6; 8,5; Esc Variabilidad; y Sin Escenario y las 4 prácticas (a) y análisis de las prácticas en los escenarios económicos Negativo, Normal y Positivo (b).

Relación beneficio/costo

El segundo indicador evaluado según el análisis de varianza es la relación B/C. Mediante la aplicación de modelos lineales mixtos se derivan las interacciones posibles (Cuadro 9) para el mismo. La prueba de hipótesis interpreta los factores considerando que las interacciones de clima y económico no son significativas con un “p-value” de 0,8611, al igual que la interacción triple clima, económico y práctica “p-value” 0,9991. Las interacciones dobles, clima-práctica y económico-práctica si son significativas y se describen en la Figura 8a y b.

Cuadro 9. Prueba de hipótesis de la relación beneficio/costo considerando las interacciones del clima, aspectos económicos y prácticas ACI, municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa Nicaragua

Source		numDF	denDF	F-value	p-value
1	Esc.Clima	3	94	10,96	<0,0001
2	Esc.Econ	2	94	1063,17	<0,0001
3	Practicas	3	94	320,31	<0,0001
4	Esc.Clima:Esc.Econ	6	94	0,42	0,8611
5	Esc.Clima:Practicas	9	94	6,22	<0,0001
6	Esc.Econ:Practicas	6	94	84,32	<0,0001
7	Esc.Clima:Esc.Econ:Practic..	18	94	0,25	0,9991

Según el análisis de la relación B/C muestra que las prácticas ACI presentan un comportamiento similar al mostrado en el análisis del VAN, con la diferencia de en las prácticas EMAF y MHO, las cuales presentan pérdidas en el escenario económico negativo. En relación con el clima, notamos que la práctica EMAF y SMRT presentan tendencias positivas. La práctica MHO muestra una rentabilidad baja y una tendencia negativa en la relación B/C en el escenario de variabilidad escalona.

En las figuras 8a y b se la rentabilidad de las cuatro prácticas estudiadas en relación a los tres supuestos o escenarios económicos. El factor clima está incluido en el análisis debido a la percepción de los informantes que representan el efecto aleatorio planteado en el modelo estadístico.

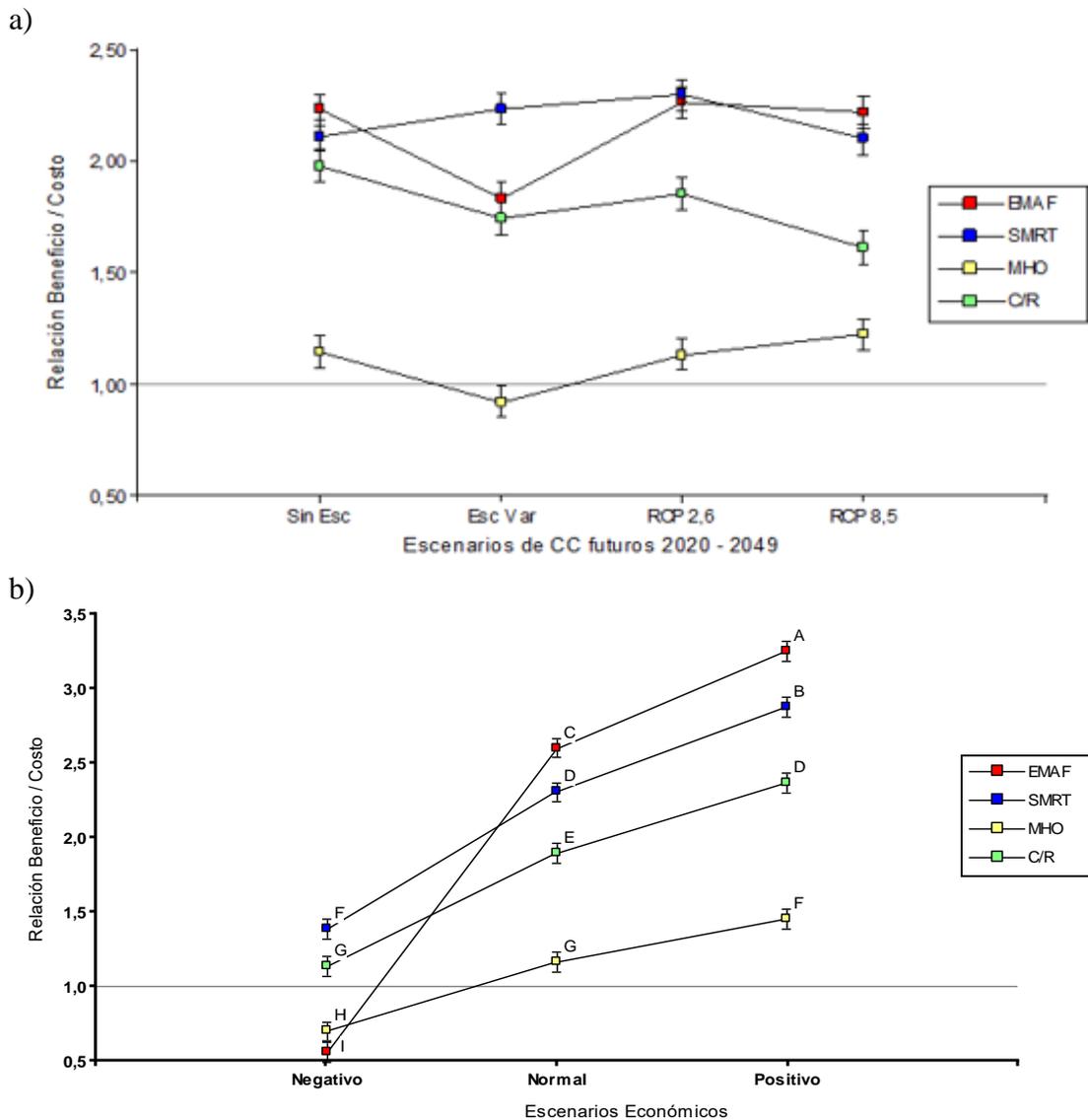


Figura 8. Relación beneficio/costo de las prácticas de agricultura climáticamente inteligente Establecimiento y manejo de árboles frutales en patio (EMAF), siembra y manejo de raíces y tubérculos (SMRT), manejo de hortalizas orgánicas (MHO) y cultivo de ramadas en patio (C/R), municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua.

(b) Gráficos de interacciones quemuestran la relación B/C. Analisis de las prácticas en los escenarios RCP 2,6; 8,5; Esc Variabilidad; y Sin Escenario (a). Análisis en los escenarios económicos negativo, normal y positivo (b).

Interacción triple

Se describen todas las prácticas considerando las doce combinaciones posibles de escenarios contrastantes. El patrón observado es similar a las anteriores figuras, donde se

nota una tendencia paralela o positiva entre los escenarios climáticos optimistas (RCP 2,6) y los escenarios económicos positivos en relación con las prácticas.

Las interacciones triples entre prácticas, escenarios climáticos y escenarios económicos, mostradas en la Figura 8 son tendencias adyacentes que muestran paralelismo, lo que nos indica que estadísticamente no hay nivel de significancia (p-value) según la homogeneidad de la varianza. Los datos son descriptivos y nuevamente responden al mismo patrón que se vio anteriormente, donde la práctica de siembra y manejo de raíces y tubérculos es promisoria con respecto a las otras, mostrando rentabilidad y estabilidad ante las combinaciones de escenarios económicos y climáticos.

4. DISCUSIÓN

En el presente estudio se evaluó la percepción de diferentes sectores de comunidades del municipio de El Tuma - La Dalia, Matagalpa, Nicaragua, frente a los impactos potenciales del cambio climático y la variabilidad climática sobre los cultivos agrícolas más tradicionales. El objetivo principal fue comparar el desempeño (productivo y económico) de cultivos producidos en huertos caseros, una práctica agrícola climáticamente inteligente, bajo escenarios de cambio climático.

En primera instancia se contempló el hecho de si esta práctica resulta rentable para las familias involucradas, de manera tal que aseguren su adopción a largo plazo; además se verificó si el portafolio de las prácticas proporcionan bienes y servicios para la comunidad contribuyendo a la seguridad alimentaria de las familias del territorio (CCAFS 2014).

La planificación y gestión de proyectos deben contemplar aspectos relacionados con las decisiones acerca de cómo invertir y promover la adopción de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes. A continuación se discuten las implicaciones prácticas y metodológicas de las prácticas ACI estudiadas y su comportamiento bajo varios escenarios pertinentes a la zona de estudio.

4.1. Escenarios de cambio climático en la región

Borouncle *et al.* (2016), indican que el territorio NicaCentral tiene un grado alto de vulnerabilidad al CC. Este territorio contempla varias zonas de vida en los ocho municipios que conforman lo conforman. Aun siendo un territorio muy vulnerable, existen esfuerzos de varias instituciones que apuntan al estudio de la regulación y mitigación de los efectos del cambio climático (CCAFS 2014).

En este estudio se proyectaron dos escenarios contrastantes RCP`s 2,6 y 8,5 en un horizonte futuro de 30 años (2020 – 2049). Según la Figura 5, los resultados no son tan

contrastantes al trabajarse a una escala pequeña en un territorio específico y un horizonte cercano. Sin embargo, hemos encontrado diferencias en la productividad de los cultivos según el tipo de informante entrevistado.

Según el estudio de Castillo *et al.* (2018), en Centroamérica, bajo el escenario RCP 8.5, habrán impactos perseverantes en comparación a otros países. Estos resultados se relacionan bastante bien con lo mencionado por Parry *et al.*, 2007, quienes destacan la intensificación de los eventos del cambio climático debido al aumento del nivel del mar y su temperatura superficial. Hidalgo *et al.* (2013), por su parte, proyectan reducciones significativas en la precipitación de al menos un 10% para un horizonte que abarca el periodo 2050-2099 en América Central.

Al momento de desarrollar el escenario de variabilidad climática, el cual está ligado a los precursores de los RCP, notamos a partir del cálculo de anomalías, que existen desviaciones estándar hasta de 3,2 (72,23%) por encima de la media de la precipitación de enero del 2017 (Figura 4). Esto respalda la necesidad de efectuar este escenario en campo, bajo la perspectiva de enfrentar un escenario más cercano a la realidad climática actual en el territorio.

Este escenario de variabilidad concuerda con los escenarios RCP mostrados en la Figura 5, los cuales muestran una mayor dispersión de los datos durante los meses más lluviosos (junio a octubre) con respecto al registro histórico. Sin embargo, la variabilidad climática también ha mostrado anomalías marcadas en los meses de la estación seca (enero (Figura 4) a abril).

En cuanto a la variable de temperatura (Figura 5), se observan cambios relativamente menores, o poco significativos en relación con otros estudios similares como el de Castillo *et al.* (2018), en el cual el RCP 8.5 muestra incrementos de hasta 5°C en verano en la región de Centroamérica. Es importante notar que si existe un incremento mínimo en temperatura, así sea de 1°C, sumado a un descenso en la estación lluviosa, es probable que esto genere impactos tanto negativos como positivos, dependiendo del cultivo.

Es importante resaltar la significancia de la escala regional o *downscale* en la extracción y composición de los modelos a la hora de generar los escenarios, debido a la alta disposición de estudios referentes más generales que superen valores al no aislar la escala o corregir anomalías (Ramírez-Villegas *et al.* 2013).

4.2. El impacto del cambio climático sobre la agricultura

Con base en las afirmaciones que comprometen los sistemas productivos actuales, es necesaria una transición hacia una agricultura que contemple acciones de adaptación (Aggarwal *et al.* 2018). Desde hace varias décadas se ha generado la necesidad e interés por parte de los gobiernos de los países y de diferentes actores de la sociedad civil, de atender

los efectos del cambio climático y sus diferentes impactos, poniendo énfasis en el análisis de la vulnerabilidad, la adaptación y la sustentabilidad (Borouncle *et al.* 2016).

Estudios similares muestran que los efectos del cambio climático durante el periodo 2020 - 2050 se traducirían en pérdidas superiores al 30% de la producción de granos debido, por un lado, al incremento de temperatura y por el otro a la reducción de la precipitación. Además, la intensificación de las sequías afectaría la producción de biomasa y la fases reproductivas y fenológicas de la mayoría de los cultivos en la región (Eitzinger *et al.* 2013). Con base en esta referencia podríamos acertar en que las prácticas SMRT y EMAF, destacadas en este estudio serán un pilar para garantizar las fuentes de calorías de la población durante la estación seca, protegiendo la seguridad alimentaria en la época más vulnerable de esta zona (junio –julio) (Villarreyna 2016).

La producción agrícola es sensible al clima y, por lo tanto, directamente afectada por el cambio climático. Cuando hay estrés hídrico o sequía en las primeras etapas (15 a 30 días) de los cultivos, puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento (CENTA 2012). También, la mayoría de los cultivos en la fase vegetativa requieren de temperaturas estables y cuando se alteran bruscamente se producen problemas en la actividad celular que disminuyen la capacidad de absorción de agua por las raíces y de asimilación de nutrientes causando retardo en el crecimiento de las plantas (Di Benedetto y Tognetti, 2016).

Este estudio sugiere que el conjunto de prácticas ACI analizadas, son económicamente rentables considerando todos los costos actualizados y sus beneficios esperados. Cada práctica cuenta con una estructura de costos completa en la cual se podrían ajustar los supuestos, externalidades y costos. Sain *et al.* (2017) sugiere que las prácticas con un periodo de inversión largo serán adecuadas para los sistemas en los que las condiciones ambientales sean propicias y la tenencia de la tierra respalde su uso a largo plazo.

4.3. Implicaciones metodológicas y el uso de supuestos y escenarios económicos

La definición de escenarios económicos y climáticos ha sido el fundamento para generar un contraste de percepciones entre los informantes que participaron en el estudio. Su participación conlleva un efecto aleatorio en el análisis, quiere decir que repercuten sobre los rendimientos esperados por cultivos involucrados en las prácticas ACI mostrada en el análisis de componentes principales (Figura 6). La dispersión mostrada corresponde a la variación de los rendimientos en función de las evaluaciones, mediando con la incertidumbre y reforzando la heterogeneidad de la varianza.

Las técnicas aplicadas en este estudio, como el *downscaling*, permiten obtener predicciones regionales de cambios en el clima, que van desde el suavizado y la interpolación de anomalías GCM hasta redes de modelado climático regional (Villegas, Jarvis 2010). Las diferentes técnicas de *downscaling* varían en precisión, resolución de salida, requisitos computacionales de tiempo y robustez estadística.

Las salidas de los modelos son únicamente aplicables a cierto número de GCM. Estos requieren una capacidad de procesamiento, tiempo y almacenamiento considerable para obtener productos por período (Jones 2013). El *downscaling*, por otro lado, proporciona un terreno más sencillo de trabajo. El método Delta, por su parte, acorta los tiempos para desarrollar superficies de cambio climático de alta resolución. La reducción de escala tiende a reducir la variación y esto altera la incertidumbre del modelo (CCAFS 2014).

Para las prácticas de ACI es fundamental evaluar los riesgos asociados con su capacidad para proporcionar de manera confiable los costos y beneficios económicos dentro de los sistemas de producción analizados (CCAFS 2014). Los análisis ABC que se centran en los costos y beneficios de las prácticas agrícolas a menudo pueden distorsionar la comprensión de la probabilidad de adopción a escala, debido a que no se incluyen las externalidades críticas y las discusiones de riesgo (Chaudhury *et al.* 2016).

La valoración de los beneficios no monetarios o de mercado pueden ser discutibles (Sain *et al.* 2017; sin embargo, es importante denotar el valor del autoconsumo que se refleja en la disponibilidad abundante de la diversidad de productos agrícolas. Es decir que, si el balance en la relación B/C es igual o mayor a uno, las prácticas ya cubren pagos por jornales y perciben excedentes en producción que son parte del valor agregado hacia las familias (Gobbi y Casasola 2003).

Hay escenarios compuestos en los cuales una serie de variables externas pueden mejorar los análisis haciendo uso de la herramienta metodológica del MAP, en la cual se calcularon diferentes coeficientes para proporcionar externalidades positivas tanto por biodiversidad como por almacenamiento de carbono, entre otros. Se recomienda para futuros proyectos tomar en cuenta una batería más completa de las posibles externalidades presentes en cada región de estudio.

4.4 Análisis beneficio - costo para las prácticas seleccionadas

Cuando se considera la distribución de los indicadores de rentabilidad, prácticas como EMAF corren el riesgo de no ser rentables dado el alto costo de la inversión, ya que estas perciben ingresos a partir del cuarto año. Esta práctica considera pérdidas en los primeros tres años al no obtener beneficios netos hasta el cuarto año, a partir del cual se obtendrían US\$202/año. Esto genera indicadores positivos generales en el flujo de quince años con un VAN de US\$751, una relación B/C de 2,7 y una tasa interna de retorno del 58%

Es importante mencionar que las actividades agrícolas de patio deben ser complementadas y planificadas de manera que se eviten los espacios transitorios en materia económica, lo cual se logra con la diversificación de productos de venta y autoconsumo, entre perennes y anuales que mantenga estabilidad en el flujo total del conjunto de prácticas seleccionadas.

La práctica de SMRT obtuvo la mayor rentabilidad entre las cuatro consideradas en el estudio, debido a bajos costos de implementación y manejo y producciones altas por planta. También notamos que los precios de los productos cosechados son estables; en el Anexo 2 se puede diferenciar que los ingresos duplican los costos durante todo el análisis de sensibilidad. Bajo esta reflexión y notando también que en los tres escenarios esta práctica alcanza valores positivos, entendemos que es una práctica bastante rentable. En el Anexo 2 se muestran los flujos donde el VAN de US\$2399 y la relación B/C de 2,23 sin escenarios climáticos y escenario normal económico.

El análisis ABC indicó que la práctica de MHO presentó un déficit en cuanto a su capacidad de estabilizar ingresos en el tiempo (Anexo 2). Esto se debe a que a tiene que superar un periodo de transición de cinco años para estabilizar la producción, que temporalmente subiría ingresos y bajaría costos, lo cual hace que en un análisis de sensibilidad esta práctica muestre relaciones B/C bajas y en los escenarios ingresos negativos que la hacen no rentable. Sin embargo, llevando a cabo un manejo orgánico adecuado es posible que después de cinco años, las labores y los requerimientos del cultivo cambien ya sea por su residualidad y lenta liberación y acumulación en los procesos de mineralización (Nelson 2014).

El análisis ABC indica que la práctica C/R alcanza altas producciones por planta que redundan en una alta capacidad de generar ingresos frente a una inversión inicial moderada. En el Anexo 2 se observa que los indicadores son positivos en cuanto al VAN (US\$643) y la relación B/C (2,05). Esto nos indica los flujos económicos de esta práctica son bastante estables y alcanza una buena rentabilidad, siempre y cuando se mantenga confianza en el mercado comercial.

4.5. Priorización de prácticas con base en los indicadores VAN y B/C

Los patrones vistos en las figuras 7 y 8 son la síntesis de las percepciones levantadas en campo. Para clasificar la representación de estos gráficos de manera jerárquica, tendríamos que revisar cuál práctica es superior a las demás en la mayoría de los escenarios. Esta estimación es necesaria para cubrir el tercer objetivo de este estudio, el cual es identificar las prácticas más promisorias ante un contraste de escenarios económicos y climáticos.

En relación al análisis de varianza para el indicador VAN, notamos que la práctica SMRT es, no solo positiva económicamente con respecto a las otras, si no que también marca una tendencia positiva en cuanto a una mejor y más estable respuesta ante el escenario Var. Todas las prácticas coinciden en que el escenario 2,6 es el más afín a una producción estable.

Según este análisis, la práctica de SMRT tiene una respuesta baja en el escenario RCP 8,5, la cual es estadísticamente igual a la de su estado actual o de línea base, es decir, sin escenario, lo cual es positivo. La práctica MHO, al ser negativa en el escenario de variabilidad indica que sus cultivos son susceptibles ante el clima actual y la incertidumbre del futuro. La mejor opción para esta práctica es el escenario más seco (RCP 8,5).

Es notable que existe una tendencia normal o asintótica en la relación de las prácticas con los escenarios económicos. Es preciso hacer énfasis en la amplitud de la brecha económica entre lo negativo y lo positivo para la práctica SMRT que es casi tres veces superior a las demás prácticas, lo cual nos hace cuestionar si la práctica puede sostener su rentabilidad ante escenarios económicos con supuestos más drásticos.

Las prácticas EMAF y C/R presentan tendencias más estables ante los escenarios económicos, lo cual es importante a la hora de destacar la práctica. MHO muestra pérdidas hasta de US\$1000. El valor actual neto que representa el valor de la práctica a través del horizonte, traído al presente es un indicador de impacto socioeconómico fundamental para este tipo de evaluaciones.

En cuanto a el indicador B/C (Figura 8), al igual que en el VAN, la práctica de SMRT destaca en el escenario de variabilidad. Al igual que las demás prácticas, presenta mayor afinidad con el RCP 2,6. La práctica de MHO mostró resultados negativos en el escenario de variabilidad y mejores indicadores en el escenario RCP 8,5, lo que demuestra que las hortalizas no son promisorias en el clima regional, debido a las altas precipitaciones y la influencia negativa de la variabilidad climática.

La práctica de EMAF supera a la de SMRT en el escenario RCP 8,5. Todas las prácticas mostraron un comportamiento asintótico en los escenarios económicos de B/C. EMAF se muestra susceptible al escenario económico negativo (Figura 8b), debido a que requiere una alta inversión inicial y a que empieza a percibir ingresos a partir del año 4. Sin embargo, EMAF en los escenarios económicos normal y positivo, supera las demás prácticas dado a que su rentabilidad se estabiliza a partir del año cuatro del flujo económico.

4.6. Implicaciones para la priorización de prácticas ACI

Los tubérculos brindan una buena opción para sobrellevar la variabilidad climática, ya que estos cultivos son especialmente resilientes frente a desastres naturales (Navarrete et al. 2012). En toda la región Caribe se recomienda la colecta, conservación y estudio de variedades de cultivos que exhiben rasgos de adaptación para la resiliencia al clima. Las variedades de Capicúa, *Xanthosoma*, *Psidium*, *Bixa* y árboles frutales en la familia Sapotaceae son de especial interés (CIAT 2012)

De acuerdo con esto, Navarrete *et al.* (2012) indican que una mejor comprensión de la producción, la utilización y el comercio de estos cultivos tiene implicaciones potencialmente de largo alcance para las inversiones en agricultura. El Programa de Investigación del CGIAR, liderado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), asegura que la importancia económica de cultivos como las raíces y tubérculos, en comparación con los productos básicos, aumentará (CGIAR 2017).

Se debería dar alta prioridad a la investigación sobre el potencial de los recursos fitogenéticos para contribuir a la adaptación de la agricultura al cambio climático progresivo.

Los cultivos nativos y los parientes silvestres de cultivos con una larga historia en la región tienen el mayor potencial para contribuir con rasgos que son importantes para generar cultivos más resilientes mediante técnicas de mejoramiento in situ (Navarrete *et al.* 2012).

4.7. Implicaciones metodológicas y prácticas para la priorización y adopción de prácticas de ACI

La relación costo-beneficio se enfoca en el análisis de la rentabilidad de la adopción de prácticas de ACI por parte de las familias productoras. (Campbell 2016). Las prácticas de CSA analizadas en este documento son rentables en promedio y tienen un análisis de sensibilidad de 15 años, lo que permite en gran medida la escalabilidad de otras prácticas de SAF. Además, las prácticas con una rentabilidad mayor, brindan una oportunidad y una herramienta para analizar los posibles nichos de adopción que se fortalece cuando se combina con herramientas adicionales interdisciplinarias de apoyo a la decisión (Sain 2017).

Castillo *et al* (2018) y Álvarez *et al.* (2016), señalan que habrán escenarios de RCP futuros más plausibles. La propuesta de esta metodología de mostrar escenarios contrastantes contempló un escenario que este autor considera subestimado por la climatología actual, por lo que selecciona el siguiente RCP 4,5 para generar el escenario más pesimista.

Si bien los costos de adaptación pueden ser observables e inmediatos, los beneficios a menudo son inciertos, según lo señala Jarvis *et al.* (2011). Se reconocen las limitaciones de los procesos tradicionales de toma de decisiones en el contexto de la adaptación, por ende, se ha hecho énfasis en enfoques robustos, explorados cada vez más en la literatura, en una variedad de futuros, ya que integran una amplia gama de escenarios climáticos y, por lo tanto, son especialmente adecuados para cubrir la incertidumbre climática profunda (Van Vuuren 2011).

Este estudio considera importante las limitaciones de los procesos sólidos de toma de decisión, como la falta de atención a los factores determinantes de seguridad alimentaria más amplios: acceso, calidad y diversidad de los alimentos y cambiar la cultura de la investigación para centrarse en una agenda de acción (TSAC) y el marco de priorización de ACI. De esta forma se deben identificar cuáles prácticas pueden ser más prometedoras a medida que la planificación se vuelve cada vez más crítica debido a la adaptación requerida para tener una mejor respuesta ante el cambio climático. Las propuestas que brindan un compromiso entre un análisis significativo y una implementación simple.

5. CONCLUSIONES

Este estudio identificó y definió los modelos y escenarios de CC más relevantes para generar respuestas conexas a los riesgos que este conlleva. Las principales tendencias definidas por los escenarios contrastantes según los RCP considerados son más notorias en cuanto a temperatura. Se proyectó 1°C más para el RCP 8,5 sobre el mismo horizonte de tiempo que el escenario RCP 2,6, destacando a octubre como el mes más caliente. En cuanto

a precipitación, el escenario RCP 8,5 se muestra más seco en la temporada lluviosa, con un balance negativo respecto al régimen histórico. Esta característica permitió a los informantes generar un criterio que diferencia una perspectiva más clara de los cultivos evaluados en los estados del clima futuros.

Se consolidaron supuestos económicos basados en Sain *et al.* (2017), para generar los escenarios económicos más pertinentes para la zona de estudio. La utilización de estos escenarios es importante ya que permiten demostrar el comportamiento de las prácticas en circunstancias económicas contrastantes. También permitió desarrollar estadísticamente una interacción entre la práctica y el escenario económico que puede ser comparada con la interacción práctica y escenarios climáticos. De modo que al no ser significativa la interacción triple o en el caso de que no se hallen diferencias en los escenarios climáticos, el escenario económico mantiene un patrón visible para identificar cuál sería la afectación en diferentes estados de la economía de un país, respaldado por un análisis de sensibilidad que agrega y mantiene dichos supuestos.

En este trabajo hemos identificado las prácticas ACI más promisorias para la zona de estudio. Las prácticas siembra y manejo de raíces y tubérculos (SMRT) y establecimiento y manejo de árboles frutales en patio (EMAF) son las que se comportarían mejor en escenarios climáticos y económicos de acuerdo a la percepción de actores clave que viven y trabajan con los cultivos involucrados en estas prácticas. Por tanto, este estudio recomienda a instancias de gobierno o a proyectos relacionados con la agricultura familiar, priorizar esas prácticas en los sistemas de huertos caseros en el municipio de El Tuma -La Dalia y en municipios aledaños que mantengan similitudes en cuanto a topografía y clima para futuras inversiones.

La práctica de raíces y tubérculos ha mostrado resultados positivos en todos los escenarios, especialmente el quequisque como el producto mejor evaluado en su conjunto de escenarios y tipo de informante, posicionándose como el cultivo más resiliente evaluado en el territorio. Para lograr una evaluación que represente la factibilidad dentro de la práctica, es importante valorarla como precursora de los mecanismos de manejo sostenible de la tierra (capital más importante de la AGF). Igual forma mantienen insumos como la mano de obra, lo que representa una retribución en jornales lo cual complementa un estímulo económico favorable.

Así mismo, se contempla el uso de indicadores sociales lo que proporciona una mayor integración a la cadena productiva. Las características de adaptación de estos cultivos en las diversas fases de la práctica aportan a la resiliencia y el manejo sostenible de los recursos naturales, por su fácil integración a los demás sistemas productivos y una baja intensidad de manejo.

Para futuras investigaciones sobre estos cultivos es preciso aumentar el muestreo para reducir la variabilidad. Notamos que el grupo de los productores alcanzó un grado mayor de variación en relación al tipo de respuesta, la cual se puede observar en la Figura 6b, según el

análisis de conglomerados. Para estos casos es recomendable agrandar la muestra hasta lograr una distribución similar a la obtenida por los grupos de técnicos y expertos que demostraron una mayor congruencia en las respuestas.

Las prácticas de manejo de hortalizas orgánicas (MHO) y el cultivo de ramadas en patio (C/R) mostraron resultados con menores rendimientos y por ende, menor rentabilidad, lo cual no quiere decir que sean malas prácticas, sino que serían más vulnerables en escenarios de clima y económicos cambiantes. Por lo tanto, será necesario hacer más innovaciones para mejorar su adopción dado a que son cultivos de alto aporte vitamínico, mineral y de fibra.

Este estudio diseñó y aplicó una metodología estructurada paso a paso para evaluar los posibles efectos de escenarios climáticos y económicos sobre los beneficios que pueden proveer prácticas agropecuarias tomando en cuenta las percepciones de actores clave en el territorio. Esta metodología fue aplicada a huertos caseros, pero puede aplicarse a cualquier sistema de producción agropecuaria. Así, se contribuye a fortalecer los conocimientos de técnicos y científicos que trabaja con el enfoque ACI en su afán de identificar las prácticas de ACI más promisorias.

Tomar decisiones de inversión sobre las prioridades de ACI requiere comprender las ventajas y desventajas entre la promoción de una práctica frente a otra. El uso de los datos disponibles y corroborados en campo para tomar decisiones es la mejor apuesta frente a la incertidumbre. Por eso esta metodología sirve como insumo para orientar con herramientas cuyo énfasis es más específico. Invitamos a cambiar la cultura de investigación, para que sea más orientada a la acción, desde la construcción de portafolios de productos y prácticas promisorios para un territorio determinado, destacando su rendimiento productivo frente a diversas combinaciones de escenarios económicos y climáticos y a determinada escala territorial.

Las iniciativas de estos proyectos deberán ser ejecutadas mediante procesos participativos donde los actores clave lideren las medidas de adaptación sugeridas, sean relevantes para los más vulnerables al cambio climático y promuevan la generación de información sobre acciones que combinen producción, adaptación y mitigación. Consideramos que seguir esta agenda de trabajo nos acercará cada vez más a lograr encontrar soluciones que apunten a un sistema alimentario resiliente donde la variable climática sea gestionada satisfactoriamente de manera que afecte lo menos posible a nuestras poblaciones más vulnerables.

6. REFERENCIAS

- Aggarwal, P; Jarvis, A; Campbell, B; Zougmore, R; Khatri-Chhetri, A; Vermeulen, S; Radeny, M. 2018. The climate-smart village approach: framework of an integrative strategy for scaling up adaptation options in agriculture. *Ecology and Society* 23(1):14
- Aguilar, E; Peterson, T.C; Obando, P.R; Frutos, R; Retana, J.A; Solera, M; Soley, J; García, I.G; Araujo, R.M; Santos, A.R. and Valle, V.E., 2005. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D23).
- Álvarez, ACC; Hernández, GE; Esquivel, NE; Blanco, JL; Díaz, FL; Rojas, RM; Bedolla, K. R 2016. Variabilidad climática y escenarios de cambio climático. Herramientas para los estudios de impactos potenciales y vulnerabilidad actual y futura. Ejemplos para México, Centroamérica y El Caribe. *Variabilidad y Cambio Climático. Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en América Latina y el Caribe*, 25.
- Beteta, H.E. and Samaniego, J., 2012. La economía del cambio climático en Centroamérica: Impactos potenciales en los patrones interanuales y espaciales del clima. CEPAL, México (México).
- Boa, M; Loboguerrero, A.M; Martínez Barón, D. and Rojas, E.A., 2014. Estado del Arte en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria en Guatemala.
- Bouroncle, C; Imbach, P; Rodríguez-Sánchez, B; Medellín, C; Martínez-Valle, A; Läderach, P. 2016. Mapping climate change adaptive capacity and vulnerability of smallholder agricultural livelihoods in Central America: ranking and descriptive approaches to support adaptation strategies. *Climatic Change* 141(1):123-137
- Brenes, A., 2010. Elementos y patrones constitutivos del riesgo de sequía en América Central.
- Campbell, BM; Vermeulen, SJ; Aggarwal, PK; Corner-Dolloff, C; Girvetz, E; Loboguerrero, AM; Wollenberg, E. 2016. Reducing risks to food security from climate change. *Global Food Security* 11:34-43.
- Cramer, L; Huyer, S; Lavado, A; Loboguerrero, A. M; Martínez Barón, D; Nyasimi, M, Van Wijk, M. 2017. Métodos propuestos para evaluar el impacto potencial del cambio climático sobre la seguridad alimentaria y nutricional en Centroamérica y la República Dominicana.
- Castillo, R; Montero, R; Amador, J; Durán, AM. 2018. Cambios futuros de precipitación y temperatura sobre América Central y el Caribe utilizando proyecciones climáticas de reducción de escala estadística. *Revista de Climatología* 18:1-12.
- Chaudhury, AS; Helfgott, A; Thornton, T F; Sova, C. 2016. Participatory adaptation planning and costing. Applications in agricultural adaptation in western Kenya. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 21(3):301-322.
- Dittrich, R; Wreford, A. and Moran, D., 2016. A survey of decision-making approaches for climate change adaptation: Are robust methods the way forward? *Ecological Economics*, 122, pp.79-89.

- Di Benedetto, A; Tognetti, J. 2016. Técnicas de análisis de crecimiento de plantas: su aplicación a cultivos intensivos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 42(3):258-282.
- Eitzinger, A; Läderach, A; Sonder, K; Schmidt, A; Sain, G; Beebe, S; Rodríguez, B; Fisher, M; Hicks, P; Navarrete-Frías, C; Nowak, A. 2013. Tortillas en el comal: los sistemas de maíz y frijol de América Central y el cambio climático. Cali, Colombia, CIAT. (Políticas en Síntesis no. 6).
- Gobbi, J. A; Casasola Coto, F. 2003. Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. *Agroforestería en la Américas* 10(39-40):52-60.
- Harvey, C. A; Chacón, M; Donatti, C. I; Garen, E; Hannah, L; Andrade, A; ... & Clement, C. (2014). Climate-smart landscapes: opportunities and challenges for integrating adaptation and mitigation in tropical agriculture. *Conservation Letters*, 7(2), 77-90.
- 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* 25(15):1965-1978.
- Jarvis, A; Ramirez, J; Bonilla-Findji, O. and Zapata, E., 2011. Impacts of climate change on crop production in Latin America. *Crop adaptation to climate change*, pp.44-56.
- Krishnamurthy, L. and Gómez, M.U., 2002. Tecnologías agroforestales para el desarrollo rural sostenible. PNUMA, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Lipper, L; Thornton, P; Campbell, B. M; Baedeker, T; Braimoh, A; Bwalya, M; ... & Hottle, R. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, (12), 1068.
- Mercado, L; Acuña, V; Rogelio, A; Cerda Bustillos, R; Aguilar, A; Padilla Castillo, D; Martínez Barón, D. 2017. Promoviendo prácticas Agrícolas Climáticamente Inteligentes para enfrentar los efectos del cambio y la variabilidad climática en el centro-norte de Nicaragua (NicaCentral). Turrialba, Costa Rica, CATIE. (Síntesis para decisores no. 25).
- Montenegro, R.J.V; Zarabozo, O.D. and Baca, M., 2015. Modelos de impacto en la agricultura teniendo en cuenta los escenarios de la agricultura del cambio climático. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1(1), pp.1-50.
- Navarrete, FC; Umaharan, P; Debouck, D; García, S; Fuller, C; Gibson, N; Jarvis, A; Castañeda-Álvarez, N; Nowak A. 2012. Recursos fitogenéticos: Bases para un futuro resiliente al clima y libre de hambre en el Caribe. Cali, Colombia, CIAT. 6 p.(Políticas en Síntesis No. 10)..
- Nelson, GC; Rosegrant, MW; Koo, J; Robertson, R; Sulser, T; Zhu, T; Ringler, C; Msangi, S; Palazzo, A; Batka, M; Magalhaes, M; Valmonte-Santos, R; Ewing, M; Lee, L. 2009. *Climate change: Impact on Agriculture and Costs of Adaptation*. Washington, D.C., United States of America. Intl Food Policy Res Inst. (Food Policy Report).
- Nelson, GC; Valin, H; Sands, RD; Havlík, P; Ahammad, H; Deryng, D; Kyle, P. 2014. Climate change effects on agriculture: Economic responses to biophysical shocks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(9):3274-3279.

- Ramírez-Villegas, J; Challinor, AJ; Thornton, PK; Jarvis, A. 2013. Implications of regional improvement in global climate models for agricultural impact research. *Environmental Research Letters* 8(2):024018.
- Sain, G; Loboguerrero, A.M; Corner-Dolloff, C; Lizarazo, M; Nowak, A; Martínez-Barón, D; Andrieu, N; 2017. Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala. *Agricultural Systems* 151:163-173.
- Salcedo, S. and Guzmán, L., 2014. *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política*. Santiago: FAO. Since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset
- Van Vuuren, DP; Edmonds, J; Kainuma, M; Riahi, K; Thomson, A; Hibbard, K; Masui, T. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic change*, 109(1-2):5.
- Villarreyna Acuña, R; Cerda Bustillos, R; Echeverría, J; Aguilar, A; Barrios, M; Taleno, S; Olivas, A; Matus, O; Toruño, I; Mercado, L. 2016. *Priorización de Inversiones en Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI): Prácticas agropecuarias de huertos caseros, granos básicos, sistemas agroforestales y pasturas priorizadas en el territorio de Nicaragua Central*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 65 p.
- Villarreyna Acuña, R; Cerda Bustillos, R; Echeverría, Padilla, D; Suchini, JD; Posada, E; Moscoso, C; Mercado, L. 2016. *Priorización de Inversiones en Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI): Prácticas agropecuarias de huertos caseros, granos básicos, sistemas agroforestales y pasturas priorizadas en el territorio Trifinio*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 57 p.