

**PROCEDIMIENTO PARA LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS EFECTOS
DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA**

Por:

Andrés Francisco Rodríguez Gallego

Trabajo de investigación para optar al grado de Magister Scientiae en Gestión de Recursos
Naturales Renovables (con énfasis en Estudios de Impacto Ambiental)

**CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
E INVESTIGACIÓN AMBIENTAL Y TERRITORIAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
MÉRIDA, VENEZUELA
Noviembre, 2016**

DEDICATORIA

A Karina Contreras y Nohora Gallego por ser el pilar fundamental de inspiración, amor, apoyo, compañía y parte fundamental para alcanzar esta nueva meta profesional. Las amo.

A mis hermanos Oriana y Diego quienes siempre me apoyaron y alentaron para alcanzar esta meta.

Andrés Francisco Rodríguez Gallego

www.bdigital.ula.ve

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios, por haber acompañado y guiado mis pasos para lograr una nueva meta en mi vida.

A la Ilustre Universidad de Los Andes a través del Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, el cual a través de su personal profesoral, administrativo y obrero me dio la oportunidad de ampliar mis conocimientos profesionales en la Gestión Ambiental.

Asimismo, agradezco a mi amada esposa Karina, quién con su comprensión, apoyo y amor, ha sido un pilar fundamental a lo largo de este logro.

Especial agradecimiento a mi madre Nohora, por apoyarme, entenderme y confiar en la decisión de seguir formándome como profesional; asimismo a Jaime quien como un padre siempre me ha apoyado.

A mis hermanos Oriana y Diego, por apoyarme siempre.

A los profesores José Pérez Roas y José G. Rosales, por su valiosa dedicación en la asesoría del presente trabajo de investigación. De igual forma la profesora Crisálida Fuentes, por su colaboración.

A la profesora Esneira Quiñonez coordinadora de la Maestría en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Ambiente del CIDIAT – ULA, por su enseñanza, dedicación y disposición a lo largo del curso.

A mis compañeros de la VIII Cohorte de la Maestría en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Ambiente del CIDIAT – ULA, con quienes compartí tantas horas para lograr esta meta.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE TABLAS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. General.....	2
1.3.2. Específicos.....	2
1.4. Justificación.....	3
1.5. Alcances.....	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.1.1. Antecedentes en Latinoamérica.....	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	6
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1. Cambio climático y agricultura.....	8
2.2.2. Modelo climático.....	10
2.2.3. Modelos agroclimáticos.....	13
CROPWAT.....	15
AQUACROP.....	17
2.2.4. Valoración económica de impactos ambientales.....	20
CAPÍTULO 3. MARCO METODOLÓGICO.....	23
3.1. Generalidades.....	23
3.2. Fase de revisión bibliográfica.....	23
3.3. Fase de análisis.....	25
3.4. Fase de lineamientos.....	27
3.4.1. Datos climáticos y modelos de cambio climático.....	27
3.4.2. Modelo agrometeorológico.....	28
3.4.3. Método de valoración económica.....	29
3.4.4. Formulación de lineamientos para la valoración económica.....	29
3.4.5. Ejemplo de cálculo de la valoración económica.....	29
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1. Estado del arte.....	31
4.2. Selección del modelo agrometeorológico.....	36
4.3. Selección del método de valoración económica.....	41

4.4. Formulación de lineamientos.....	42
4.5. Ejemplo de cálculo de valoración económica de los efectos de cambio climático en la agricultura.....	43
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	55
5.1. Conclusiones.....	55
5.2. Recomendaciones.....	56
REFERENCIAS CONSULTADAS.....	57
ANEXO Uso del AQUACROP para el cálculo de rendimiento (Digital)	

www.bdigital.ula.ve

LISTA DE FIGURAS

Figura	Contenido	Pág.
1.1	Árbol de problemas.....	3
2.1	Esquema de los impactos del cambio climático.....	9
2.2	Trayectorias RCP.....	13
2.3	Esquema idealizado del funcionamiento de modelos agroclimáticos.....	14
2.4	Relación de producción y uso del agua.....	14
2.5	Datos de entrada del CROPWAT.....	15
2.6	Interfaz CROPWAT.....	17
2.7	Cálculo de la biomasa en AQUACROP.....	18
2.8	Cálculo de rendimiento en AQUACROP.....	18
2.9	Datos de entrada del AQUACROP.....	18
2.10	Interfaz AQUACROP.....	20
2.11	Calculo de costo de producción.....	22
3.1	Esquema metodológico.....	24
3.2	Elaboración del estado del arte.....	25
3.3	Esquema de selección del modelo.....	26
3.4	Esquema datos climáticos.....	28
4.1	Esquema de cálculo de rendimientos con AQUACROP.....	41
4.2	Esquema valoración económica.....	42
4.3	Lineamientos para la valoración económica.....	44
4.4	Comparación de precipitación.....	46
4.5	Comparación de temperatura promedio.....	47
4.6	Comparación de ETo.....	47
4.7	Rendimiento primer período.....	49
4.8	Rendimiento segundo período.....	50
4.9	Rendimiento tercer período.....	50
4.10	Comparación de rendimientos por períodos.....	51
4.11	Comparación de rendimientos anuales.....	52

LISTA DE TABLAS

Tabla	Contenido	Pág.
4.1	Estado del arte.....	32
4.2	Características principales de los modelos agroclimáticos.....	36
4.3	Preselección de modelos.....	39
4.4	Comparación AQUACROP vs CROPWAT.....	40
4.5	Selección del modelo agroclimático.....	40
4.6	Datos sin efecto del cambio climático.....	45
4.7	Datos con efecto del cambio climático.....	46
4.8	Datos seleccionados para el AQUACROP.....	48
4.9	Períodos para el cálculo de rendimientos.....	48
4.10	Rendimientos calculados con y sin cambio climático	49
4.11	Rendimientos anuales.....	51
4.12	Datos financieros.....	52
4.13	Valoración económica por periodos.....	52
4.14	Valoración económica anual.....	53
4.15	Datos para el cálculo del VNA.....	53
4.16	Comparación entre valor neto y costo de impacto anual.....	54

www.bdigital.ula.ve

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
CENTRO INTERAMERICANO DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN
AMBIENTAL Y TERRITORIAL
Maestría en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Ambiente (con énfasis en
Estudios de Impacto Ambiental)

PROCEDIMIENTO PARA LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS EFECTOS DEL
CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA
Proyecto de Trabajo de Grado

Autor: Andrés F. Rodríguez Gallego.

Tutores:

Prof. José Pérez Roas.

Prof. José G. Rosales.

RESUMEN

Se plantea un procedimiento para la valoración económica de los efectos del cambio climático sobre los rendimientos en la agricultura, debido al déficit hídrico. A causa del poco conocimiento sobre la valoración económica de tales efectos sobre la agricultura, se tomó como punto de partida una exhaustiva revisión de literatura de los estudios de cambio climático y agricultura, enfocándose fundamentalmente en los realizados en Venezuela, para el diagnóstico del estado del arte. Posteriormente se efectuó una búsqueda de los modelos agrometeorológicos existentes en la literatura, vinculados con el caso de estudio, que permitan el cálculo rendimientos y simulaciones en el área de cambio climático y así seleccionar el más acorde para ser usado en la investigación. Se seleccionó un método de valoración económica que permite valorar de manera directa el cambio de productividad o rendimiento producto de un impacto ambiental, en este caso del cambio climático. En el diagnóstico del estado de arte de los estudios realizados en Venezuela existe una ausencia en el área de la valoración económica. Se determinó que el modelo agrometeorológico más factible a usar para el cálculo de rendimientos es el AQUACROP, ya que considera la variable cambio climático; así como el método de cambio de productividad para la valoración económica. Basados en la información recopilada y revisada se formularon los lineamientos que permitieron realizar la valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura; para finalmente aplicarlos, desarrollando un ejemplo de cálculo para un caso hipotético de estudio; en el mismo se usó información climatológica con y sin cambio climático de la provincia de Santa Elena ubicada en Ecuador, que permitió calcular un estimado del valor de este impacto para el año 2030.

Palabras clave: Cambio climático, modelo de cambio climático, modelo agrometeorológico, economía ambiental, valoración económica, valor neto.

CAPÍTULO 1

EL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

El aumento de la emisión de gases de efecto invernadero producto de las actividades económicas de las naciones, está afectando notablemente el medio ambiente, en especial el clima, ya que en las últimas décadas se habla del fenómeno llamado cambio climático, el cual se ha vuelto un punto central de investigación a nivel mundial y punto importante de discusión en las agendas internacionales en pro de detener o mitigar los efectos de este fenómeno. Esta problemática da origen al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), sus siglas en inglés.

Venezuela, es participante de la convención creada y es por ello que en el año 2005 se presenta el primer comunicado del cambio climático en el país, el cual contiene la situación actual del mismo en cuanto a emisiones de Gases y el grado de desarrollo de las diferentes actividades económicas del país, en donde el área de la agricultura es una de las menos desarrolladas, debido a que la principal y casi única fuente de producción es la industria petrolera.

A pesar de haber publicado su primer comunicado sobre el cambio climático en el año 2005 y un informe titulado contribuciones previstas nacionalmente determinadas de la República Bolivariana de Venezuela para la lucha contra el cambio climático en diciembre del 2015; se visualiza el atraso en el campo de la investigación sobre los efectos de este fenómeno en las diferentes actividades económicas, población y medio ambiente, comparado con los demás países de la región, lo cual podría generar un fuerte impacto en el desarrollo de la Nación, viéndose afectado la planificación a futuro, así como la seguridad alimentaria del país, al no estar actualizado sobre los posibles efectos en la agricultura.

Esta investigación tiene como fundamento aportar en el campo del cambio climático, mediante la formulación de lineamientos que permita la valoración económica de los efectos de este fenómeno sobre los rendimientos de los cultivos, para ello se tiene como punto de partida la revisión y diagnóstico del estado del arte de los estudios realizados en el área de la agricultura y valoración económica, relacionados con cambio climático, haciendo un énfasis en aquellos realizados en Venezuela.

Para realizar la valoración económica, se estimó el rendimiento de los cultivos mediante el uso del modelo agroclimático AQUACROP, por medio del cual se calculó los rendimientos, teniendo en cuenta dos escenarios, uno con cambio climático y el otro sin efectos del cambio climático, permitiendo observar el comportamiento de los rendimientos en los diferentes escenarios.

Finalmente, se realizó un ejemplo de cálculo siguiendo los lineamientos propuestos, basados en datos de cambio climático de la provincia de Santa Elena en Ecuador. Se observa para los datos usados, una notable diferencia de comportamiento en los rendimientos calculados en ambos escenarios, con y sin cambio climático, que permitió obtener un valor del impacto ambiental por periodo y anual, siendo este valor un dato importante al momento de la toma de decisiones y en el desarrollo de políticas creadas para la mitigación y adaptación a los efectos de este fenómeno.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático es una realidad que está siendo abordada en los últimos años por diversos países en el mundo, inclusive en Latinoamérica, ya se ha comenzado por considerar medidas, permitiendo la formulación de planes y políticas que ayuden a mitigar los efectos negativos del mismo. Aun cuando Venezuela presentó su primera comunicación del cambio climático en el año 2005, demuestra atraso en materia de investigación y así como en estudios de valoración económica de los efectos negativos de este fenómenos, en especial en el campo de la agricultura.

Como consecuencia de este déficit de investigación se genera como principal problemática el poco conocimiento acerca de la valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura. Este problema tiene dos principales razones como lo son la existencia de poco personal capacitado en el área de la valoración económica de estos efectos, así como la ausencia de un diagnóstico del estado del arte de los estudios realizados en el área.

Producto de lo anteriormente expuesto, existe una creciente incertidumbre acerca del comportamiento de la rentabilidad que tendrá el sector agrícola ante un posible escenario de cambio climático, lo que lo que afecta la planificación a futuro para este sector económico, y del mismo modo conocer los posibles costos de las medidas de adaptación. Tal como se describe en el árbol de problemas (ver Figura 1-1).

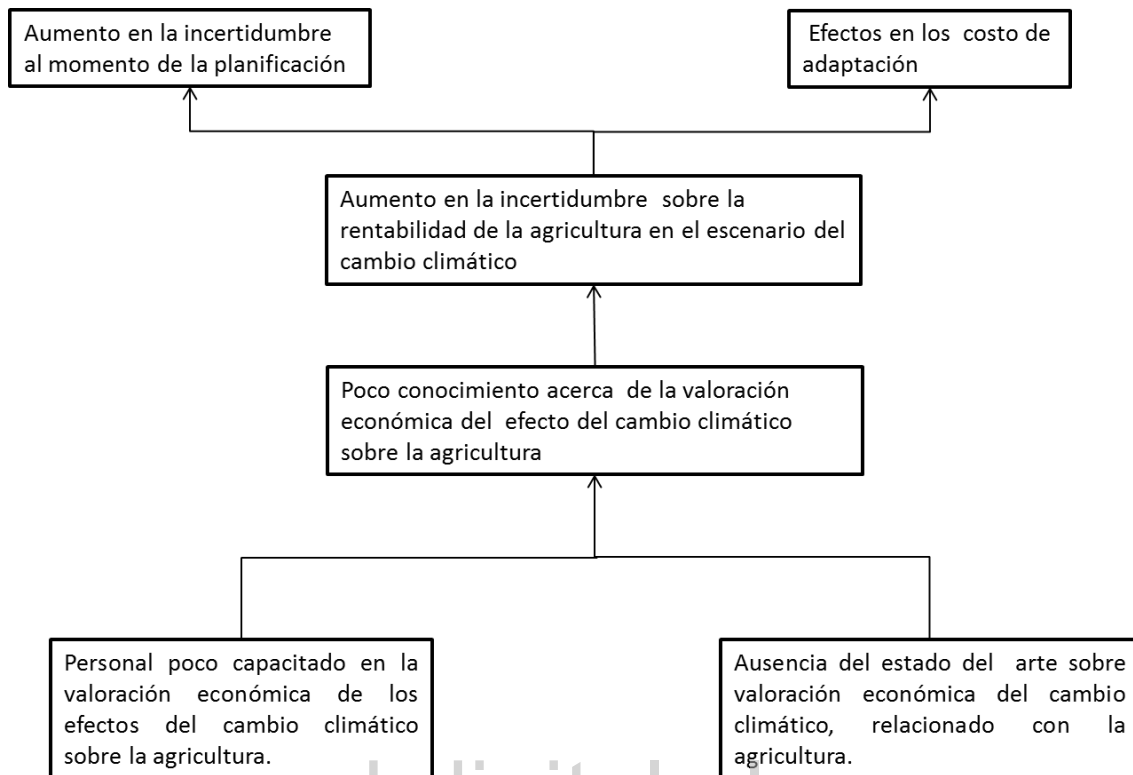
1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Incrementar el conocimiento en el área de la valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado del arte sobre la relación cambio climático y agricultura, enfatizando en valoración económica.
- Revisar y posteriormente seleccionar un modelo agrometeorológico que permita cuantificar la relación cambio climático y producción agrícola.



Fuente: Elaboración propia (2016).

Figura 1.3 Árbol de problemas

- Revisar y seleccionar un método de valoración económica del efecto del cambio climático en la agricultura.
- Establecer los lineamientos a seguir para la valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura.
- Aplicar los pasos establecidos para la valoración económica del cambio climático a un caso hipotético.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Para lograr un desarrollo sustentable se debe tener en cuenta los tres vértices del triángulo de la sustentabilidad en donde todo plan, programa o proyecto debe ser socialmente equitativo, financieramente rentable y ambientalmente soportable. Por ello que se hace necesario la investigación del cambio climático y sus efectos negativos sobre el ambiente para poder planificar a futuro y mitigar sus consecuencias. Aunque en el primer comunicado nacional del cambio climático 2005 se presenta un diagnóstico base de la situación de Venezuela, así como lineamientos a seguir para continuar los estudios de investigación, la divulgación de la información de los resultados de los mismo, se observa un estancamiento en cuanto a estos objetivos propuestos.

Es por ello que el presente trabajo está enfocado hacia la contribución del aumento del conocimiento en el área de la valoración económica de los efectos negativos del cambio climático sobre la agricultura, teniendo como punto de partida el diagnóstico del estado del arte, para así disminuir la creciente incertidumbre sobre la rentabilidad de la agricultura ante los posibles escenarios de cambio climático. Y que este procedimiento de valoración económica sirva como herramienta que disminuya la inseguridad al momento de la planificación a futuro en el sector agrícola, así como tener un efecto positivo en los costos de adaptación, debido a la toma oportuna de decisiones en miras de mitigar los posibles efectos de este fenómeno, y que esto permita un mejoramiento de las condiciones actuales y futuras de un sector económico tan fundamental para desarrollo de una nación como lo es el sector agrícola.

De igual forma este trabajo permitirá profundizar los conocimientos en el área de economía ambiental y valoración económica de los impactos ambientales.

1.5. ALCANCES

- El presente trabajo en esencia está orientado hacia la formulación de lineamientos para la valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura, basándose en información bibliográfica ya existente, y del cual no se generará información de campo a partir de esta investigación.
- En el diagnóstico del estado del arte se enfatizó en los trabajos realizados en Venezuela en el área del cambio climático y agricultura.
- La investigación se limitó al área de la agricultura y sus rendimientos con relación al cambio climático - déficit hídrico.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En el presente Capítulo se abordarán algunos antecedentes relacionados con la temática de cambio climático en el área de la agricultura a nivel latinoamericano y a nivel nacional, otros antecedentes son presentados en el Capítulo de Resultados como parte de la elaboración del estado del arte, así como las bases teóricas fundamentales relacionadas con la investigación.

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes en Latinoamérica

Ordaz y otros autores en el 2010, analiza algunos posibles efectos del cambio climático sobre la agricultura en Honduras, teniendo en cuenta variaciones climáticas y de precipitación y como estas afectarían los principales cultivos (maíz, frijol y café) del país en los próximos años (hasta el 2100); así como el efecto en la parte económica de los productores. Al tratar y analizar las diferentes variables se determinó que el sector agropecuario es altamente vulnerable a los efectos del cambio climático, donde la temperatura será un factor importante, ya que a corto plazo, la temperatura podría generar un incremento en los rendimientos, y a largo plazo, los rendimientos tenderán a reducirse.

De manera similar, los autores Vergara y otros en el 2014 presentan un informe que tiene como prioridad la necesidad de una buena y mejor comprensión de las consecuencias que tiene el cambio climático sobre el sector agrícola en América Latina; así como los desafíos a futuro que deberá afrontar la región. Entre las consecuencias mencionadas se tienen: aumento en la temperatura atmosférica y del suelo, alteraciones en las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, alza del nivel del mar, cambios en el ciclo hidrológico, en la calidad del agua y su disponibilidad, intensificación y aumento de eventos climáticos extremos (entre ellos sequías e inundaciones), y modificaciones en el nivel altitudinal de los puntos de rocío, entre otros. Algunos de estos cambios son graduales y unidireccionales, lo cual significa que se manifestarán a lo largo del tiempo a una tasa todavía incierta, pero cuya dirección es conocida. Este es el caso del aumento de las temperaturas, de los niveles de CO₂ en la atmósfera, y elevación del nivel del mar.

Por otro lado, los autores Nelson y otros en el 2009 clasifican los impactos del cambio climático sobre la agricultura en tres importantes áreas, la primera, es el efecto que tendrá el cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos producto del aumento de las temperaturas, y la modificación de los regímenes de precipitación, los cuales tiene un impacto directo sobre el rendimiento de los cultivos, así como la disponibilidad de agua para los mismos.

El segundo efecto, es que el cambio climático se verá reflejado en los precios mundiales, lo cual es un indicador muy útil al momento de medir tales efectos, debido a que este toma en cuenta la modificación en los rendimientos y el área sembrada producto directamente del cambio climático, así como la capacidad que tienen los productores de adaptarse a estos cambios, modificando cultivos e insumos utilizados. El tercer impacto se verá reflejado en el consumo de calorías per cápita y un aumento en la malnutrición infantil.

Fernández en el 2013, que tiene como objetivo determinar los efectos del cambio climático sobre la producción y el rendimiento de determinados cultivos agrícolas, mediante el uso de modelos agroclimáticos. Se evaluaron los rendimientos de los cultivos como papa, maíz y arroz, en diferentes escenarios de cambio climático A2 y B2, en un lapso de tiempo desde 2031 hasta el 2070, determinando como varían los rendimientos en ambos escenarios. Se concluye que a corto plazo no existe una gran variación, y largo plazo una mayor diferencia, posiblemente debido al aumento de la temperatura y la disminución de las precipitaciones.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Venezuela, presenta el primer comunicado sobre el cambio climático realizado por el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN) en el 2005, en donde se menciona que para el año de 1999 se presenta un sector agrícola estructuralmente débil (debido a su baja integración vertical, ganadería extensiva y cultivos fundamentalmente de secano). Otros cultivos con sistema de riego operativo o semi-operativo coexisten con prácticas tradicionales, lo cual incide en la vulnerabilidad de la seguridad alimentaria del país. El 94,3% del aprovechamiento agrícola de las tierras en Venezuela se realiza bajo las condiciones naturales del clima; solo el 5,7% del aprovechamiento se realiza bajo riego. Esta agricultura demanda materiales genéticos de altos rendimientos, uso intensivo de los suelos y del agua y muy dependiente de insumos tecnológicos que generan o pueden generar problemas de deterioro de los recursos naturales y contaminación ambiental.

Martelo en el 2004, el cual tiene como premisa describir las variaciones en los patrones espacio-temporales de la precipitación y la temperatura en Venezuela, debidas al cambio climático, y algunas consecuencias ambientales de dichas variaciones. Para esta investigación se definieron escenarios climáticos en función de diferentes escenarios de emisión de gases de efecto invernadero y el nivel de sensibilidad climática.

En la mayoría de los escenarios previstos se observa un incremento en la temperatura, lo que aumentará también la evapotranspiración potencial, al igual que existe una variación en la disponibilidad de agua, la cual será menor en ciertos meses del año, y se recomienda la toma de medidas o políticas que faciliten la adaptación a los impactos del cambio climático, así como profundizar las líneas de investigación, en especial en el sector agrícola del país.

Gabaldón en el 2008, la cual busca encontrar los posibles efectos del cambio climático sobre diferentes entornos, con énfasis en las repercusiones económicas que podría generar la transformación energética en marcha. Entre los puntos más resaltantes hallados esta la

tendencia del mundo a migrar a energías más limpias, lo cual implica un gran impacto, tanto social como económico, para un país explotador de hidrocarburos como lo es Venezuela. Así como la clasificación de los posibles impactos que tendrá el cambio climático en el territorio nacional, el cual el autor los dispone de la siguiente manera:

Posibles efectos sobre el entorno físico:

- Régimen hidroclimatológico.
- Inundaciones y erosión en los paisajes de costa.
- Regresión de glaciares.
- Degradación de suelos agrícolas.
- Mayor riesgo de incendios forestales.
- Impacto sobre el lago de Maracaibo.

Posibles efectos sobre el entorno biótico:

- Deterioro de bosques y pastizales.
- Ecosistemas marino costeros.
- Ecosistemas de paramos.

Posibles efectos sobre el entorno humano:

- Posibles efectos sobre la salud de la población.
- Efectos sobre el hábitat humano.

Posibles efectos sobre el entorno económico.

- Perdida de instalaciones, viviendas e infraestructura.
- Deterioro de servicios públicos y actividades productivas como la agricultura.

Andressen en el 2008. menciona brevemente las posibles causas del cambio climático, entre ellas destaca el cambio de uso de la tierra, la deforestación y las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero; seguido a este describe los escenarios de cambio climático los cuales coinciden con cambios en la temperatura, mencionando que hasta la fecha del artículo se han realizado pocos estudios o investigaciones acerca de la vulnerabilidad que tiene Venezuela antes los efectos del cambio climático, y se menciona algunos trabajos pioneros en el sector, así como el primer Comunicado Nacional sobre Cambio climático del 2005.

Andressen en 1996 menciona la posibilidad de ocurrencia de cambios climáticos como consecuencia del incremento de CO₂ y de los procesos de deforestación; para ello se requirió de modelos tridimensionales de circulación atmosférica (gcms). Para este trabajo se generaron varios escenarios, producto de dos modelos UKMO (United Kingdom Meteorological Office) y GISS (Goddard Institute for Space Studies), tomando como área de estudio la cuenca Amazónica.

Analizados los modelos generados, los autores determinaron que para los escenarios de deforestación existe un aumento de 1°C en la temperatura de todos los meses, una

reducción de hasta un 20% de la precipitación y un aumento de la insolación de hasta un 20%.

Sobre investigaciones del cambio climático en la agricultura en Venezuela, otra investigación a citar es el trabajo realizado por los autores Ovalles y otros 2008. Este trabajo menciona que en Venezuela el 94% de la agricultura se desarrolla en condiciones de secano, lo que la vuelve vulnerable al cambio climático. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto del cambio climático sobre los cultivos, tomando en cuenta los periodos: actual, 2020, 2040 y 2060, todo esto derivado de la información de Martelo (2004), considerando los escenarios de cambio climático allí definidos.

Los resultados de esta investigación determinan que el impacto del cambio no es igual en todo el país, ya que en algunas regiones los cambios en la precipitación son poco significativos, pero en otras regiones se podría esperar hasta un 25% de reducción en la precipitación. En cuanto a la temperatura los modelos apuntan a un aumento de 3,5°C, en la mayor parte del territorio nacional. Referente a los cultivos permanentes, sufrirán un mayor grado de afectación, se recomienda establecer la capacidad adaptativa de los sistemas de producción a objeto de determinar el grado de vulnerabilidad actual.

El trabajo de grado elaborado por Paredes en el 2014, titulado “Distribución potencial de los principales cultivos agrícolas en escenarios de cambio climático en el estado Mérida, Venezuela”, cuyo objetivo principal fue estimar y modelar espacialmente la distribución potencial de cultivos agrícolas importantes, simulando su distribución en escenarios (trayectorias) de cambio climático para el estado Mérida. Los modelos generados en esta investigación determinan un aumento en la temperatura y una disminución en la precipitación, lo que probablemente generará una reducción del área actual de cultivo, viéndose reflejado en la disminución de la producción de alimentos para el país. El autor recomienda mejorar las estadísticas agropecuarias para poder realizar un mayor seguimiento a los cambios climáticos, y promover prácticas conservacionistas como el cultivo de café bajo sombra, con la finalidad de mitigar los efectos del cambio climático.

Como se puede observar en los antecedentes presentados, la mayoría de trabajos abordan el tema del cambio climático y sus posibles efectos en las diferentes áreas económicas de una Nación, en algunos más específicos en la agricultura, la mayoría de recomendaciones van dirigidas a tomar medidas adaptativas ante un inminente cambio climático, pero no se hace referencia a cómo realizar una valoración económica de estos efectos sobre la agricultura, lo que contribuiría en el desarrollo de políticas o planes por parte de los Gobiernos en pro de una oportuna toma de decisiones en miras de adaptarse o mitigar los efectos del cambio climático.

2.2. BASE TEÓRICAS

2.2.1. Cambio climático y agricultura

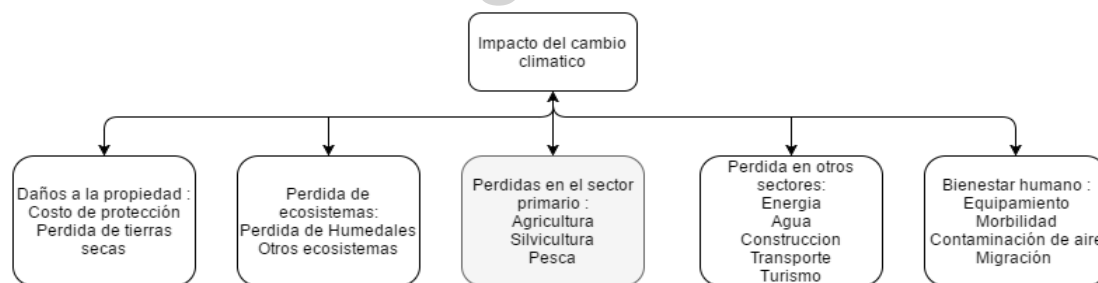
El cambio climático puede definirse, según IPCC en el 2001, como la variación significativa en el estado medio clima o en su variabilidad natural, cuya fluctuación permanece en un prolongado periodo de tiempo (decenios o más). Esta variación puede ser

producto de procesos naturales o cambios ocasionados por actividades de origen antrópico, tales como el cambio uso de la tierra o la deforestación. De igual forma la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC). Define al cambio climático como una variación en el estado medio del clima, como consecuencia directa o indirecta de las actividades humanas que modifican la composición atmosférica.

Basándose en los en las definiciones de cambio climático presentadas, tanto por el IPCC como por CMCC, ambos coinciden que este fenómeno es una variación en el estado del clima que permanece un prolongado lapso de tiempo; la diferencia presentada entre las dos definiciones radica en que CMCC lo atribuye exclusivamente a las actividades humanas.

Según lo afirma Frankhauser en el año 1995 el cambio climático puede tener incidencia o generar impactos en diferentes aspectos a escala general. El calentamiento global tiene una variedad de efectos, que pueden ser clasificados como relacionados al mercado, es decir, los efectos que se ponen de manifiesto en las cuentas nacionales y presupuestos nacionales; o los que no están relacionados con el mercado, es decir, los impactos que afectan a los bienes intangibles, tales como ecosistemas o comodidad social.

Según la clasificación expuesta por Frankhauser en el año 1995, los impactos del calentamiento global pueden dividirse en seis áreas fundamentales, las cuales son: daños a la propiedad, pérdida de ecosistemas, pérdidas en el sector primario, pérdidas en otros sectores, bienestar humano y riesgo de desastres, los cuales engloban lo anteriormente expuesto, bienes de mercado y bienes “intangibles”. Ver Figura 2.1.



Fuente Frankhauser, S, (1995)

Figura 2.1. Esquema de los impactos del cambio climático

De igual forma, Frankhauser en el año 1995 y el IPCC, prevé un cambio en el patrón de producción agrícola actual, lejos de las zonas de producción actuales, a latitudes más septentrionales, junto con los cambios en la disponibilidad de agua; el aumento de la ocurrencia de fenómenos climáticos extremos y enfermedades de los cultivos puede conducir a una reducción general en los rendimientos agrícolas, y podría resultar en una grave escasez regional de alimentos año tras año.

El Banco Mundial en su informe sobre desarrollo y cambio climático en 2010, menciona que este fenómeno afecta a los sistemas naturales como a los ordenados por el hombre

(bosques, humedales, arrecifes de coral, agricultura, pesca), que las sociedades necesitan como fuentes de alimentos, combustible y fibra y para muchos otros servicios. Reducirá los rendimientos agrícolas en muchas regiones, lo que dificultará todavía más la posibilidad de atender las crecientes necesidades alimentarias mundiales. El cambio se está produciendo en un momento en que el mundo debe hacer frente a una competencia cada vez mayor por la tierra, el agua y la biodiversidad, la pesca y otros recursos naturales. Al mismo tiempo las sociedades se verán obligadas a reducir el 30% de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura, la deforestación, el cambio del uso de la tierra y la degradación forestal.

Fankhauser al igual que el Banco Mundial en su informe mencionan las diferentes áreas a las cuales afectará el cambio climático, se hace referencia que este fenómeno no solo afectará a los sistemas naturales, sino de igual forma aquellos sistemas creados por el hombre, haciendo un mayor énfasis en el área de la agricultura, ya que se verá seriamente afectada, disminuyendo sus rendimientos, debido a diferentes factores (aumento de temperatura, disminución en la precipitación), afectando un tema tan delicado como la seguridad alimentaria de una Nación.

2.2.2. Modelo climático

Para el estudio a futuro del cambio climático es necesario comprender la definición de sistemas climáticos; IPCC (2013) lo define como un sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera, y de las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y por efecto de forzamientos externos, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares, y de forzamientos antropógenos, como el cambio de composición de la atmósfera o el cambio de uso del suelo.

Los modelos climáticos son definidos IPCC (2013) como una representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad; en otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrización empírica.

Los modelos de circulación general atmósfera-océano (MCGAO), acoplados, proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan química y biología interactivas. Los modelos climáticos se utilizan como herramientas de investigación para estudiar y simular el clima y para fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales.

Para el estudio y proyecciones climáticas a futuro se utilizaron un conjunto de escenarios de emisión de gases de efecto invernadero descritos en IPCC (2000). Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) son el producto de muy complejos sistemas dinámicos, determinado por fuerzas, tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico o el cambio tecnológico. Su evolución futura es muy incierta. Los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis. Los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático y en particular para la creación de modelos del clima, la evaluación de los impactos y las iniciativas de adaptación y mitigación. La posibilidad de que en la realidad las emisiones evolucionen tal como se describen en alguno de estos escenarios es muy remota.

Los escenarios del Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE) de Fernández (2013) son agrupados en cuatro familias (A1, A2, B1 y B2) que exploran vías alternativas de desarrollo, que abarcan una amplia gama demográfica, económica y las fuerzas impulsoras y las emisiones de gases de efecto invernadero tecnológico. Los escenarios del IEEE no incluyen políticas climáticas sobre los actuales. Las proyecciones de las emisiones son ampliamente utilizadas en las evaluaciones del futuro cambio climático y sus supuestos subyacentes; con respecto a los cambios socioeconómicos, demográficos y tecnológicos sirven como insumos para cambiar la vulnerabilidad y evaluaciones de impacto.

Los escenarios se describen de la siguiente manera, según IPCC (2000):

“La línea evolutiva y familia de escenarios **A1** describe un mundo futuro con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo y disminuye posteriormente, y una rápida introducción de tecnologías nuevas y más eficientes. Los tres grupos A1 se diferencian en su orientación tecnológica: utilización intensiva de combustibles de origen fósil (A1FI), utilización de fuentes de energía no de origen fósil (A1T), o utilización equilibrada de todo tipo de fuentes (A1B)”. (IPCC, 2000, p. 4)

“La familia de líneas evolutivas y escenarios **A2** describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico, están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas (Pesimista)”. (IPCC, 2000, p. 5).

“La familia de líneas evolutivas y escenarios **B1** describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza un máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios de las estructuras económicas orientados a una economía de servicios e información,

acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y medioambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima”. (IPCC, 2000, p. 5).

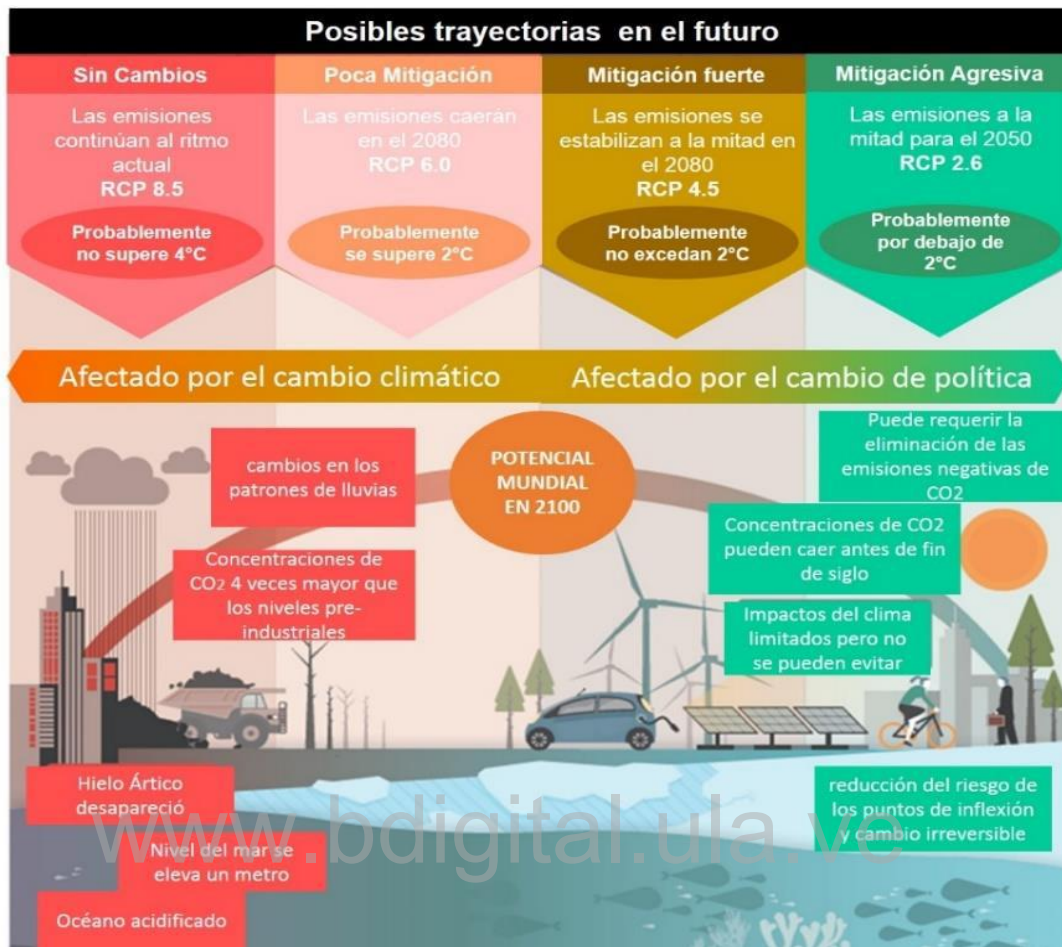
“La familia de líneas evolutivas y escenarios **B2** describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas evolutivas B1 y A1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional (Optimista).” (IPCC, 2000, p. 5)

A partir del año 2013, según el informe publicado por el IPCC (2013), las nuevas simulaciones de modelos de cambio climático, realizadas en el marco de la quinta fase del Proyecto de comparación de modelos acoplados (CMIP5) del Programa Mundial de Investigaciones Climáticas, se ha utilizado un nuevo conjunto de escenarios: las trayectorias de concentración representativas (RCP). El cambio climático proyectado sobre la base de las trayectorias de concentración mencionadas es similar al proyectado en el Cuarto Informe de Evaluación, tanto en lo que respecta a los patrones como a la magnitud, una vez consideradas las diferencias de los escenarios.

El margen de variación de las proyecciones para las RCP altas es más reducido que para los escenarios comparables utilizados en el Cuarto Informe de Evaluación, porque a diferencia de los escenarios de emisión del IEEA utilizados en el Cuarto Informe de Evaluación, las RCP utilizadas en el Quinto Informe de Evaluación se definen como trayectorias de concentración, por tanto las incertidumbres asociadas al ciclo del carbono que afectan a las concentraciones de CO₂ en la atmósfera no se consideran en las simulaciones determinadas por la concentración de la CMIP5.

Los cuatro escenarios definidos en el quinto informe de evaluación del IPCC son (ver Figura 2.2):

- RCP 2.6: es un escenario de mitigación agresiva.
- RCP 4.5 y 6.0: son escenarios de estabilización.
- RCP 8.5: Escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero.



Fuente Paredes Y (2014).

Figura 2.2. Trayectorias RCP

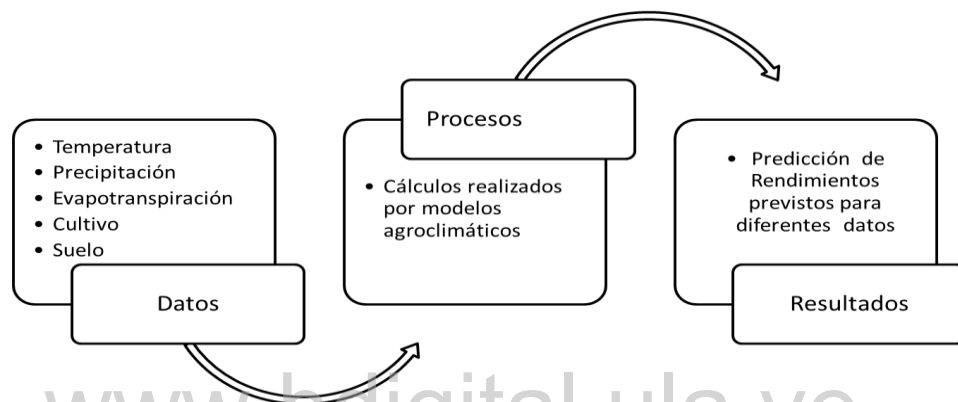
2.2.3. Modelos agroclimáticos

Los modelos agroclimáticos son definidos “como la modelación a través de programas que permiten describir la representación de un mundo real con cierto nivel de precisión, pero sin llegar a duplicar lo existente en la realidad. Así un modelo es una representación simplificada de un sistema y un sistema es una parte bien delimitada del mundo real. Siendo así el uso de la modelación en el sector agrícola una alternativa en los procesos de planificación y como una herramienta para generar más investigación” (Fernández, 2013, p.1).

Entre los principales objetivos de la agroclimatología descritos por Fernández (2013) está el de estudiar la relaciones que existen entre el sistema atmosfera, planta, agua, suelo; así como definir todas aquellas variables del clima que pueda afectar la producción. De igual forma se encarga de efectuar y calcular las predicciones de rendimiento de los cultivos así como sus posibles comportamientos ante diferentes escenarios, siendo una herramienta de

gran utilidad para los agricultores al momento de la toma de decisiones y así minimizar posibles reducciones en la producción.

El siguiente esquema se hace una representación idealizada del funcionamiento de los modelos agroclimáticos, a los cuales se introducen diferentes variables (temperatura, cultivo, tipo de suelo), luego el programa realiza diferentes cálculos en función de los datos y realiza una estimación o predicción de los rendimientos esperados para ese conjunto de datos o escenario planteado, permitiendo al planificador tomar las medidas o las acciones pertinentes para lograr el rendimiento deseado y así maximizar los recursos invertidos (ver Figura 2.3)



Fuente: Elaboración propia

Figura 2.3.Esquema idealizado del funcionamiento de modelos agroclimáticos

Una de las ecuaciones fundamentales en la cual se basan los modelos agroclimáticos, es la propuesta por la FAO a finales de los 70, la cual expresa la relación que existe entre el rendimiento del cultivo y el uso del agua, “la FAO propuso una ecuación sencilla que relacionaba la disminución relativa del rendimiento con la disminución relativa correspondiente en la evapotranspiración (ET). Concretamente, la respuesta del rendimiento a la ET se expresa como”. (Steduto et al, 2012, p.6). Como lo explica la siguiente ecuación de relación de producción y uso del agua en la Figura 2.4

$$\left(1 - \frac{Ya}{Yx}\right) = Ky \left(1 - \frac{ETa}{ETx}\right) \quad (2.4)$$

Dónde:

Ya= Rendimiento real.

Yx= Rendimiento máximo.

ETa= Evapotranspiración real.

ETx = Evapotranspiración máxima.

Ky= Factor de respuesta del rendimiento.

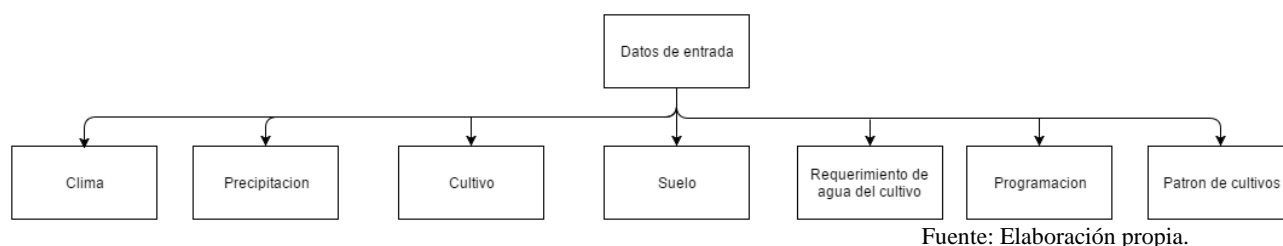
Como mencionan los autores Steduto y otros en el 2012, el factor de respuesta del rendimiento (K_y) consigue mostrar las complicadas relaciones que existe entre los rendimientos y el uso de agua en los cultivos, donde se desarrollan procesos biológicos, físicos y químicos. Mediante esta relación se ha permitido obtener un procedimiento que permita cuantificar los efectos que tiene el déficit de agua sobre el rendimiento del cultivo. Esta Ecuación aplica para todos los cultivos (herbáceos, arbóreos, vides).

Entre los modelos agroclimáticos de la FAO, usados para el cálculo de rendimientos asociados al uso del agua en los cultivos, se encuentran:

- **CROPWAT**

Definido por FAO (Sf) como un programa que permite realizar el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo, dependiendo de las características de suelo, clima y cultivos ingresadas al sistema; de igual forma permite generar programas de riego para los distintos escenarios de manejo y de patrones de cultivo y calcular rendimientos para cultivos de secano como de regadío.

El CROPWAT se basa para el cálculo del rendimiento de los cultivos, en la relación entre el rendimiento y el uso del agua en cultivos propuesta por la FAO (Figura 2.4), de igual forma utiliza el método de la FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos. Ha sido usado ampliamente como una herramienta práctica de manejo del calendario de riego y para estimar las disminuciones del rendimiento en condiciones de déficit hídrico. Los datos de entrada descritos por FAO (sf), son los siguientes (Figura 2.5):



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.5. Datos de entrada del CROPWAT

- **Módulo de clima:** es primario para la introducción de datos y requiere información sobre la estación meteorológica (país, nombre, altitud, latitud y longitud), junto con los datos climáticos, que pueden ser ingresados en base mensual, decadiaria o diaria. En relación a los parámetros climáticos, requiere temperatura mínima, pero humedad, velocidad del viento y radiación solar deben ingresarse, cuando estén disponibles.
- **Módulo de precipitación:** es para la introducción de datos, requiriendo información sobre precipitación en forma mensual, decadiaria o diaria. Este

módulo incluye los cálculos para producir los datos de precipitación efectiva utilizando uno de los métodos disponibles.

- **Módulo de cultivo:** esencialmente para introducir datos referidos al cultivo. Los siguientes datos deben ingresarse de manera obligatoria :
 - a) Fecha de siembra.
 - b) Coeficiente del cultivo (K_c).
 - c) Etapas de crecimiento.
 - d) Profundidad radicular.
 - e) Fracción de agotamiento crítico (p).
 - f) Factor de respuesta del rendimiento.

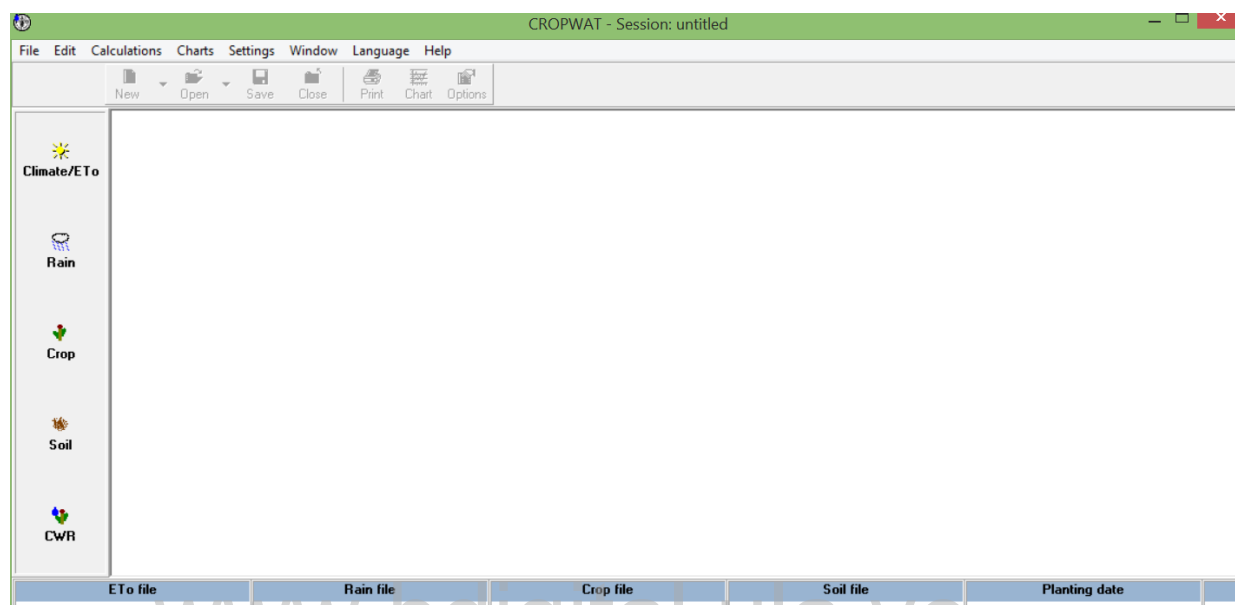
- **Módulo de suelo:** introduce datos referidos al suelo, se requieren mínimo los siguientes datos:
 - a) Agua disponible total (ADT).
 - b) Tasa máxima de infiltración.
 - c) Profundidad radicular máxima.
 - d) Agotamiento inicial de la humedad del suelo.

- **Requerimiento de agua (RAC):** en este módulo se realizan los cálculos que dan como resultado los requerimientos de riego del cultivo en base decadiaria y para toda la estación de crecimiento, siendo este igual a la diferencia entre la Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar (ETc) y la precipitación efectiva.

- **Programación:** el módulo de programación incluye esencialmente los cálculos y la elaboración de un balance hídrico de suelo en forma diaria. Esto permite:
 - a) Elaborar programaciones de riego indicativas que permitan mejorar la gestión del agua.
 - b) Evaluar las actuales prácticas de riego y la asociada productividad de agua de los cultivos.
 - c) Evaluar la producción de cultivos bajo condiciones de secano y la viabilidad del riego suplementario.
 - d) Desarrollar alternativas de programación de entrega de agua para condiciones de limitado suministro de agua.

- **Patrón de cultivo:** el módulo de patrón cultivo es un dato primario de entrada, requiriendo la información sobre los cultivos que forman parte del esquema. Con referencia a cada cultivo, los siguientes datos son necesarios:
 - a) Archivo de cultivo.
 - b) Fecha de siembra.
 - c) Área.

En la Figura 2.6 se muestra una imagen la interfaz CROPWAT.



Fuente: CROPWAT.

Figura 2.6. Interfaz CROPWAT

- **AQUACROP**

Es un modelo de la productividad del agua para cultivos desarrollado por la División de Agua de la Tierra de la FAO que simula la respuesta del rendimiento al agua de los cultivos herbáceos, y es especialmente adecuado para abordar las condiciones en que el agua es un factor limitante clave en la producción de cultivos. Intenta equilibrar la precisión, simplicidad y robustez. Se utiliza un número relativamente pequeño de parámetros explícitos y sobre todo intuitivos y variables de entrada que requieren métodos simples para su determinación.

Este programa es descrito por los autores Steduto y otros en el año 2012, el cual conserva el concepto original de un vínculo directo entre el uso del agua en el cultivo y su rendimiento. Para sus cálculos separa la evaporación del suelo no productiva (E), de la transpiración del cultivo productiva (Tr), al estimar la producción de biomasa directamente a partir de la transpiración del cultivo real mediante un parámetro de productividad del agua. Para el cálculo de la biomasa usa la Ecuación descrita en la figura 2.7, que es fundamental para el motor de crecimiento de AQUACROP.

$$B = WP * \sum TR \quad (2.7)$$

Dónde:

B = Biomasa acumulada producida (Kg por m²).

TR = Transpiración del cultivo (mm ó m³ por unidad de superficie).

WP = Parámetro de productividad del agua (Kg de biomasa por m² y por mm).

En la mayoría de los cultivos, solo una parte de la biomasa producida se destina a los órganos cosechables para producir rendimiento (Y), y la relación entre el rendimiento y la biomasa se conoce como índice de cosecha (HI), Ecuación descrita en la figura 2.8.

$$Y = HI * B \quad (2.8)$$

Los procesos subyacentes que culminan en B y HI se diferencian claramente entre sí. En consecuencia, la separación de Y en B y HI permite considerar los efectos de las condiciones ambientales y el estrés en B y HI por separado. El índice de cosecha HI modificará el porcentaje de biomasa que será aprovechable.

Los datos de entrada usados para el programa se dividen en los módulos mostrados en la Figura 2.9, según los autores Steduto y otros en el 2012.

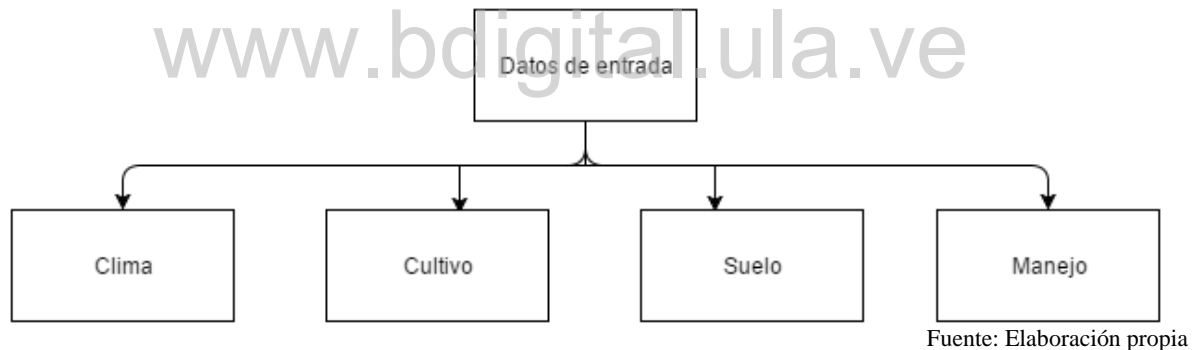


Figura 2.9. Datos de entrada del AQUACROP

- **Clima:** Para cada día del período de simulación, AquaCrop requiere los siguientes datos :
 - a) Temperatura mínima (Tn) y máxima (Tx) del aire.
 - b) Precipitación.
 - c) Evapotranspiración de referencia (ET_o)
 - d) La concentración atmosférica media anual de CO₂ debe ser conocida. El AQUACROP proporciona datos de la concentración atmosférica anual de CO₂ desde 1902 hasta el último año medido en el Observatorio Mauna Loa en Hawái. Así como diferentes escenarios publicados por la IPCC.

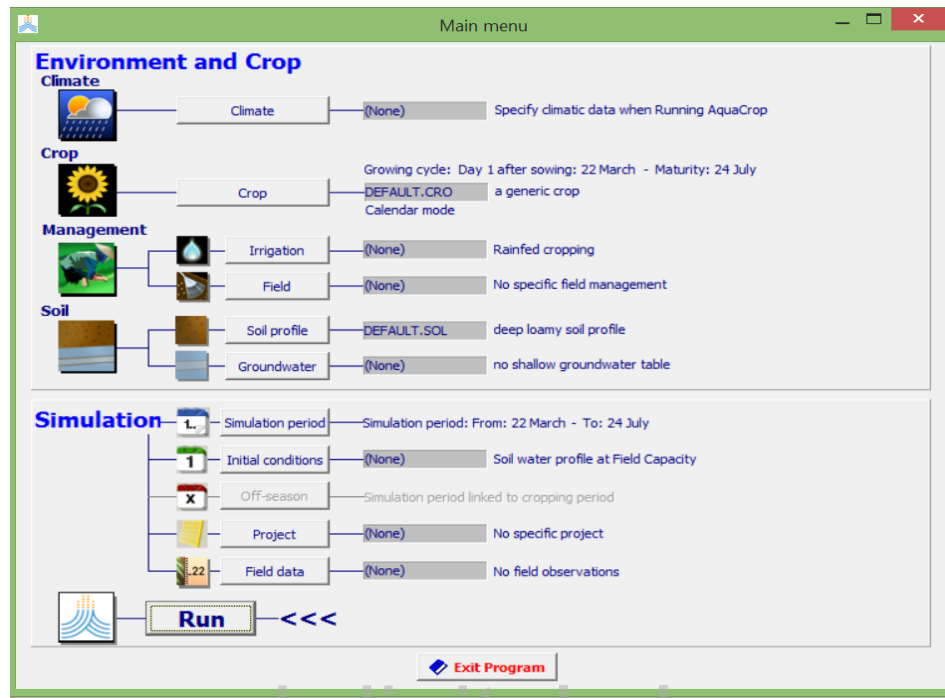
- **Cultivo:** Aunque están sustentados por procesos biofísicos fundamentales y complejos, AQUACROP usa un número relativamente pequeño de parámetros de cultivo para caracterizarlo.
 - a) Cobertura del dosel promedio (CCo): cobertura de dosel verde, su expansión, envejecimiento y senescencia. Se expresa el follaje presente en términos de dosel.
 - b) Densidad de plantas estimadas: cantidad de plantas sembradas por m².
 - c) Días de ciclo de crecimiento: días totales del ciclo del cultivo desde su siembra hasta la cosecha.
 - d) Profundidad de raíces: se refieren a la profundidad del suelo, del cual la semilla en germinación o plántula puede extraer agua.
 - e) Índice de cosecha de referencia (HIo): relación existente entre el rendimiento del cultivo y la biomasa producida.
 - f) Parámetro de productividad del agua (WP): esta relación es referida para mostrar la cantidad de agua consumida para la producción.

- **Suelo:** Este módulo describe el perfil suelo
 - a) Número y espesor de los horizontes: el suelo se puede subdividir en dirección vertical hasta en cinco capas de profundidad variable
 - b) Punto de marchitez permanente (Pwp): es el punto en el cual la planta no puede extraer más agua del suelo.
 - c) Capacidad de campo (Fc): Es la cantidad máxima de humedad que es capaz de retener el suelo
 - d) Conductividad hidráulica saturada (Ksat): representa la resistencia con la que el suelo permiten el movimiento del agua a través de él.
 - e) Nivel freático

- **Manejo:** Se divide en manejo de campo y manejo de riego.
 - a) Nivel de fertilidad del suelo: sea natural o por fertilización para el crecimiento del cultivo.
 - b) Riego existente: se refiere si es cultivo bajo riego o seco.
 - c) Prácticas para la eliminación de la escorrentía: tiene que ver con camellones y su altura para prevenir la escorrentía y comprometer a que toda el agua de lluvia o riego se infiltre en el suelo.
 - d) Cobertura de mulches: es considerado únicamente para el efecto de la reducción de la evaporación del suelo.

El AQUACROP en su módulo de simulación permite al operador realizar un seguimiento, de los diferentes parámetros como humedad de suelos, contenido de sales, balance de agua, así como desarrollo del dosel entre otros, lo que permite hacer un seguimiento y calibración de los efectos del estrés: hídrico, por temperatura, por fertilidad y por salinidad, sobre el desarrollo del cultivo y la producción.

En la Figura 2.10 se muestra una vista de la interfaz del programa AQUACROP.



Fuente: AQUACROP

Figura 2.10. Interfaz AQUACROP

2.2.4. Valoración económica de impactos ambientales

Antes de comenzar a definir que es la valoración económica de los impactos ambientales, se definirá economía ambiental “como aquella que estudia los impactos de la economía sobre el medio ambiente, la importancia del medio ambiente para la economía y la manera apropiada de regular la actividad económica con miras a alcanzar un equilibrio entre las metas de conservación ambiental, de crecimiento económico y otras metas sociales, como por ejemplo, el desarrollo económico y la equidad intergeneracional” (Caraballo y Mendieta, 2008, p.23).

La valoración económica del medio ambiente, es definida por Osorio y Correa en el 2004 como encontrar la disposición a pagar por obtener los beneficios ambientales o por evitar los costos ambientales medidos donde el mercado revele esta información. El verdadero propósito de la valoración es revelar el verdadero costo del uso y escasez de los recursos naturales. Además, permite la comparación entre los servicios ambientales y beneficios del desarrollo. Ahora esta comparación es necesaria para evaluar la gestión de protección, conservación y explotación de los recursos naturales.

Para la elaboración de esta investigación se valorarán económicamente los costos, que tendrán los efectos del cambio climático sobre la agricultura, lo cual es explicado por Osorio y Correa en el 2004 como encontrar un indicador monetario que permita determinar el valor de una alteración desfavorable en el medio natural por una acción o actividad económica. Esta acción provoca un cambio de condición de los recursos afectados.

Entre los métodos de valoración económica encontrados en la literatura se tienen: valoración contingente, costo de viaje, precios hedónicos, valoración de impacto sobre la salud y cambio de productividad. A continuación se presenta una breve definición de los mismos.

- **Método de valoración contingente:** “se basa en simular por medio de encuestas y escenarios hipotéticos un mercado para un bien o conjunto de bienes, para los cuales no existe mercado. Este método es usado para estimar cambios de bienestar de las personas, valoración de recursos hídricos, valoración de la conservación y preservación de parques o reservas naturales” (Caraballo y Mendieta, 2008, p.345).
- **Método de costos de viaje:** “es un método de valoración de bienes que no tiene un mercado definido donde se obtenga información sobre precios y cantidades demandadas. Por lo tanto la valoración se realiza indirectamente a través de mercados relacionados, como lo es el mercado del transporte, este método se usa para la valoración de parques, espacios recreativos, zonas de interés paisajístico” (Caraballo y Mendieta, 2008, p.379).
- **Método de precios hedónicos:** “es un método de valoración de intangibles, usando mercados laborales y de finca raíz con énfasis en el medio ambiente, se usa para estimar la calidad ambiental” (Caraballo y Mendieta, 2008, p.393).
- **Método de valoración de impactos sobre la salud:** “los efectos sobre el medio ambiente por problemas de contaminación afectan directamente las condiciones para el buen desarrollo de la vida humana. Una interpretación de estos efectos desde el punto de vista económico, podría ser llamada pérdida en utilidad o en bienestar de los individuos gracias al deterioro del medio ambiente” (Caraballo y Mendieta, 2008, p.421).

El cambio de productividad es definido por Osorio y Correa en el año 2004 de la siguiente manera:

- **Método de estimación del cambio de productividad:** se fundamenta en calcular un estimado del impacto ambiental sobre un recurso natural, mediante la variación que este impacto tenga sobre la producción, costo o ganancias por este recurso u

otro que si tenga mercado. Esta variación conlleva un cambio en el bienestar de las personas.

Los mencionados autores resaltan que este método es de fácil comprensión y aplicación, ya que permite observar de manera directa el comportamiento del mercado o del bien evaluado, lo que facilita la toma de decisiones, al mismo tiempo considera la producción de bienes y servicios, que son valores que entran al momento del calcular el producto interno bruto (PIB), al igual que de los presupuestos de inversionistas, productores y consumidores. El cálculo del costo por hectárea se realiza mediante la siguiente Ecuación descrita en la Figura 2.11.

$$C = (R_s - R_c) * V_n \quad (2.11)$$

Dónde:

C = Costo por hectárea (\$/ha).

R_s = Rendimiento sin cambio climático (Tm/ha).

R_c = Rendimiento con cambio climático (Tm/ha).

V_n = Valor neto (\$/Tm).

Como puede observarse este método contempla como serían los rendimientos sin afectación del cambio climático, y los rendimientos con efectos de cambio climático, lo que permite una comparación en la diferencia de rendimientos, así como el análisis en un tiempo determinado, permitiendo calcular el costo por hectárea del impacto.

El valor neto (V_n) es definido por Eco-finanzas (sf) como el valor que se obtiene al descontarle una determinada cantidad; en nuestro caso el valor neto es aquel que se obtendrá al restar el valor que tiene el cultivo por hectárea en el mercado menos la inversión de capital hecha por el productor.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1. GENERALIDADES

El presente trabajo fue orientado metodológicamente como una investigación documental, este tipo de investigación es definida por UPEL (2006) como un estudio que tiene por objetivo fundamental el de enriquecer y aumentar la comprensión de determinado problema, basándose fundamentalmente en estudios, publicaciones y demás material publicado acerca de determinada área. La investigación documental variará dependiendo de los objetivos de la misma, si son estudios de desarrollo teórico, revisiones críticas del conocimiento o estudios de educación comparada.

De la revisión, análisis y procesamiento de la información existente y consultada en el área de cambio climático, se proponen lineamientos que permitan realizar una valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura, específicamente los efectos del déficit hídrico sobre los rendimientos del cultivo, tomando en cuenta todas las variables involucradas y necesarias para efectuar dicha valoración.

La investigación se realizó en tres fases como se describe a continuación (ver Figura 3.1)

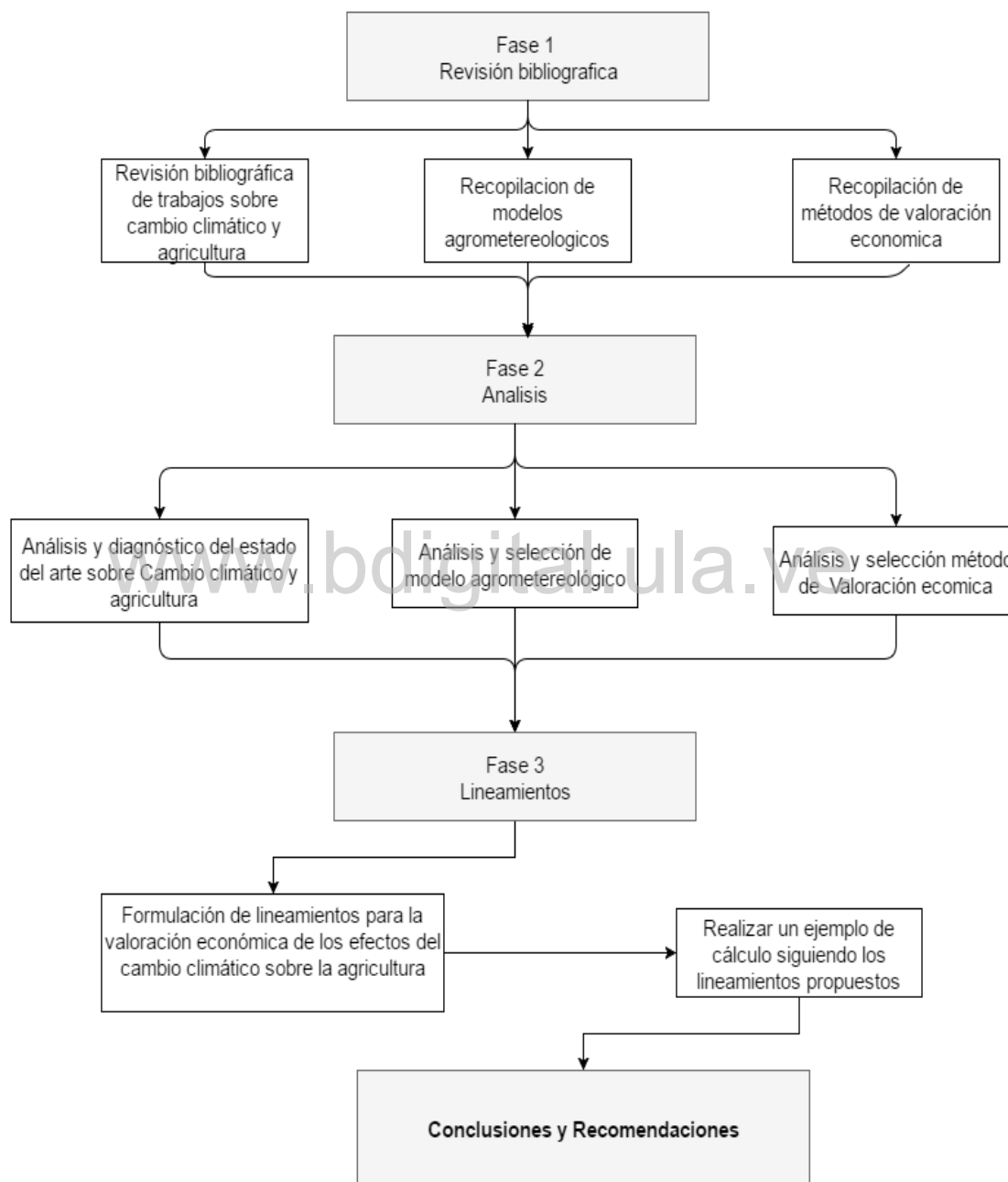
- Fase de revisión bibliográfica.
- Fases de análisis.
- Fase de lineamientos.

3.2. FASE DE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta fase tiene como objetivo principal realizar una exhaustiva búsqueda y revisión de los estudios e investigaciones realizadas en el campo del cambio climático, así como sus posibles efectos en los diferentes sectores del país haciendo un especial énfasis en el área de la agricultura, con la finalidad de establecer y definir los posibles efectos negativos que tendrá sobre esta actividad económica, debido a que es el área de interés de esta investigación.

De igual forma, se realizó una investigación sobre los modelos de cambio climático, los cuales son herramientas fundamentales al momento de las predicción e investigación, ya que estos datos permitirán tener un estimado de cómo afectará el cambio climático a las diferentes áreas económicas, en especial a la agricultura.

De manera simultánea se investigó sobre los métodos de valoración económica de impactos ambientales lo cual permitió relacionar y calcular los efectos cambio climático sobre los rendimientos de los cultivos; también se hizo una revisión en la literatura sobre los modelos agroclimáticos usados en el campo de la investigación agrícola, usados para la simulación y estudio de respuesta de los cultivos ante las modificaciones de su entorno.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1. Esquema metodológico

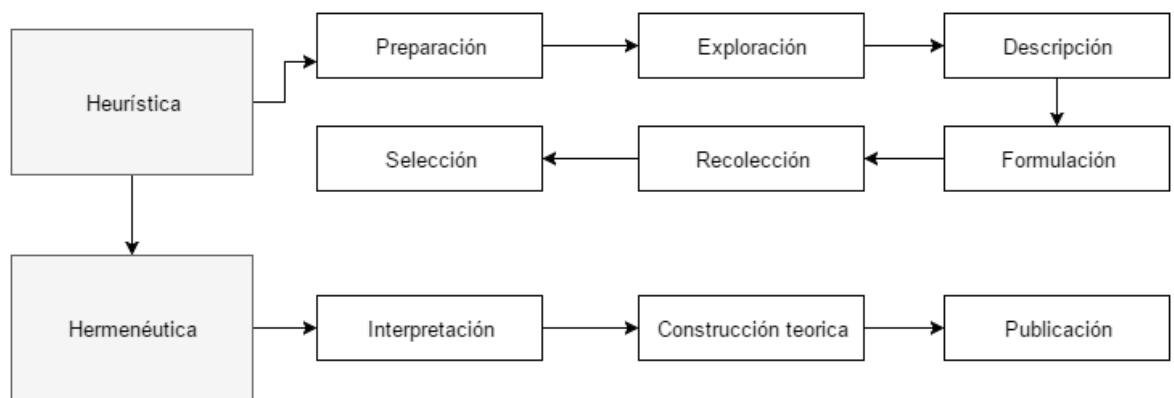
3.3. FASE DE ANÁLISIS

Finalizada la recopilación de los trabajos e investigaciones hechas sobre el cambio climático en el área de la agricultura, se procedió a diagnosticar el estado actual de arte sobre este tema, generando información actualizada sobre los estudios de cambio climático relacionados con agricultura en Venezuela.

El estado de arte es definido por los autores Londoño y otros 2014 como una de las primeras actividades que debe realizarse en las fases iniciales de la investigación, puesto que permite conocer como ha sido estudiado el tema a investigar, así como las corrientes de investigación que ha tenido y tiene el punto central en estudio. El estado del arte permite obtener un punto de referencia y es parte fundamental para la formulación de nuevas hipótesis.

Los pasos propuestos para realizar un estado del arte, de acuerdo con los autores Londoño y otros en el 2014 son los siguientes: (ver figura 3.2)

- A. **Heurística:** esta primera fase se basa en la revisión y compilación de toda la información existente del tema en estudio, proveniente de diversas fuentes de información, mediante la preparación, exploración, descripción, formulación, recolección y selección del material a analizar.
- B. **Hermenéutica:** Consiste en la lectura, análisis, relación y clasificación de la información compilada en la primera, mediante la interpretación construcción y publicación de la información recopilada y analizada. De esta actividad resulta una tabla que contiene la siguiente información: Autor, año, título de la investigación y objetivos.



Fuente: modificado de Londoño y otros (2014)

Figura 3.2. Elaboración del estado del arte

Diagnosticado el estado el arte, se procedió a elaborar una tabla resumen con las características principales de los modelos agrometeorológicos, que permitió conocer y definir los criterios de selección del modelo en la investigación, y posteriormente seleccionar el más acorde a usar en este trabajo (ver Figura 3.3). Esta selección se llevó en dos etapas.

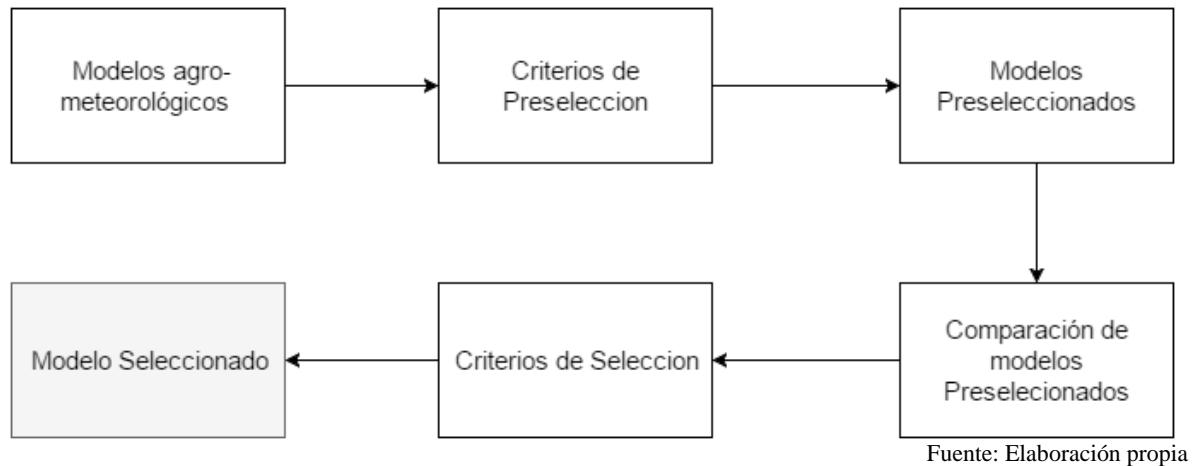


Figura 3.3. Esquema de selección del modelo

La primera etapa consistió en la preselección de los modelos mediante el cumplimiento de los siguientes requerimientos:

- a) **Accesibilidad a los programas:** este ítem se refiere al tipo de licencia que posee cada uno de los modelos consultados, debido a la dificultad al momento de acceder a programas cuya licencia es privada.
- b) **Data necesaria:** este criterio se refiere a la cantidad de datos mínima exigida por cada uno de los programas para la corrida, debido a la limitada disposición de datos existente en ciertas áreas.
- c) **Uso en estudios similares en países de la región:** se busca que los modelos agrometeorológicos hayan sido usados en estudios de investigación en el área agrícola en países de la región, debido a la similitud climática y geográfica.
- d) **Cálculos del rendimiento del cultivo:** si los modelos son capaces de efectuar dicho cálculo.
- e) **Robustez del modelo:** se refiere la metodología y ecuaciones usadas por el modelo para realizar sus cálculos, haciendo especial énfasis en aquellos modelos que usen las metodologías y ecuaciones desarrolladas por la FAO para el cálculo de rendimientos en los cultivos, motivado a su reconocimiento y confiabilidad.

Finaliza esta primera fase con la selección de los modelos agrometeorológicos que cumplan con todos los parámetros de selección arriba mencionados. Seguido a esto se compararon

los modelos que clasifiquen, generando una tabla de bondades y limitaciones de los mismos.

Generada esta información se procedió a pasar estos modelos por una última fase de selección, en la cual enfrentan los siguientes criterios:

- a) **Características principales:** datos necesarios, salida de resultados,
- b) **Funciones:** se refiere al número de funciones que presenta el programa que estén relacionadas con la investigación.
- c) **Versatilidad:** facilidad de manejo que presenta el modelo.
- d) **Cálculos:** se refiere a los cálculos que realiza el modelo que tengan referencia a la investigación.
- e) **Relación con el cambio climático:** que permita relacionar el cálculo de rendimientos con variables de cambio climático.

Esta última fase de selección permitió elegir el modelo agrometeorológico que más se ajusta a los requerimientos de este trabajo, así como el entorno donde se desarrolla.

De manera simultánea, se procedió a la revisión y análisis de los métodos de valoración económica encontrados durante la primera fase. La selección del método se basó en aquel que permita relacionar de manera directa la variación de los rendimientos producto de un impacto ambiental.

3.4. FASE DE LINEAMIENTOS

Luego de analizada toda la información recopilada correspondiente a las investigaciones de cambio climático en el área de la agricultura, modelos agrometeorológicos y valoración económica de los impactos ambientales, se procedió a realizar un análisis e identificación de todos los datos y procesos involucrados para realizar una valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura. Para esto se organizó de manera secuencial y lógica los pasos a seguir para la formulación de la siguiente manera:

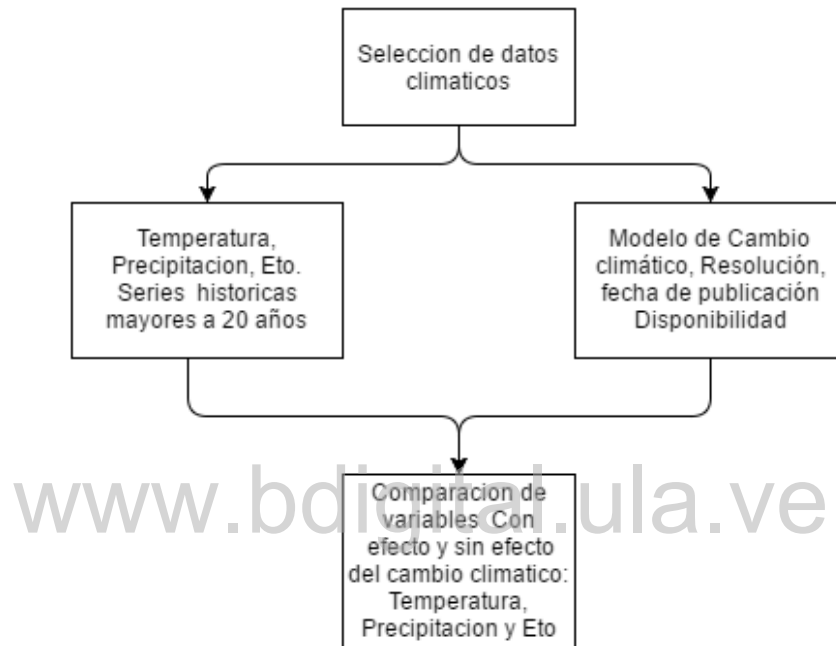
3.4.1. Datos climáticos y modelos de cambio climático

En este primer apartado se determinó que el primer lineamiento es la selección de los datos climáticos de la zona en estudio (temperatura, precipitación y Eto). Estos deben ser de series históricas, recomendando, según los autores Steduto y otros en el año 2012, series mayores de 20 años, ya que se disminuye la incertidumbre al momento de la simulación y comparación con los modelos de cambio climático y se obtiene una buena aproximación del posible comportamiento de estas variables en un futuro.

Para la selección del modelo de cambio climático, será necesario una búsqueda de todos aquellos disponibles para la zona de estudio, teniendo en cuenta para su selección a que Comunicado del IPCC pertenecen, su resolución, periodo a evaluar, pensando en que

mientras más largo sea el periodo a evaluar más grande será la incertidumbre; así como su disponibilidad para el área; también que este modelo posea las mismas variables de los datos históricos recolectados (temperatura, precipitación, Eto).

Una vez seleccionado el modelo de cambio climático a utilizar se comparan las variables (temperatura, precipitación, Eto), con la finalidad de observar similitudes y diferencias en sus comportamientos, así como tener la idea de cuáles podrían ser los efectos en los rendimientos. Ver Figura 3.4.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4. Esquema datos climáticos

3.4.2. Modelo agrometeorológico

En este segundo apartado, una vez seleccionado el modelo agrometeorológico, siguiendo la metodología explicada en la Fase de Análisis, se procedió a determinar los datos necesarios para realizar el cálculo de rendimientos en los escenarios sin y con cambio climático.

Estos modelos son programas que constan de módulos para el cálculo de rendimiento, que generalmente son: Clima (Temperatura, Precipitación, Eto), Cultivo (características calibradas y validadas del cultivo), suelo (características del perfil del suelo y de la capa freática), Manejo (prácticas agropecuarias de manejo del cultivo).

Estas base de datos para cada uno de estos módulos pueden ser usadas y/o modificadas dependiendo de las necesidades, de igual forma los módulos del programa permiten

seleccionar diferentes escenarios. De igual manera permiten definir los periodos de tiempo a evaluar para el cálculo de los rendimientos.

3.4.3. Método de valoración económica

Una vez que se hayan calculado los rendimientos con y sin efectos de cambio climático, usando el modelo agrometeorológico seleccionado, se procede a realizar la valoración económica a través del método que resulte más acorde a los fines del presente estudio.

Para esto se hace necesario la búsqueda de información económica, tal como costo por hectárea del cultivo seleccionado, capital invertido con la finalidad de calcular el valor neto y así realizar la valoración económica del impacto sobre el rendimiento del cultivo.

3.4.4. Formulación de lineamientos para la valoración económica

En este aparte se procede a organizar de manera lógica y secuencial todos los procesos involucrados, con la finalidad de formular los lineamientos que permitan realizar la valoración económica del cambio climático en los rendimientos producto de la actividad agrícola.

3.4.5. Ejemplo de cálculo de valoración económica

Se desarrolla un ejemplo para demostrar la aplicabilidad de los lineamientos a seguir formulados en el aparte anterior. Para ello se requiere ubicar una zona que posea una data suficientemente buena, en cantidad y calidad, de todos los parámetros que el modelo agroclimático seleccionado, requiere en los diferentes módulos que lo conforman, para tener éxito en el cálculo de los rendimientos para los escenarios propuestos, con y sin cambio climático.

Obtenidos los rendimientos se procede a valorarlos económicamente, siguiendo los criterios que estipule el método de valoración seleccionado.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este Capítulo enseña la aplicación de las técnicas y procedimientos metodológicos referentes tanto al cálculo del rendimiento de los cultivos, mediante el uso de modelos agroclimáticos, así como efectuar la valoración económica del impacto del cambio climático sobre la agricultura, usando los lineamientos propuestos en el mismo.

4.1. ESTADO DEL ARTE

Para la elaboración del estado de arte se siguió la metodología expuesta en el Capítulo 3, comenzando por la revisión bibliográfica de los estudios relacionados con cambio climático en Venezuela, donde se encontraron diversos estudios y artículos publicados, los cuales abarcan diferentes áreas de efectos del cambio climático sobre el país. Una vez culminada la fase de revisión, se procedió a delimitar los criterios de búsqueda para luego filtrar la información encontrada, seleccionando a aquellos estudios de cambio climático que tienen relación con el área de la agricultura en Venezuela, debido a que es esta el área de interés de esta investigación.

Ya recopilada la información de los trabajos de cambio climático en agricultura se procedió a la elaboración de la Tabla 4.1, la cual contiene la siguiente información para cada trabajo:

- Autor.
- Año.
- Título.
- Objetivos
- Resultados

Los resultados obtenidos en el diagnóstico del estado del arte permitieron determinar que los estudios realizados en Venezuela sobre el cambio climático en la agricultura están enfocados al igual que los otros países de la región hacia cómo dicho fenómeno afectará los rendimientos de los cultivos; así como a la formulación de lineamientos o medidas de adaptación a tomar para mitigar los efectos negativos. Estos estudios en su mayoría se basan modelos climáticos anteriores al quinto comunicado de la IPCC en el 2013.

Se notó una ausencia de trabajos en el área de la valoración económica de los impactos que tendrá este fenómeno sobre la agricultura.

Tabla 4.1. Estado del arte

Autor(es)	Año	Título	Objetivos	Resultados
<p>Puche M. Silva O. Warnock R, Garcia V.</p>	<p>2004</p>	<p>Evaluación del efecto del cambio climático sobre cultivos anuales en Venezuela</p>	<p>Evaluar el impacto del cambio climático (2020, 2041, 2060) predichos por los modelos UKTR y CCC-EQ en un escenario de cambio climático intermedio, sobre las respuestas de maíz, arroz y caraota simulada por el modelo DSSAT</p>	<p>En todas las combinaciones localidad – cultivo – modelo de cambio climático, se estiman reducciones en el rendimiento de los cultivos, incluso en aquellas donde se predice aumento en la precipitación. Los incrementos en la temperatura mínima parecen ser el factor principal en las reducciones de los rendimientos, obedeciendo al incremento de las pérdidas por respiración.</p>
<p>Ovalles, F. Cabrera, E. Cortéz, A. Rodríguez, M.F.; Rey, J.C.</p>	<p>2005</p>	<p>Formulación de lineamientos generales para un programa de adaptación a los posibles impactos de los cambios climáticos sobre el sector agrícola en Venezuela, considerando tres Escenarios (2015, 2040 y 2060) – Aproximación a los escenarios de adaptación al cambio climático del sector agrícola.</p>	<p>Formular lineamientos para los posibles impactos de cambio climático en el sector agrícola en Venezuela.</p>	<p>Este estudio tuvo como resultado medidas para la adaptación en diferentes periodo de tiempo: A corto plazo: Fortalecimiento de la organización social, pago por pasivos ambientales, ajuste del calendario agrícola entre otras medidas. A mediano plazo: Fortalecer el desarrollo cooperativo, consolidar la implementación de impuestos, desarrollar y distribuir híbridos y variedades de cultivos y razas de ganado, mejorar el rendimiento en el uso del agua. A largo plazo: Consolidar los sistemas agroforestales, consolidar sustitución de cultivos, evaluación de impactos residuales del cambio climático.</p>

Autor(es)	Año	Título	Objetivos	Resultados
Ovalles, Cortez, Rodríguez, Rey, Cabrera	2008	Variación geográfica en el impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela.	Evaluar el impacto del cambio climático sobre los cultivos, tomando en cuenta los periodos (actual, 2020, 2040, 2060) todo esto derivado de la información de Martelo	Los resultados de esta investigación determinan que el impacto del cambio no es igual en todos el país, ya que en algunas regiones los cambios en cuanto son poco significativos, pero en otras regiones se podría esperar hasta un 25% de reducción en la precipitación, y en cuanto a la temperatura los modelos apuntan a un aumento en un 3,5°C en la mayor parte del territorio nacional, en cuanto a los cultivos permanentes sufrirán un mayor grado de afectación, y se recomienda establecer la capacidad adaptativa de los sistemas de producción a objeto de determinar el grado de vulnerabilidad actual.
Martelo M.	2010	Estudio del impacto del cambio climático sobre la agricultura y la seguridad alimentaria en la República Bolivariana de Venezuela	Determinar los impactos y la vulnerabilidad de la agricultura en Venezuela antes los efectos del cambio climático.	(a) Mayor riesgo de sequías e incendios forestales; (b) El área bajo riesgo de desertificación crecería del 39% actual a un 47% en 2060; (c) Por el incremento en la intensidad de la lluvia, aumenta el riesgo de inundaciones repentinas y deslaves en zonas montañosas, y disminuirá su efectividad agrícola (menor infiltración); (e) Por el aumento de eventos ENOS en sus fases cálida (Niño) y fría (Niña), sus respectivos impactos (déficit de lluvia El Niño, excesos La Niña) serán a su vez más frecuentes e intensos; (f) La capacidad de recuperación estacional de los embalses disminuirá, aumentando los conflictos por uso del agua, y disminuirá la calidad del agua; (g) Café

Autor(es)	Año	Título	Objetivos	Resultados
				(Táchira), Caña (Yaracuy) y Musáceas (Zulia) pasarían a marginalmente aptos, y la producción de pollos y cerdos disminuirá.
Monasterio F, Francis P, Barreto T, Marín C, Mora O, Tablante J, Maturet W. y Mendoza C.	2011	Influencia del fenómeno el niño/ oscilación del sur sobre la precipitación y rendimiento del cultivo de maíz en el municipio, estado Yaracuy, Venezuela	Estudiar la influencia del Fenómeno El Niño/ Oscilación del Sur (ENOS) sobre la cantidad de distribución de la precipitación (pp) y el rendimiento del maíz.	Se registró una intensificación del ENOS que afectó la distribución y cantidad de pp del segundo y tercer trimestre en los ciclos de siembra, siendo en ambas fases de ENOS superior, respecto a los años sin evento. El rendimiento promedio de las fases fue: 5170; 4700 y 5620 kg ha-1 para El Niño, La Niña y sin evento, respectivamente. Concluyéndose que independientemente de la cantidad de agua precipitada y del ENOS que ocurra. Su distribución en el ciclo es la responsable del rendimiento, principalmente en las fases críticas donde el estrés por exceso o déficit de humedad afecta significativamente.
Romero A, Díaz E. y Colmenares C.	2014	Medidas de adaptación agrícola al cambio climático en la cuenca del río Pao, Carabobo, Venezuela	Establecer medidas de adaptación al cambio climático en el sector agrícola de las comunidades de Palmar de Paya, Palmarote y Pirapira, en la cuenca alta del río Pao	a) Gestión del agua, b) Conservación del suelo, c) Ajuste de las prácticas agrícolas, d) Aplicación de control biológico y e) Protección y uso sustentable de los ecosistemas. Se concluye que la aplicación de estas medidas incidirá en la sustentabilidad del sector y disminuirá las condiciones de riesgo y vulnerabilidad existentes. Se recomienda la evaluación del impacto de las medidas de adaptación agrícola en los componentes del sistema socioeconómico y ecológico, en especial la disponibilidad del recurso agua en las microcuencas.

Autor(es)	Año	Título	Objetivos	Resultados
Paredes Y.	2014	Distribución potencial de los principales cultivos agrícolas en escenarios de cambio climático en el estado Mérida	Estimar y modelar espacialmente la distribución potencial de cultivos agrícolas importantes y simular su distribución en escenarios (trayectorias) de cambio climático para el estado Mérida	<p>Según los modelos de distribución potencial de cultivos en estudio, el gradiente alto térmico es el factor determinante o condicionante en la distribución espacial.</p> <p>El uso del modelo predictor de regresiones gaussianas, los mapa bioclimáticos de Venezuela y sistemas de información geográfica permitieron la elaboración de las imágenes de distribución potencial para los principales cultivos, en donde los resultados fueron las áreas potenciales para el desarrollo de papa, zanahoria, café, cacao y plátano dentro del estado.</p> <p>En cualquiera de los cuatro escenarios de cambio climático propuestos, es probable que se registren aumentos de temperatura y disminución de la precipitación, que para la región en estudios puede ir de desde 1.5°C y -5% de precipitación hasta 6°C y -28% en precipitación, estos probables cambios traerían consigo reducción del área potencial actual para principales cultivos en el estado.</p>

Fuente: Elaboración propia.

4.2. SELECCIÓN DE MODELO AGROMETEOROLÓGICO

Para la selección de modelo agrometeorológico a usar que permita el desarrollo y cálculos necesarios de esta investigación, se hizo la revisión bibliográfica de los modelos agrometeorológicos disponibles en la literatura, lográndose el inventario de los modelos y sus características generales. En la Tabla 4.2 se pueden observar las mismas.

Tabla 4.2. Características principales de los modelos agroclimáticos

Modelo	Características principales
DNDC	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado por el Instituto de la Tierra, los Océanos y el Espacio de la Universidad de New Hampshire- Estados Unidos. • Se basa en los procesos de la bioquímica de carbono y nitrógeno en diversos agro-ecosistemas. • Puede predecir el crecimiento del cultivo, la temperatura del suelo y regímenes de la humedad. • Requiere datos de entrada adecuados y precisos. • Requiere calibrarse a diferentes cultivos. • Requiere información química detallada. • La calibración requiere una amplia data de campo, laboratorio y granjas experimentales.
DSSAT	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo predictivo, diseñado para simular el crecimiento del maíz, la dinámica del nitrógeno en el suelo, el comportamiento del agua y temperatura. • Los modelos de cultivos requieren datos meteorológicos diarios. • Cuenta con los siguientes módulos: clima, suelo, plantas, interfaz de suelo-planta, atmósfera y componentes de manejo. • Útil para el balance de nutrientes. • Se debe calibrar y modelar para cada cultivo en particular en cada país, lo que implica observaciones en granjas experimentales.
APSIM	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo por unidad de investigación de sistemas de producción agrícolas en Australia. • Fue desarrollado para simular procesos biofísicos en sistemas campesinos. • Es un modelo de sistemas agrícolas que simula los efectos de las variables ambientales y las decisiones de gestión sobre la producción agrícola, los beneficios y variables ambientales. • Requiere de un sistema de licencia. • Requiere una entrada continua de datos climáticos, edáficos y agronómicos.
CROPWAT	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado por la División de Tierras y Aguas de la FAO • Realiza cálculos de rendimiento, requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos. • Calcula la ETo mediante la ecuación de la FAO Penman-Monteith.

Modelo	Características principales
	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilidad para permitir el uso de base de datos CLIMWAT. • Modelo bastante amigable y de fácil uso. • Permite calcular la disponibilidad hídrica para la toma de decisiones. • No permite incluir variables como gases de efecto invernadero para proyectar rendimientos en escenarios de cambio climático.
CROPSYST	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo que simula el crecimiento, multi-cultivo, multi- anual. • Fue desarrollado con énfasis en interfaz fácil de usar y enlace con software SIG. • Simula el balance hídrico del suelo, nitrógeno suelo-planta, fenología del cultivo, producción de biomasa, rendimientos de los cultivos. • Está compuesto de cuatro módulos: lugar, suelo, cultivo y manejo. • Aún está en desarrollo el enlace de modelos de análisis económico y riego.
WOFOST	<ul style="list-style-type: none"> • Herramienta para el análisis cuantitativo del crecimiento y producción de cultivos anuales. • El crecimiento del cultivo es simulado en base a los procesos eco-fisiológicos. • La producción es calculada estadísticamente con base a las características de del suelo y disponibilidad hídrica. • Es un modelo dinámico y explicativo. • Necesita una selección cuidadosa de los datos • No se debe simular el crecimiento del cultivo sin experimentación para obtener los parámetros específicos y calibrar los resultados del modelo.
AQUACROP	<ul style="list-style-type: none"> • Es un modelo descriptivo que simula la biomasa y el rendimiento potencial cosechable de un cultivo en respuesta a la disponibilidad de agua. • Calcula rendimiento de cultivos herbáceos, vegetales, frutas, aceites, raíces y tubérculos. • Desarrollado por la División de Tierra y Agua de la FAO. • Es una herramienta de planificación o asistencia a la toma de decisiones área la agricultura de riego o lluvia. • Facilita los análisis del rendimiento del cultivo con base en las condiciones hídricas en determinados periodos, secano o lluvia estimada futura. • Sirve para predecir el impacto del cambio climático sobre la producción de un cultivo.
SIMPROC	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado por el centro AGRIMED de la Universidad de Chile. • Simula el crecimiento y producción de los cultivos. • Las variables de entrada son climáticas, eco-fisiológicas, días-grado para el desarrollo y maduración, sensibilidad a heladas y al déficit hídrico, eficiencia fotosintética, tasa de respiración.

Modelo	Características principales
	<ul style="list-style-type: none"> • Realiza las simulaciones de forma iterativa. • Se puede correr en sistemas operativos de 32 Bit. En 64 Bit requiere de un emulador, existe una versión en Visual Basic que está siendo ajustado para climas tropicales con estaciones no tan definidas. • Requiere permiso de uso.
AMBER	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado por servicio meteorológico Alemán (DWD por sus siglas en ingles). • Herramienta para apoyar el pronóstico agrometeorológico. • Proporciona información sobre el estado y evolución del desarrollo de enfermedades causadas por hongos y plagas de insectos. • Es compatible con la planificación del trabajo de campo. • Simula procesos y biológicos del suelo. • Elaborado para sistemas agrícolas de latitudes altas. • Requerimiento de una gran cantidad de datos actualizados
BEKLIMA	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado con fines agrometeorológicos en el centro de investigación de Braunschweig. • Calcula valores del estado del clima, temperatura del suelo con respecto a la humectación de hoja. • Puede calcular a partir de la profundidad de la nieve el agua de infiltración y cubierta de nieve. • Integra el balance de radiación y el balance hídrico. • Calculo de la temperatura del suelo y el contenido del agua. • Elaborado para sistemas agrícolas de latitudes altas. • Requerimiento de una gran cantidad de datos actualizados
AGROMET 2.9.0.3	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo desarrollado por Crespo G. en México. • Permite cálculo de: Rendimiento potenciales de cultivos, cálculo de constantes solares, cálculo de calendario de riego. • Versátil en cuanto al manejo de datos climáticos de cultivos. • Interfaz usuario-programa fácil y entendible. • Presenta rutinas de protección para evitar el ingreso de datos fuera de rango. • Requiere permiso de uso.

Fuente: Elaboración propia

Luego de analizar y revisar las características principales encontradas en la literatura de los modelos agrometeorológicos, se procedió a la preselección de los modelos, para la cual se determinó que para pasar a la fase de preselección debían cumplir con todos los criterios definidos en el Capítulo 3 (accesibilidad a los programas, data necesaria, uso en estudios similares en países de la región, cálculos de rendimientos, robustez del modelo). Con ello se generó la Tabla 4.3, que permitió comparar cada modelo con los criterios.

Los modelos preseleccionados son AQUACROP y CROPWAT, los cuales presentan características similares en cuanto a los datos requeridos, cálculos realizados, robustez del modelo y su fácil acceso, debido a que son software desarrollados por la División de Tierras y Aguas de la FAO. Seguido a esto se efectuó una comparación de las características principales de ambos modelos (ver Tabla 4.4).

Luego de analizadas las características principales de ambos modelos se realizó un segundo filtro de selección entre ambos, tomando en cuenta un segundo grupo de criterios, con la finalidad de seleccionar el modelo más adecuado. (Ver Tabla 4.5).

Finalmente, luego del último proceso de selección y tomando en cuenta las características principales, cálculos que son capaces de realizar y la relación que tienen los modelos con el cambio climático, se decantó por el uso del modelo agrometeorológico AQUACROP, debido a que se acopla más a la necesidad de esta investigación y cumple con los criterios de selección previamente establecidos.

Tabla 4.3. Preselección de modelos

Modelos	Criterios de Selección				
	Accesibilidad	Data	Uso en la Región	Cálculos de rendimientos	Robustez
DNDC				x	x
DSSAT	x		x	x	x
APSIM				x	x
CROPWAT	x	x	x	x	x
CROPSYST				x	x
WOFOST				x	x
AQUACROP	x	x	x	x	x
ETO CALCULATOR	x	x	x		x
SIMPROC		x	x	x	x
AMBER				x	x
BEKLIMA				x	x
AGROMET 2,9,0,3		x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4. Comparación AQUACROP vs CROPWAT

AQUACROP	CROPWAT
Para el calculo de rendimiento se basa en las Ecuaciones calculo de biomasa y calculo de rendimiento (ver Figura 2.7 y 2.8), desarrolladas por la FAO.	Para el cálculo de rendimiento se basa en la ecuación de relación de producción y eso de agua (ver Figura 2.4), desarrollada por la FAO.
Calcula la Eto según el método de la FAO Penman-Monteith, mediante el complemento ETO CALCULATOR	Calcula la Eto según el método de la FAO Penman-Monteith.
Diferencia el consumo no productivo E (evaporación del suelo) del consumo productivo TR (traspiración) para el cálculo de la biomasa	No lo hace, engloba los dos cálculos de la evapotranspiración ($ETx = Kc * ETo$)
Escala de tiempo para calculo diaria, Mensual o anual	Escala de tiempo para calculo diaria, Mensual o anual
El modelo permite realizar la evaluación de las respuestas en diferentes escenarios derivados del cambio climático, en términos de los regímenes irregulares de agua y temperatura y la alta concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.	No permite incluir otros parámetros como gases de efecto invernadero para proyectar rendimientos en escenarios de cambio climático.
Toma en cuenta el desarrollo del Dosel	No lo toma en cuenta
Permite predecir el impacto del cambio climático en la producción de un cultivo	No lo permite.

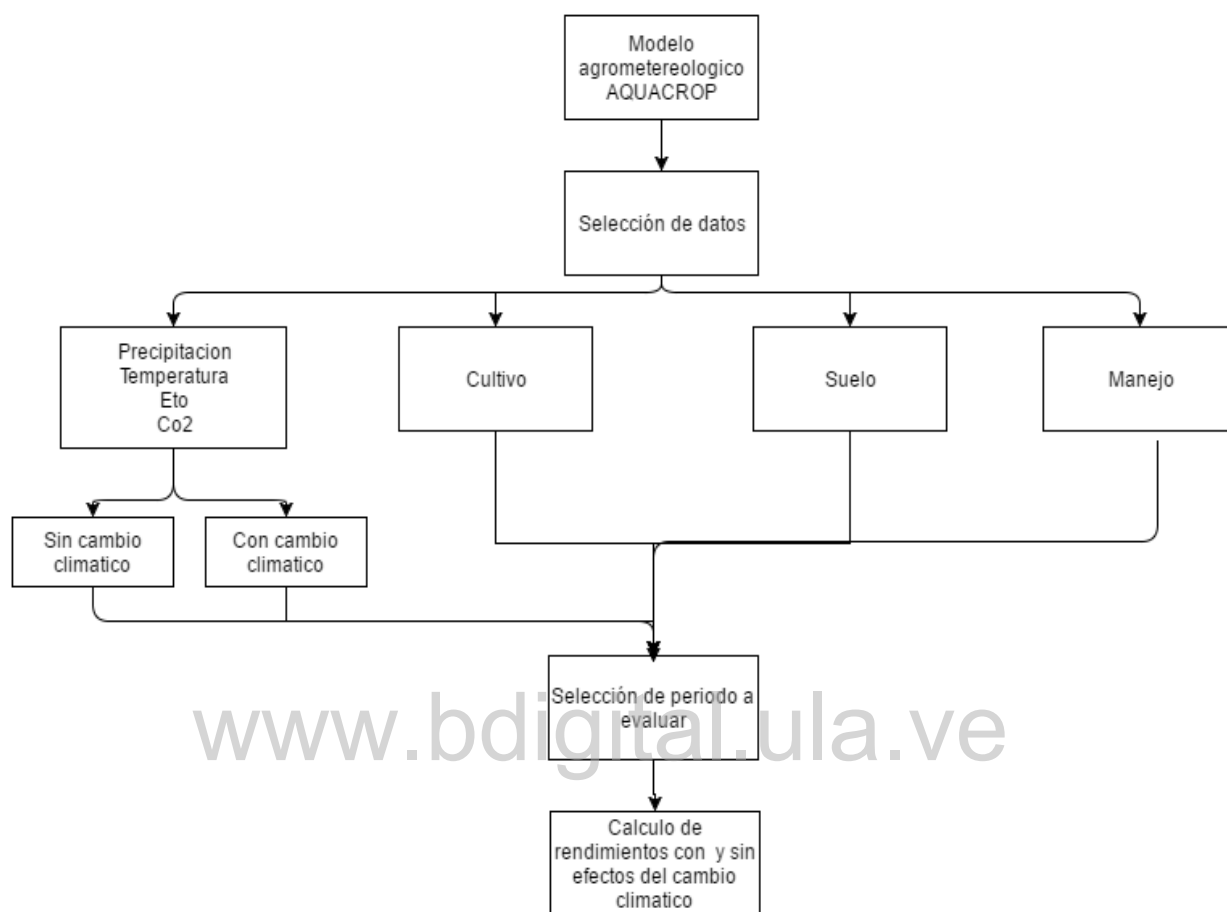
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5. Selección de modelo agroclimático

Modelos	Criterios de Selección				
	Características	Funciones	Versatilidad	Cálculos	Cambio climático
AQUACROP	x	x	x	x	x
CROPWAT	x		x	x	

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.1 se presenta un esquema de los pasos a seguir en AQUACROP para la determinación de los rendimientos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1. Esquema de cálculo de rendimientos con Aquacrop

4.3. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE VALORACIÓN ECONÓMICA

En el Capítulo 2 se mencionaron y definieron los diferentes métodos para hacer la valoración económica, en los mismos se destacan los impactos ambientales a los cuales se aplica cada uno.

Resultando seleccionado el método de cambio de productividad, ya que es el que toma en cuenta en sus cálculos los rendimientos sin afectación del cambio climático, y con efectos de cambio climático, lo que permite una comparación en la diferencia de rendimientos, así como el análisis en un tiempo determinado, permitiendo calcular el costo por hectárea del impacto.

En la Figura 4.2 se presenta un esquema de los pasos a seguir para hacer el cálculo de la valoración económica por cambio de productividad.



Fuente: Elaboración propia

www.bdigital.ula.ve
Figura 4.2. Esquema valoración económica

4.4. FORMULACIÓN DE LINEAMIENTOS

Una vez cumplido con todos los procesos previos se concretaron los lineamientos que deben seguirse para efectuar la valoración económica del impacto ambiental del cambio climático en los rendimientos, producto de la actividad agrícola. A continuación se mencionan y en la Figura 4.3 se presentan en forma de Flujograma.

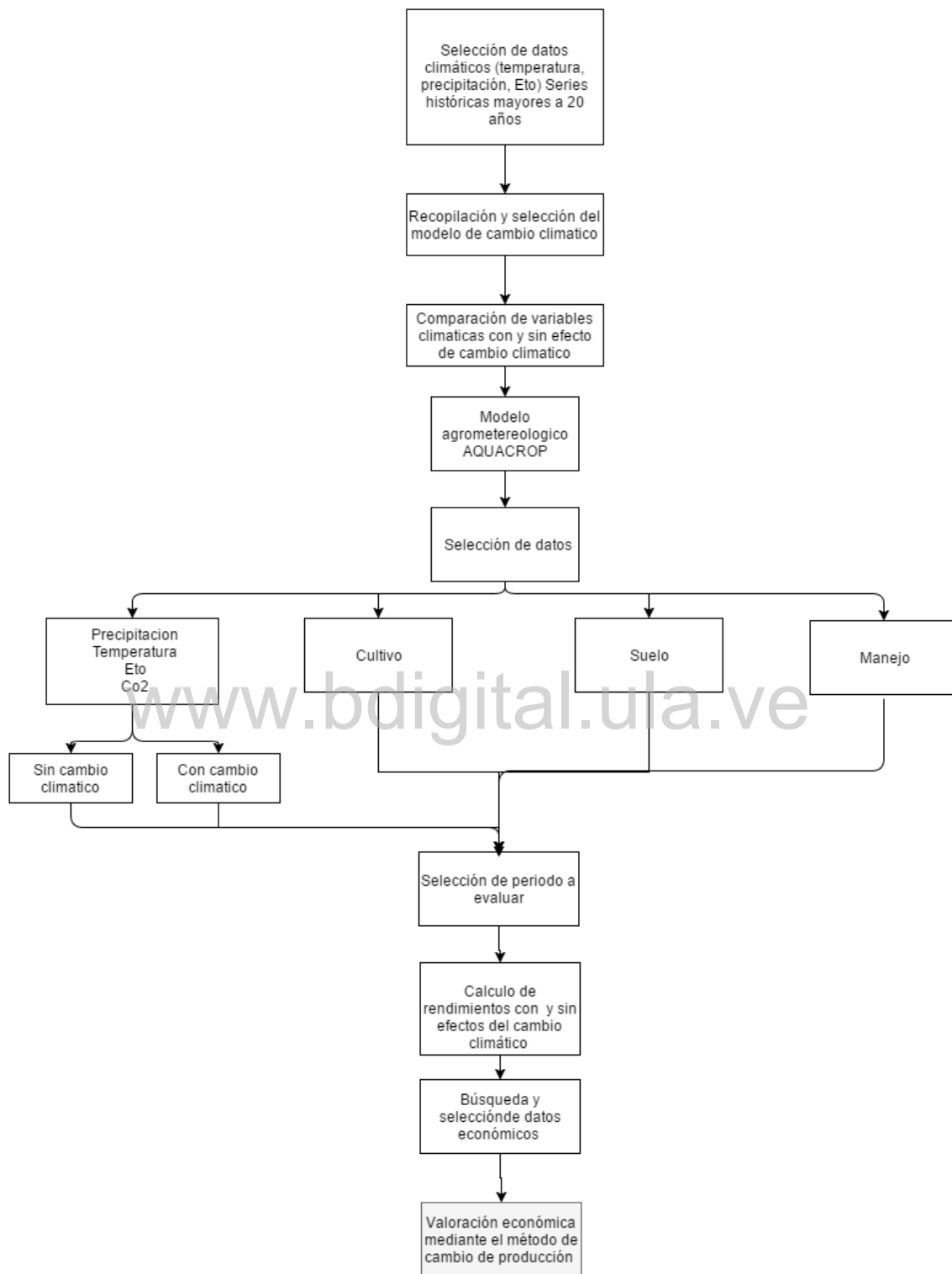
- Selección de datos climáticos históricos disponibles (temperatura, precipitación, Eto).
- Recopilación y selección de modelo de cambio climático más factible.
- Comparación de las variables climáticas con y sin efectos del cambio climático.
- Calculo de los rendimientos en los escenarios con cambio climático y sin cambio climático en AQUACROP.
- Recopilación y selección de datos de cultivo:
 - Cobertura del dosel promedio (CCo).
 - Densidad de platas estimadas.
 - Días de ciclo de crecimiento.
 - Profundidad de raíces.
 - Índice de cosecha de referencia (HIo).

- Parámetro de productividad del agua (WP).
- Recopilación y selección de datos de suelo:
 - Número y espesor de los horizontes.
 - Punto de marchitez permanente (Pwp).
 - Capacidad de campo (Fc).
 - Saturación (Sat).
 - Conductividad hidráulica saturada (Ksat).
 - Nivel freático.
- Recopilación y selección de datos de manejo:
 - Nivel de fertilidad del suelo.
 - Riego existente.
 - Prácticas para eliminar la eliminación de la escorrentía.
 - Cobertura de mulches.
- Definir periodo a evaluar.
- Búsqueda de datos económicos (valor neto del cultivo por hectárea por periodo).
- Valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura mediante el método de cambio de productividad.

4.5. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA

Siguiendo los lineamientos anteriormente propuestos, en la primera fase, se debe seleccionar el área de estudio, en este caso se seleccionó la Provincia de Santa Elena, ubicada en Ecuador, ya que en la misma se desarrolla un proyecto de cálculo de requerimientos hídricos vinculados al cambio climático.

Los datos climáticos corresponden a la estación meteorológica Salinas ubicada dentro de la zona de estudio en la Provincia de Santa Elena, estos datos son: precipitación, temperatura máxima y mínima; mediante el programa ETo Calculator se determinaron los valores de evapotranspiración (ETo) según el método de la FAO Penman-Monteith (ver Tabla 4.6). Para el caso de la concentración de CO₂ sin cambio climático se utilizó el promedio que trae el programa por defecto, desde el año **1902 al 2099**.



Fuente: Elaboración propia
Figura 4.3. Lineamientos para la valoración económica

Tabla 4.6. Datos sin efecto del cambio climático

MES	Sin efectos de cambio climático (1962-1982)				
	PP	ETo	Tmax °C	Tprom °C	Tmin °C
Enero	41	3,4	27,4	25,3	23,1
Febrero	32	3,6	28,4	26,1	23,8
Marzo	55	3,8	28,7	26,05	23,4
Abril	16	3,7	27,7	25,1	22,5
Mayo	1	3,2	26,1	24,1	22,1
Junio	1	2,7	24,4	22,65	20,9
Julio	0	2,6	22,9	21,3	19,7
Agosto	0	2,6	22,8	21,1	19,4
Septiembre	0	2,9	23	21,15	19,3
Octubre	2	2,6	23,2	21,55	19,9
Noviembre	0	2,8	23,9	22,3	20,7
Diciembre	1	2,9	25,5	23,55	21,6

Fuente: Elaboración propia.

Una vez recolectada la información climática mínima necesaria, se procedió a la búsqueda del modelo climático disponible y usado durante el proyecto en la Provincia de Santa Elena, que corresponde a los modelos CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), los cuales son utilizados en el IPCC-AR5 del 2013, dentro de estos modelos se seleccionó el modelo **MPI-ESM-LR**, debido a que presenta un menor grado de incertidumbre comparado con los otros modelos existentes para esta región. El escenario de emisión de gases de efecto invernadero fue considerado el **RCP 8.5**.

Los modelos de cambio climático aportan los datos de temperatura y precipitación a futuro. Para el estudio el modelo de cambio climático tiene los posibles datos para el año base **2030**, con estos datos de precipitación y temperatura se calcularon los valores de evapotranspiración mediante el ETo Calculator. Ver los cálculos en la Tabla 4.7.

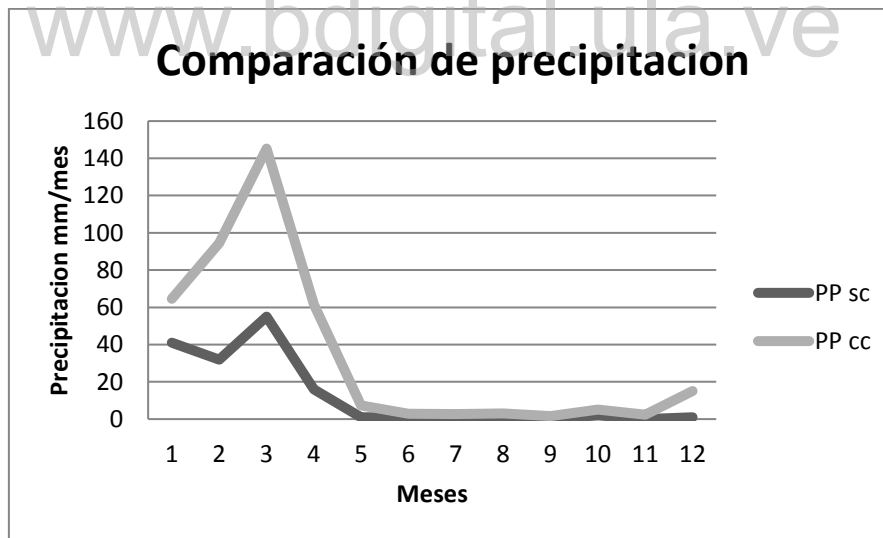
Una vez obtenidos los datos climáticos, sin y con efectos del cambio climático, se compararon los datos de precipitación, temperatura promedio y evapotranspiración con la finalidad de visualizar las posibles variaciones que ocurrirán en estos apartados, ya que son de gran importancia al momento de los rendimientos de los cultivos.

En el caso de la precipitación (Figura 4.4) se puede observar que según el modelo de cambio climático, la precipitación esperada tiene la misma tendencia registrada por los datos históricos en la zona, donde los cuatro primeros meses son los que presentan la mayor cantidad de precipitación en el año, los restantes meses son de precipitaciones escasas. Es de notar que la precipitación esperada aumenta en todos los meses de año en comparación con los datos históricos, observándose un gran aumento en los primeros 4 meses del año, en donde la diferencia oscila de 23 a 90 mm/mes, alcanzando el punto más alto el mes de marzo.

Tabla 4.7. Datos con efecto de cambio climático

MES	Con efectos de cambio climático (año 2030)				
	PP cc	ETo cc	Tmax °C	Tprom °C	Tmin °C
Enero	64,6	4,8	30,80	26.74	22,64
Febrero	94,5	4,9	31,10	27.07	22,99
Marzo	145,2	5,2	31,62	27.29	22,89
Abril	61,5	5,1	31,46	27.02	22,54
Mayo	7,4	4,5	30,13	25.88	21,58
Junio	2,9	4,1	28,84	24.78	20,68
Julio	2,7	4,2	28,26	24.06	19,81
Agosto	3,1	4,4	28,34	24.05	19,69
Septiembre	1,6	4,9	29,09	24.56	19,98
Octubre	5,1	4,9	29,29	24.93	20,50
Noviembre	2,4	4,8	29,48	25.17	20,82
Diciembre	15,1	4,9	30,35	26.04	21,68

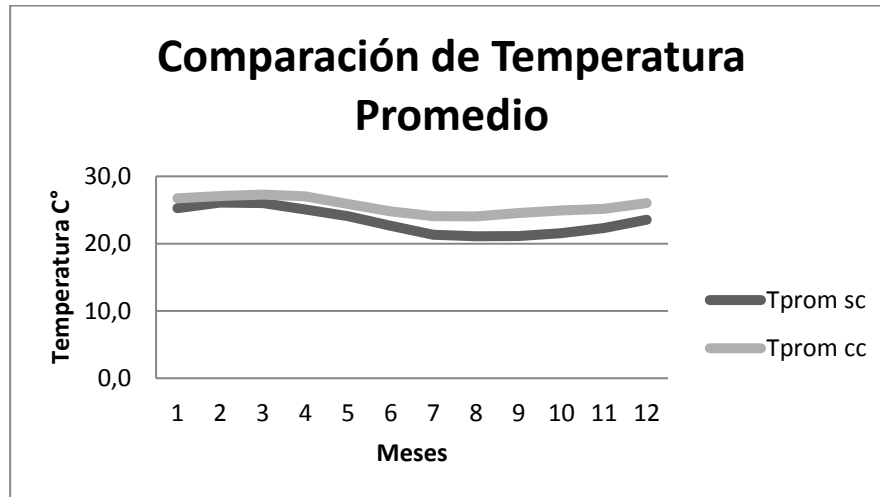
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración Propia

Figura 4.4. Comparación de precipitación

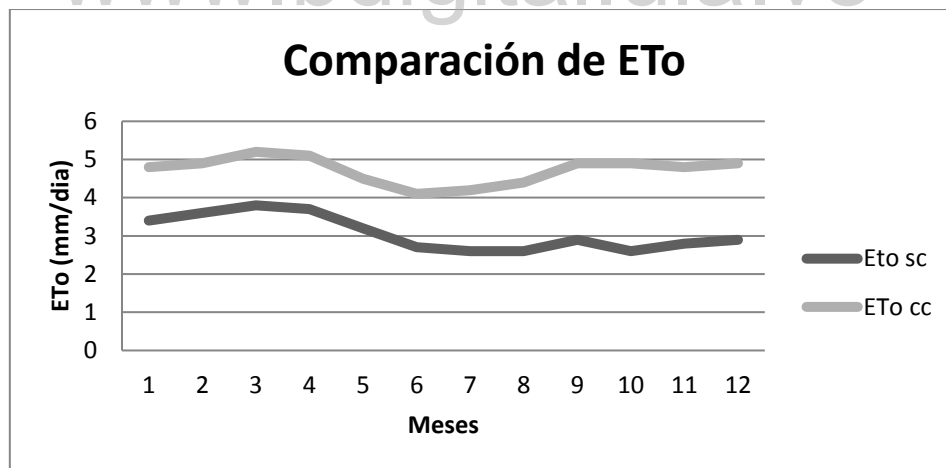
Para los datos de temperaturas, se realizó la comparación con la temperatura promedio de los datos históricos, con respecto a los arrojados por el modelo de cambio climático, donde se observa una tendencia de aumento en todos los meses del año, observándose unos rangos de variación de temperatura de 0,97 a 3,38 °C, donde los mayores aumentos se dan en los últimos cuatro (4) meses del año. Ver Figura 4.5.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5. Comparación de temperatura promedio

Finalmente, se compararon los datos calculados de evapotranspiración (ETo), tanto para los datos históricos como para aquellos obtenidos mediante los valores arrojados por el modelo de cambio climático; notándose un aumento que varía de 1 a 2 mm/día, el mayor aumento se observa en los últimos meses del año al igual que la temperatura. Ver Figura 4.6.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6. Comparación de ETo

Una vez detallados los datos climáticos a usar para el cálculo de rendimiento, se procedió a definir los datos de los demás módulos (suelo, manejo y cultivo); para ello se utilizó la base de datos traída por el AQUACROP, la cual contiene una variedad de datos para cada uno de estos módulos, seleccionando los datos mostrados en la Tabla 4.8:

Tabla 4.8. Datos seleccionados para el AQUACROP

Módulo	Datos	Características
Cultivo	<ul style="list-style-type: none"> • Maize.CRO • Default Maize 	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura inicial de CCo 1,20 %, una densidad de plantas estimada de 18,5 plantas/ m². • 125 días de ciclo de crecimiento. • Dosel máximo de cobertura de 80 % • Profundidad de raíces de 1 m. • Índice de cosecha, HIO = 50 %. • Parámetro de productividad del agua, WP: 17 g/m².
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Sandyclayloam.Sol. • Deep uniform sandy clay loam profile. • Groundwater absent 	<ul style="list-style-type: none"> • Numero de horizontes : 1. • Espesor : 4 m • Pwp : 27 mm/m • Fc : 39 mm/m • Sat: 50 mm/m • TAW: 120 mm/m • Ksat : 35 mm/día • Tau. 0.30. • Agua subterránea ausente.
Manejo	<ul style="list-style-type: none"> • Rainfed cropping (no irrigation in season) . • Moderatesf.Man 	<ul style="list-style-type: none"> • Sin riego. solo agua de lluvia. • Fertilidad del suelo moderada. • Sin cobertura de mulches. • Superficie no afectada por la escorrentía.

Fuente: Elaboración Propia.

Para el cálculo de rendimiento, se definieron tres (3) periodos de cultivo con la finalidad de abarcar todo un año, con el objetivo de observar con mayor detalle la variación de rendimiento producto de la variación climática. Estos periodos son definidos de acuerdo al tiempo que tarda cada cultivo desde la siembra hasta la cosecha. Para poder obtener los resultados se asumió que al día siguiente de la cosecha comienza el siguiente ciclo de siembra. Los periodos calculados se muestran en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Periodos para cálculo de rendimiento

N° de periodo	Fecha
1	01 de enero – 12 de mayo
2	13 de mayo – 21 de septiembre
3	22 de septiembre – 31 de diciembre

Fuente: Elaboración propia.

Definidos los periodos, se procedió al cálculo de los rendimientos mediante el uso del AQUACROP (Anexo digital). Los resultados se muestran en la Tabla 4.10.

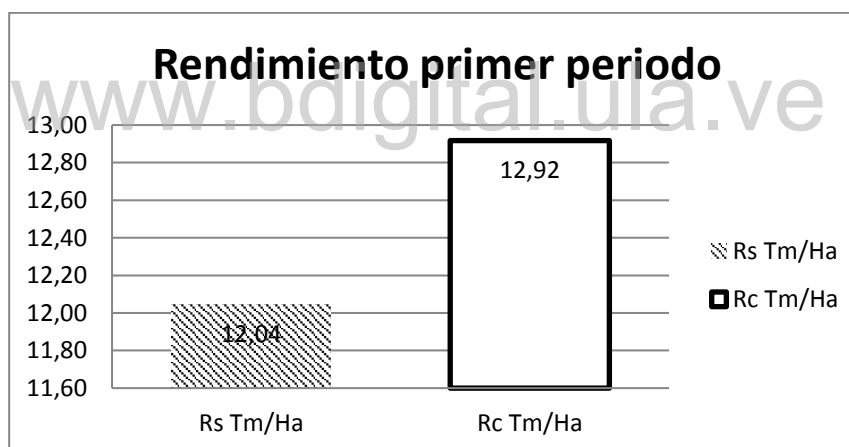
Tabla 4.10. Rendimientos calculados con y sin cambio climático

Periodo	Escenario	Biomasa(Tm/ha)	HI (%)	Rendimiento (Tm/ha)
1	Sin cambio climático	24,988	48,2	12,04
	Con cambio climático	26,744	48,3	12,92
2	Sin cambio climático	27,844	48,1	13,39
	Con cambio climático	14,604	19,0	2,77
3	Sin cambio climático	26,940	48,2	12,99
	Con cambio climático	11,456	10,0	1,15

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar existe una variación en los rendimientos calculados para los dos escenarios en estudio. (Ver figuras 4.7 a 4.9).

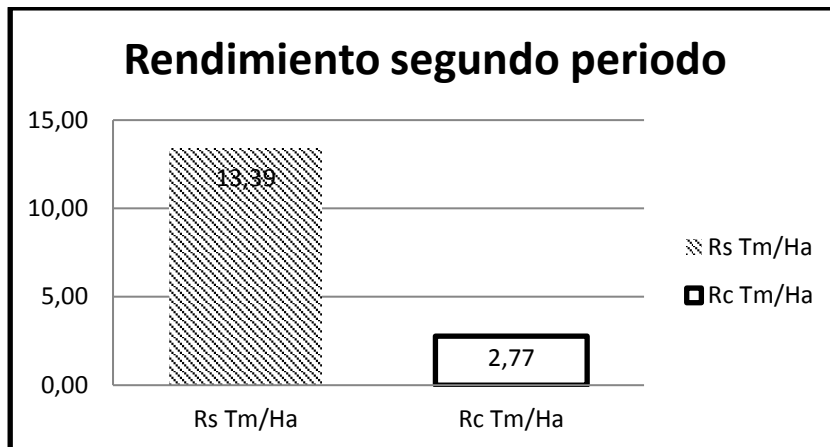
- **Primer periodo:** para este lapso de tiempo se observó que para el escenario de cambio climático el rendimiento es mayor que para el rendimiento sin cambio climático; aumentando el rendimiento en un 7%. Esto posiblemente se deba a que en este periodo de tiempo existe un importante incremento de la precipitación en el escenario de cambio climático.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.7. Rendimiento primer periodo

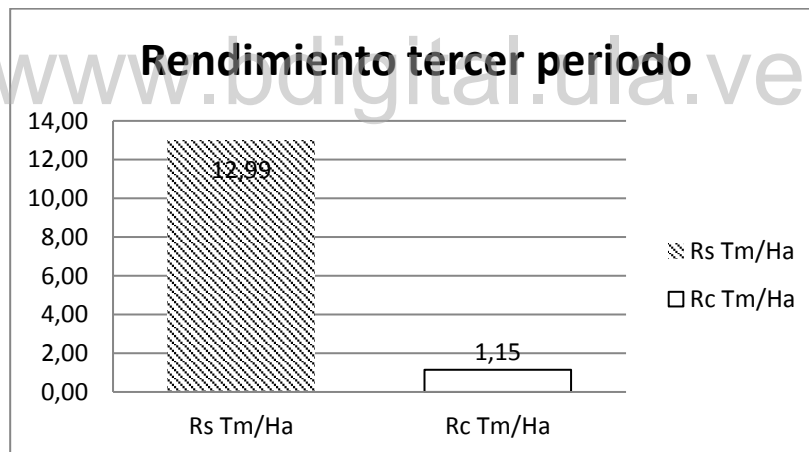
- **Segundo periodo:** En este lapso de tiempo se observa una importante disminución en el rendimiento en el escenario de cambio climático, con respecto al primer periodo, y a su vez con respecto al rendimiento del escenario sin efectos de cambio climático, disminuyendo en un 80% el rendimiento. Esto posiblemente se deba al descenso en las precipitaciones y los aumentos de temperatura y ETo, que afectan directamente a los rendimientos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.8. Rendimiento segundo periodo

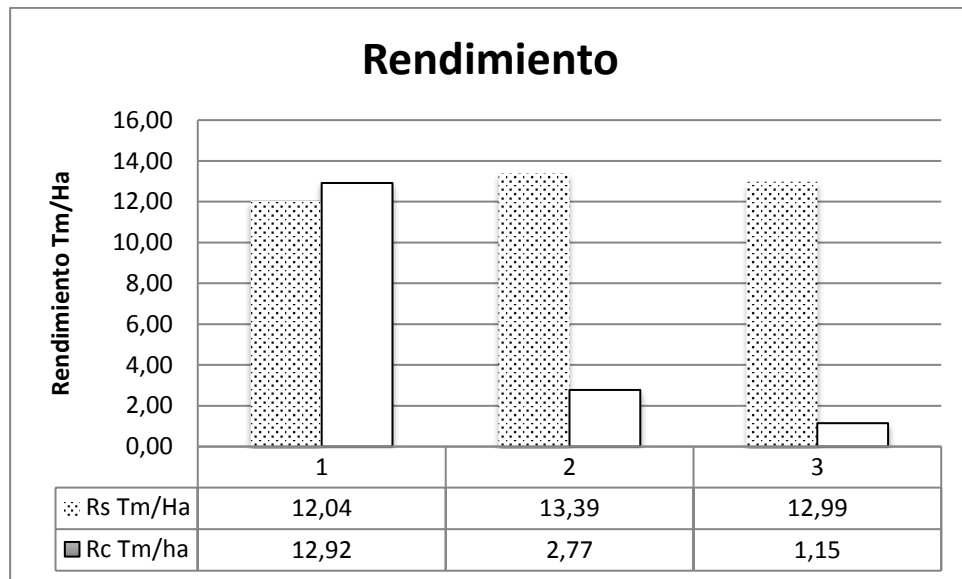
- **Tercer periodo:** Este último periodo mantiene la misma tendencia del segundo, en donde el rendimiento del escenario de cambio climático disminuye notablemente. El rendimiento del tercer periodo del escenario con efectos del cambio climático se reduce en un 92 % comparado con el obtenido en el escenario sin cambio climático.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.9. Rendimiento tercer período

Observando el comportamiento obtenido durante los tres periodos (Figura 4.10), no solo se evidencia la variabilidad en el rendimiento del cultivo durante el escenario de cambio climático, sino también del índice de cosecha (HI).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.10. Comparación de rendimientos por período.

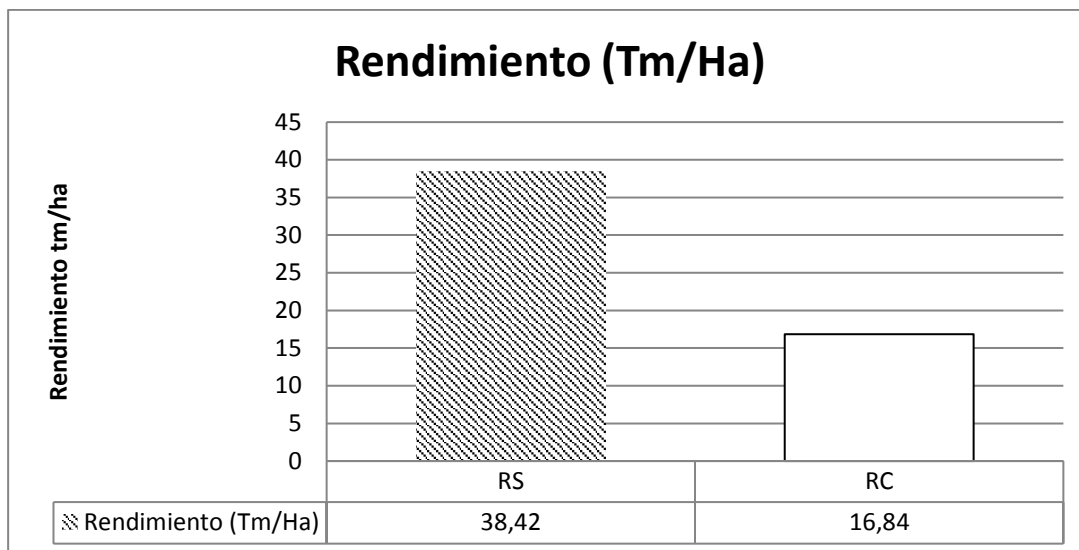
Analizando de manera general los tres (03) periodos y totalizando la producción del año, se puede observar una gran variación en los rendimientos esperados para los dos escenarios de cambio climático, y a pesar de que para el inicio del año existe un mayor rendimiento para el escenario de cambio climático, en los siguientes dos periodos los rendimientos se ven afectados de manera importante por los efectos del cambio climático. Ver Tabla y Figura 4.11, respectivamente.

Una vez calculados los rendimientos para los diferentes escenarios, se procedió a realizar la valoración económica mediante el método por cambio de productividad. El año u horizonte de evaluación, en este caso el año 2030, mediante la ecuación mostrada en la figura 2.11, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para calcular el valor del impacto ambiental en los periodos de tiempos establecidos.

Tabla 4.11. Rendimientos anuales

Escenario	Rendimiento (Tm/ha) anual
Sin cambio climático	38,42
Con cambio climático	16,84

Fuente: Elaboración propia.



Elaboración: Fuente propia.

Figura 4.11. Comparación de rendimientos anuales

Los datos financieros fueron obtenidos de América Económica (2014), de dónde se obtuvo el valor bruto y el costo de la inversión para el maíz, para así calcular el valor neto. (Tabla 4.12).

Tabla 4.12. Datos financieros

Datos financieros	\$/Ha
Valor bruto	1900
Capital invertido	1050
Valor neto (valor bruto- capital invertido)	850

Fuente: Elaboración propia.

Al calcular el valor aproximado del posible impacto o valoración económica sobre el rendimiento, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Valoración económica por periodos

Periodo	Rendimiento (Tm/ha)	Valor neto (\$/Tm)	Costo por hectárea (c) (\$/Ha)
1	Rs = 12,04	850	-748,00
	Rc = 12,92		
2	Rs = 13,39	850	9.027,00
	Rc = 2,77		
3	Rs = 12,99	850	10.064,00
	Rc = 1,15		

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa la valoración económica del impacto sobre el cambio de producción para el primer periodo es negativo, debido a que el rendimiento con cambio climático es mayor al rendimiento sin los efectos del cambio climático.

Para el segundo y tercer periodo la diferencia entre los rendimientos calculados es notable, ya que el rendimiento con efectos del cambio climático disminuyo de manera considerable con respecto a los rendimientos sin cambio climático, lo que se ve reflejado en el aumento del valor del impacto ambiental sobre la producción o rendimiento del cultivo, obteniéndose un valor total de \$9.027 y \$10.064 por hectárea cultivada, para el segundo y tercer periodo, respectivamente.

Tomando en cuenta el rendimiento total anual de cada uno de los escenarios calculados, con la finalidad de realizar una valoración del impacto de manera anual sobre el rendimiento del cultivo, se sumaron los rendimientos en los dos escenarios y se realizó el cálculo anual del impacto para el periodo de un (01) año. (Tabla 4.14).

Tabla 4.14. Valoración económica anual

Periodo	Rendimiento (Tm/Ha)	Valor neto (\$/Tm)	Costo por Hectárea (c) (\$/Ha)
1 año	Rs = 38,42	\$ 850	\$ 18.343
	Rc = 16,84		

Fuente propia: Elaboración propia.

El valor anual del impacto sobre los rendimientos del cambio climático tendrá un monto de \$18343 por hectárea.

El modelo de cambio climático utilizado es del año 2030, lo que significa que engloba los posibles cambios que ocurran en un lapso de tiempo del 2015 – 2045, siendo el año 2030 el punto medio de este lapso de tiempo, teniendo en cuenta que la pérdida anual, debido al cambio climático, será de \$18343, se calcula el valor actual del costo (VNA) para este periodo de 30 años, lo que representa el valor del impacto de este periodo traído al presente, mediante las formulas financieras de software Excel. Los datos para el cálculo del VNA se muestran en la Tabla 4.15.

Tabla 4.15. Datos para cálculo del VNA

Datos	Valor
Tasa de descuento (i) en %	12
Periodo en años	1-30
Valor del impacto anual en \$	18343

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el cálculo se obtiene un VNA de \$ 147.756,24, este valor representa el total de gasto o pérdida que se tendrá por razón de los efectos del cambio climático sobre los rendimientos en la agricultura para un periodo de 30 años, sino se toman las medidas necesarias para mitigar este impacto.

Comparando el valor anual obtenido del costo que tendrá el impacto sobre los rendimientos, con el posible valor neto de la producción anual (Tabla 4.16), se puede notar la importancia que tendrá este impacto sobre los rendimientos agrícolas y sobre la economía de los productores, ya que el impacto representa un 56% del valor neto de la producción anual del maíz para la zona.

Tabla 4.16. Comparación valor neto y costo de impacto anual

Valor neto anual potencial (\$)	Costo por hectárea del impacto ambiental (\$)	Porcentaje (%)
32658,92	18343	56

Fuente: Elaboración propia.

Este valor de 56% es de suma importancia, ya que representa una pérdida significativa del valor neto anual potencial. Estos valores obtenidos durante la valoración económica son datos que deberán ser tomados en cuenta al momento de la toma de decisiones a futuro, para el desarrollo de políticas, planes o programas, enfocados a la mitigación y adaptación de los efectos del cambio climático sobre la agricultura.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se determinó ausencia de estudios en el área de la valoración económica de los efectos del cambio climático sobre la agricultura en Venezuela. De igual forma los estudios presentados en el estado del arte en su mayoría se basan en modelos anteriores a los últimos publicados por el IPCC en el año 2013, lo que aumenta su incertidumbre.

El modelo agrometeorológico AQUACROP permite la introducción de la variable cambio climático para el cálculo de rendimientos, la cual es de gran utilidad para determinar la respuesta de los cultivos ante diversos escenarios.

El método de cambio de productividad permitió efectuar la valoración económica del impacto del cambio climático sobre los el rendimiento del cultivo, y calcular un estimado del costo que tendrá la modificación de la producción tanto positiva como negativamente.

La formulación de lineamientos que permiten realizar la valoración económica del efecto o impacto del cambio climático sobre los rendimientos en la agricultura, es una herramienta de gran utilidad para tener un estimado de valor de este impacto, y que este valor permita la toma de decisiones oportunas al momento de la elaboración de políticas y planes con miras a mitigar y adaptarse en el futuro al posible cambio climático.

Los rendimientos calculados mediante del modelo agroclimático AQUACROP permitieron realizar una comparación y observación del comportamiento del cultivo ante posibles escenarios climáticos, donde se observaron dos comportamientos bien marcados; en el escenario de cambio climático, un aumento del rendimiento del cultivo en el periodo de enero – mayo, y una importante disminución en los dos periodos siguientes: de mayo a diciembre, coincidiendo con el comportamiento climático del modelo usado.

Los rendimientos y los valores obtenidos durante la valoración económica son resultados de los datos específicos utilizados durante este trabajo, pudiéndose obtener variaciones al usar otro tipo de modelo climático, o datos diferentes de cultivos, suelo y manejo.

El porcentaje total de pérdida anual esperado por concepto de cambio de rendimiento es de 56% del valor neto de ingresos esperado por los agricultores, para el caso hipotético de estudio.

5.2. RECOMENDACIONES

Usar los últimos modelos publicados, ya que estos reducen un poco las incertidumbres al momento de las predicciones.

Se recomienda la realización de más estudios sobre los posibles efectos del cambio climático en los rendimientos de los cultivos, usando los lineamientos aquí propuestos, con el uso de datos climáticos locales, así como datos de recolectados en campo (cultivo, manejo riego y suelo).

Se recomienda la recopilación de datos climáticos que puedan ser usados para la investigación y así facilitar el acceso a ellos.

Se recomienda el uso de los modelos agrometeorológicos para la investigación, y planificación en el sector agrícola, ya que permiten simular posibles escenarios en donde existan modificaciones climáticas, de manejo, del tipo del cultivo.

www.bdigital.ula.ve

REFERENCIAS CONSULTADAS

Andressen, R. (2007). Algunas consideraciones acerca del cambio climático. *Informe Internacional*, 77-80.

Andressen, R., Acevedo, M., & Robock, a. (1996). Escenario de cambio climático por efecto invernadero y deforestacion para Venezuela. *Revista Geografica venezolana*, 221-250.

<http://www.inameh.gob.ve>. (2004). Recuperado el 10 de 11 de 2015, de <http://www.inameh.gob.ve/documentos/consecuencias.pdf>

América Económica. (26 de 05 de 2014). <http://www.americaeconomia.com/>. Recuperado el 15 de 05 de 2016, de <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/ecuador-jornal-e-insumos-elevan-costos-de-produccion-y-desalientan-al-agro>

Banco Mundial. (2010). *Desarrollo y Cambio Climático*. Washington DC: Mayol Ediciones S.A.

Caraballo, L., & Mendencia, J. (2008). *Economía de la contaminación y la degradación Ambiental*. Merida: Simon Rodriguez.

Eco-finanzas. (s.f.). *eco-finanzas*. Recuperado el 30 de 09 de 2016, de http://www.eco-finanzas.com/diccionario/V/VALOR_NETO.htm

Fankhauser, S. (1995). *Valuing Climate Change, The Economics of the Greenhouse*. London: Earthscan Publications Ltd.

FAO. (s.f.). <http://www.fao.org/>. Recuperado el 01 de 04 de 2016, de http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html

Fernandez, M. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos*.

Gabaldon, A. (2008). El Cambio Climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Humania del Sur*, 13-32.

Harvey, D., Gregory, J., Hoffert, M., Jain, A., & Leemans, R. (1997). *Introducción a los Modelos Climáticos Simples Utilizados en el Segundo Informe de Evaluación del IPCC*.

IPCC. (2000). *Informe especial sobre escenarios de emisiones*.

IPCC. (2001). <https://www.ipcc.ch/>. Recuperado el 12 de 12 de 2015, de <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>

IPCC. (2013). *Cambio Climático 2013, Bases Físicas*. Unidad de apoyo técnico del Grupo de trabajo I del IPCC.

Londoño, O., Mandonado, L., & Calderón, L. (2014). *Colombia aprende*. Recuperado el 5 de 02 de 2016, de http://www.colombiaaprende.edu.co/html/investigadores/1609/articulos-322806_recurso_1.pdf

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN). (2005). *Primera comunicación para el Cambio Climático*. Caracas: Roke Publicidad C.A.

Martelo, M. (2004). *Consecuencias ambientales del cambio climático en Venezuela*. Recuperado el 10 de 12 de 2015, de <http://www.inameh.gob.ve/documentos/consecuencias.pdf>

Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., y otros. (2009). *Cambio Climático, El impacto en la agricultura y Costo de adaptación*. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI).

Osorio, J., & Correa, F. (2004). Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estimación. *Semestre Económico* , 159-193.

Ordaz, J. Ramírez, D. Mora, J. Acosta, A. Serna, B. (2010). Honduras , efecto del cambio climático sobre la agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). México, D.F

Ovalles, F., Cortez, A., Rodríguez, M., Rey, J., & Cabrera, E. (2008). Variación Geográfica en el Impacto del Cambio Climático en el Sector Agrícola en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 37-40.

Paredes, Y. (2014). Distribución potencial de los principales cultivos agrícolas en escenarios de cambio climático en el estado Mérida, Venezuela. Trabajo especial de grado para optar al título de licenciado en biología, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, Theodore, F., & E. (2012). *User guide AQUACROP version 4.0*. Rome, Italy: FAO, Land and Water division.

Sánchez, J. (s.f.). <http://www.camaraseg.org/>. Recuperado el 10 de 01 de 2016, de http://www.camaraseg.org/archivos/evento/Antecedentes_Cientificos_del_Cambio_Climatico_y_Consecuencias_para_Venezuela.pdf

Steduto, P., Hsiao, T., Fereres, E., & Raes, D. (2012). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua, en Estudio FAO: Riego y drenaje 66*. Roma: FAO.

UPEL. (2006). *Manual de trabajos de grados y especialización y maestría y tesis doctorales*. Caracas: FEDUPEL.

Vergara, W., Rios, A., Trapido, P., & Malarin, H. (2014). *Agricultura y clima en América Latina y el Caribe : Impactos Sistémicos y Posibles respuestas*. Banco Interamericano de Desarrollo.

www.bdigital.ula.ve