

**EFFECTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA PRODUCCIÓN DE
FRUTALES**

ZAIDA VANESSA CÁRDENAS HOLGUÍN

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD-
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE
AGRONOMÍA**

Bogotá

2015

1

**EFFECTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL EN LA PRODUCCIÓN DE
FRUTALES**

ZAIDA VANESSA CÁRDENAS HOLGUÍN
Código 53119501

Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de:
AGRÓNOMO

Asesor:

Ing. Ms. CARLOS EDWIN CARRANZA GUTIÉRREZ

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD-
ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS Y DEL MEDIO
AMBIENTE
AGRONOMÍA**

Bogotá

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma: presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, 2015.

DEDICATORIA

Tras innumerables esfuerzos y sacrificios, pero siempre con una meta clara, hoy veo culminada mi carrera, por eso quiero dedicar éste logro al Divino Niño Jesús y a la Virgen María, quienes iluminaron cada uno de mis pasos siendo mi guía espiritual.

Dedico éste logro también a mis padres, quienes siempre soñaron con ver a su hija profesional.

A mi hermana por sus ayudas. A mi esposo, quien me comprendió en todo momento. A mis profesores que con sus explicaciones y consejos me aportaron muchos conocimientos.

A mis compañeros de trabajo, que siempre me brindaron su apoyo.

Zaida Vanessa Cárdenas Holguín

AGRADECIMIENTOS

Ante todo mis más grandes agradecimientos al Divino Niño Jesús y a la Virgen, quienes me iluminaron y guiaron durante toda mi carrera.

Doy un especial agradecimiento, al profesor Carlos Edwin Carranza, asesor de mi monografía, por sus oportunas orientaciones y enseñanzas. A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, por permitirme lograr ver culminada mi carrera en el sistema virtual. Y a todas y cada una de las personas que me apoyaron de alguna forma.

Muchas Gracias.

1. RESUMEN

El cambio climático, se ha constituido como uno de los problemas ambientales de la actualidad que merecen especial atención a nivel mundial. Así, dentro de muchas áreas, ha aumentado la preocupación relacionada con el cambio climático, pues la actividad humana, está aportando una cuota cada vez más notoria afectando de forma negativa el medio ambiente. A través de una exhaustiva revisión bibliográfica, se recopiló información relacionada con los impactos del cambio climático sobre cultivos, específicamente en frutales tales como mango, cítricos y caducifolios, así como las posibles formas de mitigación y/o control, que se pueden aplicar, con el fin de prevenir daños en los cultivos y posibles pérdidas en las cosechas. Se observa en la actualidad, que debido a grandes precipitaciones, por nombrar uno de varios ejemplos, la floración se ve afectada y las plagas y enfermedades aumentan dependiendo del sector y el tipo de cultivo. Y es que indudablemente, el cambio climático ha tenido que ver en gran medida, con las pérdidas de cosechas y la baja calidad que se ha visto en muchos cultivos no solo en Colombia, sino en todo el mundo. Por eso, surge el afán de hacer diferentes actividades, que permitan una adaptación al cambio climático y que no perturbe el normal desarrollo de los cultivos, sino por el contrario, se logre utilizar ese cambio climático de una manera positiva, sin dejar atrás el compromiso que se tiene con el medio ambiente, ya que el cambio climático no afecta solo la agricultura, sino que abarca diferentes sectores. Así pues, se permite afirmar con alto grado de certeza, que si no se trabaja por mitigar el cambio climático, éste ejercerá una influencia cada vez mayor sobre la sociedad, afectando en gran medida la producción de los cultivos, con lo que se pone en riesgo, la seguridad alimentaria del mundo en general.

2. ABSTRACT

Climate change has become one of the environmental issues that deserve special attention worldwide. Undoubtedly climate change has affected largely with crop failures and poor quality that has been seen in many crops not only in Colombia but throughout the world. Through a comprehensive literature, this work compile the impacts related of climate change on crops, specifically in fruit such as mango, citrus and deciduous and also covers the possible methods to mitigate and control potentials crop losses. It is observed today that heavy rainfall related with climate change affects the flowering stage and the level that pests and diseases influence crops production, this last depend logically on sector and type of crop. Therefore, the challenge to do different activities that enable adaptation to climate change and do not disturb the normal development of crops must become the new task. This new paradigm reveal that adaptation means to use climate change in a positive way and it also project new needs to design the environmental protection and agricultural production. In this sense, the mitigation of climate change is the main focus in order to attack the different risks and challenges related to crop production, food security and human sustainability.

Tabla de contenido

1.	RESUMEN	6
2.	ABSTRACT	7
3.	INTRODUCCIÓN	9
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
5.	OBJETIVOS	11
a.	OBJETIVO GENERAL	11
b.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
6.	JUSTIFICACIÓN	12
7.	GENERALIDADES DEL CAMBIO CLIMÁTICO	13
a.	Conceptos y definición.....	13
b.	Factores que intervienen en el cambio climático.	16
c.	Antecedentes del cambio climático.....	21
8.	EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS	25
a.	Efectos del cambio climático en la producción de cultivos.	25
b.	Impacto del cambio climático en la fruticultura.	34
9.	CASOS ESPECÍFICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA FRUTICULTURA	36
a.	El cambio climático en la producción de mango.	36
b.	El cambio climático en la producción de frutales caducifolios.....	40
c.	El cambio climático en la producción de cítricos	47
10.	MEDIDAS PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO	51
11.	CONSIDERACIONES FINALES	58
12.	CONCLUSIONES	60
13.	BIBLIOGRAFÍA	62

3. INTRODUCCIÓN

Los problemas que ha venido enfrentando el mundo a raíz del cambio climático, son de tal magnitud, que al hombre le ha acarreado inconvenientes de salud, bienestar, alimentación, entre otros factores relevantes. Particularmente, el tema de la agricultura, se ha visto afectado y ha sido tema común en medios de comunicación y en la comunidad en general.

La historia del cambio climático y su futuro son muy complejos. Con frecuencia se escuchan comentarios acerca de que los cambios del clima son cada vez más fuertes (González y Márquez, 2008).

Es necesario, que todas las personas participen en la solución de este problema mundial, pues la producción agrícola no es ajena a circunstancias externas e internas que el cambio climático trae consigo. En algunas regiones, un cambio leve de temperatura, puede generar mayores rendimientos en las cosechas, no obstante la mayoría de los cultivos se verán afectados si la temperatura se incrementa en más de 3°C (Chavarro *et al.*, 2008).

Así mismo, se debe tener en cuenta que ante el cambio climático hay dos acciones: mitigación y adaptación. En algunas zonas no habría agua suficiente para los cultivos, otras zonas tendrán exceso de agua (González y Márquez, 2008).

Para la monografía, se recolectó información relacionada con el tema a través de internet, libros, revistas científicas, entre otros documentos que cuenten con un respaldo académico e institucional, en la cual se seleccionó y usó teniendo en cuenta realizar las referencias bibliográficas de manera adecuada. La presente monografía está enfocada esencialmente en los impactos que el cambio climático ha tenido sobre los cultivos de frutales.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para nadie es un secreto, que el cambio climático ha venido ocasionando inmensos problemas a la población humana y al medio ambiente en general. Los cambios en la temperatura del aire, en la cantidad de lluvia y en la humedad del suelo alteran las condiciones climáticas óptimas bajo las cuales se han venido desarrollando actividades agrícolas (Pabón, 2011).

Manfred Kern, uno de los científicos que más ha investigado sobre el cambio climático, dice que el impacto sobre la agricultura puede ser resultados de la concentración de gases de invernadero tales como el dióxido de carbono en la atmósfera, las temperaturas elevadas, el incremento de las lluvias y la disponibilidad de agua (Silva, 2008).

Ésta variabilidad climática, se ha visto gradualmente en la producción de frutales que tradicionalmente se daban en una región específica y que en la actualidad se han expandido a zonas en las que se pensaba era prácticamente imposible cosecharlas. En igual forma, las plagas y enfermedades de los cultivos pueden desaparecer, pero esa misma variabilidad del clima, puede traer consigo nuevas plagas y enfermedades que afecten la producción normal de los cultivos (Pabón, 2011).

Es así como el cambio climático llevará a un grave declive de la agricultura en los próximos 50 años, ya que se advierte que habrá un descenso de entre 3 y 16% en la producción de alimentos (González y Márquez, 2008).

Según Silva (2008), en el futuro veremos impactos más significativos en todo el mundo, tanto en forma negativa como positiva, habrá graves implicaciones para la comunidad agrícola en general.

Cabe resaltar, que al tiempo que el cambio climático ha aumentado, también ha aumentado la preocupación por el tema y se han buscado posibles acciones que puedan mitigar éste problema.

5. OBJETIVOS

a. OBJETIVO GENERAL

Analizar los efectos del cambio climático en la producción de frutales y posibles soluciones de mitigación.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conceptualizar los impactos del cambio climático en la producción agrícola.
- Describir los efectos del cambio climático en la producción de frutales.
- Proponer las medidas para la mitigación del cambio climático sobre la producción frutales.

6. JUSTIFICACIÓN

Corroborar los impactos que el cambio climático ha tenido sobre los cultivos de frutales, permitirá a los agricultores y profesionales relacionados con el agro, buscar alternativas que mitiguen o permitan dar solución a la baja calidad de la producción que se presenta actualmente en los cultivos, para lo cual es indispensable la ayuda del hombre, reduciendo emisiones de gases efecto invernadero, haciendo un uso eficiente del agua y ahorrándola sin contaminarla, entre otros. Con este trabajo, se verán beneficiados el sector agrícola, pecuario, industrial, económico, entre otros. Así, en la parte agraria se conocerán las causas y efectos del cambio climático sobre los frutales, con lo que se puede trabajar para contrarrestar una posible disminución en la producción de alimentos, evitando así de algún modo, posibles hambrunas a nivel mundial, ya que entre todos se participa por la solución de éste problema mundial. El cambio climático trae consigo retos importantes para el sector agrícola.

Hoy en día se puede conocer lo que está sucediendo, pero es algo incierto lo que pueda suceder en un futuro no muy lejano. Igualmente, durante el desarrollo de la investigación, se pueden presentar nuevos cambios en el entorno. El tema del cambio climático ha tomado fuerza en los últimos años, es común en los medios de comunicación, en las conversaciones con amigos, en los lugares de trabajo, en los colegios y universidades, entre otros (González y Márquez, 2008).

Por ser un problema mundial, se hace necesario que todas las personas participen en la solución o por lo menos en la mitigación de ésta situación. El presente trabajo requiere ser elaborado, debido a que se busca conocer a fondo los problemas que se están causando en el campo por consecuencia del cambio climático, para poder crear unas estrategias que ayuden a mitigar los impactos que ya se encuentran en la agricultura y que deben ser tratados con el fin de contribuir con la seguridad alimentaria del mundo.

7. GENERALIDADES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

a. Conceptos y definición.

Se llama cambio climático a la variación global del clima de la tierra y es debido a causas naturales y también a la acción del hombre. Se produce en muy diversas escalas de tiempo y su influencia se extiende sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, entre otros (González y Márquez, 2008).

Según Pabón (2011), el cambio climático es la modificación de las condiciones predominantes en el largo plazo. Así mismo, la variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones alrededor de una condición predominante observadas durante periodos de tiempo relativamente cortos.

Para Mokhov y Eliseev (2013), el término "clima" tiene su origen en la palabra griega klima, lo que significa inclinación. En la antigua Grecia, la diferencia en las condiciones climáticas se asoció con una inclinación diferente de los rayos solares a la superficie de la tierra. En la actualidad, el término "clima" significa comúnmente condiciones climáticas típicas de una zona determinada.

Es relevante conocer las diferencias existentes entre tiempo atmosférico y clima, así pues el conjunto de condiciones, situaciones y fenómenos (vientos, nubes, lluvias, tormentas) que observamos en la atmósfera durante un breve lapso de tiempo (momento, hora, día) es lo que se conoce como tiempo atmosférico, mientras que las condiciones que van más allá de un par de días y predominan durante un periodo más largos constituyen lo que se denomina clima (Pabón, 2011).

Para Grupo Entrepueblos (2009), el cambio climático tiene como consecuencia un aumento de las temperaturas, mayores en verano y con mayores valores extremos; esto de alguna manera refuerza el ciclo del agua, y se traduce en aumento de la evaporación y la evapotranspiración. La actividad humana, claro, no es ajena a éstos

siniestros, en tanto contribuye, por un lado, al cambio climático, pero también crea condiciones para generar el peor escenario posible.

Según Ganopolski (2012), tradicionalmente, el término "clima" se refirió a las condiciones climáticas promedio, como la media de temperatura o precipitación anual. Para muchas aplicaciones, es importante conocer no sólo las características promedio, como la temperatura promedio mensual, sino también diferentes medidas de variabilidad (estadísticas), como la variabilidad interanual de la precipitación o una serie de fenómenos meteorológicos extremos. De esta manera, con mayor precisión el término clima se caracteriza como "la descripción estadística (del sistema climático) en términos de la media y la variabilidad de las cantidades pertinentes". La evolución temporal de las características del clima más allá de la escala de tiempo de los fenómenos meteorológicos individuales se llama "variabilidad climática", mientras que la tendencia estadísticamente significativa del estado del clima en escalas de tiempo más largos (décadas y más) se conoce como "cambio climático".

El calentamiento global es una de las manifestaciones más importantes del cambio climático; los aumentos en frecuencia e intensidad de temperatura afectarán a las personas más sensibles como adultos mayores y personas sin protección apropiada. Los cambios de temperatura también aumentarán procesos químicos y desencadenarán contaminantes para la salud humana (Chavarro *et al.*, 2008).

Según Kelly y Adger (2000), se define vulnerabilidad como "el grado en que el cambio climático puede dañar o perjudicar a un sistema; que no sólo depende de la sensibilidad de un sistema, sino también de su capacidad para adaptarse a nuevas condiciones climáticas. Así, pues la sensibilidad, en este contexto, es "el grado en que un sistema responderá a un cambio en las condiciones climáticas".

Los análisis indican que en Colombia el aumento promedio previsto de la temperatura promedio anual para el 2050 es de 2,5°C; y es probable que la precipitación aumente en un 2,5% a mediados de siglo. Así mismo, es probable que

se presenten aumentos significativos de la temperatura, precipitación más errática y mayor prevalencia de plagas y enfermedades (Lau *et al.*, 2013).

Se espera que el calentamiento global y los cambios asociados en el ciclo y el aumento del nivel del mar, puedan causar impacto negativo en los ecosistemas naturales, la salud humana y la economía. Se prevé que el cambio climático va a alterar los ecosistemas y dará lugar a la pérdida de la diversidad de las especies, ya que muchas especies no serán capaces de adaptarse a las condiciones ambientales que cambian rápidamente (Ganopolski, 2012).

Lau *et al.* (2013), argumentan que las temperaturas más altas vendrán acompañadas del descongelamiento de glaciares en los Andes (que tal vez habrán desaparecido para el 2030) y la desaparición de páramos importantes (quizás el 56% ya no existan para el 2050) ecosistemas que hoy son fuente importante de agua.

Durante los últimos cien años, datos históricos muestran claramente una tendencia al calentamiento en las escalas globales y hemisféricas, así como sobre la mayoría de las regiones y para todas las estaciones. De acuerdo con los datos de observación, la temperatura media mundial de la superficie ha aumentado 0,6 ° C durante el siglo XX. En algunas regiones, sobre todo en los continentes en las latitudes medias y altas del hemisferio norte, la temperatura ha aumentado mucho más rápido que la media mundial (Ganopolski, 2012).

Igualmente, dice Ganopolski (2012), que las tendencias pronunciadas de muchas características climáticas registradas durante el siglo XX, se atribuyen principalmente a la influencia humana sobre el clima y, por tanto, representan el cambio climático antropogénico.

b. Factores que intervienen en el cambio climático.

Entre los factores más importantes que intervienen en el cambio climático está el efecto invernadero, que se refiere a la elevación de la temperatura del planeta provocada por la acción de un determinado grupo de gases, algunos de ellos producidos masivamente por la actividad humana (González y Márquez, 2008).

Según Pabón (2011), el problema no está pues, en el efecto invernadero, sino en el incremento de los gases que provocan el efecto invernadero debido fundamentalmente a la emisión creciente de CO₂ que se produce al quemar combustibles fósiles como petróleo o carbón, entre otros que contribuyen también a ese efecto.

Como uno de los factores importantes que intervienen en el cambio climático, están los aerosoles. La concentración de varios tipos de aerosol está fuertemente afectada por la actividad antropogénica. Entre ellos se encuentran el sulfato, carbono orgánico, carbono negro (hollín), y el polvo mineral (Ganopolski, 2012).

Según Ganopolski (2012), algunos de estos aerosoles causan un enfriamiento, mientras que otros causan el calentamiento de la superficie de la tierra. Además, los aerosoles afectan las propiedades ópticas de las nubes y los procesos hidrológicos en la atmósfera (llamado efecto indirecto de los aerosoles). Las incertidumbres en los efectos directos e indirectos de los aerosoles siguen siendo muy grandes. Además, a diferencia de los gases de efecto invernadero bien mezclados, la distribución espacial y temporal del aerosol es extremadamente heterogénea.

Los aerosoles atmosféricos emitidos por las actividades humanas interactúan con la radiación, las nubes, y las superficies cubiertas de nieve, ejerciendo así una perturbación del balance de energía de la tierra llamado forzamiento radiativo. A su vez, los cambios de temperatura y precipitación afectan los aerosoles, dando lugar a

evaluaciones que fortalecen o se oponen al cambio climático inicial. También se dice, que los aerosoles pueden ser utilizados como herramientas de ingeniería climática en los esfuerzos para mitigar el cambio climático (Bellouin, 2014).

Según Hope *et al.* (1997), los aumentos en las concentraciones de aerosoles antropogénicos se cree que afectan significativamente el clima, sobre todo ejerciendo un forzamiento radiativo negativo que contrarresta, en cierta medida, el forzamiento radiativo positivo de los gases de efecto invernadero (GEI). Los posibles efectos de los aerosoles y su vida atmosférica corta, plantean cuestiones que son fundamentales para la política climática.

Es así como, se conoce que el ambiente se ha convertido en un depósito de grandes cantidades de emisiones antropogénicas que ejercen perturbaciones importantes en él y en el ecosistema de todo el mundo. En consecuencia, mucha investigación reciente se centra en los efectos de las actividades humanas en la atmósfera y, a través de ellos, sobre el medio ambiente y el clima de la tierra. Por estas razones, la consideración de la geoquímica de la atmósfera y de los aerosoles atmosféricos, en particular, debe incluir los efectos de las actividades humanas (Buseck y Schwartz, 2014).

Según Buseck y Schwartz, (2014), debido a la importancia de partículas de aerosol y el número de problemas no resueltos, bien se puede esperar que la investigación sobre partículas de aerosol continuará a un alto nivel de esfuerzo.

Otro factor que interviene en el cambio climático, es la producción de metano (CH_4) por los rumiantes se deriva de manera natural del proceso digestivo en estos, pero constituye una pérdida de energía y contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero, el metano (CH_4) es un producto final de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen, que en términos de energía constituye una pérdida y en términos ambientales contribuye al calentamiento y al cambio climático global. Las

emisiones de CH₄ por el ganado se estiman mediante el inventario ganadero, definiendo previamente las categorías y subcategorías de animales, ya que existen especies que contribuyen con más de una categoría de fuente de emisiones (Bonilla y Lemus, 2012).

El metano generado en el rumen se forma a partir de hidrógeno (H₂) producido durante la fermentación de la alimentación ingerida por el animal. Un gran número de especies bacterianas, protozoarias y fúngicas actúan sobre los alimentos en el rumen para derivar la energía que necesitan para su metabolismo (Alterman *et al.*, 2011).

También dice Altermann *et al.* (2011), que las emisiones de metano del ganado son un importante contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero y se han convertido en un foco de actividades de investigación, especialmente en los países donde la agricultura es un sector económico importante. Actualmente no hay métodos robustos, reproducibles y económicamente viables para reducir las emisiones de metano de los rumiantes en pastoreo, ni estrategias innovadoras para disminuir la producción de metano de la ganadería, que se requieren.

Según Kruska *et al.* (2008), los rumiantes en diferentes sistemas de producción tienen acceso a diferentes tipos y cantidades de alimentos y por lo tanto tienen diferentes niveles de producción y de excreción, emitiendo diferentes cantidades de gases de efecto invernadero. Además se debe tener en cuenta, que hay diferentes cantidades de animales en diferentes sistemas de producción, con lo que se podría esperar que la distribución espacial de los gases de efecto invernadero producidos por los rumiantes varíe considerablemente dependiendo de su ubicación.

Tras un estudio, se encontró que los factores de emisión más grandes se da en los sistemas mixtos, especialmente en las regiones húmedas y templadas donde la ingesta de la dieta, la calidad, diversidad y producción son más altos; y en los

sistemas de pastizales templados, donde la calidad de las tierras de pastoreo permite una mayor ingesta y producción. Así mismo, el ganado en los sistemas de producción en zonas áridas aportó el 63% de las emisiones de metano en el continente Africano en el año 2000. En el año 2030, esta cifra se prevé que aumente hasta el 71% de las emisiones totales, principalmente como resultado de cambios en los sistemas de producción causados por el cambio climático y el aumento de la cantidad de ganado. Se observa una tendencia similar, con reducciones en las emisiones brutas en 2030 a partir de las zonas templadas y los aumentos de las zonas áridas y húmedas (Kruska, 2008).

La acumulación de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera de la tierra se ha llevado a las predicciones de que las temperaturas superficiales globales aumentarán entre 1 y 6°C durante el siglo 21. El metano constituyen el 16% del total de emisiones mundiales de GEI y es particularmente perjudicial, ya que tiene un potencial de calentamiento global 21 veces mayor que el dióxido de carbono (CO₂) (Altermann *et al.*, 2011). Las emisiones de metano por el ganado son colaboradores muy importantes a las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero en muchos países y la responsabilidad recae cada vez más en el sector agrícola de encontrar formas de reducir estos (Deighton *et al.*, 2013).

Según Place (2014), las fuentes de emisiones de gases efecto invernadero, de los sistemas animal, pueden dividirse ya sea como emisiones directas o indirectas de gases efecto invernadero. Las emisiones directas de GEI son las que ocurren directamente de los animales (es decir, las emisiones de metano del intestino de rumiantes) y sus residuos (las emisiones de GEI emitidos a partir de estiércol). De igual forma, las emisiones indirectas de GEI pueden ser definidos como aquellos que se producen a partir de los procesos y actividades que son complementarios, pero esencial para la producción de productos de origen animal.

Poco menos de la mitad de todas las emisiones mundiales de metano provienen de fuentes naturales como los humedales y los rumiantes salvajes, mientras que el resto proviene de actividades humanas como la agricultura, los vertederos y el uso de gas natural. Las emisiones de metano procedentes de la agricultura representan alrededor del 40% de las producidas por las actividades humana, y la fuente más grande individual (25%) es la fermentación entérica del ganado, principalmente rumiantes (Altermann *et al.*, 2011).

Es así como, cuando un animal rumiante se alimenta (por ejemplo, forrajes y granos), los nutrientes del alimento se someterán a procesos de fermentación que resulta en la producción de ácidos grasos volátiles (AGV) que son absorbidos a través de la pared del rumen y metabolizado por el animal, durante este proceso, se produce CO₂ así como hidrógeno H₂. Las emisiones de metano no resultan directamente de los procesos de fermentación, sino que se producen a partir de la metanogénesis llevado a cabo por la bacteria que reside dentro del rumen (Place, 2014).

Según Huhtanen *et al.* (2014), los rumiantes son examinados cada vez más por su contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero. Los rumiantes representan hasta un tercio del metano antropogénico (CH₄) de las emisiones en todo el mundo. Por tal motivo, se ha incrementado el interés en el desarrollo de diversas estrategias de mitigación, como la manipulación alimentaria, aditivos, y vacunas. En la práctica, la manipulación dietética puede ser la más prometedora. La selección genética también se ha propuesto como una estrategia para reducir las emisiones de CH₄ procedentes de los sistemas de producción de rumiantes.

Otro factor relevante de los impactos del cambio climático es la tala de bosques, que durante los dos últimos siglos ha contribuido al crecimiento de dióxido de carbono en la atmósfera y la perspectiva del calentamiento global. Se han desarrollado una serie de procedimientos estándar para la estimación de los intercambios de gases de

efecto invernadero, incluyendo el dióxido de carbono de cambio de la tala de bosques y el nuevo crecimiento (Galbally *et al.*, 1997).

Se debe minimizar la tala de bosques, pues los mismos proporcionan soporte, regulan el clima local y global, eliminan los contaminantes del aire, del agua y del suelo, mejoran la retención del suelo y la calidad del agua, facilitan la polinización, mejoran la estética del paisaje, proporcionan hábitats para los organismos, y adjuntan la información genética invaluable que aún no se ha descubierto. (Albrechtová *et al.*, 2013). Además, cada vez que se tala un árbol, se atenta contra el medio ambiente, aportando impactos negativos que alimentan el cambio climático.

Según Albrechtová *et al.* (2013), los bosques influyen en el clima a través de numerosos procesos que afectan los flujos de energía planetarios, los ciclos hidrológicos y la composición de la atmósfera. En términos de efecto invernadero, la reforestación y forestación permiten atenuar el calentamiento global a través de la captura de carbono. La gestión forestal sostenible es esencial para reducir la vulnerabilidad de los bosques al cambio climático. Para hacer frente a los desafíos de la adaptación, el compromiso con el logro de los objetivos de la gestión forestal sostenible, debe reforzarse, tanto a nivel nacional como internacional.

c. Antecedentes del cambio climático.

El cambio climático es un fenómeno que ocurre desde que la tierra se formó, hace 4.500 millones de años, por lo que el clima terrestre ha fluctuado entre periodos fríos y cálidos, a lo largo del tiempo el clima se ha modificado (Pabón, 2011).

El actual incremento de la temperatura de la tierra, denominado calentamiento global, data de 1840, cuando la revolución industrial trajo el descubrimiento y uso de combustibles fósiles y la explotación intensiva de recursos minerales. Sin embargo, fue en los años 80 del siglo XX que inició un periodo más caluroso cuyos

anunciados efectos catastróficos lo ubicaron en el centro del debate (Rodríguez, 2007).

Desde hace varios años, el tema del cambio climático ha venido tomando bastante fuerza, es un tema que está latente en muchos aspectos de nuestras vidas, porque indiscutiblemente ha afectado situaciones de la vida cotidiana, cambiando su rumbo. En la agricultura mundial, el impacto que el cambio climático ha tenido sobre los cultivos de frutales, ha sido bastante significativo. Según Chavarro, *et al.* (2008), los impactos del cambio climático afectarán no solo a los diversos recursos, personas e infraestructuras, sino también transformarán los procesos de índole natural y social que se desarrollen en cualquier territorio.

Según Weart (2015), la gente entendió desde la antigüedad que el clima podría cambiar localmente, pero nadie imaginó que la actividad humana podría alterar el clima global. En 1896 y en la década de 1930 se promovió una teoría del calentamiento global antropogénico, causado por una acumulación de dióxido de carbono. Pocos encontraron esto creíble, hasta mediados del siglo XX, cuando el nuevo trabajo teórico y observaciones mostraron que el concepto tenía que ser tomado en serio. En la década de 1970, los modelos informáticos complejos sugirieron un riesgo de varios grados de calentamiento en el siglo siguiente. La conexión de dióxido de carbono a la temperatura fue apoyada por la evidencia paleontológica de los núcleos de hielo profundos. Sin embargo, alrededor del inicio del siglo XXI, la mejora de la computadora y los argumentos paleontológicos, además de un calentamiento prolongado observado del planeta, provocaron declaraciones de consenso por grupos de expertos internacionales que advertían de los impactos severos.

La agricultura es una de las actividades productivas más afectadas por los cambios climáticos, es así como las especies que no se adaptan a los cambios serán más susceptibles a plagas y enfermedades. En consecuencia, los campesinos son los

primeros en sufrir los cambios climáticos, ya sea por las sequías o por las tormentas o inundaciones que destruyen los sembradíos, y por ello, los productores tienen que acomodarse a situaciones impredecibles ahora y en el futuro.

Según Lau *et al.* (2013), se necesita más investigación para desarrollar cultivos resistentes al clima, a las plagas y a las enfermedades, conociendo los efectos que se dan por el cambio climático, para así poder encontrar una pronta solución.

Indiscutiblemente es un tema de relevancia la aplicación de los resultados del proyecto para la agricultura a nivel mundial, debido a que se pueden conocer los impactos que el cambio climático ha venido causando al desarrollo normal de los frutales y ver como se pueden evitar o mitigar, con el fin de seguir obteniendo cosechas de frutales, sin el temor de la escases de los mismos.

Los días 2 y 11 de diciembre de 1997, se hizo realidad el primer compromiso mundial para frenar el cambio climático. Fue en la ciudad japonesa de Kyoto, en el curso de la III Conferencia de las partes del convenio marco sobre Cambio Climático, que agrupó a representantes de 125 países. El documento conocido como Protocolo de Kyoto, compromete a los países firmantes a reducir las emisiones de los seis gases catalogados como causantes del efecto invernadero (González y Márquez, 2008).

Debido a la importancia del cambio climático, se firmó el Protocolo de Kyoto, como parte de dicha intención de integración mundial, se hizo explícita la necesidad de que los países desarrollados redujeran sus emisiones a fin de minimizar las repercusiones adversas que éstas representan para los países en desarrollo, aspecto que refleja el carácter global del problema del cambio climático ya que, a pesar de generarse la emisión en un punto específico del planeta, sus impactos se extienden al resto de la tierra (Rodríguez, 2007).

Sin embargo, diez años después de la formulación del Protocolo, el balance de su implementación deja ver que el espíritu de colaboración expresado al momento de su suscripción no ha sido correspondido con acciones que ataquen de fondo las causas de la generación de emisiones de gases efecto invernadero, principalmente por parte de los países industrializados. Se observa que a pesar de las buenas intenciones plasmadas en el Protocolo de Kyoto, las emisiones parecen incrementarse en vez de reducirse, situación preocupante para el mundo en general (Rodríguez, 2007).

Se dice que Colombia, se encuentra en una encrucijada en materia de Cambio Climático, ya que por una parte, si no se reduce la emisión de Gases Efecto Invernadero, generados principalmente por los países industrializados, se verán seriamente afectados los recursos naturales y diversidad biológica de importancia estratégica no sólo para la economía nacional, sino para la seguridad alimentaria de los colombianos y, por otra parte, si implementa los mecanismos contenidos en Protocolo de Kyoto, también podría impactar negativamente la diversidad biológica (Rodríguez, 2007).

Según Mokhov y Eliseev (2013), en los últimos 150 años, la humanidad ha ejercido una influencia sin precedentes sobre el medio ambiente. Durante este período, las emisiones de los principales gases de efecto invernadero antropogénico, CO₂, ascienden a cerca de 420 gigatoneladas (en unidades de carbono). Estas emisiones han conducido al crecimiento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera de alrededor de 275-285 ppmv (este valor era bastante estable desde el comienzo del Holoceno) a alrededor de 370 ppmv en el año 2000 (y alrededor de 380 ppmv en 2005). Las concentraciones de otros gases de efecto invernadero han aumentado también, por ejemplo, para el CH₄ desde alrededor de 830 hasta 1.760 ppbv en el año 2000.

Durante el siglo XX y el comienzo del siglo XXI, en lo relacionado con los fenómenos climáticos extremos, se han presentado eventos climáticos y meteorológicos inusuales (fuertes olas de frío en las olas de invierno y calor en verano, fuertes lluvias, sequías fuertes, inundaciones, entre otros). Si bien los datos para estas estadísticas extremas están inherentemente limitados, se puede inferir que las fuertes lluvias se hacen más frecuentes en diferentes partes del mundo. El número de noches extremadamente frías ha disminuido, y el número de días extremadamente cálidos ha aumentado. Una de las más fuertes olas de calor se produjo en el verano de 2003 en Europa (Mokhov y Eliseev, 2013).

8. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

a. Efectos del cambio climático en la producción de cultivos.

En los últimos años se ha enfrentado una serie de cambios climáticos que están modificando el crecimiento y desarrollo de los cultivos, debido a los cambios de todos los procesos fisiológicos de los cultivos como absorción y transporte de nutrientes, fotosíntesis, respiración, transpiración y translocación de los fotoasimilados y otras sustancias orgánicas e inorgánicas para el llenado de frutos u otros órganos cosechables (Pozo, 2014).

El aumento de las temperaturas a mediano o largo plazo constituiría un factor relevante para la producción de alimentos, debido a sus posibles efectos en el comportamiento vegetal (Chaar, 2013).

De igual forma, ese aumento de temperatura afecta a la fotosíntesis directamente, causando alteraciones en azúcares, ácidos orgánicos, y contenidos flavonoides, la firmeza y la actividad antioxidante (Moretti *et al.*, 2010).

Según Asseng *et al.* (2015), el impacto del aumento de las temperaturas puede variar ampliamente entre las especies de cultivo. La temperatura óptima en la hoja de la fotosíntesis y crecimiento de las plantas es mayor para las plantas C₄ que para las plantas C₃. Las especies con una alta temperatura base para la emergencia del cultivo como por ejemplo el maíz, el sorgo, el girasol y algunas de las legumbres, como frijol, podrían beneficiarse del aumento de las temperaturas en las regiones frías. El aumento de las temperaturas medias, como resultado del cambio climático futuro creará nuevas oportunidades para aumentar la frecuencia de los cultivos en algunos sistemas agrícolas.

El cambio climático tiene impactos directos e indirectos sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Altas concentraciones atmosféricas de CO₂ tienen un impacto directo en cultivos C₃ mediante el aumento de la fotosíntesis y la eficiencia del uso del agua. Este efecto es potencialmente significativo. Los efectos indirectos son el resultado de cambios en el clima, que resultan de los niveles más altos de gases de efecto invernadero, por ejemplo cambios en la media y la variabilidad de la temperatura o la lluvia (Challinor y Wheeler, 2008).

El aumento de las concentraciones atmosféricas de CO₂, han llevado a muchas hipótesis y experimentos dirigidos a investigar los efectos del CO₂ sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. Se han realizado numerosos estudios, especialmente en los cultivos, para examinar los efectos de los niveles de CO₂ atmosférico elevados sobre el crecimiento de las plantas. En muchos estudios, especies C₃ cultivadas bajo condiciones elevadas de CO₂ han mostrado fotosíntesis mejorada, especialmente cuando otros recursos ambientales, como la luz, el agua y los nutrientes, no se limitan (Seok, 2014).

Según Xue *et al.* (2014), debido a que la concentración de CO₂ en la atmósfera actual (alrededor de 380 ppm) es un factor limitante para la máxima fotosíntesis, un aumento en la concentración de CO₂ en la atmósfera tiene el potencial para mejorar

el crecimiento y rendimiento de muchos cultivos C_3 . El aumento de la tasa de fotosíntesis de las plantas C_3 estimula su crecimiento, por el aumento de los rendimientos en muchas especies de cultivos que crecen bajo niveles elevados de CO_2 .

Por el contrario, las especies C_4 se han encontrado para ser en general menos sensibles a los niveles elevados de CO_2 , que las especies C_3 . Mientras que las tasas de fotosíntesis de las especies C_3 aumentan con niveles elevados de CO_2 , las especies C_4 tienen tasas similares de la fotosíntesis en concentraciones normales, bajos y altos de CO_2 . Como resultado, se espera que las especies C_3 tengan una ventaja competitiva sobre las especies C_4 en presencia de concentraciones elevadas de CO_2 (Seok, 2014).

Sin embargo, cuando un aumento de la temperatura se produce con el aumento de CO_2 , el impacto de CO_2 elevado en la ventaja competitiva ecológico de las especies C_3 puede verse afectada. Se espera que el calentamiento debido al CO_2 elevado tenga efectos sobre el crecimiento y la actividad reproductiva de las plantas debido a los choques de alta temperatura que se producen durante la fertilización. Por ejemplo, las altas temperaturas en la temporada de verano pueden inhibir en gran medida las etapas de crecimiento específicos, particularmente las etapas de floración y fecundación. En el arroz y el trigo, una breve exposición a altas temperaturas en la floración puede causar esterilidad (Seok, 2014).

Según Xue *et al.* (2014), en estudio, la fenología de las plantas fue claramente cambiada por aumento de la temperatura, asociadas con el calentamiento global durante las etapas vegetativas y de floración. Sin embargo, las plantas posteriormente serían sometidas a condiciones con baja luz y la reducción de la intensidad de la radiación solar. Por otra parte, fenología avanzada puede conducir a la productividad de la biomasa que disminuyó durante la fase vegetativa a temperaturas elevadas, sin niveles elevados de CO_2 , sobre todo en las plantas C_3 . En

condiciones con un aumento de la temperatura sin niveles elevados de CO₂, se espera que la producción de las plantas C₃ estén fuertemente deprimidas por estrés de alta temperatura.

Sin embargo, debido a concentraciones elevadas de CO₂, la fotosíntesis en las plantas C₃ durante temporadas de altas temperaturas, tienen pérdida en la biomasa debido a la respiración de mantenimiento y en el índice de reproducción en respuesta a la elevada temperatura, que se atenúa en gran medida en las plantas C₃ bajo condiciones con niveles elevados de CO₂. La temperatura elevada no influyó el crecimiento de las plantas C₄, y su producción de biomasa fue sólo ligeramente estimulada por niveles elevados de CO₂. Por lo tanto, si las plantas C₃ pueden competir con éxito en el establecimiento inicial, su capacidad de supervivencia será mucho mayor por niveles elevados de CO₂ y el estrés de alta temperatura (Seok, 2014).

En la actualidad vemos los fenómenos del niño y la niña, por lo que en ocasiones se presentan muchas sequías y en otras inundaciones, que sin lugar a dudas afectan el desarrollo normal de los cultivos. Todo cultivo tiene una necesidad mínima de agua y su rendimiento se verá disminuido si no dispone de ésta cantidad en el momento oportuno.

Según Shinde y Modak (2013), la agricultura está estrechamente vinculada con el clima. Los cultivos requieren temperaturas óptimas y los niveles de humedad para su pleno crecimiento. Los cambios en la temperatura, las precipitaciones y las variaciones estacionales tendrán un impacto negativo en los cultivos de alimentos, con lo que se tiende a disminuir su productividad. Con la presión de satisfacer las demandas de la creciente población, se espera que el cambio climático traiga nuevos retos para el sector agrícola.

Según Chavarro *et al.* (2008), como consecuencia del cambio climático, en suelos de algunas regiones se mejorarán las condiciones físicas y de fertilidad, sobre todo en los climas húmedos y subhúmedos; pero en otras zonas habrá mayor erosión del suelo y desertificación. De igual forma, las transformaciones climáticas implicarán cambios en la oferta de humus, en los procesos de fotosíntesis, en la temperatura y en los procesos hidrológicos afectando la actividad de microorganismos y de descomposición de materia orgánica.

De igual forma, según Leng *et al.* (2015), los cambios en la severidad de la sequía, la duración y la frecuencia señalan que las sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas serán más graves, prolongadas y frecuentes para 2020-2049 con respecto a 1971-2000, a excepción de algunas partes del norte y el noreste de China. La frecuencia de las sequías agrícolas a largo plazo (con una duración de más de 4 meses), aumentarán más que la de las sequías a corto plazo (con una duración inferior a 4 meses), mientras que lo contrario se proyecta para las sequías meteorológicas e hidrológicas. En casos extremos, las sequías agrícolas más prolongadas aumentaron de 6 a 26 meses, mientras que las sequías meteorológicas e hidrológicas más prolongadas variaron poco.

La sequía es un peligro natural que puede tener grandes impactos en diversos sectores de la sociedad, el medio ambiente y la economía. En el contexto del cambio climático futuro, es importante que los tomadores de decisiones entiendan integralmente los impactos del cambio climático en todos los tipos de sequías (meteorológica, agrícola e hidrológica) a escala regional y para trazar y coordinar las estrategias de adaptación y mitigación para estas sequías (Leng *et al.*, 2015).

Abdul *et al.* (2008), afirman que la sequía es un problema a nivel mundial, lo que limita la producción de cultivos y la calidad de la cosecha. El reciente cambio climático global ha hecho que esta situación sea cada vez más grave. La sequía es también un proceso físico-químico complejo, en el que muchas macromoléculas

biológicas y pequeñas moléculas están implicadas, tales como ácidos nucleicos, proteínas, carbohidratos, lípidos, hormonas, iones, radicales libres y elementos minerales. Además, la sequía está relacionada con el estrés salino, el estrés por frío, estrés de alta temperatura, el estrés ácido, estrés alcalino, reacciones patológicas, senescencia, crecimiento, desarrollo, la embriogénesis, la floración, la transducción de señales, entre otros.

Así mismo, las poblaciones humanas que dependen de la agricultura se verán afectadas por los cambios en la producción, disminuyendo sus ingresos y seguridad alimentaria, lo que conllevará a un aumento en la desnutrición, enfermedades y posibles hambrunas (Chavarro *et al.*, 2008).

Se conoce que en la agricultura específicamente, los efectos proyectados del cambio climático incluyen entre otros: disminución importante de la productividad de los sistemas agrícolas y ganaderos, con efectos negativos sobre la seguridad alimentaria; cambios en los patrones de precipitación y la desaparición de glaciares, que a su vez afectan la disponibilidad de agua para la agricultura, el consumo humano y la generación de energía; degradación y pérdidas de los sistemas agrícolas costeros; y un aumento general en el número de personas en riesgo de hambre. Estudios exhaustivos recientes de los impactos del cambio climático en la agricultura de América Latina del Banco Mundial sugieren que los efectos de suma de estos impactos es probable que sean altamente perjudiciales, incluyendo una "caída en picado" de la productividad agrícola en muchas regiones (De Nys *et al.*, 2014).

Igualmente, según Moretti *et al.* (2010), la acumulación de dióxido de carbono en la atmósfera tiene efectos directos en la calidad poscosecha causando malformación del tubérculo y la aparición de la sarna común, entre otros. Durante el desarrollo de las altas temperaturas se puede afectar la fotosíntesis, respiración, relaciones

acuosas y estabilidad de la membrana como así como los niveles de hormonas vegetales, primaria y metabolitos secundarios.

La agricultura es extremadamente sensible a los impactos del cambio climático. Una pequeña variación en el ascenso o en el descenso de las temperaturas y los niveles de precipitación puede reducir el crecimiento de los cultivos. La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera también tiene un impacto significativo en el crecimiento de los cultivos (Shinde y Modak, 2013).

Según Lau *et al.* (2013), el impacto del fenómeno del cambio climático, se debe medir en el corto, mediano y largo plazo, el cual afectará principalmente labores como el cronograma en las siembras, el establecimiento y mantenimiento de las actividades agropecuarias, el consumo de agua, el normal desarrollo fenológico de los cultivos, los rendimientos, la oferta y los precios de los productos agropecuarios durante y posterior a la culminación del cultivo.

Así mismo, se observa que en la última década, las variaciones climáticas relacionadas con el fenómeno del niño y la niña han traído serios retos para la agricultura colombiana, demostrando que muchos agricultores no tienen la capacidad de manejar efectivamente el riesgo y de adaptarse a fluctuaciones climáticas y catástrofes (Lau *et al.*, 2013).

Igualmente, según Lau *et al.* (2013), los científicos proyectan que el 36% de los productos agrícolas enfrentarán aumentos de precipitación de más del 3% en, por lo menos, el 60% de las áreas cultivadas. Los cambios en los patrones de precipitación pueden alterar las fechas de floración; afectar los factores bióticos (plagas, enfermedades, malezas) en diferentes sistemas de producción, con el consecuente aumento de los costos de producción; y alterar la disponibilidad de agua en el suelo. Habrá pérdida gradual de la aptitud climática de cultivos y pasturas y disminución de la productividad, incluyendo el abandono de las tierras agrícolas actuales.

Cuando las temperaturas a fin de año se elevan por encima de lo normal, la producción excesiva de auxinas afectará el etileno, generando un adelanto de la cosecha y un envejecimiento más acelerado, reduciendo el área fotosintética y la capacidad de translocación de fotosintatos y sustancias orgánicas, disminuyendo el rendimiento y la capacidad de reservas de la siguiente cosecha en el caso de frutales y en los cultivos anuales se favorecerá el crecimiento vegetativo, reduciendo la floración y el número de frutos, restringiendo considerablemente el rendimiento y la calidad de las cosechas (Pozo, 2014).

Se observa, que el incremento de las temperaturas, ocasiona un desbalance hormonal que se traduce en alteración de varios procesos fisiológicos en los cultivos:

Es así como según Pozo (2014), la fotosíntesis, va a ser favorecida durante el desarrollo vegetativo, pero debido a la dominancia de las auxinas, los fotosintatos producidos van a servir para activar el crecimiento vegetativo y esto desfavorece la floración, debido a que se alterará la inducción y la diferenciación floral.

Debido a una mayor temperatura, la transpiración se acelerará a medida que se incremente la temperatura durante el día, pero también se detendrá drásticamente, provocando un estrés hídrico, debido a que el agua absorbida por las raíces será menor que la transpirada y la planta se marchitará, por lo que el ácido abscísico se incrementará en los estomas provocando que las células oclusivas pierdan turgencia y se cierren, no permitiendo la salida del vapor de agua por los estomas, ni tampoco el ingreso de CO₂ (Pozo, 2014).

Igualmente, según Pozo (2014), por el estrés provocado por las altas temperaturas, la respiración en las plantas se incrementará y se producirá etileno que es la

hormona del estrés, con lo que se va a provocar reducción de rendimiento y calidad de la cosecha.

Así mismo, la absorción y transporte del agua y nutrientes, también se verá afectado, debido a la detención de la transpiración en horas de mayor calor, el flujo de agua y de nutrientes que lleva la corriente transpiratoria también se detendrá, reduciendo el suministro de agua y nutrientes para la planta. A pesar de que se riegue adecuadamente y se tenga el suelo a capacidad de campo, la planta no será capaz de tomar agua y nutrientes del suelo porque los estomas estarán cerrados, los nutrientes y el agua, no podrán llegar en cantidades adecuadas a la planta y especialmente al fruto, favoreciendo el aborto de frutos en las primeras etapas y reduciendo la calidad de la cosecha (Pozo, 2014).

Sólo unos pocos estudios sobre el cambio climático hasta la fecha han evaluado el impacto de las tendencias futuras de la variabilidad del clima en la productividad de los cultivos, ya que si bien es cierto que gran incertidumbre rodea las proyecciones del clima futuro y sus impactos asociados en los sistemas agrícolas regionales y locales, también es cierto que hay un creciente reconocimiento de que estamos comprometidos con una cierta cantidad de calentamiento en las próximas décadas y que esto afectará inevitablemente la agricultura (De Nys *et al.*, 2014). Lo que de hecho ya se está produciendo de manera casi inevitable en muchos lugares del mundo.

A pesar de no tener claros todos los conocimientos relacionados con el cambio climático, los modelos que integran cultivos con la dinámica del agua, carbono y nutrientes han mejorado la comprensión de los impactos del cambio climático en muchos aspectos de la producción local de alimentos a nivel mundial. También han facilitado el establecimiento de una nueva hipótesis para estudios sobre el cambio climático. La aplicación de estos modelos estimula las investigaciones sobre la

adaptación al cambio climático, pues esto puede tener un impacto devastador en el suministro de alimentos (Asseng *et al.*, 2015).

Para citar un ejemplo, desde una perspectiva general de la agricultura, proyecciones adversas se traducirán en un mayor nivel de riesgo para todos los cultivos, y la producción de maíz sin medidas de mitigación de la sequía podría resultar en el deterioro económico para sus cultivadores (Bodroza *et al.*, 2014).

b. Impacto del cambio climático en la fruticultura.

El cambio climático se refiere no solo a las heladas que se presentan en algunos sitios, sino también a las altas temperaturas que se dan en otros sitios. Y sus impactos son diferentes. Por ejemplo, las altas temperaturas en la superficie de la fruta causadas por la exposición prolongada a la luz solar aceleran la maduración y otros eventos asociados, como se observa en las uvas, donde las bayas expuestas directamente a la luz solar, maduran más rápido que cuando son madurados en áreas sombreadas dentro de la copa (Moretti *et al.*, 2010).

Una amplia gama de factores ambientales influyen en el calendario y en el desarrollo de los frutales, incluidos los factores nutricionales, régimen gaseoso, el pH, la luz, el microclima, entre otros (Boddy *et al.*, 2014).

Se conoce que los cambios climáticos presentados, pueden potencialmente causar alteraciones de postcosecha de calidad en los cultivos de frutas y vegetales. Aunque muchos investigadores se han ocupado de los cambios climáticos en el pasado, la información no está organizada y disponible para consulta para científicos que están interesados en comprender mejor cómo estos cambios afectarán a su área de especialización (Moretti *et al.*, 2010).

Así mismo, por las alteraciones climáticas ocasionadas por el fenómeno del niño, los cultivos anuales y perennes, sufrirán condiciones de estrés hídrico, pues las temperaturas máximas y mínimas, causan alta evaporación o heladas, lo que genera graves problemas fisiológicos en los cultivos, afectando su crecimiento, floración, formación de frutos y rendimientos. Por ejemplo, en frutales (cítricos y mangos) se hace más manifiesto el ataque de chupadores como ácaros, áfidos, mosca blanca y piojo blanco (Ribeiro, 2011).

Las variables climáticas son importantes en la iniciación fructificación y desarrollo de hongos en las frutas, aunque otros factores ambientales también pueden afectar a la fructificación. La fructificación, sin embargo, depende en última instancia de los nutrientes suficientes y adquisición de nuevos nutrientes que a su vez se ve afectada por el clima (Boddy, 2014).

Así mismo, en respuesta al calentamiento global, las especies de árboles frutales han mostrado comportamiento contrastante en términos de fechas de floración, lo que resulta en diferencias en el proceso fisiológico. Se conoce entonces que en todos los casos, estos cambios tienen consecuencias agronómicas graves, como brotes de otoño, los avances de madurez y necesidades adicionales de agua, que alteran la producción en los campos (Hafidi *et al.*, 2014).

9. CASOS ESPECÍFICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA FRUTICULTURA

a. El cambio climático en la producción de mango.

El mango (*Mangifera indica* L.), es uno de los cultivos más selectos, son frutas de las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Su popularidad e importancia pueden ser fácilmente destacadas debido a que se refiere a menudo como "Rey de las Frutas" en el mundo tropical (Dinesh *et al.*, 2014).

Mencionan Corredor y García (2011), que el mango, es originario de Asia tropical, y que se ha introducido en zonas donde el clima es cálido y húmedo, y ahora está completamente naturalizado en muchas regiones tropicales y subtropicales.

Según Dinesh *et al.* (2014), en los cultivos de mango, las variaciones en la morfología de la hoja, el intercambio de gases y rasgos relacionados pueden estar relacionados con diferencias de genotipo evolucionado y debido a una amplia gama de condiciones ambientales.

Con los efectos del cambio climático, se observa que en el cultivo de mango, dependiendo de la posición de la fruta en el árbol, ésta puede estar expuesta a altas temperaturas y condiciones de luz intensa que pueden conducir a trastornos metabólicos y fisiológicos y de paso afectar el rendimiento y la calidad (Joas *et al.*, 2013).

Así, la diferencia en la exposición a la luz solar es responsable de las variaciones en el color de la cáscara de mango. Desde el lado soleado de la piel estaba más roja que la sombra y las partes inferiores de la fruta. Esta variación puede estar relacionada con la acumulación de antocianina en los pigmentos, que son responsables del color

rojo de la cáscara, y se activa en respuesta a la alta exposición al sol (Génard *et al.*, 2014).

Así mismo, según Joas *et al.* (2013), los frutos de mango expuestos a condiciones inducidas por el estrés hídrico durante el crecimiento, acomodan su funcionamiento mediante la reducción de su transpiración. Además, el estrés oxidativo se limita como consecuencia del aumento de las actividades de contenido y de enzimas antioxidantes. Esta respuesta adaptativa de la fruta del mango a su entorno climático durante el crecimiento, podría afectar el comportamiento en la poscosecha y calidad.

Sin embargo, estudios sobre la transpiración de las frutas y los factores climáticos mostraron que el déficit de presión de vapor entre la superficie de evaporación y el aire es la variable que determina la tasa de transpiración de la fruta. Por consiguiente, se espera que el potencial de agua medido en la carne de la fruta bien expuesto sería menor que la de la fruta a la sombra y, en paralelo, que la conductancia de vapor de agua sería menor para la fruta soleada que para fruta sombreada (Joas *et al.*, 2013).

La necesidad de anticipar y adaptarse a los cambios climáticos es mucho más urgente para los productores de cultivos de árboles que para los agricultores que participan en la producción de cultivos anuales. Agricultores anuales pueden cambiar sus especies de cultivos o variedades de una temporada a la siguiente, o pueden sembrar sus cultivos antes o después si se detectan los cambios de la duración de la temporada de crecimiento. Por el contrario, una vez que los administradores de los huertos han seleccionado y plantado sus cultivos de árboles, requieren estos árboles para permanecer en la producción durante décadas (Luedeling, 2012). Claro ejemplo se observa en los cultivos de mango. Igualmente, Webb *et al.* (2014), asegura que en general, los cultivos perennes serán más vulnerables que los anuales a los cambios en el clima.

Señala Webb *et al.* (2014), que con el cambio climático se prevén impactos negativos y positivos en la producción de mango bajo condiciones climáticas futuras. Estos impactos dependen de las variedades de plantas, región geográfica, y los futuros cambios en el espectro de variables climáticas que influyen en la producción de la planta.

Los efectos del cambio climático en la calidad de los cultivos varían. La magnitud y el alcance de los impactos en sí, se regirán por el actual clima de la región, la tasa de cambio proyectado del clima y el tipo de cultivo (Webb *et al.*, 2014).

Augusto *et al.* (2014), destacan que una gran mayoría de estudios, han basado sus resultados en amplias generalizaciones que podrían aplicarse a la mayoría de los cultivares. Todos los estudios tienen un conjunto de estados fenológicos distintivos, como si los árboles de mango crecieran de forma sincronizada en todo el pabellón y pasaran por etapas distintivas en ambientes subtropicales.

Además, la mayoría de estos estudios describen la fenología de los mangos como un conjunto continuo de eventos impulsados por los cambios climáticos que se presentan habitualmente. Esto no es del todo cierto; por ejemplo, los árboles en climas subtropicales no siempre pueden comportarse como se esperaba cuando se expone a condiciones climáticas cálidas tropicales (Augusto *et al.*, 2014).

Así mismo, según Augusto *et al.* (2014), aunque los brotes de descanso por lo general se rompen para formar brotes vegetativos durante temperaturas cálidas, un período de coincidencia tal de estrés hídrico puede retrasar la brotación a pesar de las temperaturas cálidas hasta cuando las lluvias de verano llegan. Por lo tanto, el curso de desarrollo de la planta puede depender de múltiples factores ambientales e internos de forma simultánea.

En contraste con el ciclo fenológico descrito para las condiciones subtropicales, los árboles de mango en los trópicos y los subtrópicos, en los que han experimentado un invierno leve, se han definido como que tienen un patrón de crecimiento asincrónico, es decir no es simultáneo (Augusto *et al.*, 2014).

Los árboles de mango a menudo inician una actividad en respuesta a la primera lluvia importante de la temporada de lluvias, cuando los árboles están en estrés hídrico en el momento. Bajo las condiciones tropicales, hay dos estaciones de lluvias. La primera temporada de lluvias en el año se extiende de febrero a mayo, que tiene un pico en marzo, y el segundo se produce entre septiembre y diciembre, que tiene un pico en noviembre. Sin embargo, lluvias tempranas que se producen durante la estación seca a veces inducen a la brotación de yemas en reposo (Augusto *et al.*, 2014).

La iniciación temprana de la floración, puede ser estimulada por factores ambientales, como el cambio de temporada seca a la temporada de lluvias en las zonas tropicales y un cambio de temperaturas frías a temperaturas cálidas. La iniciación también puede ser estimulada por factores antropogénicos tales como la poda, riego, aplicación de sustancias de nitrógeno y/o fertilizantes y la exposición a etileno (Ramírez y Davenport, 2010).

Así mismo, según Ramírez y Davenport (2010), la temperatura es un factor importante en el crecimiento y desarrollo de mango. El frío es un factor limitante para el cultivo de mango, y las temperaturas por debajo del 6°C provocan la muerte del árbol. Las altas temperaturas superiores a 40°C causan estrés térmico en los árboles de mango. El mango tolera hasta 48°C durante el cuajado. Las temperaturas frías son factores importantes que determinan la floración de mango en condiciones subtropicales y en las zonas tropicales de altitudes superiores. El efecto de la temperatura, es más evidente en condiciones subtropicales donde se produce la formación de flores después o durante la exposición a temperaturas medias

inductivas a la floración. Los mangos cultivados en el trópico de baja latitud dependen menos de la baja temperatura para la inducción floral, que los árboles que crecen en los trópicos de latitudes superiores y en los subtropicos

b. El cambio climático en la producción de frutales caducifolios.

A raíz del inminente cambio climático que se está presentando, los frutos caducifolios se están viendo afectados, pues requieren de periodos de frío intenso, lo que por el aumento de la temperatura, ha generado que su desarrollo no sea el mismo.

Según Flores (2007), se conoce que el término “horas de frío” se refiere a las horas transcurridas a temperaturas inferiores a 7°C. Esto se correlaciona a su vez con la cantidad de frío requerida para la ruptura de la dormancia y el posterior crecimiento normal del árbol frutal.

Las plantas expuestas a bajas temperaturas en el otoño entran en dormancia, pero una vez producido el estado de dormancia, la exposición de las plantas a bajas temperaturas es el modo más efectivo para romper dicho proceso. Por ello, cada especie y variedad frutal de follaje caduco posee una demanda determinada de acumulación de horas de frío, y esto es fundamental a la hora de definir que frutales pueden cultivarse en una zona determinada (Flores, 2007).

Diversos son los síntomas de la falta de frío en los frutales. Uno de los más evidentes es el retraso en la brotación, especialmente de los órganos vegetativos. Ello podría ser la causa de una alta caída temprana de fruta, al no disponer la planta de nutrientes en forma suficiente y oportuna, por falta de superficie foliar (fotosíntesis). En árboles jóvenes se puede observar una menor brotación de yemas, las que saldrán más vigorosas, causando un retraso en la precocidad de las plantas (Espada, 2010).

Las implicaciones para las futuras reducciones en frío del invierno requieren el reconocimiento como un potencial factor limitante en la producción de fruta en toda Europa, sobre todo en el sur. Dentro de esta revisión se describen los síntomas de falta de frío invernal; estos incluyen efectos en la brotación, calidad de las flores y el potencial de dar fruto, así como efectos sobre el crecimiento y el desarrollo vegetativo (Atkinson *et al.*, 2013).

Según Espada (2010), en las actuales circunstancias de cambio climático y ante un posible incremento de la temperatura, será necesario utilizar distintas estrategias y productos autorizados que permitan romper el reposo invernal de las variedades de frutales de hoja caduca exigentes en “frío invernal”, para que los productores puedan obtener producciones rentables.

En frutales de hoja caduca, una defoliación anticipada en el otoño, reduce el tiempo de reposo. En melocotonero, por ejemplo, las plantas podadas florecen antes que las no podadas, por eso se deben podar al final de la estación de reposo si las mismas se encuentran en una zona con riesgo de heladas tardías (Espada, 2010).

Indica Ghrab *et al.* (2014), que el clima mediterráneo es adecuado para el cultivo de durazno. Esta especie es considerada de producción principal entre los árboles frutales más importantes en el área mediterránea. Por ejemplo, en Túnez, se considera como un cultivo estratégico y mostró en la última década un importante aumento de la superficie cultivada, la producción y la duración de la temporada de la madurez. Sin embargo, se observaron variaciones climáticas significativas en las principales áreas de producción durante la última década, con inviernos más cálidos.

También, en Túnez, las condiciones climáticas de las zonas productoras de durazno son muy variables. Se caracterizan por inviernos cálidos frecuentes con grandes fluctuaciones de temperatura, típicos de la región mediterránea. El estudio se centró

en el comportamiento de los cultivares de duraznero en la principal zona hortícola, caracterizado por grandes variaciones anuales de temperatura. Los árboles frutales se forman en una combinación de portainjerto que ofrece el sistema de la raíz y el vástago que producen el cultivo comercial. Se considera el uso de la combinación portainjerto vástago como media para reducir las condiciones efecto cálido sobre el comportamiento de melocotón (Ghrab *et al.* 2014).

Sostiene Luedeling (2012), que las especies de frutales y nogales templados requieren exposición a condiciones de frío en invierno para romper la latencia y producir altos rendimientos. Un adecuado frío del invierno es una característica importante para la ubicación de la huerta, y la cuantificación de frío es fundamental para el trabajo en el huerto. El cambio climático actual, ha afectado el frío del invierno. Es por eso, que con el fin de adaptar los huertos al cambio climático, se debe tener en cuenta el modelado de frío del invierno y el desempeño de los diversos métodos de modelización en los diferentes cultivos que requieren frío.

Los árboles frutales y nogales que se originan en climas fríos invernales caen en dormancia en invierno, lo que les permite tolerar temperaturas de congelación en sus hábitats nativos. Durante la inactividad de la planta, el crecimiento visible se ha suspendido y todos los procesos fisiológicos están detenidos o demorados. Deben ser reactivados en primavera para que los árboles produzcan hojas y flores, y en última instancia, dan fruto. Con el fin de evitar daños por heladas, es crucial para los árboles, sólo para reanudar el crecimiento cuando la estación fría ha terminado (Luedeling, 2012).

Según Luedeling (2012), en los climas tropicales sin estacionalidad pronunciada, es posible inducir artificialmente la latencia del frutal, deshojando los árboles después de la cosecha. Si esto se practica, los árboles parecen ser capaces de reanudar su ciclo anual, sin necesidad de frío. Este tipo de práctica ha permitido la producción de frutas de clima templado en lugares como la India y Kenia, pero no puede ser

recomendado en los sitios más fríos con los ciclos estacionales pronunciados. Sin embargo, la investigación sobre los efectos de ciertas prácticas, como la defoliación, durante el período de inducción de la latencia debe ser explorada. La investigación ha demostrado un efecto cuantitativo de tratamientos de temperatura durante este período de la profundidad de la latencia, y puede ser posible explotar tales efectos para el trabajo en el huerto.

Los cultivos de frutas de clima templado florecen en partes del mundo donde tradicionalmente estas regiones habrían sido consideradas solo aptas para los cultivos semi-tropicales o subtropicales, debido a la falta de frío invernal. Para superar la falta de frío invernal se han utilizado dos enfoques principales. El primero en las regiones donde las temperaturas son lo suficientemente altas para el crecimiento anual la clave ha sido la de evitar la aparición de la latencia y el segundo en las zonas donde el período de enfriamiento es insuficiente para satisfacer las necesidades de enfriamiento, prácticas manuales o métodos químicos se utilizan para romper la latencia. Existen limitaciones en el uso de productos químicos para romper la latencia; que con más frecuencia no sustituyen completamente el requerimiento de frío y sólo pueden trabajar con eficacia durante las fases específicas de latencia (Atkinson *et al.*, 2013).

Se conoce entonces, que en fases de primavera en particular, se han visto afectadas, con la aparición de hojas y floración de muchas especies, que se producen significativamente más temprano ahora que hace unas décadas. Sin embargo, hay excepciones notables a esta evolución.

Según Blanke *et al.* (2013), en función de las exigencias climáticas particulares de las especies y la ubicación en la que se cultivan, el aumento de las temperaturas pueden no tener necesariamente un efecto de avance fenológico. Mientras se calienta durante la fase de acumulación de calor, es casi seguro que avanza la

brotación y la floración, el aumento de las temperaturas durante la fase de enfriamiento anterior puede tener el efecto contrario.

Así si el enfriamiento se acumula más lentamente durante el invierno, los requisitos de refrigeración pueden cumplirse más tarde, lo que retrasa la acumulación de calor y en última instancia conduce a la floración más tarde o la aparición de hojas. Este efecto se puede compensar, al menos en parte, si se produce el calentamiento durante las fases de enfriamiento y de acumulación de calor. El calor se acumula entonces más rápido en primavera, por lo que las plantas pueden ser capaces de recuperar los retrasos durante la fase de enfriamiento (Blanke *et al.*, 2013).

Según, Campoy *et al.* (2011), se conoce que la latencia en la zona templada de árboles frutales de hoja caduca, es una fase de desarrollo que permite a los árboles sobrevivir en condiciones desfavorables durante el invierno. Diversos factores pueden conducir a la inactividad de meristemas. Por ejemplo, las condiciones ambientales desfavorables, como temperaturas de enfriamiento o fotoperíodo corto, generalmente inducen esta inactividad.

Temperaturas por debajo de un cierto umbral, impiden los procesos que conducen al crecimiento y previenen cualquier indicación externa de la actividad. No obstante, la actividad fisiológica no desaparece por completo. Ésta actividad durante la temporada de dormancia afecta el desarrollo futuro y crecimiento potencial. Los procesos que inhiben el desarrollo de otros meristemas vegetativos son bien conocidos. Estos procesos son catalogados como dominancia apical o inhibición, como la impuesta por las hojas de las yemas axilares. Por ejemplo, en el melocotón, la defoliación anteriormente era en verano y puede resultar en la floración forzada. Globalmente, estos procesos son conocidos como la inhibición correlativa (Atkinson *et al.*, 2013).

Un manejo de cultivo y la ubicación adecuada de cultivares en una región tienen requerimientos de frío, que se determinan en unidades transferibles. Cuando el frío acumulado en una zona determinada durante el período otoño invierno no es suficiente para un cultivar para romper la latencia, la liberación de la latencia incompleta afecta el comportamiento de árbol de tres formas principales, que son proporcionales al grado de insuficiencia: demora en el brote, baja tasa de brote y la falta de uniformidad en la aparición de las hojas y de las flores, lo que resulta en una mayor caída de flores (Campoy *et al.*, 2011).

Sin embargo, la experiencia demuestra que los problemas de adaptación son muy abundantes en las zonas de calentamiento de invierno, lo que puede atribuirse a la falta de información sobre la transferibilidad de los requerimientos de frío de los cultivares y las fluctuaciones climáticas de año a año, el atractivo de ciertos cultivares, o la falta de otros cultivares, más adecuados. En estas áreas, la solución óptima es la utilización de cultivares de requerimientos bajo de frío adaptados a las áreas (Campoy *et al.*, 2011).

Así mismo, aseguran Campoy *et al.* (2011), que si estos cultivares no están disponibles, entonces la mejor opción es elegir las variedades que cumplan con los estándares de calidad y tienen los requerimientos de frío más cercano al potencial de frío de la zona.

La adaptación climática precede el mejoramiento de cualidades comerciales de frutas. Por lo tanto, una vez que el mejorador encuentra adaptación climática para el crecimiento de los árboles y la fructificación, la selección para requisitos climáticos más específicas es posible, y la atención primaria puede entonces tener en cuenta las características de la fruta necesarias para hacer el cultivo económicamente viable (Campoy *et al.*, 2011).

Debido a que la latencia es un mecanismo para la adaptación correcta de la fenología de la planta a las condiciones climáticas desfavorables, los cambios en las condiciones climáticas pueden afectar el ciclo de latencia y, en consecuencia, la fenología global de la planta. La variación en la fenología del cultivo puede tener consecuencias negativas. Un claro ejemplo se da en Europa, en donde el calendario de eventos de temporada en las plantas está cambiando, debido a los cambios en las condiciones climáticas (Espada, 2010).

Mencionan Campoy *et al.* (2011), que el evitar la latencia normalmente permite dos cosechas por año en las regiones subtropicales y en las altas elevaciones en los trópicos. Esta evitación se lleva a cabo con una iniciación artificial del ciclo de crecimiento antes de la aparición de la endodormancia, a través de la defoliación completa del árbol, seguido por la desecación de riego o la aplicación de productos químicos de la latencia. Sin embargo, el evitar la inactividad podría no ser posible en algunas de las áreas citadas, si las temperaturas llegan a ser demasiado calientes para el desarrollo del fruto de calidad y la diferenciación normal del botón floral.

En términos de productividad, el cambio climático puede afectar a frutas de clima templado de manera diferente según el sistema de producción, especie, variedad y la zona. En algunas especies, como el trigo, el aumento de las temperaturas mínimas en los últimos decenios en Australia ha aumentado la productividad. Por el contrario, en las frutas de clima templado, la falta de sincronía entre los cultivares de floración entre polinizadores, en el caso de los cultivares autoincompatibles, podría convertirse en un importante inconveniente para la producción de fruta (Blanke *et al.*, 2013).

Se conoce por información de Campoy *et al.* (2011), que la combinación de un grave estrés hídrico y los diferentes niveles de carga frutal en el inicio de la tercera fase de melocotón ayudó a identificar que el estado hídrico del árbol tuvo un mayor impacto en la calidad del fruto que hizo adelgazamiento de fruta. El estrés hídrico

tuvo un fuerte efecto sobre todos los parámetros de calidad de la fruta evaluados en estudio con raleo de frutos, pueden tener un impacto menor.

Un estrés hídrico severo, causa reducción significativa en el tamaño del fruto, un aumento de concentración de materia seca de la fruta, una madurez tardía en las frutas y aumento de los valores de los parámetros importantes de calidad de fruta (concentración de sólidos solubles y acidez titulable). En estudio realizado se demostró que el estrés hídrico aumentó la concentración de sólidos solubles, este efecto positivo fue anulado por un aumento en acidez titulable. Además, el estrés hídrico severo hace que se reduzca la jugosidad de la fruta y hay algunos indicios de una reducción en la calidad organoléptica (Behboudian *et al.*, 2010). Estos cambios indudablemente, reducirán la comercialización de la fruta.

c. El cambio climático en la producción de cítricos

Indudablemente, el cambio climático en la producción de cítricos, ha generado a su vez variables importantes a la hora de cultivarlos. El margen normal que se presentaba en los diferentes cultivos de cítricos, ha presentado variaciones, que además han afectado la calidad del fruto, en cuanto a nutrientes y apariencia.

Los cítricos han sido reconocidos por sus beneficios nutricionales y de salud a los seres humanos. Se encuentran entre los frutos más preferidos y jugosos, además porque los cítricos son comúnmente reconocidos como una importante fuente de vitamina C, razón principal para el gran consumo de cítricos frescos y jugo de todo el mundo. Además de contener vitamina C, tienen gran contenido de fitonutrientes.

Dicen Otmani y Oubahou (2011), que los cítricos son sensibles a las temperaturas extremas y que esa sensibilidad del árbol a las heladas y al calor varía según la especie, así mismo se conoce que las altas temperaturas (generalmente mayores de 13 a 15°C por la noche) retrasan la coloración de frutas, como es el caso en los

meses de otoño en el área mediterránea y casi todo el año en zonas tropicales. Las altas temperaturas en tiempo de primavera aceleran la apertura de flores, caída de pétalos y todo el proceso de cuajado y crecimiento. Si es demasiado alta, pueden causar un exceso de flores y caída inicial de la fruta a través de una reducción en la división celular y la activación del proceso de abscisión. En general, poco o ningún crecimiento se produce en cualquiera de los órganos de árboles de cítricos a temperaturas inferiores a 13°C. La floración está determinada en parte por factores ambientales.

Ghrab *et al.* (2014), comparten la idea que los cítricos son particularmente sensibles a los cambios de temperatura y precipitación. El inicio de la floración requiere un período de condiciones ya sea frío o la sequía para liberar la latencia, seguido de un período de condiciones cálidas con suficiente disponibilidad de humedad para inducir brotación. A pesar de estos requisitos, las variedades de cítricos se cultivan en más de 140 países con diferentes climas a través de las regiones tropicales del mundo.

De igual forma, las altas temperaturas en tiempo de primavera aceleran la apertura de flores, caída de pétalos y todo el proceso de cuajado y crecimiento. Si es demasiado alta, pueden causar un exceso de flores y caída inicial de la fruta a través de una reducción en la división celular y la activación del proceso de abscisión. Esto reduce la carga del árbol. El exceso de calor durante las últimas etapas de crecimiento del fruto, podría disminuir el tamaño del fruto y el retraso en la maduración (Otmani y Oubahou, 2011).

Los cítricos, son vulnerables a las altas temperaturas. Una excesiva temperatura durante la floración o período determinado de la fruta, puede inducir la abscisión del fruto (Carroll *et al.*, 1995).

Igualmente, la floración en los cítricos, está determinada en parte por factores ambientales. Ocurre durante las bajas temperaturas invernales bajo mediterráneo y condiciones subtropicales, y puede verse afectada por condiciones de estrés hídrico en las regiones tropicales.

A raíz del cambio climático, se observa un efecto sobre la calidad de la fruta. Por ejemplo el desarrollo de la fruta en un clima caliente tiene un alto contenido de sólidos solubles: relación de ácidos debido principalmente a su baja acidez. Un alto contenido de sólidos solubles es bastante deseable para el procesamiento de fruta, pero cuando el contenido de ácido es demasiado bajo, la calidad de la fruta es pobre. Por lo tanto, los cítricos para consumo en fresco se producen preferentemente en zonas climáticas subtropicales y mediterráneas. En estas condiciones, el color de la fruta es bueno, la calidad interna en la maduración de la fruta es equilibrada y se puede almacenar durante un largo período o enviado a través de largas distancias sin efecto negativo sobre su calidad (Otmani y Oubahou, 2011). Se tienen entonces unas condiciones óptimas en la poscosecha.

En opinión de Diamantidis *et al.* (2013), para los cítricos, los factores climáticos, como temperaturas extremas (calor, frío), la sequía y la salinidad son los principales factores de estrés ambiental abiótico, que limitan el crecimiento y el desarrollo de la planta, y en consecuencia el rendimiento agronómico. A nivel celular, condiciones abióticas adversas alteran la homeostasis celular e inducen niveles de exceso de especies reactivas de oxígeno que conducen al estrés oxidativo.

Así, se menciona que en condiciones tropicales, el déficit hídrico influye en el desarrollo de las plantas. Los periodos de sequía que oscilan entre 2 y 8 semanas inducen la floración de los cítricos, y se hace necesaria la presencia de lluvias o de riego para diferenciar las yemas en latencia, promoviendo su desarrollo con una correlación entre el nivel de estrés hídrico producido y la intensidad de la floración (Hernández *et al.*, 2014).

Hernández *et al.* (2014), indican que cuando los huertos sufren estrés hídrico por déficit prolongado de humedad, las plantas retrasan su crecimiento, las hojas se enrollan, los frutos se ven afectados, se presenta caída excesiva de frutos jóvenes. En frutos ya desarrollados hay reducción del crecimiento y alteración de su calidad (reduce el contenido de jugo y acidez).

En general, en las regiones de clima tropical donde el rango diario de variación de la temperatura es baja los frutos tienden a ser más grandes, con una corteza verde más fina y mayor porcentaje de jugo, pero con menor contenido de sólidos solubles totales y concentración de ácido en el jugo de los frutos producidos en regiones subtropicales (Hernández *et al.*, 2014).

Según Diamantidis *et al.* (2013), los cítricos poseen tolerancia a la sequía y son susceptibles a los excesos de humedad. Las plantas pueden subsistir varios meses sin recibir agua, pero en estos periodos modifica su metabolismo para disminuir el consumo energético. Algunos autores reportan que los daños por sequía pueden variar en función de factores como la textura del suelo.

Así mismo, huertos de cítricos sobre suelos arenosos pueden presentar síntomas por sequía, generalmente después de un periodo de una o más semanas sin riego. Los daños por sequía pueden acentuarse o atenuarse en función de otros factores como la temperatura media de la zona, humedad relativa y los vientos (Hernández *et al.*, 2014).

Indican Hernández *et al.* (2014), que los elementos climáticos de importancia para el cultivo de los cítricos en condiciones tropicales son principalmente: frecuencia y distribución de la precipitación, radiación, temperaturas (medias totales, medias máximas y mínimas), humedad relativa y velocidad del viento; el comportamiento anual y su variabilidad condicionan la fenología de las plantas y el desarrollo de las prácticas de manejo de los cultivos como riego, fertirrigación, fertilización, podas y

manejo fitosanitario. La sumatoria de estas variables climáticas junto con prácticas de manejo de los cultivos determina el comportamiento productivo y la calidad de los frutos.

Los climas templados se caracterizan por una fase de temporada donde las temperaturas subóptimas restringen o cancelan el crecimiento. Como consecuencia, las plantas templadas han desarrollado mecanismos para sobrevivir el estrés de baja temperatura durante el invierno. Este ritmo anual tiene periodos de crecimiento meristemático activo separados por períodos de latencia o "descanso" que evita lesiones de baja temperatura (Atkinson *et al.* 2013).

10. MEDIDAS PARA MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

En Colombia, resulta más eficiente enfocarse en reducir la vulnerabilidad que disminuir las amenazas provenientes del cambio climático. Generar estrategias de adaptación, requiere de un proceso de análisis de la vulnerabilidad y de los escenarios futuros, de acuerdo con condiciones culturales, ambientales, económicas, sociales y políticas (Chavarro *et al.*, 2008).

Es ampliamente aceptado que las comunidades más pobres son las más vulnerables, porque no tienen acceso incluso a los servicios urbanos más básicos, ocasionando a éstos una desventaja comparativa y desafiando sus capacidades para asumir tensiones adicionales causados por el cambio climático. Dichas vulnerabilidades complejas requieren respuestas integrales que vinculen los esfuerzos de adaptación al cambio climático y mitigación para el desarrollo sostenible de estas comunidades mejorando su capacidad de adaptación (Blanco *et al.*, 2009).

Prepararse para el futuro, requiere generar estrategias de adaptación frente a los inminentes cambios climáticos, que a su vez requieren estrategias de difusión de los riesgos que implican las transformaciones climáticas, de campañas de sensibilización, y de análisis ambientales y culturales sobre los procesos de adaptación, a la vez que

compromisos gubernamentales a largo plazo (Chavarro *et al.*, 2008). Según Blanco *et al.* (2009), se requiere el desarrollo de una metodología y una herramienta para ayudar a las personas, comunidades, países o regiones en el proceso de toma de decisiones hacia la mejor respuesta al cambio climático.

Como políticas recomendadas, según Lau *et al.* (2013), se deben realizar evaluaciones de impacto regionales, así como de la vulnerabilidad de los sistemas de producción agropecuaria y capacitaciones a los agricultores, en donde se les indique como implementar sistemas agroforestales, que ayudan en la mitigación del cambio climático.

Como grandes aportes universales, el cambio climático se puede mitigar con fijación de carbono al suelo mediante los abonos orgánicos y fijación de carbono atmosférico mediante la siembra de árboles. Es así como frente al cambio climático, en el campo agrícola se consideran estrategias tales como el almacenaje de agua para mitigar periodos secos, construcción de estructuras especiales de siembra, fomento de la agricultura orgánica (Mejía, 2011).

Según Betts y Falloon (2010), se ha pensado también en el cambio del uso y manejo de las tierras agrícolas, para apoyar los objetivos de mitigación, o planes de adaptación, siendo probable que tenga otros efectos ambientales y climáticos. Cambiar las prácticas de gestión del agua para adaptarse al cambio climático también podría potencialmente afectar a la eficacia de las opciones de mitigación y adaptación agrícolas. Por ejemplo, además de aumentar el almacenamiento de carbono, se podrían crear zonas de protección para evitar la pérdida de nutrientes a las aguas superficiales y reducir la escorrentía superficial y la erosión.

De igual forma, se ha extendido la idea de enfrentar el cambio climático con medidas técnicas: jarillones, dragados y otras disposiciones a cargo de contratistas. Sin

embargo, no se trata de un problema técnico, sino de establecer un diálogo con la naturaleza (Mejía, 2011).

Según González y Márquez (2008), las medidas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, pueden ayudar a evitar, mitigar o retrasar muchos de los efectos del cambio climático. Los instrumentos políticos pueden incentivar, tanto a los productores como a los consumidores, a invertir considerablemente en productos, tecnologías y procesos que emitan menos gases de efecto invernadero. Sin embargo, se requerirán nuevas políticas de mitigación, ya que las emisiones mundiales de gases efecto invernadero, seguirán aumentando en las próximas décadas.

Así, se hace indispensable entender que con el cambio climático, se modificarán las condiciones ambientales importantes para la producción. Se requiere interpretación de los efectos potenciales de estos cambios para minimizar los impactos adversos mediante la adaptación y mejor aprovechar los posibles beneficios (Webb *et al.*, 2014).

Menciona Chaar (2013), que un desafío para la fruticultura es diseñar sistemas productivos en los cuales exista un adecuado ajuste entre la capacidad de resistir a bajas temperaturas de los materiales vegetales cultivados y las características climáticas de las zonas agrícolas, así como también la implementación de prácticas de manejo que tiendan a minimizar la necesidad de utilizar métodos activos de control de heladas, los cuales son energética y (en muchas ocasiones también), ambientalmente costosos.

El hecho de que la adaptación puede mitigar el impacto del cambio climático no puede ser una excusa para ser menos prudente, sino más bien debe servir como un incentivo para el desarrollo de estrategias de adaptación eficientes que reduzcan la vulnerabilidad de la producción de frutas de clima templado (Campoy *et al.*, 2011).

Por eso se hace necesario, realizar medidas de adaptación, con investigación en material genético resistente al calor y programas de fitomejoramiento para los cultivos más vulnerables, así como el desarrollo de nuevas prácticas para sistemas agrícolas que puedan soportar temperaturas más altas (Lau *et al.*, 2013).

Las plantas terrestres presentan todo un abanico de adaptaciones anatómicas, bioquímicas y moleculares constitutivos e inducibles a estrés por sequía. Estos son particularmente relevantes en ciertas regiones, y para especies perennes tales como árboles, que muy probablemente tienen que enfrentar la escasez de agua varias veces durante su vida útil. De acuerdo con el pronóstico del clima actual, el estrés por sequía será aún un factor más decisivo en grandes partes del planeta en el futuro cercano (Perdiguero *et al.*, 2013).

Según Perdiguero *et al.*, (2013), por ejemplo, las regiones del Mediterráneo sufrirán una disminución de 10 a 20% de las precipitaciones anuales, con períodos de sequía más frecuentes y graves, junto con un aumento de 3 a 3,5°C en la temperatura media anual para el final de este siglo. Por lo tanto, las respuestas de adaptación con la que las especies de árboles tendrán que enfrentar estas situaciones son muy importantes.

Así, aunque la dormancia es un proceso mediante el cual las plantas se adaptan a su fenología con el medio ambiente, el cambio climático rápido podría superar la capacidad de adaptación de muchos cultivos frutales templados en un futuro próximo, y podría surgir graves problemas de productividad. El uso sincronizado de las herramientas de genética, de mejoramiento, el clima y la dormancia de modelado, fisiología y agronomía, podría mitigar o incluso eliminar las consecuencias negativas del cambio climático en la producción de fruta (Campoy *et al.*, 2011).

El agua es vital para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El estrés hídrico, permanente o temporal, limita el crecimiento y la distribución de la vegetación natural y el rendimiento de las plantas cultivadas más que cualquier otro factor

ambiental. Aunque la investigación y las prácticas destinadas a mejorar la eficiencia de la resistencia de estrés de agua y el uso del agua se han llevado a cabo durante muchos años, el mecanismo involucrado aún no está claro. Es necesario profundizar en la comprensión y las relaciones planta-agua y la tolerancia de estrés de agua en la escala de la fisiología y la biología molecular, que puede mejorar significativamente la productividad de la planta y la calidad ambiental (Abdul *et al.* 2008).

Según Abdul *et al.* (2008), el estrés hídrico es el principal problema en la agricultura y la capacidad de soportar tal tensión es de gran importancia económica. La tolerancia al estrés hídrico, implica cambios sutiles en la bioquímica celular. Parece ser el resultado de la acumulación de solutos compatibles y de proteínas específicas que pueden ser inducidos rápidamente por estrés osmótico. Las numerosas respuestas fisiológicas de las plantas al déficit de agua varían generalmente con la gravedad, así como con la duración del estrés hídrico.

A escala global, el agua disponible para los cultivos es limitada, pues cubre sólo el 20% de la superficie total dedicada a la agricultura. En consecuencia, a pesar de los efectos fisiológicos producidos por la sequía en las plantas están bien estudiados y caracterizados, y este sigue siendo un tema de investigación de alta prioridad. Uno de los efectos más conocidos de la restricción de agua en las plantas es la reducción en el crecimiento y desarrollo debido al cese de la expansión celular (Azevedo *et al.*, 2014).

La elección del lugar para la producción de cultivos, es una práctica fundamental para el éxito de los mismos, incluso en un clima estable. La temperatura, es el factor dominante que determina dónde y cuándo se producen los cultivos en general, tiene una influencia significativa en el rendimiento de los cultivos. En un clima más cálido, ésta práctica de la cuidadosa selección de sitios apropiados para cultivos anuales es igualmente importante. Sin embargo, la selección de sitios para especies perennes es inminentemente más importante y urgente para considerar el cambio climático. Esto

se debe a que algunos de estos cultivos (por ejemplo, árboles frutales y vides de uva) tienen una vida media de más de 30 años. Se espera que los cultivos frutales plantados hoy, puedan seguir siendo productivos en un futuro (Webb *et al.*, 2014).

De igual forma, según Webb *et al.* (2014), en algunos casos, las variedades de ciclo largo puede ser más adecuadas para el cambio climático, que las variedades de ciclo corto (por ejemplo, cebolla). Alternativamente, se ha pensado en que el doble cultivo podría ser practicado utilizando variedades de ciclos cortos en algunos sitios, con algunos cultivos de ciclo largo, aunque esto tiene implicaciones para el aumento de la utilización del agua.

Según Webb *et al.* (2014), con el fin de mitigar el cambio climático, muchos de los cultivos hortícolas se cultivan en invernaderos para protegerlos contra el clima desfavorable. Con el calentamiento global, una menor necesidad de calefacción bajará los costos de energía a los productores y ayudará a mejorar el rendimiento de la producción.

Por ejemplo, para un alto rendimiento, se utilizan los sistemas de huertos en Australia, con el fin de reducir las quemaduras solares de la fruta, mejorar el color y el acabado de la piel y eliminar los daños producidos por aves. Así mismo, revestimientos a base de caolín comerciales que también sirven como un repelente de plagas, pueden ser utilizados para reducir las quemaduras solares. Además, el enfriamiento por evaporación con el uso de aspersores, pueden bajar la temperatura de la fruta, reducir las quemaduras solares y mejorar el color de las frutas (Webb *et al.*, 2014). Caso que se observa en los cultivos de manzana en Australia.

Así mismo, afirman Webb *et al.* (2014), que más lluvias extremas, es probable que aumenten en frecuencia y en consecuencia, las inundaciones. Explican que en Europa, los cambios en los patrones de precipitación pueden requerir la introducción de cultivos de cobertura entre las filas de vid con el fin de minimizar la erosión del

suelo. Esas medidas podrían incluir la plantación de cubierta vegetal entre surcos usando hierbas tolerantes a la sequía y leguminosas. Igualmente, protecciones de plástico son otra manera utilizada para minimizar los daños causados por eventos de lluvias intempestivas o extremas, con lo que se reducen la rotura de las bayas y la caída de las mismas en la producción de uva de mesa.

Según Webb *et al.* (2014), en simulaciones de los cambios proyectados a árboles frutales (por ejemplo, manzana y pera) la floración indica que, dependiendo de la selección de cultivares, las características fisiológicas de la planta y el cambio climático era de esperarse, que el tiempo de floración pueda retrasarse, adelantarse o mantenerse sin cambios. Estas diferentes respuestas son el resultado de las acciones opuestas de acumulación de frío de invierno retardada y la aceleración del tiempo necesario para el desarrollo de las flores.

La adaptación al cambio climático puede producirse en forma independiente. Por ejemplo, los agricultores se ajustan actualmente aumentando gradualmente la temperatura mediante la modificación de tiempo de plantación sobre una base año tras año. En algunos casos la gestión puede llegar a ser más fácil, por ejemplo, evitar las heladas pueden no necesitar la implementación de mecanismos. Los invernaderos pueden no requerir tanto la calefacción, aunque los requisitos de refrigeración se pueden aumentar (Webb *et al.*, 2014).

Así, mencionan Webb *et al.* (2014), que la estimación de las necesidades de agua de los cultivos a partir de datos meteorológicos con retroalimentación de mediciones de humedad del suelo, drenaje profundo, y el estrés hídrico de los cultivos mejorarán la gestión del riego. Muchos horticultores utilizan tecnologías de riego por goteo, que proporcionan una mejora significativa de la eficiencia de uso de agua en comparación con los sistemas de riego por surcos o rociadores. Del mismo modo, el cálculo de los riesgos asociados con los cambios en la disponibilidad de agua puede aliviar

cualquier impacto adverso en cuanto a la asignación de agua para diversos sectores de la agricultura en el futuro, o en evitar las zonas propensas a inundaciones.

11. CONSIDERACIONES FINALES

En el último siglo, la temperatura media mundial ha aumentado en casi un grado y se proyecta que para los últimos decenios del siglo XXI este calentamiento podría alcanzar 4°C, verdaderamente es necesario aprender más acerca del clima alterado y sus implicaciones.

Es una realidad que se vive por el cambio climático y es necesario tomar conciencia que la actividad humana está aportando una cuota muy alta, ocasionando que la variabilidad climática impacte con rigor muchas cosas alrededor de lo que se vive diariamente.

El cambio climático modifica el sabor y la textura de las frutas.

Los árboles frutales son especialmente vulnerables ante las heladas.

La temperatura, es el factor dominante que determina dónde y cuándo se producen los cultivos en general, tiene una influencia significativa en el rendimiento de los cultivos.

Debido al cambio climático, las plantas sufren estrés hídrico por déficit prolongado de humedad, retrasan su crecimiento, las hojas se enrollan, los frutos se ven afectados, presentándose caída excesiva de frutos jóvenes.

El cambio climático constituye un problema ambiental real, lo que es motivo de preocupación para todos los países del planeta. Cambios rápidos en todo el mundo en el clima ya están ocurriendo y se espera múltiples consecuencias, pero el grado de impacto depende de parte del mundo de la que se hable (Hachicha y Mansour, 2014).

Según Asseng *et al.* (2015), el clima mundial está cambiando y la agricultura tendrá que adaptarse para garantizar la sostenibilidad y la supervivencia. Debido a la complejidad de los sistemas agrícolas y el cambio climático, modelos de cultivos se utilizan a menudo para entender el impacto del cambio climático en la agricultura y para ayudar en el desarrollo de estrategias de adaptación.

Dados los impactos que el cambio climático ha tenido sobre los recursos hídricos, se espera una época de conflictos territoriales en lucha por el agua, pero también es muy probable que comiencen a surgir conflictos entre los distintos usos de la misma, ya se están registrando pérdidas millonarias, sobre todo en el terreno de la agricultura, muchos cultivos deberán ser desplazados hacia otras zonas o simplemente abandonados (Grupo Entrepueblos, 2011).

El déficit de agua y la sequía representan un riesgo permanente para la agricultura y hace variable la producción, sobre todo en países en donde la agricultura desempeña un papel fundamental en su economía. Sin embargo, la agricultura es vulnerable como consecuencia de varias causas interconectadas. La variabilidad del clima (en tiempo y espacio), combinada con la aridez y baja fertilidad, significa que los recursos hídricos son escasos, con una deteriorada calidad en la mayoría de las regiones (Hachicha y Mansour, 2014).

Así mismo cabe resaltar, que el CO₂ atmosférico es fundamental para el crecimiento y la productividad de la vegetación terrestre, así como crítico para las propiedades radiativas de la atmósfera y por lo tanto el clima. Consecuentemente, la concentración atmosférica cambiante de CO₂ tendrá efectos trascendentales en la producción agrícola (Asseng *et al.*, 2015).

Los factores más importantes, relacionados con el estrés en los cultivos incluyen acortamiento de las fases de desarrollo inducidos por las altas temperaturas, la reducción de la percepción de la luz sobre el ciclo de vida más corto y la perturbación de los procesos asociados con el balance de carbono de las plantas. Se ha sugerido

que las temperaturas más altas reducen la ganancia neta de carbono mediante el aumento de respiración de la planta más que en la fotosíntesis (Arenque *et al.*, 2010).

12. CONCLUSIONES

- ❖ Los diferentes frutales, han sufrido cambios relevantes durante su desarrollo, en cuanto a modificaciones en los procesos fisiológicos, a raíz de las variaciones climáticas, con lo que se afecta también tanto la calidad del fruto, como las futuras cosechas.
- ❖ Los cambios en el clima favorecen la aparición de plagas y enfermedades que afectan los frutales.
- ❖ Se hace necesario trabajar en el fitomejoramiento de los frutales, con el fin de obtener variedades o híbridos tolerantes a las variaciones del cambio climático.
- ❖ Un uso racional del agua para los riegos de los frutales, con mejoramiento del riego ayuda a la mitigación del cambio climático.
- ❖ La adopción de buenas prácticas agrícolas, y un uso adecuado del suelo, también son un aporte importante para mitigar el cambio climático.
- ❖ El clima a nivel mundial, está cambiando y más cambios son inevitables independientemente de los esfuerzos para reducir las emisiones globales de gases de efecto invernadero.
- ❖ Debido al inminente cambio climático, que se está presentando a nivel mundial se han visto afectados sectores de gran importancia tales como la agricultura, con lo que la seguridad alimentaria está bastante trastornada.

- ❖ Se hace necesario y urgente, tomar medidas de mitigación del cambio climático sobre la producción de frutales.

- ❖ Así mismo, se observa como los diferentes frutales, han sufrido cambios relevantes durante su desarrollo, en cuanto a modificaciones en los procesos fisiológicos, a raíz de las variaciones climáticas, con lo que se afecta también tanto la calidad del fruto, como las futuras cosechas.

- ❖ A pesar de los cambios notorios que ha tenido el clima, en las diferentes regiones, los agricultores han trabajado por lograr la adaptación a ese cambio climático, sacando provecho del mismo, y aportando con acciones positivas al cuidado y mejoramiento del medio ambiente.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Abdul, C., Chu, L., Shao, H. y Zhao, C. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Comptes Rendus Biologies* 331, p. 215-225.
- Albrechtová, J., Bastián, O., Cudlín, P., Marek, M., Pokorný, J. y Seják, J. (2013). Forest Ecosystem Services Under Climate Change and Air Pollution. *Developments in Environmental Science*, 13, p. 521-546.
- Altermann, E., Attwood, G., Buddle, B., Denis, M., Janssen, P. y Pinares, C. (2011). Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *The Veterinary Journal* 188, p. 11-17.
- Arenque, B., Buckeridge, M., Damatta, F. y Grandis, A. (2010). Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International* 43, p. 1814-1823.
- Asseng, S., Wang, E., Zhang, W. y Zhu Y. (2015). Crop modeling for climate change impact and adaptation. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing, China; p. 505-546.
- Atkinson, C.J., Brennan, R.M. y Jones, H.G. (2013). Declining chilling and its impact on temperate perennial crops. *Environmental and Experimental Botany* 91, p. 48– 62.
- Augusto, J., Fischer, G., Lee, T., Ramírez, F. y Ulrichs, C. (2014). Mango trees have no distinct phenology: The case of mangoes in the tropics. *Scientia Horticulturae* 168, p. 258-266.
- Azevedo, R., Boaretto, L.F., Borgo, L., Carvalho, G., Creste, S. y Mazzafera, P. (2014). Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. *Plant Physiology and Biochemistry* 74, p. 165-175.

- Behboudian, M.H., Girona, J., López, G., Marsal, J., Mata, M. y Vallverdu, X. (2010). Mitigation of severe water stress by fruit thinning in ‘O’Henry’ peach: Implications for fruit quality. *Scientia Horticulturae* 125, p. 294-300.
- Bellouin, N. (2014). Aerosols: Role in Climate Change. *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*, p. 76-85.
- Betts, R. y Falloon, P. (2010). Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation—The importance of an integrated approach. *Integrating Water and Agricultural Management Under Climate Change*. 4, p. 54-63.
- Blanco, P., Cavric, B., Laukkonen, J. y Lenhart, J. (2009) Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Climate Change and Human Settlements*, p. 87-92.
- Blanke, M., Dai, J., Guo, L., Leslie, C. y Luedeling, E. (2013). Differential responses of trees to temperature variation during the chilling and forcing phases. *Agricultural and Forest Meteorology* 181, p. 33– 42.
- Bodroza, D., Djuricin, S., Gregoric, E., Kresovic, B. y Matovic, G. (2014). Irrigation as a climate change impact mitigation measure: An agronomic and economic assessment of maize production in Serbia. *Agricultural Water Management* 139, p. 7-16.
- Boddy, L., Buntgen, U., Egli, S., Gange, A., Heegaard, E., Kirk, P., Mohammad, A. y Kauserud, H. (2014). Climate variation effects on fungal fruiting. *Fungal Ecology* 10, p. 20-33.
- Bonilla y Lemus (2012). Emisión de metano entérico por rumiantes y su contribución al calentamiento global y al cambio climático. Revisión. *Revista Mexicana Ciencias Pecuarias* 3(2), p. 215-246.

- Buseck, P.R. y Schwartz, S.E. (2014). Tropospheric Aerosols. Treatise on Geochemistry, 2nd edition, p. 35-67.
- Campoy, J., Ruíz, D. y Egea, J. (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: A review. *Scientia Horticulturae* 130, p. 357-372.
- Carroll, J., Goldberg, R., Hodges, T., Phillips, J. y Rosenzweig, C. (1995). Potential Impacts of Climate Change on Citrus and Potato Production in the US. *Agricultural Systems* 52, p. 455-479.
- Chaar, J.E. (2013). Resistencia a heladas en plantas frutales. *Avances en Investigación Agropecuaria* 14, p. 109 – 121.
- Challinor, A.J. y Wheeler, T.L. (2008). Crop yield reduction in the tropics under climate change: Processes and uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology* 148, p. 343 – 356.
- Chavarro, M., García, A. y García, J. (2008). Preparándose para el futuro: Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al cambio climático. Bogotá, Colombia: Editorial UNODC. 56 p.
- Corredor, J. y García, J. (2011). Fenología reproductiva, biología floral y visitantes florales en los cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) Hilacha y Tommy Atkins en el valle del alto Magdalena (Colombia). *Corpoica Ciencias Tecnológicas Agropecuarias* 12, p. 21-32.
- De Nys, E., Edmeades, S., Janssen W., Lee, D., McDonald, A. (2014). Developing local adaptation strategies for climate change in Agriculture: A priority-setting approach with application to Latin America. 29, p. 78-91.
- Deighton, M.H., O’Loughlin, B.M., Williams, S.R.O., Moate, P.J., Kennedy, E., Boland, T.M. y Eckard, R.J., (2013). Declining sulphur hexafluoride permeability of polytetrafluoroethylene membranes causes overestimation of calculated ruminant

methane emissions using the tracer technique. *Animal Feed Science and Technology* 183, p. 86-95.

Diamantidis, G., Fillipou, P., Fotopoulos, V., Mollasiotis, A. y Vasilakakis, M. (2013). Nitrosative responses in citrus plants exposed to six abiotic stress conditions. *Plant Physiology and Biochemistry* 68, p. 118-126.

Dinesh, M.R., Jha, A.K., Laxman, R.H., Ravishankar, K.V., Rymbai, H. y Sunoj R.S. (2014). *Revista Scientia Horticulturae* 176, p. 189-193.

Espada, J. (2010). Necesidades de frío invernal de los frutales caducifolios. *Revista Informaciones técnicas* 224, p. 2-8.

Flores, P. (2007). Requerimiento de frío en frutales efectos negativos sobre la producción de fruta. *Revista Agromensajes de la facultad* 23, p. 12-18.

Galbally, I.E., Meyer, C.P., Smith, C. y Wang, Y. (1997). A comparison of two algorithms for estimating carbon dioxide emissions after forest clearing. *Environmental Modelling & Software*, 12, p. 187-195.

Ganopolski, A. (2012). *Climate Change Models*. *Revista Ecological models* 6, p. 603-612.

Génard, M., Joas, J., Léchaudel, M. y Nordey, T. (2014). Spatial and temporal variations in mango colour, acidity, and sweetness in relation to temperature and ethylene gradients within the fruit. *Journal of Plant Physiology*, 171, p. 15-23.

González, D. y Márquez, E. (2008). *Cambio Climático Global*. México: ADN Editores. 110 p.

Ghrab, M., Mechlia, N., Mimoun, M. y Moncef, M. (2014). Chilling trends in a warm production area and their impact on flowering and fruiting of peach trees. *Revista Scientia Horticulturae* 178, p. 87-94.

- Grupo Entrepueblos (2011). Agua y cambio climático. Revista Semillas 46/47, p. 36-39.
- Hachicha, M. y Mansour, M. (2014). The Vulnerability of Tunisian Agriculture to Climate Change. Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance, p. 56-63.
- Hafidi, M., Legave, J.M., Malagi, G., Oukabli, A., y Yaacoubi, A. (2014). Global warming impact on floral phenology of fruit trees species in Mediterranean region. Scientia Horticulturae, p. 243-253.
- Hernández, D.R., Mateus, D. y Orduz, J.O. (2014). Características climáticas y balance hídrico de la lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en cinco localidades productoras de Colombia. Revista colombiana de Ciencias Hortícolas 8(2), p. 217-229.
- Hope, C., Jason, J. y Lane, S. (1997). Climate change and energy policy: The impacts and implications of aerosols. Energy Policy, p. 23-49.
- Huhtanen, P., Cabezas, E.H., Utsumi, S. y Zimmeman, S. (2014). Comparison of methods to determine methane emissions from dairy cows in farm conditions. Journal of Dairy Science 98(5), p. 17-23.
- Joas, J., Léchaudel, M., López, F., Sallanon, H. y Vidal, V. (2013). Response of the physiological parameters of mango fruit (transpiration, water relations and antioxidant system) to its light and temperature environment. Journal of Plant Physiology 170 (6) , p. 567-576.
- Kelly, M. y Adger, N. (2000). Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation. Climate Change 47, p. 325 – 352.

- Kruska, R., Herrero, M., Reid, R.S. y Thornton P.K. (2008). Systems dynamics and the spatial distribution of methane emissions from African domestic ruminants to 2030. *Revista Agriculture, Ecosystems & Environment* 126, p. 122-137.
- Lau, Ch., Jarvis, A. y Ramirez, J. (2013). Agricultura Colombiana: Adaptación al cambio climático. En: CIAT Políticas en síntesis No. 1., p. 1-4.
- Leng, G., Tang, Q. y Rayburg, S. (2014). Climate change impacts on meteorological, agricultural and hydrological droughts in China. *Global and planetary change* 126, p. 23-34.
- Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae* 144, p. 218–229.
- Mejía, M. (2011). Cambio climático y afectación a la agricultura. *Revista Semillas* 46/47, p. 89-92.
- Mokhov I. y Eliseev A.V. (2013). Climate Change 3: History and Current State. *Revista Earth Systems and Environmental Sciences*, p. 89-64.
- Moretti, C.L., Matos, L.M., Calvo, A.G. y Sargent, S.A. (2010). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International* 43, p. 1824 – 1832.
- Otmani, M. y Oubahou, A. (2011). *Citrus* spp.: orange, mandarin, tangerine, clementine, grapefruit, pomelo, lemon and lime, Woodhead Publishing Limited, p. 437-514.
- Pabón, J.D. (2011). El cambio climático en el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Universidad Nacional de Colombia – Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. 128 p.

- Perdiguero, P., Barbero, M., Cervera, M., Collada, C., y Soto, A. (2013). Molecular response to water stress in two contrasting Mediterranean pines (*Pinus pinaster* and *Pinus pinea*). *Plant Physiology and Biochemistry* 67, p. 199-208.
- Place, S.E. (2014). Climate Change: Animal Systems. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, p. 244-255.
- Pozo, M. (2014). Efectos del Cambio Climático sobre la Fisiología de los cultivos y alternativas de solución. *Revista QSI* 1, p. 7.
- Ramírez, F. y Davenport, T. (2010). Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology. *Scientia Horticulturae* 126, p. 65–72.
- Ribeiro, S. (2011). Agricultura y bosques bajo ataque en negociaciones climáticas. *Revista Semillas* 46/47, p. 17-18.
- Rodríguez, (2007). Protocolo de Kyoto: Debate sobre ambiente y desarrollo en las discusiones sobre cambio climático. *Gestión y Ambiente* 10 (2), p. 119-128.
- Seok, J. (2011). Combined effect of elevated CO₂ and temperature on the growth and phenology of two annual C₃ and C₄ weedy species. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140, p. 484–491.
- Shinde, S. y Modak, P. (2013). Vulnerability of Indian Agriculture to Climate Change. *Vulnerability of Food Resources to Climate* 2, p. 139-152.
- Silva, J. (14 de febrero de 2008). Plantas para enfrentar calentamiento global. *El Tiempo*. Recuperado de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento>.
- Xue, J. Zhong, W. y Cao, J. (2014). Changes in C₃ and C₄ plant abundances reflect climate changes from 41,000 to 10,000 yr ago in northern Leizhou Peninsula, South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 396, p. 173–182.

Weart, S. (2015). Climate and climate change: History of Scientific Work on Climate Change. *Revista Earth Systems and Environmental Sciences* 16, p. 87-89.

Webb, L., Darbyshire, R. y Goodwin, I. (2014). Climate Change: Horticulture. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 2, 266-283.

ANEXOS

GLOSARIO

Adaptación al cambio climático: Se refiere al acondicionamiento o ajustes de los sistemas humanos o naturales para poder vivir en condiciones climáticas diferentes a las que están habituados.

Aire: Mezcla de gases que mayormente componen la atmósfera.

Anomalía climática: Desviación de los elementos climatológicos (temperatura del aire, precipitación, etc.) de la norma climática. Situación climática diferente a la usual.

Atmósfera: Capa que rodea la tierra compuesta de una mezcla de gases (aire), aerosoles (partículas sólidas diminutas en suspensión) y nubes.

Calentamiento global: Aumento en la cantidad de gases de efecto invernadero que hay en el aire, lo cual hace que la atmósfera retenga más calor.

Calor latente: La cantidad de energía gastada en la evaporación que queda en el vapor de agua. Se estima a través de la cantidad de humedad en el aire.

Cambio climático: Modificación de las condiciones predominantes conocidas como clima.

Clima: Condiciones que van más allá de un par de días y predominan durante un periodo.

Efecto invernadero de la atmósfera: Propiedad que tiene la atmósfera de retener parte de la energía que la superficie terrestre irradia en onda larga hacia el espacio.

Evapotranspiración: Transpiración de las plantas y evaporación desde la cobertura vegetal. La unidad de medición es en milímetros (un milímetro equivale a un litro por metro cuadrado).

Fenómeno de El Niño: Situación en la que se observan aguas anormalmente cálidas en el pacífico tropical central y oriental frente a la costa occidental de Suramérica.

Fenómeno de la Niña: Aparición de aguas anormalmente frías en el pacífico tropical central y oriental frente a la costa del occidente suramericano.

Gases de efecto invernadero: Gases de la atmósfera, como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, entre otros, que tienen la capacidad de retener parte de la radiación de onda larga que la superficie terrestre emite hacia el espacio.

Glacial: Periodo con temperaturas muy bajas en el que el hielo cubre una amplia parte de la superficie terrestre.

Glaciar: Masa de hielo acumulada en la alta montaña.

Mitigación: Toda acción orientada a disminuir las concentraciones de gases de efecto invernadero y el calentamiento global.

Precipitación: Cantidad de agua que llega a la superficie terrestre en forma de lluvia, granizo o nieve. Se mide en milímetros (un milímetro equivale a un litro por metro cuadrado).

Tiempo atmosférico: Es el conjunto de condiciones, situaciones y fenómenos que observamos en la atmósfera durante un breve lapso de tiempo.

Variabilidad climática: repetición (recurrencia) de épocas con más lluvias o menos lluvias año tras año.