



**ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y FORESTAL EN EL DEPARTAMENTO DEL
TOLIMA**

Hernán J. Andrade

Milena A. Segura

Diana S. Canal

Mario J. Gómez

María del Pilar Marín

Erika Sierra

Ilich G. Ortíz

Jhon Jairo Alvarado

Mateo Feria

GRUPO DE INVESTIGACIÓN PRODUCCIÓN ECOAMIGABLE DE CULTIVOS
TROPICALES (PROECUT)
UNIVERSIDAD DEL TOLIMA
IBAGUÉ, COLOMBIA
2013

Tabla de Contenido

PRESENTACIÓN	4
GENERALIDADES SOBRE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	5
Introducción	5
¿Sabe qué es el cambio climático?	6
¿Cómo se genera el cambio climático?	7
Consecuencias del cambio climático	13
Impactos del cambio climático en la biodiversidad	16
Impactos biológicos del cambio climático	17
Impactos del cambio climático en la agricultura colombiana	19
Impactos previstos del cambio climático en el departamento del Tolima	20
Respuesta de la comunidad mundial al cambio climático	22
¿Qué es la mitigación?	22
Adaptación al cambio climático.....	24
Tipos de adaptación	25
Opciones de adaptación	26
ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON CULTIVOS ANUALES.....	29
Introducción	29
Prácticas para la adaptación al cambio climático	30
La labranza y el manejo del agua en el suelo.....	30
Labranza de conservación	31
Siembra directa	31
Rotación de cultivos	32
Los cultivos de cobertura	33
Manejo del componente vivo del suelo	34
Enmiendas orgánicas.....	35
Microorganismos eficientes (EM).....	35
El manejo del agua	36
Épocas de siembra y selección de materiales.....	39
Nutrición de los cultivos	40
Mejoramiento genético.....	40

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE CULTIVOS PERENNES.....	42
Introducción	42
Estrategias de adaptación en cultivos perennes	43
Sistemas agroforestales (SAF)	44
Selección de fecha de siembra y cosecha	45
Ordenamiento territorial.....	46
Selección de materiales vegetales mejor adaptados	47
El manejo del agua	48
El manejo del suelo	48
Manejo agronómico de plagas, enfermedades y arvenses.....	48
ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN PLANTACIONES FORESTALES.....	50
Introducción	51
Prácticas para la adaptación al cambio climático	52
Zonas de aptitud forestal en el Departamento del Tolima	52
Especies forestales adaptadas a la región	56
Plantaciones forestales en el Departamento del Tolima	59
Prácticas de manejo para la adaptación de plantaciones forestales al cambio climático	60
Programas de mejoramiento genético y selección de material superior	61
Selección de las especies y procedencias que mejor se adapten a las condiciones actuales del sitio.....	63
Control de competencia por agua, luz y nutrientes.....	63
Conservación y mejoramiento de suelos.....	63
Reducción de turnos.....	64
Protección contra plagas, enfermedades e incendios	64
Evitar la utilización de rodales con una sola especie o material vegetal	67

PRESENTACIÓN

El cambio climático es un tema de actualidad y de gran importancia mundial y local que afecta a todas las poblaciones, lo cual conduce a la disminución de biodiversidad, pérdida de la productividad agrícola, degradación de suelos y problemas hídricos. El sector agropecuario ha sido culpado de gran parte del cambio climático mundial; sin embargo, a la vez es uno de los sectores más perjudicados.

El Grupo de Investigación “Producción Ecoamigable de Cultivos Tropicales” (PROECUT), de la Universidad del Tolima, en convenio con la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Tolima han producido este libro de texto para que el sector agropecuario del departamento conozca y aclare conceptos y se apropie de herramientas para adaptar sus sistemas de producción a las condiciones de cambio. PROECUT fomenta la obtención de productos amigables con el medio ambiente, donde la producción y la sustentabilidad tienen relevancia trascendental, mediante la innovación tecnológica y la formación de líderes académicos, científicos, empresariales y comunitarios.

Esperamos que este documento sea de gran utilidad para que los productores del sector agropecuario y forestal del departamento del Tolima se concienticen del problema de cambio climático que afrontamos y adquieran herramientas prácticas para adaptarse a él.

Carlos Alberto Cabrera Cortes
Secretario de Desarrollo Agropecuario
Gobernación del Tolima

José Herman Muñoz Ñungo
Rector
Universidad del Tolima

GENERALIDADES SOBRE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Introducción

El cambio climático es un fenómeno que está ocurriendo en todo el mundo, el cual comienza a ser visto como un problema de seguridad global, incrementando la temperatura, produciendo efectos irreversibles en el clima y por consiguiente desestabilidad social, económica, ambiental y política.



Cada vez es más urgente la participación activa e informada de la sociedad, de manera que las estrategias y acciones que se impulsen aseguren la vida en el planeta y contribuyan a mejorar la calidad de vida de las personas, las comunidades y los ecosistemas. El presente capítulo busca que agricultores y ganaderos se introduzcan y comprendan la problemática del cambio climático, considerando tanto sus aspectos globales y lo que está ocurriendo en nuestro departamento con el fin de que se conviertan en actores partícipes de las discusiones y soluciones a nivel local, regional, nacional y mundial.

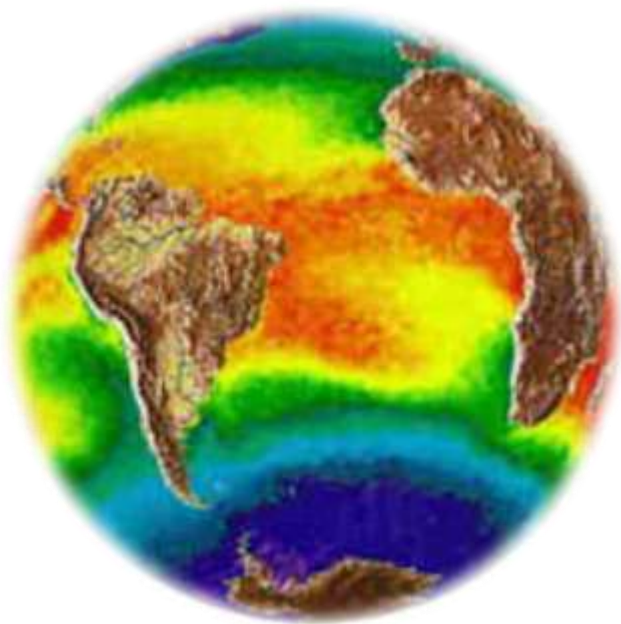
Primero, es necesario comprender qué es y por qué sucede el cambio climático, cuáles son sus implicaciones para la vida del Planeta, las consecuencias que tendrá en el departamento del Tolima y en la vida cotidiana de cada uno. Además, se incluyen estrategias para la adaptación a este fenómeno mediante acciones y recomendaciones encaminadas a mitigar

el cambio climático permitiendo de esta manera contribuir a la lucha mundial contra el calentamiento global.

¿Sabe qué es el cambio climático?



Se denomina cambio climático a la variación global del clima en la tierra, el cual se produce de manera natural. Actualmente, este término se refiere a la modificación del clima en el planeta por actividades humanas, y que es superior a las variaciones naturales que se podían reflejar en los calendarios ecológicos, el cual se da en diversas escalas de tiempo y sobre todos en los parámetros climáticos como la temperatura, precipitación y nubosidad. El cambio climático es síntoma de un planeta enfermo.



Fuente: <http://energiaadebate.com/cambio-climatico-modelo-para-desarmar/>

¿Cómo se genera el cambio climático?

Este fenómeno se ha generado debido al incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), unos gases que recubren la tierra y que, de manera natural, mantienen su temperatura dentro de rangos adecuados. Si estos gases aumentan, aumenta la temperatura y por ende, se altera el clima de nuestro planeta (Ortega et al, 2011).

El efecto invernadero es la retención del calor del sol en la atmósfera de la tierra por parte de una capa de estos gases. Sin ellos, la vida tal como la conocemos no sería posible, ya que el planeta sería demasiado frío. El principal GEI emitido a la atmósfera por el ser humano es el dióxido de carbono (CO_2) que resulta como consecuencia de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) utilizados para la producción de energía y el transporte. Otros GEI son el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), clorofluorocarburos (CFC) y compuestos perfluorados, los cuales son liberados por la industria, la agricultura y la combustión de combustibles fósiles (IPCC, 2007a)

La energía solar atraviesa la atmósfera terrestre, sin embargo, una capa natural formada de GEI como el vapor de agua, CO₂, metano y óxido nitroso retiene parte de la energía proveniente del sol (Figura 1). El uso de combustibles fósiles y la deforestación ha provocado el aumento de los gases de efecto invernadero, y la capa de ozono no absorbe toda la energía sino que refleja parte de ella de vuelta hacia la atmósfera.

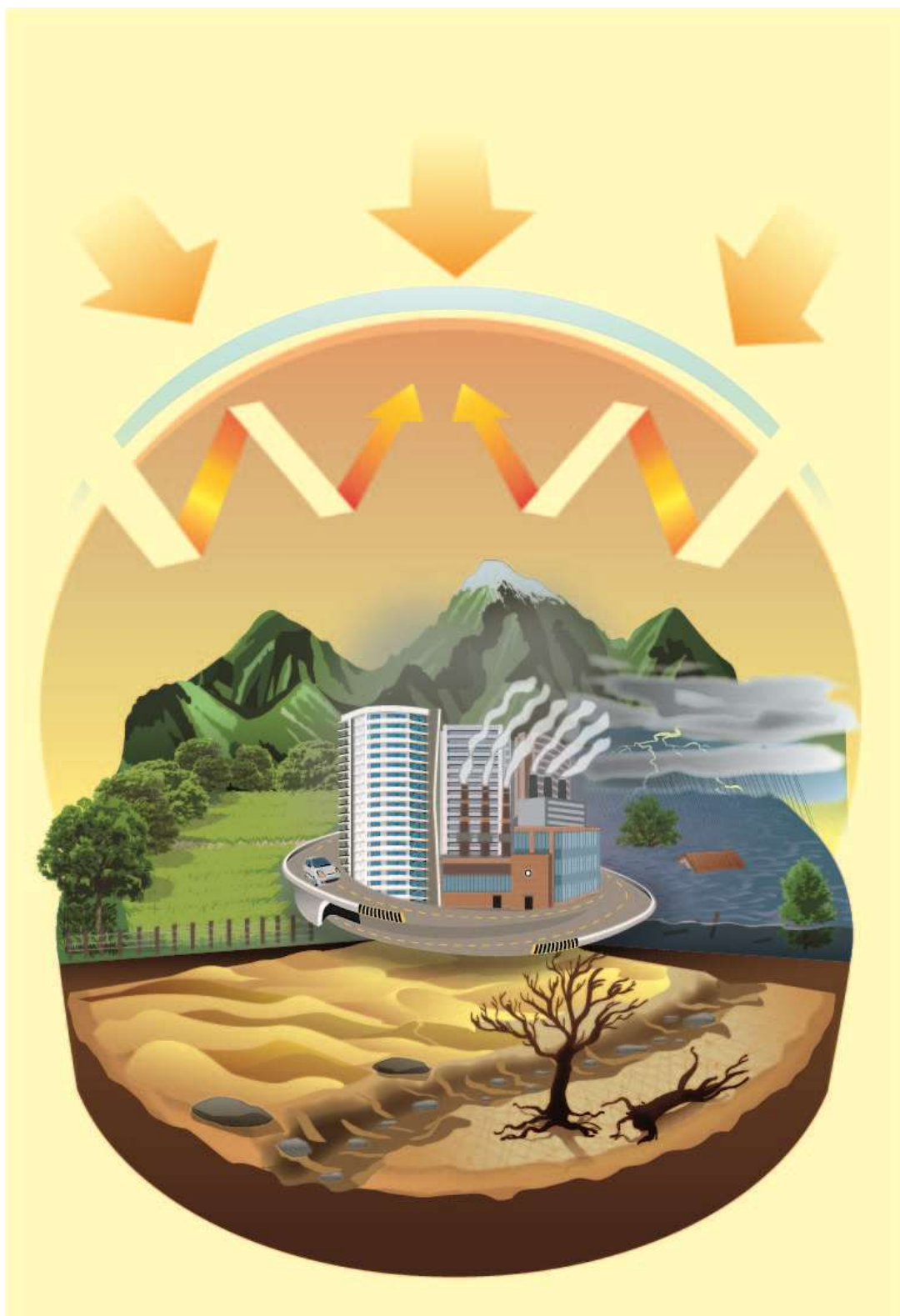


Figura 1. El efecto invernadero.

Las actividades humanas han provocado un aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera. Este aumento se debe principalmente al uso de combustibles de origen fósil, como el petróleo y carbón mineral, aunque también existe una aportación menor por los cambios en el uso del suelo, como la deforestación y la degradación del suelo dos efectos devastadores de las prácticas agrícolas insostenibles.

La deforestación, o tala de árboles (Figura 2), uno de los cambios de uso del suelo más importante, es una fuente neta de GEI. Durante este proceso de cambio se afecta el contenido de carbono por la remoción de la biomasa acumulada en los troncos aprovechables, el cual posteriormente es liberado a la atmósfera. La tala de árboles causa otro efecto perjudicial, al reducir la hojarasca que protege los suelos (Figura 3).

La agricultura no sólo es víctima del cambio climático, sino también es fuente de GEI. La producción agropecuaria libera estos gases a la atmósfera y produce la mayor parte de las emisiones de metano a través del ganado y los humedales, especialmente los arrozales. El óxido nitroso se emite a la atmósfera por el uso de algunos fertilizantes.



Figura 2. Tala de árboles como práctica agrícola desfavorable. Fuente: Los autores.



Figura 3. Impactos del cambio climático en la agricultura. Fuente: Los autores

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), existe un claro reconocimiento de que el cambio climático está directamente relacionado con la actividad humana reciente, en términos de emisiones de GEI y a raíz del uso industrializado de combustibles fósiles. En la Figura 4 se observa el incremento de las emisiones mundiales de GEI y la relevancia del CO₂ en el cambio climático.

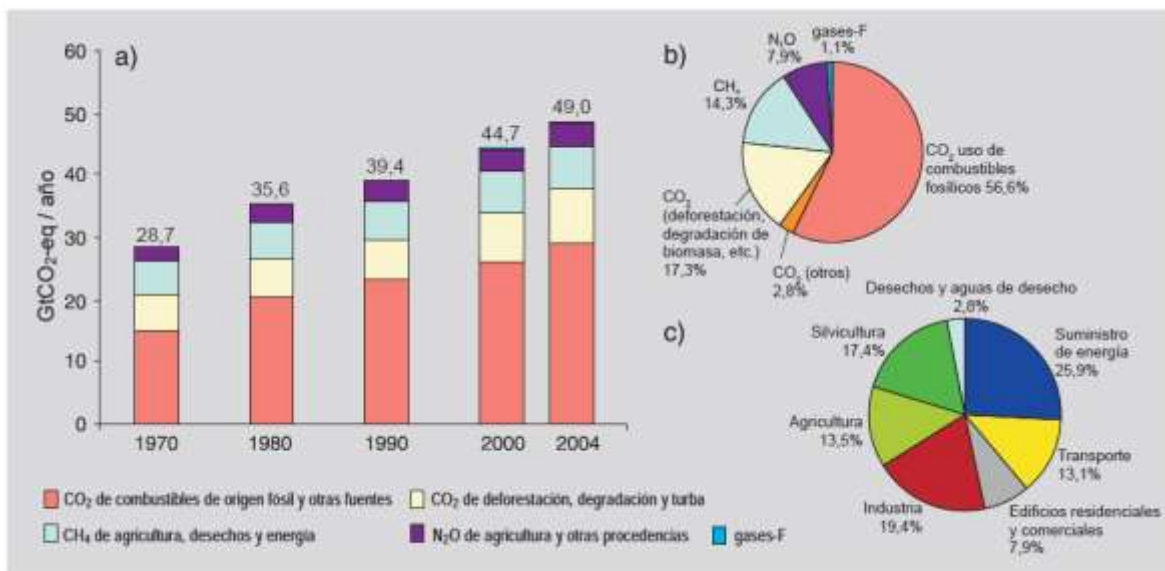


Figura 4. Dinámica de las emisiones mundiales de GEI e importancia de los diferentes gases y sectores. Fuente: IPCC (2007).

¡Sabía que!

- Colombia emite 0,35% del CO₂ mundial. La agricultura y los cambios en uso del suelo del país emiten 15% más CO₂ que otros sectores como la industria y el transporte.
- El 8% de la energía bruta que consume un bovino se pierde como metano, el cual calienta 21 veces más que el CO₂. El estado de crecimiento del animal, la alimentación y su condición genética influye en la producción de metano.
- Las emisiones de óxido nitroso, gas que calienta 310 veces más que el CO₂, generadas en la agricultura, son una fuente importante de GEI. En la ganadería, proviene del uso de fertilizantes nitrogenados y de los excrementos (orina y heces) de los animales.



Consecuencias del cambio climático

El cambio climático tiene una gran diversidad de consecuencias, empezando por las más obvias que son las relacionadas con el clima. Se ha identificado una fuerte variabilidad en la precipitación y aumentos de las temperaturas máximas y mínimas en América Latina. Esto hace que nuestros países tengan un alto nivel de vulnerabilidad frente a eventos climáticos extremos. De esta forma, se compromete el desarrollo económico de la región

(IPCC, 2007b). Los escenarios más optimistas pronostican un incremento de la temperatura entre 0,5 y 1°C para el año 2050 y entre 1 y 2°C para el año 2080 (IPCC, 2007a).

El cambio climático está asociado a:

- Incremento de la temperatura
- Alteraciones en la frecuencia e intensidad de las lluvias
- Alteración de los periodos de sequía
- Aumento en el nivel del mar y/o de los ríos
- Derretimiento de glaciales
- Cambio en la producción agrícola y ganadera

Por ejemplo, los productores de arroz en el Tolima pueden notar aumentos en el nivel del agua, los cuales han generado inundaciones en áreas ocupadas o donde normalmente no se inundaba, ocasionando pérdidas. Por esto, ahora es difícil entender cómo se comportará el clima y saber cuándo cultivar, cosechar o cuándo van a llegar los periodos de lluvias, sequías o de enfermedades asociadas a los cambios del clima.

Se ha encontrado alteraciones en las producciones promedio de cereales, ganadería y plantaciones forestales en el Mundo (Figura 5). Prácticamente la productividad en todo el Mundo se pronostica que será afectada en forma positiva y negativa. El Cuadro 1 resume los posibles impactos del cambio climático en la agricultura.

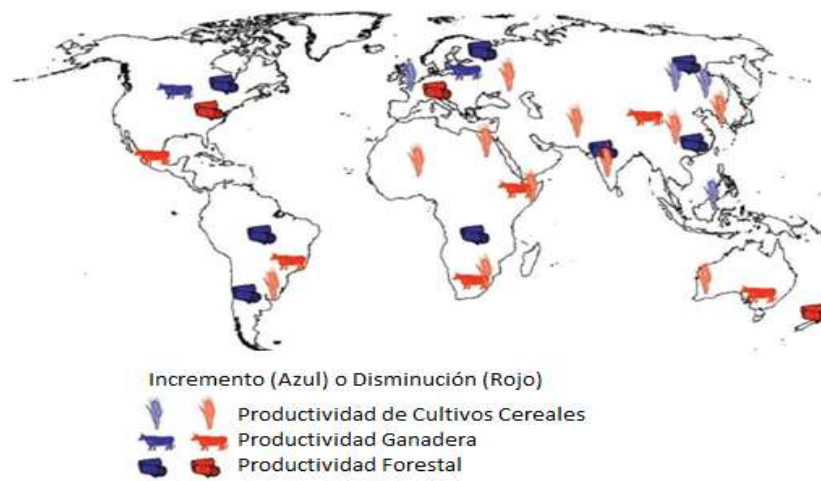


Figura 5. Estimación de impactos del cambio climático en la productividad mundial de alimentos. Fuente: IPCC (2007).

Cuadro 1. Posibles impactos en la agricultura, como resultado de la alteración en la frecuencia e intensidad de condiciones extremas en el estado de la atmósfera, del clima y de incrementos en el nivel del mar.

Como resultado	Se puede afirmar	Que
De días más cálidos y de menos días fríos, y mayor frecuencia de días y noches cálidos en la mayor parte de regiones.	Casi con certeza	Se incrementarán los rendimientos en ambientes fríos, se reducirán los rendimientos en ambientes cálidos y se incrementarán los brotes de insectos.
Del incremento en la frecuencia de episodios de calor en la mayoría de regiones.		
Del incremento en el área afectada por la sequía.	Con bastante certeza	Se reducirán los rendimientos en regiones frías, debido al estrés que genera el calor, y se incrementará el peligro de incendios silvestres.
Del incremento de la actividad ciclónica.	Es muy probable	Haya daños en los cultivos, erosión del suelo e inhabilidad para cultivar tierras debido a la extracción de agua de los suelos.
Del incremento en la incidencia de eventos extremos de aumento en el nivel del mar (excluyendo <i>tsunamis</i>).	Es probable	Haya degradación de tierras, menores rendimientos, daños y pérdida de cultivos, incremento en la muerte de ganado y en el riesgo de incendios silvestres.

Fuente: Rodríguez (2007).

Impactos del cambio climático en la biodiversidad

El cambio climático trae serias consecuencias en la biodiversidad, principalmente algunos de carácter térmico, hidrológico y de calidad, tal como se observa en la Figura 6.



Térmicos

Alteración en la distribución de las especies, cambios en las etapas de crecimiento.

Fuente: Los autores.



Hidrológicos

Volumen de agua disponible, épocas, intensidad y duración de las épocas de lluvias.

Fuente: Los autores.



De calidad: Se altera la calidad de los nutrientes en el suelo y atmósfera, el nivel de oxígeno disuelto y la salinidad, debido a la pérdida de materia orgánica en el suelo. Las temperaturas más altas pueden acelerar la descomposición de la materia orgánica y afectar la fertilidad del suelo.

Fuente: Los autores.

Figura 6. Ejemplos de impactos térmicos, hidrológicos y de calidad esperados del cambio climático sobre la biodiversidad.

Impactos biológicos del cambio climático

Igualmente, el cambio climático afectará biológicamente los ecosistemas y agroecosistemas, tal como se puede resumir en la Figura 7.



Alteraciones

Se incrementa la presencia de plagas y enfermedades.

Fuente: Los autores.



Funcionalidad

La alteración de los ciclos de nutrientes y del carbono se ve reflejada en los cambios de la productividad de los cultivos.

Fuente: Los autores.



Fisiológicos

Entre estos se encuentran estrés, alteraciones en la tasa de crecimiento, blanqueamiento, mortalidad, cambios genéticos.

Fuente: Los autores.



Estructurales

se altera la densidad de las especies, muchas especies se convierten en invasoras, inician los procesos de extinción.

Fuente: los autores.

Figura 7. Impactos biológicos del cambio climático en el desarrollo de cultivos.

Aún si todos los gobiernos, países y, en general, los habitantes del planeta, tomaran decisiones radicales para frenar por completo las emisiones de GEI, la temperatura de la tierra seguirá en aumento, debido a los efectos ya causados en la atmosfera. Es necesario no solo pensar en estrategias de mitigación que nos permitan reducir los efectos del cambio climático, sino comenzar a diseñar planes para adaptarnos a vivir en un planeta diferente al que conocieron nuestros padres y abuelos.



Figura 8. Impactos contrastantes del cambio climático.

Impactos del cambio climático en la agricultura colombiana

El incremento de la temperatura y el aumento en la precipitación distorsionarán gravemente el potencial de la producción de cultivos, especialmente aquellos de ladera como el café y el cacao (Lau et al, 2011). Por ejemplo, se espera que el 80,5% del área sembrada en maíz se afecte con un incremento de la temperatura de 2,0 – 2,5°C (Cuadro 2).

Cuadro 2. Impactos esperados del cambio climático en la producción de los principales cultivos de Colombia.

Cultivo	Producción actual (%)	Con un incremento en la temperatura		Con un cambio en la precipitación		
		2,0 a 2,5 °C	2,5 a 3 °C	-3% a 0%	0% a 3%	3% a 5%
Maíz	6,1	80,5	19,5	27,7	37,1	35,2
Café	3,1	84,7	15,3	8,2	28,8	63,1
Arroz	11,1	64,6	35,4	15,7	23,6	60,7
Plátanos	13,7	79,8	20,2	7,2	36,1	56,6
Caña de azúcar	14,5	99,6	0,4	1,1	0,0	98,9
Caña panelera	5,3	77,8	22,2	6,1	33,8	60,2
Yuca	9,3	70,9	29,1	39,8	41,4	18,9
Árboles frutales	7,1	72,5	27,5	7,7	22,5	69,8
Papa	12,8	71,5	28,5	2,6	27,1	70,4
Palma de aceite africana	2,7	54,8	45,2	54,2	36,3	9,5
Frijol	0,6	84,6	15,4	10,7	40,4	48,9
Cacao	0,3	40,2	59,8	17,3	53,2	29,5
Algodón	0,6	98,0	2,0	14,6	55,7	29,7
Sorgo	0,6	97,0	3,0	33,8	3,8	62,4
Banano de exportación	6,9	100,0	0,0	26,9	73,1	0,0
Vegetales	1,2	84,9	15,1	16,1	28,7	55,2
Flores	0,97	100,0	0,0	0	16,1	83,9

Fuente: Lau et al, (2011). Los datos se refieren al área afectada en las proyecciones de cambios de temperatura y precipitación.

Impactos previstos del cambio climático en el departamento del Tolima

En los próximos años, se proyecta que los incrementos en la temperatura y la reducción del agua en el suelo conducirán a un remplazo gradual de los bosques tropicales por sabanas. La vegetación semiárida tenderá a ser remplazada por vegetación de tierras áridas. Además, hay riesgo de pérdidas significativas de biodiversidad a través de la extinción de especies en estas áreas.

En las áreas secas, se espera que el cambio climático conduzca a la salinización y desertificación de tierras agrícolas (Figura 9). Se proyecta una disminución en la productividad de algunos cultivos importantes y de la ganadería, con consecuencias adversas para la seguridad alimentaria. Por ejemplo, se incrementaría la productividad de la soya en las zonas templadas. Igualmente, se esperan cambios en los patrones de precipitación y la desaparición de glaciares, que afectarán significativamente la disponibilidad de agua para el consumo humano, la agricultura y la generación de energía (Figura 10).



Figura 9. Posibles impactos del cambio climático en cultivos. Fuente: Los autores.



Figura 10. Desaparición de glaciales por efecto del cambio climático. Fuente: <http://www.absolut-colombia.com/un-tour-por-el-nevado-de-tolima/>

Según la Corporación Autónoma Regional del Tolima (2012), el departamento del Tolima tiene un 34,9% de su área en zonas secas y un 32% en procesos de desertificación. Este departamento presenta erosión en diferentes grados. Por ejemplo, en Coyaima y Ortega este fenómeno va de fuerte a muy fuerte. Esto implica que se deban establecer medidas de adaptación al cambio climático, tal como las plantaciones protectoras, productoras-protectoras, las cuales además apoyan la mitigación al capturar carbono atmosférico.

Respuesta de la comunidad mundial al cambio climático

El Mundo ha tomado dos acciones directas para enfrentar el cambio climático global: mitigación y adaptación.

¿Qué es la mitigación?

La mitigación del cambio climático se refiere a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico o aumento de los sumideros de carbono (IPCC, 2007). Esto tiene por objetivo reducir el cambio climático en el futuro y, por lo tanto,

minimizar los potenciales daños. Algunos ejemplos de mitigación de GEI de origen antropogénico son las actividades industriales, forestales y agrícolas, los cuales son resumidos en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Opciones de mitigación del cambio climático en diferentes sectores.

Sector	Estrategia	
Energía		Utilizar equipos electrónicos eficientes como los paneles solares para proveer energía
Transporte		Empleo de medios masivos de transporte.
Silvicultura y agricultura		Evitar la deforestación
Reforestar		Plantar árboles

Manejo de sistemas de producción



Mejorar el manejo de los cultivos, pastizales, plantaciones y bosques secundarios para aumentar las reservas de carbono en biomasa y suelos

Fuente: Los autores

Adaptación al cambio climático

La adaptación es el ajuste de los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados. Esto atenúa los efectos perjudiciales o explota las oportunidades beneficiosas (IPCC, 2007). La Figura 11 muestra una de las estrategias más antiguas empleadas por los agricultores, la agricultura en terrazas, la cual puede ser considerada como una herramienta de adaptación al cambio climático.



Figura 11. Agricultura en terrazas para reducir la erosión hídrica como adaptación al cambio climático. Fuente: Espinosa (2013).

La adaptación se lleva a cabo mediante la minimización de pérdidas en productividad, mediante varias técnicas, tal como la mayor utilización de variedades locales tolerantes a la sequía, la cosecha de agua, el uso de policultivos y sistemas agroforestales, desyerbe

oportuno y recolección de plantas silvestres. Otras opciones en el ámbito regional es la agricultura de manera regenerativa y sostenible, la alimentación de temporada y de pequeñas fincas campesinas multifuncionales y diversificadas, en vez de corporativos agroalimentarios y monopolios de comida alta en calorías.

Tipos de adaptación

La adaptación al cambio climático puede darse por cualquier iniciativa dentro de tres tipos, de acuerdo a la Figura 12.

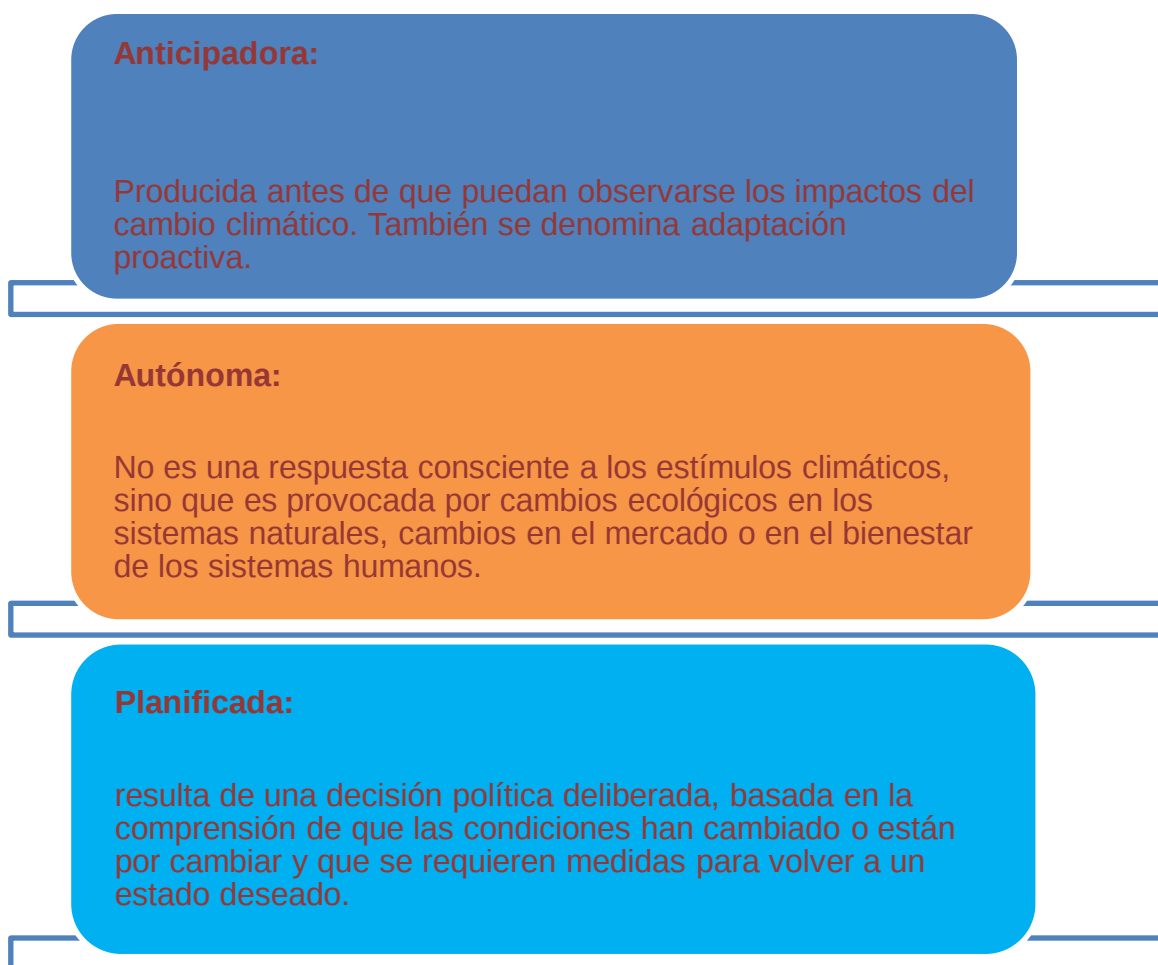


Figura 12. Tipos de adaptación al cambio climático. Fuente: IPCC (2007).

Opciones de adaptación

Se listan las principales y más adecuadas opciones de adaptación al cambio climático en el departamento del Tolima en varios sectores.

1. Agua

- Incrementar la captación de aguas lluvias
- Mejorar su almacenamiento y la conservación
- Implementar sistemas de reutilización de aguas grises
- Crear programas de desalinización de aguas
- Lograr mayor eficacia en el uso del agua e irrigación de cultivos
- Evitar que el agua salada llegue a los cuerpos de agua dulce costeros.

2. Agricultura

- Ajustar las fechas de siembra y las variedades de cultivos a los cambios del clima
- Seleccionar especies de mayor adaptación
- Promover programas de prevención y control de incendios
- Desarrollar programas para el Manejo Integrado de Plagas
- Crear policultivos y barreras vivas para regular la temperatura dentro del cultivo
- Sembrar en curvas de nivel para favorecer el almacenamiento del agua en el suelo.

3. Infraestructura

- Reubicar poblaciones encontradas cerca a las costas o ríos
- Construir diques en el mar y barreras contra tormentas
- Crear sistemas de alerta temprana para el control de inundaciones

4. Salud

- Crear planes de acción, tanto locales como nacionales, para enfrentar las amenazas de las olas de calor
- Reforzar los controles para las enfermedades derivadas del calentamiento global y mejorar los sistemas sanitarios
- Plantar árboles en las ciudades para reducir las temperaturas locales
- Promover buenos servicios meteorológicos que adviertan a la población sobre olas de calor u otros eventos climáticos

5. Turismo

- Proteger los ecosistemas sensibles
- Prever los cambios que se avecinan, ya que existirá migración de turistas
- Diversificar las atracciones turísticas y los ingresos en este sector

6. Transporte

- Reubicar rutas terrestres y aéreas
- Diseñar nuevos caminos
- Adaptar los sistemas de transporte actuales con equipos necesarios y suficientes para enfrentar altas temperaturas.

7. Energía

- Reducir la dependencia de una sola fuente energética y utilizar energías limpias y renovables
- Proteger las fuentes energéticas de eventos extremos, como huracanes e inundaciones.

Específicamente en el campo agrícola colombiano, el Cuadro 4 resume algunas de los impactos del cambio climático y las estrategias de adaptación que podrían estar aplicando los productores nacionales.

Cuadro 4. Ejemplos de impactos y medidas de adaptación en el sector agrícola.

Impactos previstos	Medidas de adaptación	Cultivos que probablemente serán afectados
Cambios en fenología y en flujo de productos a los mercados y cadenas de abastecimiento.	Cambios en fechas de siembra y cosecha y en infraestructura de riego y drenaje	Café, musáceas, arroz de secano, maíz, soya, frijol, árboles frutales
Inundación de tierras por aumento en nivel del mar y salinización de aguas subterráneas.	Reubicación de actividades según planes de ordenamiento territorial. Construcción de diques y barreras.	Palma de aceite africana (costa pacífica), musáceas (Urabá) y ganadería (costa caribe).
Cambios en plagas y enfermedades: aumento en la prevalencia y desplazamiento a nuevas regiones.	Investigación en razas resistentes o tolerantes. Uso de sistemas de monitoreo y de alerta temprana para manejo sostenible.	Café (< 1500 m), musáceas (< 500 m), papa (> 2500 m), yuca, árboles frutales
Intensificación de la degradación y desertificación de la tierra.	Manejo agronómico sostenible y mejorado para aumentar la resiliencia del suelo.	Papa y yuca en laderas andinas, ganadería en Amazonia, Llanos Orientales y Costa Caribe.
Aumento en la vulnerabilidad de pequeños productores a la variabilidad del clima y cambio climático.	Subsidios de adaptación y seguros a productores de vertientes y Caribe. Inversión de industria y el gobierno en investigación, extensión y transferencia de tecnologías para pequeños productores.	Todos los cultivos (se deben atender primero los sectores con dispersión significativa dentro del país).
Riesgo de pérdida o extinción de los recursos filogenéticos que actualmente estén mal representados o no se les esté conservando ex situ	Financiación e incentivos gubernamentales para estimular la conservación de recursos fitogenéticos. Análisis de zonas de alto riesgo. Colección de recursos genéticos. Priorización de actividades que requieren mejoramiento genético.	Prioridad: razas nativas silvestres y cultivadas de árboles frutales y muchos parientes silvestres de cultivos, incluyendo yuca, frijol, papa y tomate.
Pérdida gradual de la aptitud climática de cultivos y pasturas, y disminución de la productividad, incluyendo el abandono de las tierras agrícolas actuales.	Investigación de material resistente al calor y mejoramiento para cultivos más vulnerables. Desarrollo de prácticas que pueden soportar temperaturas más altas.	Caña de azúcar, café (> 1500 m), papa (< 2500 m), musáceas (< 500 m), cítricos (tierras altas), ganadería.

Fuente: Lau et al, 2011.

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON CULTIVOS ANUALES



Introducción

La adaptación al cambio climático debe ser un proceso integrado y flexible, que está influenciado por el manejo sostenible de los recursos naturales. La adaptación de la agricultura al cambio climático permite la identificación, demostración y divulgación de buenas prácticas agrícolas para contrarrestar las cambiantes condiciones climáticas que hoy día afectan regiones y cultivos en el mundo entero. Cultivos anuales como el arroz, maíz y el sorgo han sido afectados por el cambio climático, al incrementarse la incidencia de plagas y enfermedades. Los cambios de temperatura afectan el potencial de los materiales genéticos y los requerimientos hídricos se incrementan por un aumento en la evapotranspiración. En cultivos de arroz, se ha comprobado una disminución del 10% de la producción al aumentar 1°C la temperatura promedio. Es de gran importancia que los agricultores empiecen a incorporar medidas para adaptar sus cultivos a las nuevas condiciones climáticas. Esta sección dará recomendaciones en este sentido.

Con la degradación de los recursos naturales, en este caso el suelo, el agua y la biodiversidad, los agricultores han perdido la capacidad de adaptarse a las condiciones ambientales y económicas actuales. Esto conduce a que debamos proteger los ecosistemas y rescatar prácticas que favorecen la producción agrícola, como la polinización, la supresión de plagas, la fijación de carbono, la regulación de los ciclos de nutrientes y el recurso agua. Algunas de las principales medidas serían:

- Cambio de los calendarios de siembra para minimizar riesgos climáticos.
- Construcción de embalses o reservorios de agua (cosecha de agua) para el manejo de los cultivos en las épocas de sequía.
- Incrementar la eficiencia de los sistemas de riego en cultivos, usando tecnologías y prácticas apropiadas.
- Adaptación de recursos genéticos al cambio climático mediante programas de mejoramiento genético de cultivos y rescate de semillas criollas o tradicionales.
- Desarrollo de tecnologías de la información para aumentar la precisión en el manejo de cultivos demandantes de alta energía y agua, como el arroz.
- Uso de nuevas herramientas genómicas (Ingeniería Genética o transgénesis) para acelerar el mejoramiento de cultivos para tolerancia a la sequía y a temperaturas extremas.

Prácticas para la adaptación al cambio climático

Las siguientes son algunas de las medidas de adaptación al cambio climático que deberían emplear los productores de cultivos anuales del departamento del Tolima para afrontar las crecientes condiciones de cambio.

La labranza y el manejo del agua en el suelo

La labranza consiste en remover la capa vegetal del suelo y preparar el suelo para eliminar arvenses y adecuar una cama para el cultivo. Se busca idealmente perturbar lo menos posible la composición, estructura y biodiversidad del suelo, y reduciendo así su erosión y degradación. Se plantean algunos tipos de labranza que pueden ser útiles para adaptarse al cambio climático.

Labranza de conservación

En esta práctica se minimizan la preparación de suelos, y puede ser labranza mínima o cero labranza. Se elimina el movimiento del suelo y los residuos de las cosechas anteriores, reduciendo la erosión, y permitiendo manejar la humedad e incorporar nutrientes al mismo. Se sugieren las siguientes consideraciones:

- Realizar la preparación escalonada permitiendo la aireación, la germinación de malezas y la identificación de signos de las enfermedades e insectos
- Utilizar implementos y equipos adecuados y calibrados, a su vez el número de pases y el implemento a utilizar está limitado por el análisis de los componentes del suelo, topografía del terreno, los diseños de riego y drenaje.

Siembra directa

Esta práctica de conservación implica establecer un sistema de producción sin modificar las condiciones del suelo (Figura 13). La siembra directa permite superar los problemas de la erosión y degradación de los suelos. Sus principales beneficios son:

- Reducción de la erosión del suelo (hasta un 96%)
- Menor uso de combustible (hasta un 66%)
- Menor emisión de gases de efecto invernadero
- Mayor calidad de agua
- Mayor actividad biológica

- Aumento de la fertilidad del suelo
- Mayor estabilidad de producción y rendimiento
- Incorporación de nuevas áreas para la producción
- Menores costos de producción.



Figura 13. Ejemplo de siembra directa. Fuente: Traxco, 2012.

Rotación de cultivos

Es la siembra sucesiva de diferentes cultivos en el mismo terreno, que busca romper ciclos biológicos de plagas y enfermedades, aportar nutrientes y elevar la materia orgánica del suelo. Este sistema es otra forma de reducir el agotamiento del suelo. La rotación implica la alternancia de gramíneas, las cuales son exigentes en suelos, y leguminosas (aportan nitrógeno al suelo). Por ejemplo, algunos productores siembran en el mismo lote primero arroz, después soya o un abono verde, después maíz y en ocasiones maní.

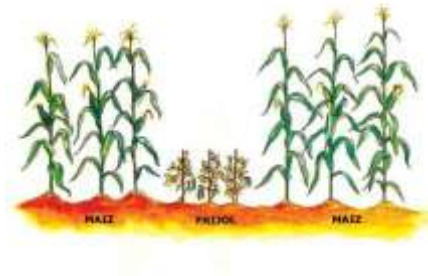


Figura 14. Rotación de cultivo de maíz y de frijol.

En fincas de clima frío, por ejemplo, se cuenta con algunas plantas que pueden ser empleadas como abonos verdes (tal como avena caldas, cayuse, nehuen, negra centeno, vicia, nabo forrajero, girasol, canola y mostaza) que se cortan entre los 90 hasta los 150 días. Estos abonos bien manejados podrían remplazar la aplicación de 100 a 300 bultos por hectárea de abono orgánico.

Los cultivos de cobertura

Ciesla (1996) define un cultivo de cobertura como "una cobertura vegetal viva que cubre el suelo y que es temporal o permanente, el cual está cultivado en asociación con otras plantas (intercalado, en relevo o en rotación)". La principal función de esta técnica es la supresión de arvenses, conservación de suelo y agua, control de plagas y enfermedades, alimentación humana y para el ganado. La selección de la planta a sembrar depende de las condiciones climáticas, de las características agroecológicas de las fincas o lotes y sistemas productivos.

Cultivos de cobertura son beneficiosos porque:

- Protegen el suelo en los períodos de barbecho
- Evitan la pérdida de nutrientes, los movilizan y los reciclan
- Mejoran la estructura del suelo y rompen las capas compactadas
- Permiten una rotación más intensiva con mayor aporte de rastrojo

- Pueden ser usados para el control de malezas y plagas
- Disminución de la preparación de las tierras.



Figura 15. Cultivos de coberturas. Fuente: Orgánicos del trópico, 2013

Manejo del componente vivo del suelo

La parte viva del suelo está conformada por bacterias, algas, hongos, virus, protozoarios y algunos macroinvertebrados, como la lombriz (Figura 16), quienes son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo o producción de sustancias benéficas. Es una buena práctica el uso de enmiendas orgánicas y bioinsumos, como el caso de los microorganismos eficientes. Estos biopreparados pueden corregir los bajos contenidos de materia orgánica y el uso excesivo de agua y de contaminantes químicos en el suelo, lo que disminuye el uso de energía y la emisión de GEI por el uso de combustibles fósiles.



Figura 16. Lombricultivo. Fuente: Los autores.

Enmiendas orgánicas

Son residuos de origen animal y vegetal que adicionados a los suelos mejoran sus características químicas, físicas y biológicas. Algunas enmiendas son los estiércoles, residuos de cosechas, cobertura viva o muerta, compost, lombricompost, abonos verdes, residuos sólidos urbanos y lodos de aguas servidas. Se ha comprobado que algunas de estas enmiendas orgánicas pueden inhibir patógenos, tal como *Phytophthora cinamomi*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum* y *Plasmodiophora brassicae*.

Microrganismos eficientes (EM)

La tecnología de microrganismos eficientes (EM) es una combinación de microrganismos benéficos y de origen natural, sin manipulación genética, presentes en ecosistemas naturales y fisiológicamente compatibles. Esta mezcla contiene principalmente bacterias fototróficas, levaduras, bacterias productoras de ácido láctico y hongos de fermentación. La aplicación de EM en cultivos, como el arroz, es cada vez es más frecuente, haciendo que algunas fincas cuenten con biofábricas que suplen la demanda interna. Los principales beneficios de esta tecnología son:

En semilleros

- Mejoramiento de la germinación de las semillas
- Aumento del vigor y crecimiento del tallo y raíces de plántulas
- Incremento de la supervivencia de plántulas.

En las plantas

- Genera un mecanismo de supresión de insectos y enfermedades en las plantas
- Consume los exudados de raíces, hojas, flores y frutos
- Incrementa el crecimiento, calidad y productividad de los cultivos.
- Promueven la floración, fructificación y maduración
- Incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.

En los suelos

- Mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo
- Reduce la compactación de suelos
- Incrementa los espacios porosos y mejora la infiltración
- Disminuye la frecuencia de riego
- Reducción de la erosión, por el arrastre de las partículas.
- Mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo
- Suprime o controla las poblaciones de microorganismos patógenos del suelo y genera las condiciones necesarias para que los benéficos nativos prosperen.

El manejo del agua

El manejo sustentable y eficiente del agua en los agroecosistemas debe ser el principal objetivo de los productores, ya que el cambio climático está reduciendo drásticamente este insumo para la agricultura y ganadería. Las prácticas de labranza y manejo del agua en el suelo pueden mejorar las condiciones del suelo y así obtener una mayor productividad. Actualmente, existen tecnologías y prácticas que permitan la captación y almacenamiento de aguas lluvias, lo que se llama cosecha de agua.

Es necesario identificar la fuente de agua (ríos, embalses, reservorios) y el sistema de distribución. Asimismo, el agua debe cumplir los requisitos químicos y bacteriológicos, según la norma de calidad para el uso en agricultura. Por ejemplo, nunca se deben utilizar aguas residuales para riego. Se deben realizar prácticas que contribuyen al buen manejo del recurso hídrico en los sistemas productivos, tal como:

1. El caballoneo

Levantamiento topográfico para el diseño de riego y drenaje de acuerdo a la condición de cada lote. Con esta técnica se puede minimizar la pérdida de agua y mejorar la distribución y retención de humedad del suelo. Para esto es necesario identificar las entradas y salidas de agua de cada lote, calibrar el equipo de caballoneo para evitar la pérdida de plantas y disminuir el área de los terrenos para aumentar la eficiencia del riego.



Figura 17. Técnica de caballoneo. Fuente: Lima, 2012.

2. Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración consisten en realizar pequeños surcos, con una profundidad de 5 a 10 cm, con intervalos cortos de curvas de nivel, sin desnivel para permitir la retención e

infiltración del agua. Algunos productores establecen plantas en las para mejorar la retención de suelo, como el limoncillo. Se recomienda hacer las zanjas en épocas secas o de pocas lluvias.



Figura 18. Zanjas de infiltración. Fuente: Lima, 2012.

3. Zanjas de drenaje

Las zanjas de drenaje se realizan buscando un desnivel muy bajo para facilitar la evacuación del agua sobrante. El agua sobrante puede ser conducida a áreas o estructuras de almacenamiento, que permitan su posterior utilización.



Figura 19. Zanjas de drenaje. Fuente: Lima, 2012.

4. Cosecha de agua

La cosecha de agua permite coleccionar los excedentes de agua lluvia y almacenarlos para un posterior uso. Se pueden utilizar como zona de captación los techos, o las aguas de escorrentía durante la época lluviosa. El agua pluvial generalmente es de muy buena calidad y sólo requiere de una filtración simple antes de almacenarla. El siguiente cuadro presenta una guía sobre el potencial de acumulación de agua con superficie de captación, en la cual se observa que mediante este sistema se puede almacenar grandes cantidades de agua que podría ser usada en agricultura y en el consumo humano y animal. El Cuadro 5 muestra un ejemplo del potencial de captura de agua en Loma Plata, Paraguay.

Cuadro 5. Tamaño de lluvias y potencial de acumulación de agua con superficie de captación de agua umbral de captación de 15 mm de lluvia en Loma Plata, Paraguay.

Lluvia (mm)	Lluvias por año	Cantidad de agua (mm/año)	Potencial de captación de agua (m ³ /año)
< 10	13,8	73,6	0,0
10 – 19	11,8	159,6	479
20 – 29	5,3	124,5	747
30 – 39	4,0	154,9	1100
40 – 49	1,9	82,5	635
50 – 59	1,8	93,4	757
60 – 69	0,5	31,6	269
70 – 79	1,1	84,6	736
80 – 89	0,8	62,8	553
90– 99	0,3	23,6	210
> 100	0,6	78,8	709

Fuente: Harder, 2012.

Épocas de siembra y selección de materiales

La época ideal de siembra es el periodo en el cual los factores del clima son óptimos para el crecimiento y desarrollo de las plantas, permitiéndole expresar su potencial de producción. Otro aspecto relevante para preparar los cultivos a las cambiantes condiciones climáticas, es la selección de la variedad a sembrar, para ello se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- Requerimientos climáticos
- Adaptabilidad y estabilidad
- Duración de cada una de las etapas de desarrollo
- Época oportuna de cosecha

Nutrición de los cultivos

Una recomendación de fertilización debe considerar que cada cultivo requiere nutrientes en cantidades diferentes y cada suelo no los posee en las mismas concentraciones. La eficacia en la toma de nutrimentos por la planta depende de muchos factores, tal como:

- Las condiciones climáticas que rodean la planta y zona donde se encuentra la finca
- Presencia de microorganismos en el suelo
- Suministro de agua
- Etapa fenológica del cultivo
- De la fuente utilizada

En condiciones de alta radiación solar las plantas son más eficientes en la toma de los nutrientes, por tal razón es importante asegurarles su disponibilidad. En épocas de baja oferta ambiental, la eficiencia se reduce y a la vez las etapas de crecimiento se alargan, en estos casos se debe fraccionar más las fertilizaciones para disminuir las pérdidas. Con la finalidad de disminuir el gasto energético y las emisiones de GEI, la utilización de fertilizantes orgánicos puede ser una alternativa, lo cual puede subsanarse con las enmiendas orgánicas, lo cual fue explicado anteriormente.

Mejoramiento genético

La selección del material adecuado para cada condición agroecológica específica es clave para la adaptación al cambio climático. En este sentido, el mejoramiento genético es una herramienta clave para esta estrategia adaptativa. Por ejemplo, se está trabajando en

híbridos entre las especies silvestres de arroz y las variedades mejoradas han dado progenie con rendimientos entre el 10% y el 20% superiores a sus parientes cultivados (Lau et al, 2011).

De acuerdo a Lau et al (2011) Colombia ha liderado el desarrollo de gran cantidad de variedades de arroz, con beneficios económicos, gracias al aumento en los rendimientos y a la reducción de los gastos en pesticidas. Las variedades recientemente desarrolladas son resistentes a sogata, hoja blanca y añublo del arroz, tres de las plagas y enfermedades más destructivas de este cultivo.

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE CULTIVOS PERENNES



Introducción

Se están revaluando más y mejores estrategias de adaptación al cambio climático, debido a lo rápido de este fenómeno en muchos aspectos de la vida cotidiana y en graves daños a los ecosistemas. Por lo tanto, es de gran trascendencia considerar seria y responsablemente mecanismos de adaptación de los agroecosistemas y los efectos que éste tendrá en las especies perennes agrícolas. Colombia será uno de los países que más se verá afectado debido a su baja capacidad de adaptación al cambio climático y a la falta de conciencia sobre la estrecha relación entre el cambio climático y la agricultura.

La adaptación al cambio climático y variabilidad climática en la agricultura no es nueva, ya que productores en países en vías de desarrollo desde épocas antiguas la lograron de manera precaria pero efectiva. Los productores de países desarrollados pueden responder mejor ante el cambio climático con incrementos en el uso de insumos e inversión de

capital; mientras que aquellos de países en desarrollo tienen menos opciones y deben confiar en los recursos disponibles en sus fincas o comunidades (Borron, 2006).

La adaptación al cambio climático en el Tolima deberá considerar la investigación técnico-científica, capacitación y transferencia de tecnologías a los agricultores, con base en experiencias positivas. Dentro de estas prácticas de adaptación cabrían los sistemas agroforestales con cultivos perennes, los cuales cuando son diseñados y manejados adecuadamente proveen productos tradicionales y generan servicios ambientales.

Estrategias de adaptación en cultivos perennes

Los sistemas de producción con cultivos perennes, tal como el café, cacao y frutales, tal vez sean los menos afectados por el cambio climático. Las estrategias de adaptación para estos cultivos serían inicialmente las mismas que para los sistemas de producción con anuales. Estas incluyen: el manejo sostenible de recursos, uso de riego, variedades resistentes a la sequía y a altas temperaturas. Adicionalmente, hay otras estrategias que son más exclusivas de los sistemas con cultivos perennes como el manejo de doseles de sombra.



Figura 20. Sistema agroforestal de producción de café con plátano y nogal cafetero.
Fuente: Los autores.

Los sistemas agroforestales (SAF) juegan un papel clave para mejorar la adaptación al cambio climático y en este caso, los pagos por servicios ambientales contribuirían aún más a este proceso. Los pagos por servicios ambientales implican una remuneración a los productores agrícolas, pecuarios y forestales que generen estos servicios en sus fincas, tal como la captura de carbono, la regulación hídrica, la conservación de la biodiversidad, el mejoramiento de suelos y la belleza escénica o paisajística.

A continuación se explicará las principales estrategias para mejorar la adaptación al cambio climático en cultivos perennes:

Sistemas agroforestales (SAF)

Los SAF son como una alternativa viable para la agricultura por la combinación de especies leñosas maderables y cultivos agrícolas. Estos sistemas pueden adecuarse a las exigencias del ambiente. Cultivos como el café, el cacao y el aguacate aparecen como cultivos insignias y tradicionales en el departamento del Tolima y pueden perfectamente ser producidos bajo estos sistemas de producción.



Figura 21. Sistema agroforestal de producción de café con nogal cafetero.

La principal característica de los SAF es su capacidad de mejorar la producción del territorio a través de obtención de diversos bienes, tal como madera, alimento, forraje, leña, postes, materia orgánica, medicina, cosméticos y aceites. Además, los SAF son proveedores importantes de servicios como seguridad alimenticia, conservación de suelos, aumento de la fertilidad del suelo, mejora del microclima, recuperación de tierras degradadas y control de arvenses. Se ha encontrado que los SAF pueden modificar el microclima, es decir, mitigar las condiciones climáticas extremas de temperatura, precipitación, vientos fuertes o alta radiación solar.

Selección de fecha de siembra y cosecha

La época ideal de siembra busca coincidir la mejor oferta ambiental con esta, para asegurar la mayor expresión genética y de producción del cultivo. Además de cultivar el material vegetal que mejor muestre adaptabilidad y estabilidad para la zona agroclimática. Es importante que las épocas de establecimiento de los cultivos sean las más adecuadas para minimizar la mortalidad de plántulas por déficit de humedad y/o condiciones de temperaturas extremas. Es indispensable que las plántulas estén en óptimas condiciones para llevarlas al sitio definitivo en campo.



Figura 22. Manejo de almácigos para el establecimiento de cafetales en el Tolima. Fuente: www.cenicafe.org

Ordenamiento territorial

La reubicación de actividades de producción de cultivos perennes se debe realizar de acuerdo a los nuevos planes de ordenamiento territorial (POT). Esto con el fin de poder delimitar la frontera agrícola en cuanto a la protección de ríos, quebradas, páramos con el refuerzo de la construcción de diques y barreras para prevenir la erosión, derrumbes e inundaciones (Figura 13). Los POT pueden ser una herramienta eficiente para adaptarse al cambio climático, cuando son diseñados adecuadamente. Esta herramienta puede hacer que los territorios sean climáticamente inteligentes, al adaptarse y mitigar el cambio climático.



Figura 23. Ejemplo de ordenamiento territorial en un paisaje agropecuario del Departamento del Tolima.

Selección de materiales vegetales mejor adaptados

La selección de los mejores materiales, en cuanto a su adaptación a las nuevas condiciones climáticas, dependerá del conocimiento técnico sobre éstos, y de su adecuada época de siembra y manejo agronómico. Se debe prestar importante atención a diferentes tipos de resistencia o tolerancia, tal como calor, sequía, inundaciones, enfermedades y plagas. Estas condiciones permitirán que los materiales seleccionados expresen su potencial de rendimiento. De igual manera, la selección del material vegetal debe cumplir con las exigencias climáticas de la zona. Igualmente, se debe implementar un sistema de monitoreo y de alerta temprana para poder efectuar un manejo y toma de decisiones sostenibles en el uso agroquímicos y fertilizantes.



www.cenicafe.org

Figura 24. Algunas semillas de plantas usadas en agricultura. Fuente: laopinionpanama.com.

El manejo del agua

El manejo de este insumo vital para la agricultura debe mejorar sustancialmente. La captación del agua de lluvia, los sistemas de almacenamiento, riego y de distribución de este insumo son esenciales en la planificación para la integración estrategias de adaptación frente al cambio climático. La protección de nacientes y cauces de agua con la siembra y mantenimiento de especies arbóreas nativas. Se recomienda igualmente, en lo posible, la descompactación y micronivelación del terreno.

El manejo del suelo

Se debe priorizar la reducción de la compactación, mejorar los drenajes, especialmente para evitar excesivo arrastre de suelo y deslizamientos. Se recomienda cambiar las estrategias de labranza para reducir el uso de fertilizantes sabiendo que a altas temperaturas durante el día, la absorción de las plantas de nitrógeno es mínima y, por el contrario, se incrementa la demanda de fósforo. Otro aspecto a considerar es reducir la contaminación por agroquímicos, la emisión de GEI, el alto gasto de energía y capital.

Manejo agronómico de plagas, enfermedades y arvenses

El manejo de problemas fitosanitarios debe iniciar con la adecuada selección del material vegetal, el apropiado diseño del sistema de producción y la correcta nutrición vegetal. El segundo paso es el monitoreo, el cual consiste en el seguimiento a la población de agentes problemáticos y los daños ocasionados por éstos. Posteriormente, es importante realizar prácticas culturales que disminuyan la población de los agentes problemáticos y favorecer a sus controladores naturales. Como medidas extremas, se debe considerar el uso de productos de síntesis química siempre y cuando sean específicos para la plaga y de baja categoría toxicológica.

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN PLANTACIONES FORESTALES



Introducción

Alguna vez, en cualquier momento de nuestro diario vivir hemos pensado si estamos preparados para afrontar la problemática que cada día está en aumento y que está relacionado con el cambio climático. La pregunta que surge es cómo estos cambios nos pueden afectar? y saber si existen mecanismos para contrarrestarlo? Sin duda alguna no estamos preparados para esto o son pocas las personas e instituciones que manejan este tema, el cual debería ser de interés general. Debido a lo anterior, cada día se hace más necesario conocer sobre el tema y generar herramientas que permitan afrontar la vulnerabilidad a la que estamos expuestos.

Se prevé que el cambio climático afecte la distribución de los tipos de bosque y las especies de árboles, la productividad, las condiciones de los terrenos y del suelo y la estructura de las plantaciones. También se esperan cambios en los regímenes de alteración natural como la incidencia, la severidad y el impacto de los incendios, la invasión de especies no autóctonas, los insectos, las enfermedades, las inundaciones y sequías, las temperaturas extremas, los deslizamientos de tierra y las tormentas.

Esta sección busca establecer los lineamientos y pautas adecuadas en el desarrollo, fomento y manejo de las plantaciones forestales con el propósito de mantener la productividad y así mismo generar una mayor eficiencia adaptativa. Esto sabiendo que las plantaciones forestales son también mecanismos de mitigación del cambio climático. Este capítulo va dirigido a todas las personas interesadas sobre este tema, involucrados en el sector forestal. Será de gran utilidad para beneficiaros, asociaciones, técnicos y estudiantes de ciencias forestales. El texto servirá para nutrir el conocimiento sobre el tema y fortalecerá la capacidad local en cuanto a la adaptación al cambio climático.

Prácticas para la adaptación al cambio climático

La adaptación al cambio climático debe ser realizada a la medida de las necesidades y circunstancias de cada finca, ya que tanto la vulnerabilidad como los impactos son específicos. Las mejores estrategias de adaptación del sector forestal al cambio climático en el Tolima requieren ante todo conocer cuáles son las zonas de mayor aptitud para estos sistemas de producción. Frente al problema del cambio climático, en el área forestal pueden plantearse dos grandes líneas de acción. En primer lugar, la protección del bosque natural, incluyendo las acciones para evitar su degradación o destrucción, y en segundo lugar, la creación de nuevos forestales a través de las plantaciones.

Zonas de aptitud forestal en el Departamento del Tolima

La producción forestal depende de las condiciones climáticas ya que, ante sus variaciones, se anticipan impactos diversos, algunos de ellos negativos, que se traducirán en daños o pérdidas de la producción forestal. Los cambios más notorios que se esperan son la modificación de regímenes de precipitación, sequías más intensas y cambios en la distribución regional de especies, así como alteraciones en el crecimiento y la productividad de especies forestales comerciales. También se anticipan condiciones que pueden favorecer al sector, las cuales deberán identificarse oportunamente para traducirse en beneficios.

1. ¿Qué es la zonificación forestal?

La zonificación forestal consiste en aquella distribución geográfica mediante la cual se determinan las áreas más aptas para el establecimiento de plantaciones forestales,

basándose en la oferta ambiental. En esta zonificación se ubican sectores con suelos productivos de fácil accesibilidad y con condiciones socioeconómicas favorables para obtener un sistema rentable (Bello, 2011).

Es importante para el productor forestal tener en cuenta las zonas específicas para el desarrollo e implementación de las plantaciones según las necesidades y los cambios climáticos de la región. Esta información sirve para tomar decisiones eficaces con respecto a la adaptación al cambio climático, ya que nos permite establecer los lineamientos estratégicos con respecto al uso de las especies con fines protectores, protectores-productores y comerciales.

2. ¿Cuáles son las zonas de aptitud forestal en nuestro departamento?

En el Departamento del Tolima se han definido unas zonas de aptitud forestal, las cuales se detallan en la siguiente figura y en el Cuadro 6. El respeto a esta zonificación es una de las estrategias para que los productores forestales se adapten al cambio climático.

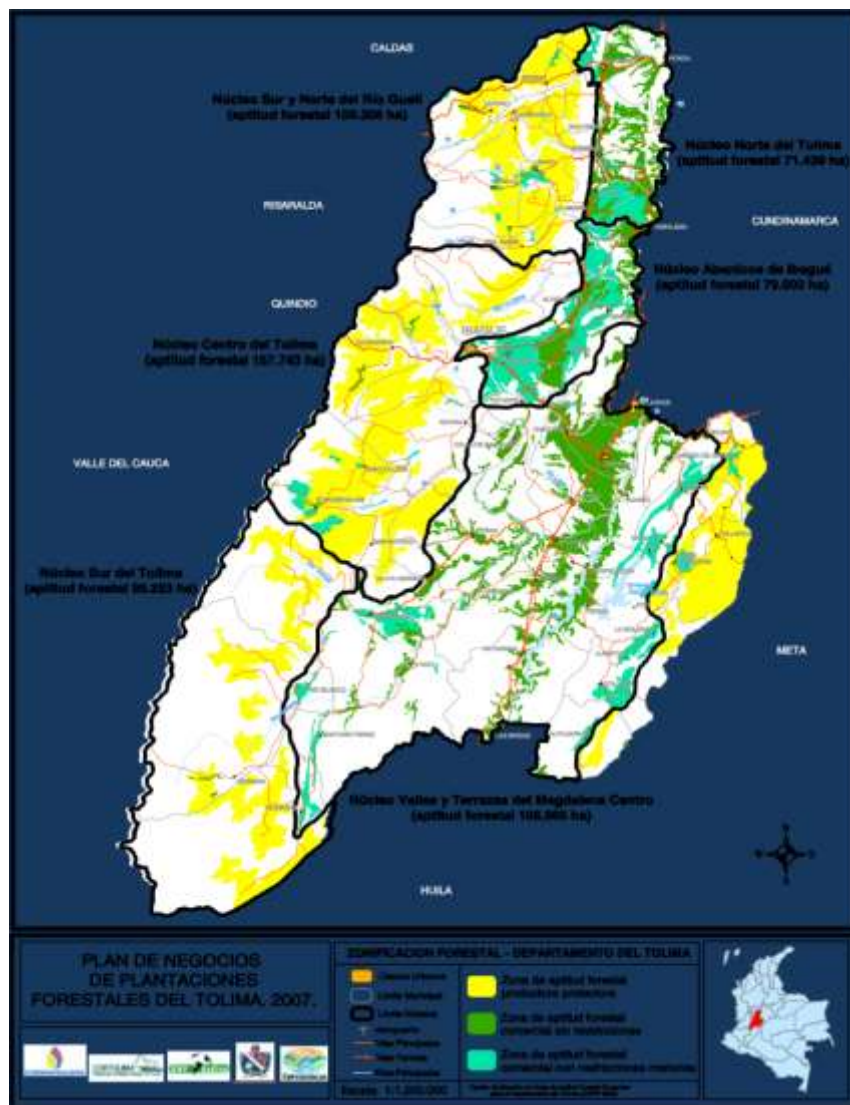


Figura 25. Mapa de zonificación de las zonas de aptitud forestal para el Departamento del Tolima. Fuente: CORTOLIMA, 2012.

Cuadro 6. Resumen de la zonificación forestal del Tolima.

Núcleo	Ubicación	Descripción	Área (ha)
Valles y terrazas del magdalena centro	Chicoral, Espinal, Guamo, Saldaña, Castilla, Purificación, Natagaima, Olaya Herrera, Coyaima, Chaparral y Ataco	En su mayoría sin restricciones* para plantaciones forestales comerciales, excepto en Chaparral donde se presentan restricciones menores**	106.665
Abanicos de Ibagué	Picalaña, Ibagué, Doima, Alvarado, Viejo Caldas y Venadillo	Predominada las áreas con restricciones menores.	79.500
Norte del Tolima	La Sierra, Ambalema, Armero, Guayabal, Mariquita y Honda	Dominado por áreas sin restricciones para la actividad forestal comercial.	71.439
Sur y Norte del Gualí	Fresno, Herveo, Casabianca, Villahermosa, Líbano, Murillo, El Bosque, Santa Isabel, Cajamarca, Santa Elena, Roncesvalles, Icononzo, Villarrica, Tres esquinas y La Colonia	Aptos para plantaciones forestales comerciales con probabilidad alta de degradación por talas razas, desecación permanente y remoción en masa. Se debe dar énfasis a la protección de dichos ecosistemas.	109.305
Centro del Tolima	Se ubica en los municipios de Alvarado, Cajamarca, Santa Helena, Rovira, Roncesvalles, San Antonio, Olaya Herrera.	Aptos para sistemas forestales productores protectoras y una escala mínima para fines comerciales especialmente en el área de Roncesvalles.	157.743
Sur Tolima	Se ubica especialmente en Planadas y Herrera	Definida para plantaciones forestales productoras protectoras.	99.253

Fuente. CORTOLIMA (2012). *sin restricciones: pendiente menor del 25%, baja erosión, PH ligeramente ácido a neutro, buen drenaje interno y externo, texturas francas y arcillosas, no inundables y precipitación entre 1000 y 3000 mm/año. **con restricciones menores: topografía entre el 25% y 50%, erosión leve, profundidad radicular entre 80cm a 1m, PH ácidos, no inundables y texturas francas a arenosas.

¿Sabe que las plantaciones protectoras tienen como objetivo principal la generación de servicios ambientales y/o protección de otros recursos naturales renovables y el ambiente?



Las plantaciones protectoras, tal como su nombre lo indica, se establecen en ciertas áreas en donde se desea proteger o recuperar algún recurso natural y se puede aprovechar productos secundarios como frutos, latex, resinas, semillas, la cual se debe asegurar la persistencia del recurso.

Especies forestales adaptadas a la región

Es fundamental para el productor saber decidir la especie que desea establecer en la finca o parcela para asegurar una producción confiable de madera y otros productos o subproductos forestales. Por lo tanto, la selección de especies forestales para el establecimiento de plantaciones tanto nativas como exóticas, debe fundamentarse en los requerimientos ecológicos de cada especie. Esto sólo se consigue cuando se conocen las exigencias de las especies y las características físicas de los sitios donde éstas se desarrollan adecuadamente. Estas dos variables están estrechamente relacionadas, siendo las condiciones edáficas y climáticas las que influyen directamente en el desarrollo y crecimiento de las especies forestales (CONIF, 1998).

1. ¿Sabe que son las plantaciones protectoras-productoras?

Las plantaciones protectoras-productoras son las que se establecen en áreas forestales de este tipo, en las cuales se puede realizar aprovechamiento forestal condicionado al mantenimiento o renovación de la plantación. Los requerimientos ambientales de especies forestales comerciales productoras-protectoras potenciales para el Tolima pueden ser empleadas como medidas de adaptación al cambio climático. El siguiente cuadro resume los requerimientos edáficos, climáticos y fisiográficos de las especies productoras-protectoras para el Tolima.



Cuadro 7. Resumen de las necesidades ambientales, edáficas y fisiográficas de las especies con mayor potencial de uso en diferentes tipos de plantaciones forestales en el Tolima.

CARACTER	NOMBRE CIENTÍFICO	CONDICIONES CLIMÁTICAS			CONDICIONES FISIOGRAFICAS		CONDICIONES EDÁFICAS		
		Nombre vulgar	Altitud (m)	Temperatura (°C)	Precipitación media (mm)	Pendiente (%)	Topografía	ph	Fertilidad
Protector-productor	<i>Acacia mangium</i>	Acacia	0-1100	22-26	650-4300	50	Pendientes fuertes	Ph desde 4,2	Se adapta en casi cualquier tipo de suelo
	<i>Cordia alliodora</i>	Nogal	0-1900	18-25	1000-4000	–	Plana a ondulada	Alcalino, neutros Lig. ácido	Ricos en materia orgánica
	<i>Hevea brasilienses</i>	Caucho	0-1300	25-35	1500-3000	<50	Plana-ondulada	5-6	Materia orgánica de 1-3%
	<i>Tabebuia rosea</i>	Flor morado	0-1900	18-32	1200-2500	15-25	Ondulada	casi-neutro	Fértil, aluvial
Productor	<i>Cupresus lusitanica</i>	Ciprés	1500-2800	14-20	1500-3000	15-25	Ondulada	Casi neutro	Presencia de materia orgánica
	<i>Eucalyptus globulos</i>	Eucalipto	2200-2800	14-18	800-1500	20-50	–	Lig. ácido	Sensible a deficiencia boro
	<i>Gmelina arborea</i>	Melina	0-1000	24-35	750-2000	15-25	Ondulada	Moderado Alcalino	Presencia de materia orgánica
	<i>Pino oocarpa</i>	Pino	300-2200	14-30	750-2500	20-50	Quebrada	Casi neutro	Todo fértil
	<i>Pino patula</i>	Pino llorón	2000-2800	13-18	1600-2500	20-50	Quebrada	Casi neutro	Requiere boro
	<i>Tectona grandis</i>	Teca	0-1000	18-32	1000-4000	15-25	Ondulada	Casi neutro	Suelos fértiles

Fuente. CONIF 1998.

Plantaciones forestales en el Departamento del Tolima

Una plantación forestal es la acción de plantar árboles con el objetivo de crear un bosque; también como la acción de crear un bosque a partir de la siembra de plántulas; o el conjunto de un terreno y los árboles que crecen después de haber sido plantado. Las técnicas forestales apropiadas, incluyendo el mantenimiento de niveles óptimos de existencias y la selección de árboles mejor adaptados a los sitios deberían asegurar que el bosque y las plantaciones forestales se mantengan vigorosos y relativamente libres del estrés.

Se prevé que el cambio climático exigirá u originará movimientos en gran escala de especies y de poblaciones dentro de especies hacia zonas climáticas donde en la actualidad podrían no existir. Serán necesarias nuevas y sólidas estrategias de ordenación forestal para compensar los desfases de adaptación de las especies y sus poblaciones y mantener la productividad y la salud de los bosques. La productividad de los árboles será la primera línea de defensa contra las plagas y enfermedades. En el siguiente cuadro se presentan algunos ejemplos de impactos y medidas de adaptación al cambio climático en plantaciones forestales del Tolima.

Cuadro 8. Cambios e impactos esperados del cambio climático en plantaciones forestales y algunos ejemplos de medidas de adaptación.

CAMBIO	Impacto	Ejemplos de medida
Subida de la temperatura de la superficie terrestre y la superficie del agua	Estrés térmico de las plantaciones	1. Acceso a cultivos tolerantes al calor. Utilizar la zonificación agroecológica para la elección de cultivos y fechas de siembra, considerando sus requerimientos térmicos e hídricos. 2. Introducción de plantaciones o cultivos alternativos.
	Aumento de la demanda de agua para el cultivo y / o menor disponibilidad de agua	1. Acceso a cultivos forestales más tolerantes a la sequía y /o cultivos y variedades con ciclos de maduración más cortos. 2. Aumentar el contenido en materia orgánica del suelo. Manejo de suelos 3. Maximizar la captación y el almacenamiento de agua.
Alteración de las estaciones	Los agricultores no tienen certeza sobre cuando cultivar, sembrar y cosechar	1. Predicciones meteorológicas y estacionales adecuadas, accesibles y fiables. 2. Diversificación de cultivos y cultivo intercalados: sistemas agroforestales, plantaciones mixtas. 3. Diversificación de los medios de vida
	Daño a los cultivos por periodos de sequía durante la fase de crecimiento	1. Manejo del suelo y de cultivos dirigidos a conservar el agua, para controlar la erosión y contra la desertificación y la sequía. 2. Captación y almacenamiento de agua. 3. Mejoramiento e instalación de nuevas prácticas de manejo de los recursos hídricos y de los sistemas de riego.
	Daño a los cultivos por aguaceros fuera de temporada	1. Variedades tolerantes a la inundación. 2. Técnicas de agricultura sostenible para mejorar el drenaje. 3. Ajustes en el control de enfermedades.

Prácticas de manejo para la adaptación de plantaciones forestales al cambio climático

En el caso de las plantaciones forestales, la diversidad de enfoques para mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático es tal vez más amplia que la de bosques naturales, ya que tanto el material genético como los tratamientos silviculturales pueden ser

ajustados más fácilmente. Dentro de las principales estrategias de adaptación al cambio climático en plantaciones forestales del Tolima están las siguientes:

Programas de mejoramiento genético y selección de material superior

El mejoramiento genético forestal aplica los principios básicos de la genética al manejo de las especies forestales. Dentro de sus objetivos fundamentales se encuentran el aumento de la productividad y la adaptabilidad de dichas especies, así como la conservación a largo plazo de la diversidad genética existente. Este proceso implica:

1. Desarrollar líneas de árboles resistentes a plagas y enfermedades
2. Desarrollar genotipos resistentes a las sequías
3. Mejorar la capacidad de adaptación de los árboles a terrenos marginales que representan condiciones adversas para la producción forestal.
4. Desarrollo de líneas de árboles con características especiales para un producto determinado
5. Aumento del rendimiento y calidad del arbolado.

El mejoramiento genético es una herramienta eficaz y confiable para aumentar la producción, como de crear material forestal menos vulnerable a los efectos del cambio climático. Es aconsejable que los propietarios se aseguren que las poblaciones fundadoras tengan una diversidad genética adecuada, tanto maximizando el número de árboles semilleros como usando mezclas de procedencias.



Plantación de caucho *Hevea brasiliensis*- Mavalle



Huerto clonal de melina Armero-Guayabal CURDN



Figura 26. Ejemplos de algunas estrategias para el mejoramiento y selección de especies adaptadas al cambio climático. Fuente: Los autores.

En este grupo de estrategias de adaptación se incluye el establecimiento de reservas *in situ* y *ex situ* de especies forestales para asegurar la disponibilidad de bancos genéticos con suficientes diversidad. Con esto se pueden desarrollar especies capaces a adaptarse a las condiciones cambiantes.

Selección de las especies y procedencias que mejor se adapten a las condiciones actuales del sitio

Algunos de los pasos a considerar en la selección de la especie son las siguientes:

- a. Se selecciona un grupo de especies característicamente adecuadas al clima de la zona.
- b. Solo se eligen especies apropiadas a las condiciones específicas dentro de la zona en particular.
- c. Adquisición de semillas o material vegetal certificado con el propósito de aumentar su producción y ser menos susceptibles a plagas y enfermedades, de acuerdo al área en particular.

Control de competencia por agua, luz y nutrientes

El abastecimiento de los insumos necesarios para el crecimiento y desarrollo de los árboles es esencial para que éstos se adapten mejor al cambio climático. El manejo silvicultural, principalmente los raleos a tiempo, son importantes para regular la entrada de luz a la copa de los árboles remanentes, haciendo que crezcan más vigorosamente. Programas oportunos de raleo o aclareo son necesarios para potenciar el crecimiento y aumentar la resistencia contra los daños provocados por fuertes vientos, plagas y enfermedades. Un plan de fertilización adecuado es clave para que las plantaciones crezcan rápido y estén mejor adaptados al cambio climático.

Conservación y mejoramiento de suelos

Medidas para la conservación de suelos, tal como el control de erosión, las coberturas nobles y la fertilización orgánica, son estrategias de adaptación al cambio climático. Por

ejemplo, los abonos orgánicos son sustancias que mejoran la calidad del suelo a nivel nutricional para las plantas. El estiércol, los rastrojos y el compost son preferibles a los fertilizantes químicos. A continuación se detallan algunas de sus ventajas como medidas de adaptación:

- Protege el suelo y las plantas en épocas de sequía, ya que aumenta la capacidad de los suelos para retener el agua.
- Ayuda a mantener sanos los suelos y evita que se pierdan los nutrientes.
- Favorece al crecimiento de microorganismos que son beneficiosos para los cultivos y se encargan de descomponer y transformar la materia orgánica en nutrientes.
- Mejora la estructura de los suelos para facilitar el crecimiento y desarrollo de las plantas
- Ayuda a controlar la erosión de las tierras cultivables y no contamina el ambiente

Reducción de turnos

Los turnos más cortos reducen la probabilidad de estrés relacionado con la senescencia y con el peligro de daños causados por plagas y enfermedades. Promover un rápido crecimiento conduce a una reducción en el ciclo de corta de las plantaciones forestales. Demoras en los raleos o aclareos también pueden generar estrés en los árboles, principalmente por la recesión de copas, en donde la parte inferior de éstas se va secando por la falta de radiación solar. Turnos más cortos hacen menos probable la aparición de algunos problemas en las plantaciones, tal como estrés por plagas, enfermedades, deficiencias nutricionales y de humedad.

Protección contra plagas, enfermedades e incendios

Las plagas y enfermedades causan un cambio en el desarrollo fenológico del cultivo. A su vez, eso trae afectación en los rendimientos, incrementa los costos en la producción y

reduce la calidad afectando gravemente los ingresos de los productores. Esto incluye idear programas para el control de insectos y enfermedades y crear sistemas de supervisión que sean capaces de detectar cambios en la biología, ecología y distribución natural de las especies que podrían convertirse en plaga.

Otra de las consideraciones para hacer que las plantaciones forestales estén más adaptadas al cambio climático es la prevención y el control de incendios forestales. El reciente aumento en la frecuencia y extensión de estos incendios puede deberse no sólo a los impactos de las sequías relacionadas con el fenómeno de El Niño sino también a influencias humanas directas. La acción del fuego en las áreas de bosques nativos y plantaciones forestales causa usualmente una pérdida importante de carbono, y reducen la captura del mismo. El departamento del Tolima no se escapa a este problema, lo importante es que los productores forestales sepan cómo prevenir y estar alerta ante estos eventos, lo cual es un factor determinante en la conservación, desarrollo e inversión de las plantaciones forestales.



Figura 27. Incendios en plantaciones forestales de Colombia. Fuente: Franco, 2013.

En la prevención del fuego lo más importante es la implementación de barreras cortafuegos, las cuales son de ancho fijo en donde se elimina toda la vegetación hasta descubrir el suelo mineral. Estas áreas sirven para detener el fuego del suelo y subsuelo y para dar apoyo a un

contrafuego. Los reforestadores deben prevenir y solicitar la vigilancia permanente para detectar un incendio e informar oportunamente a las autoridades competentes, de tal forma que pueda ser controlado a tiempo. Se deben mantener limpias las áreas de cortafuegos para evitar la diseminación de los incendios en caso de que ocurran, de esta manera su control será efectivo.

Una gran parte del territorio del Tolima es seco, lo cual favorece la ocurrencia de incendios forestales. En esta región se debe prestar especial atención a este problema, evitando la acumulación de basuras y recoger los restos de vidrios que se detecten en las fincas, como medidas preventivas. La Figura 17 muestra un ejemplo de una barrera cortafuego en una plantación de teca.



Figura 28. Ejemplo de una barrera cortafuego protegiendo una plantación de teca. Fuente: Los autores.

Evitar la utilización de rodales con una sola especie o material vegetal

Se debe evitar, en lo máximo, el uso de una base genética limitada que podría no tener la capacidad intrínseca para adaptarse a condiciones climáticas cambiantes. Disminuir la dependencia de una o dos especies en los programa reforestación es una buena práctica adaptativa. En lo posible incluir un número mixto de especies que se adapten bien a los sitios locales y las condiciones climáticas y que respondan a las necesidades locales. En esta estrategia podrían mencionarse las plantaciones mixtas y los sistemas agroforestales.

1. Plantaciones mixtas

Estos sistemas de producción forestal incluyen dos o más especies combinadas en un mismo espacio, con el objeto de proveer diferentes productos forestales e ingresos escalonados en el tiempo. Esto le permite al propietario poseer retribuciones más o menos continuas, hasta la cosecha final de la especie con el turno más largo. Esto a pesar que los monocultivos de árboles son más fáciles de manejar y los costos de manejo y establecimiento son menores que en las plantaciones mixtas.

La diversificación de especies en plantaciones es deseable debido a la incertidumbre sobre el desempeño del material plantado y los riesgos potenciales de plagas. A su vez, las plantaciones mixtas tendrán la ventaja de diversificar la producción, que podría reducir los riesgos para los agricultores en mercados inestables. Las plantaciones mixtas, en comparación con las plantaciones puras, promueven la regeneración de una mayor diversidad de especies en el sotobosque, al crear una mayor variabilidad en el hábitat y un microclima que favorece a los dispersores y a la adaptabilidad de especies para la germinación y crecimiento.

2. Sistemas agroforestales

Un sistema agroforestal es la combinación deliberada de árboles con cultivos, como métodos de manejo de suelos y de repoblación forestal. Estos sistemas de producción hacen un aporte importante ya que contribuye con el mejoramiento de los suelos degradados, la formación de los bosques y la utilización de una diversidad de cultivos y productos maderables y no maderables.

En las regiones áridas y semiáridas, el diseño de sistemas agroforestales debe contribuir a reducir las temperaturas y mejorar la productividad del sistema. Diferentes estudios ponen en manifiesto que la sombra ayuda a reducir la temperatura y a mejorar el crecimiento de los cultivos, particularmente durante la fase de establecimiento.

Los sistemas agroforestales pueden desempeñar un papel importante en la adaptación con beneficios como:

1. El aumento de las resistencias a los fenómenos climáticos extremos, mediante la mejorada retención de agua y la fertilidad enriquecida del suelo
2. La diversificación de fuentes y un colchón de ingresos cuando se pierden las cosechas.
3. El refuerzo de la productividad
4. Reducción de ataques de plagas y enfermedades al haber mayor diversidad vegetal
5. Mejoramiento de suelos con la consecuente reducción en fertilización

Los agricultores son conscientes de la disminución en los rendimientos en sistemas agroforestales debido a la sombra; sin embargo, no les preocupa ya que los beneficios económicos de la explotación comercial de árboles compensan en gran medida la pérdida del rendimiento de los cultivos. En este sentido, es importante elegir adecuadamente las especies agrícolas y forestales apropiadas para reducir la competencia entre ellas y no comprometer su crecimiento y producción.

En algunos casos, los sistemas agroforestales integran ganado a las plantaciones forestales o de leñosas perennes, lo cual es llamado sistema silvopastoril. La combinación de ganadería y árboles permite la eliminación de impactos negativos de la ganadería tradicional, tal como: tumba y quema de bosques, degradación de tierras, desertificación, contaminación atmosférica, contaminación y agotamiento del recurso hídrico e impactos negativos sobre la biodiversidad. Los sistemas agroforestales bien diseñados y bien manejados son tecnologías “ganar-ganar”, ya que mejoran la productividad y ofrecen servicios ambientales.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BBC (s.f.), Mundo. *Cambio Climático*. Recuperado el 30 de mayo de 2013, de http://www.bbc.co.uk/spanish/especiales/clima/ghouse_4.shtml.
- Bello, E. (2011). Seminario internacional de bosques. El semillero. Recuperado el 05 de junio de 2013 de http://www.elsemillero.net/pdf/Importancia_zonificacion.pdf
- Borron, S. (2006). Building Resilience for an Unpredictable Future: How Organic Agriculture Can Help Farmers Adapt to Climate Change. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO. Rome.
- Ciesla, W. (1996). *Cambio climático bosques y ordenación forestal: una visión de conjunto*. Italia, Roma: Organización para las naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Corporación nacional de investigación y fomento forestal. (1998). *Guía para plantaciones comerciales Tolima*. Colombia: Autor.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima. (2012). Audiencia Pública Presentación, plan de acción 2012-2015. (Cod) Cardoso, J: Autor.
- Corporación Autónoma Regional del Tolima CORTOLIMA. (2012). Plan de acción 2012-2015. Recuperado de <http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/democracia/plan-accion-2012-2015-V-1..pdf>
- Espinosa, M. (2013). *Cambio climático, capitalismo verde y agroecología. Pensando las alternativas civilizatorias*. Recuperado el 05 de junio de 2013, de <http://manuelantonioespinosa.wordpress.com/2013/06/02/cambio-climatico-capitalismo-verde-y-agroecologia-pensando-las-alternativas-civilizatorias/>.
- Harder, W. 2012. Captación de agua lluvia "Herramienta para generar mayor productividad y autonomía en la producción agropecuaria". Seminario Internacional de Cooperativas Agropecuarias del Cono Sur, 5-6 de diciembre de 2012.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (Ed) Pachauri, R. K. & Reisinger, A. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, (2007a): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B.M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, (2007b): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Lau, C., Jarvis, A. & Ramírez, J. (2011). *Agricultura Colombiana: Adaptación al cambio climático*. CIAT Políticas en Síntesis no. 1. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia: CIAT.
- Ortega, C., García, P., Caro, A. & Sabogal, J. (2011). *Selvas, comunidades y cambio climático*. Fondo Patrimonio Natural. Bogotá, Colombia.
- Rodríguez, A. (2007). Cambio climático, agua y agricultura. *Comuniica edición N° 1, II*, 13-23.
- World Wide Fund for Nature. (s.f.). Causas: El origen del cambio climático. Recuperado el 28 de junio de 2013, de http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/causas/