



**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE ECONOMIA**

**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS ECONÓMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
SOBRE EL CULTIVO DE PLÁTANO**

Asesor:

JORGE HIGINIO MALDONADO

Presentado por:

MARIA MARGARITA GUTIÉRREZ ARIAS

200329009

Bogotá D.C. Enero 29 de 2009

1. Introducción

Se denomina Cambio Climático a la alteración sobre el régimen climático del planeta tierra, que ha sido influenciada por las emisiones antrópicas y naturales de gases denominados de efecto invernadero. Las moléculas de los Gases Efecto Invernadero – GEI, tienen la capacidad de absorber y reemitir las radiaciones térmicas que provienen del sol y las que refleja la superficie de la Tierra hacia el espacio. Esto controla el flujo de energía natural a través del sistema climático.

Debido al aumento histórico en las concentraciones de los GEI, el clima terrestre sufre un ajuste que se manifiesta en un aumento en la temperatura promedio global, esta temperatura, según el Panel Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático – IPCC, ha tenido en los últimos 50 años un aumento de $0,13^{\circ}\text{C}$ por década en promedio con un aumento promedio total de $0,76^{\circ}\text{C}$ ¹ desde la era pre-industrial hasta el momento (IPCC, 2007).

Este aumento de la temperatura global produce alteraciones en los regímenes climáticos de la tierra, generando consecuencias tales como el aumento en el nivel del mar, cambios en los regímenes de precipitación y en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos (tormentas, inundaciones, huracanes, avalanchas, sequías, fenómenos del Niño y la Niña) y cambios en los tiempos de ocurrencia e intensidad de estaciones húmedas y secas, entre otros. Estas alteraciones traen consecuencias que afectan directamente al hombre en términos de disponibilidad del recurso hídrico, cambios en la producción agrícola, pérdida de biodiversidad, fusión de los glaciares marinos y de montaña, desplazamiento de vectores tropicales que causan enfermedades, entre otros. En el año de 2001, el Panel intergubernamental de Cambio climático afirmó con un alto nivel de certeza que “Los países en desarrollo tienden a ser más vulnerables al cambio climático que los países desarrollados”² y en el año 2007 lo ratificó..

En la convención de Río (1992), se establecieron mecanismos que buscaban involucrar tanto a los países que se verían más afectados por los impactos del cambio climático, como a los países con mayores emisiones, a través de acuerdos multilaterales

¹ En un intervalo de confianza del 95% de [0,57 a 0,95]

² IPCC. Climate change 2001: Impacts, Adaptation and vulnerability. Página 70

que buscaban conducir a la disminución de las emisiones globales de GEI y ayudar a los países más vulnerables a los impactos del cambio climático a implementar acciones para responder a los mismos. A partir de allí se creó la Convención Marco de las Naciones Unidas (UNFCCC), la cual fue ratificada por Colombia, por medio de la ley 164 del 27 de Octubre de 1994.

La UNFCCC, fue creada para establecer un marco global de esfuerzos intergubernamentales dirigidos a manejar los retos impuestos por el cambio climático. Colombia se encuentra dentro de los 189 países que han ratificado su participación en esta convención, bajo la cual, los gobiernos se comprometen a producir y compartir la información sobre sus emisiones de GEI, las Políticas Nacionales y las buenas prácticas encaminadas a disminuir emisiones. A su vez, a establecer estrategias para dirigir la disminución de emisiones y la adaptación³ necesaria a los impactos ocasionados por el cambio climático, incluyendo la asistencia técnica y financiera de los países industrializados a los países menos desarrollados, tanto para la disminución de emisiones como para los programas de adaptación que sean necesarios para afrontar los impactos derivados del cambio climático⁴.

Los efectos del cambio climático que constituyen de manera particular amenazas para diversos ecosistemas y poblaciones dentro del territorio colombiano, y el grado de vulnerabilidad⁵ de éstos a las posibles amenazas, fueron evaluados en forma preliminar en la Primera Comunicación Nacional de Colombia⁶ -PCN.

Las principales conclusiones del trabajo desarrollado en la PCN determinaron que el aporte del país a las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del planeta en el año 1994 fue de 0.25% y que, los principales efectos que deberá enfrentar el país durante el

³ Según la definición del IPCC: Adaptación se considera el ajuste a los sistemas naturales o humanos, en respuesta a estímulos climáticos, actuales o esperados, o los efectos de estos estímulos. Que disminuye el daño o explota las oportunidades benéficas.

⁴ www.unfccc.int

⁵ Según la definición del IPCC: Vulnerabilidad es el grado en el cual un sistema es susceptible e incapaz de afrontar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos. La vulnerabilidad es una función de la sensibilidad de un sistema, su capacidad adaptativa y el nivel de amenaza al cual está expuesto el sistema.

⁶ Ministerio del Medio Ambiente, IDEAM, PNUD. Colombia, Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Santa Fe de Bogotá, Diciembre de 2001.

presente siglo son: afectación de páramos y glaciares, amenaza de las islas del caribe por el aumento del nivel del mar y aumento potencial del dengue y la malaria.

Estudios más recientes y basados en el análisis de vulnerabilidad desarrollado por el IPCC en sus cuatro reportes de evaluación, han determinado que el aumento de eventos climáticos extremos, aumento de la temperatura y variación en la precipitación, entre otras consecuencias del Cambio Climático también pueden acarrear graves consecuencias sobre los sistemas naturales colombianos como son: pérdida de Biodiversidad, pérdida de Ecosistemas Estratégicos (Páramos, Glaciares, Selva, Corales), aumento de eventos climáticos extremos y desertificación de tierras.

Adicionalmente tanto las amenazas directas (aumento de temperatura y variación en la precipitación), como los impactos sobre los ecosistemas naturales de dichas amenazas, pueden acarrear graves consecuencias sobre los sistemas productivos del país, algunos de los cuales son: daños físicos de la infraestructura material, edificios y servicios urbanos (incluidos los sistemas de transporte); disminución de la oferta energética, por eventos climáticos extremos; cambios de la productividad de los recursos naturales; escasez de insumos y cambios de la demanda del mercado; Así como, impactos económicos de los sistemas productivos en los que un elevado porcentaje de los ingresos proviene de industrias de recursos primarios sensibles al clima (agricultura, silvicultura, y pesquerías).

A partir de la PCN, se dio inicio a las actividades relacionadas con la recopilación de información necesaria para la elaboración del inventario nacional de GEI, así mismo, se presentaron los primeros escenarios climáticos relacionados con calentamiento global para Colombia y estudios de vulnerabilidad y adaptación de los principales sectores del país al cambio climático. El resultado del trabajo involucrado en la PCN, más allá de obtener un documento de país, sirvió como sólida propuesta de varios proyectos en el tema de cambio climático, algunos de los cuales han sido financiados desde el año 2002 con fondos internacionales, dentro de los cuales se ha incluido tímidamente el sector Agrícola debido a la falta de estudios económicos y de impactos asociados a este sector.

En enero de 2007 se inició oficialmente la Preparación del Proyecto de Segunda Comunicación Nacional - SCN, el cual espera finalizar en diciembre de 2010. Dentro de SCN se realizó el inventario nacional de GEI para los años 2000 y 2004. Como resultado del inventario se encontró que Colombia aporta tan solo el 0,35% de las emisiones totales de Gases Efecto Invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O). “Un país como Colombia, que tiene poco control sobre las causas del fenómeno, debe dedicarle gran esfuerzo a prepararse para sus impactos. Y estos preparativos deben iniciarse cuanto antes” (Costa 2007).

El análisis de vulnerabilidad que será presentado en el documento de SCN, se ha relacionado principalmente con la disponibilidad de agua, vista desde tres perspectivas diferentes: eventos asociados a la cantidad de agua disponible (inundaciones y sequías), desertificación debida al cambio climático y fusión de los glaciares tropicales de montaña.

Paralelo al proyecto de elaboración de la SCN, se ha venido adelantando el proyecto INAP (denominado así por las siglas de su nombre en inglés; Integrated National Adaptation Program). Este proyecto piloto de medidas de adaptación al cambio climático trabaja específicamente en los temas de salud humana, zonas costeras, ecosistemas de alta montaña y escenarios de cambio climático para el país. El proyecto INAP, es el resultado del trabajo institucional de los últimos 5 años en los cuales se identificaron las prioridades del país en el tema de medidas de adaptación.

Algunas de las medidas de adaptación que financia el proyecto INAP apuntan a el sistema de vigilancia y alerta temprana epidemiológica de dengue y malaria; mejoras en la capacidad técnica y científica del IDEAN para la realización de escenarios de cambio climático en el país; incluir información de cambio climático en las herramientas de planificación territorial de los ecosistemas en las zonas de alta montaña; mejorar los sistemas agro-productivos y agro-ecosistémicos, reducir la vulnerabilidad socioeconómica de los habitantes de ecosistemas de alta montaña; incluir la información climática en la toma de decisiones de las zonas insulares del caribe colombiano y de alta

montaña; realizar proyectos de mejora en la disponibilidad de agua fresca en la zona insular del caribe colombiano y reducir la vulnerabilidad de las actividades económicas, la infraestructura y la población que habita en zonas cercanas a la costa.

La dinámica de investigación en cambio climático ha fortalecido la institucionalidad del país en el tema, determinando más que resultados de proyectos, una estrategia de adaptación basada en lecciones aprendidas y en el trabajo de lo local a lo nacional. Sin embargo dentro de este trabajo, que ha sido la base de la mayoría de las iniciativas en adaptación en Colombia, no se tuvo en cuenta un análisis económico de los impactos del cambio climático a profundidad y relacionado con los impactos futuros debidos a los posibles escenarios de precipitación y temperatura.

La Estrategia nacional de adaptación de Colombia se encuentra en fase de formulación dentro de un documento rector de política nacional denominado Conpes (Consejo Nacional de Política Económica y Social). Dentro de la versión final de este documento se establecerá que es necesaria la participación de todos los Ministerios e institutos de investigación adscritos y vinculados a estos. Así mismo, es indispensable contar con el Departamento Nacional de Planeación y los entes de control tales como la Contraloría y la Procuraduría, este trabajo interinstitucional asegurará que Colombia esté preparada para enfrentar los efectos adversos del calentamiento global.

Sin embargo parte de la estrategia necesaria para involucrar a los sectores en la Estrategia de Adaptación Nacional requiere un fuerte fundamento en aproximaciones económicas que faciliten la priorización de zonas y comunidades y la percepción del impacto por parte de los tomadores de decisión y actores claves en cada sector.

El programa de adaptación de Colombia se basa en la adopción de medidas concretas y determinantes para la protección, conservación y uso sostenible de recursos naturales, que mejoren la calidad de vida de las comunidades involucradas con cada una de las áreas donde se implementen los proyectos de adaptación del país.

Los componentes principales de este programa están orientados a prevenir y reducir los riesgos de las variaciones climáticas que puedan poner en riesgo a la población, su salud, su capacidad de producción, la seguridad hídrica y alimentaria, la infraestructura y el medio ambiente. El Programa hará énfasis en las ciudades y poblaciones vulnerables, especialmente las ubicadas en las zonas costeras, zonas de alta montaña y en las cuencas de los principales ríos del país.

Hasta el momento y gracias a los resultados de los estudios de la vulnerabilidad en el país a los efectos del cambio climático y gracias a la implementación del Proyecto de Adaptación Nacional – INAP, se han identificado las zonas del país sobre las cuales se realizarán los esfuerzos prioritarios de inversión, dichas zonas se describen a continuación.

Las zonas consideradas como críticas por el aumento en el nivel del mar son: Santa Marta, Barranquilla, Cartagena, Golfo de Morrosquillo, Buenaventura, Guapi y Tumaco. No solo por los riesgos que supone un ascenso en el nivel del mar para las poblaciones ubicadas en estas ciudades, sino también debido a que allí se encuentran los principales puertos del país.

Otras áreas priorizadas son el Macizo Colombiano, ya que allí se encuentran los páramos abastecedores de la oferta hídrica con la que se abastecen zonas rurales y urbanas, además de ser utilizadas para la generación de energía hidroeléctrica, a la vez de ser municipios y departamentos propensos a la propagación del dengue y la malaria así como enfermedades asociadas a la calidad del agua y al saneamiento básico.

Las áreas propensas a sufrir los procesos de erosión, desertificación y sequía y las poblaciones afectadas por inundaciones y eventos climáticos extremos están en proceso de priorización dentro del proyecto de elaboración de la SCN de Colombia.

Ya se ha determinado que en Colombia, hay actividades básicas que deben ser llevadas a cabo dentro de la implementación de la adaptación a los efectos del cambio climático, las cuales incluyen la mejora en los modelos climáticos globales que

permiten realizar los escenarios de cambio climático, la priorización de zonas la definición de las amenazas generadas y la identificación de vulnerabilidad de los recursos naturales, humanos y económicos expuestos a una amenaza determinada, por su predisposición intrínseca a ser afectado, a sufrir un daño, y de encontrar dificultades en recuperarse, el fortalecimiento de las capacidades locales, y la concertación del trabajo con las comunidades, entre otros.

Gracias a los resultados de la PCN, la implementación de proyectos piloto de adaptación, la coordinación implementada en la SCN y el gran esfuerzo humano y técnico que se ha desarrollado en los últimos años, Colombia es uno de los países líderes en la investigación, aplicación de políticas e implementación de proyectos, de adaptación y mitigación, en el tema de cambio climático. Sin embargo, la carencia de investigaciones nacionales en algunos temas específicos puede ser determinante para aprovechar todas las oportunidades derivadas de las negociaciones internacionales.

Como se muestra en el amplio espectro de investigaciones realizadas en Colombia en las páginas anteriores, dentro de las necesidades de investigación, especialmente en el último año, se hace evidente la necesidad de establecer indicadores de cambio climático en los países como método de monitoreo y evaluación de resultados, así como, evaluaciones de los costos a los cuales se ha visto enfrentado el país por este fenómeno y los posibles efectos económicos asociados a los escenarios de cambios en la precipitación y la temperatura que se prevén como consecuencia del cambio climático.

Hasta el momento las áreas priorizadas no ha tenido en cuenta factores económicos cuantitativos y la mayoría de las actividades incluidas dentro de la estrategia nacional de adaptación, requieren como respaldo un estudio que relacione variables económicas con los efectos del cambio climático. Sin embargo, debido a la complejidad relacionada al estudio de la economía de una región con los impactos del cambio climático, y a la extensa necesidad de información para poder estimar todos los impactos relacionados, así como todas las externalidades generadas por estos impactos en los sectores económicos, estos estudios no se han realizado y hasta ahora empiezan a convertirse en una prioridad del país.

Dentro del análisis de impactos económicos del cambio climático, se incluye el costo de las posibles medidas de adaptación que se deberán afrontar en el futuro, los costos por pérdidas de bienes y servicios, mercadeables y no mercadeables, así como los costos y beneficios asociados a la implementación de proyectos de reducción de emisiones. El estudio completo de la economía del cambio climático en cualquier país es extenso, detallado y debe ser realizado por un equipo amplio de expertos.

En el contexto internacional las acciones que se desarrollan en el país toman cada vez más importancia debido a la dinámica de las negociaciones en los últimos años, enmarcado en la base de responsabilidades compartidas pero diferenciadas, se dividió a los países integrantes de la UNFCCC en dos grupos, el primer grupo, países desarrollados, que deben asumir la mayor responsabilidad del control de las emisiones de GEI (Parte del Anexo I) y el segundo grupo, países que no son parte del Anexo I, entre los cuales se encuentran los países en vía de desarrollo, que deben propender por un desarrollo sostenible, pero a los cuales no se les debe imponer restricciones en sus emisiones de GEI.

Los cumplimientos de reducción de emisiones de los países desarrollados se acuerdan, regulan y controlan en el Protocolo de Kyoto. Sin embargo, el primer periodo de cumplimiento de este protocolo es el año 2012 y en los últimos años se viene hablando dentro de la UNFCCC de la incertidumbre asociada al cumplimiento de compromisos Post Kyoto. Dentro de las negociaciones internacionales existe una tendencia por parte de los países desarrollados a utilizar los medios para financiar la adaptación de los países en desarrollo como una herramienta de negociación para que estos últimos también se comprometan con reducción de emisiones, especialmente por el acelerado crecimiento de naciones como China, India y Brasil, sin restricción alguna de sus emisiones de GEI.

En este sentido, cuantificar el impacto económico del cambio climático es crucial para los países en desarrollo, de tal forma que se pueda establecer una carta de negociación importante a la hora de evitar compromisos de emisiones a cambio de financiación de la adaptación.

Finalmente, trabajar en la evaluación de los impactos económicos para los principales sectores afectados en el país es importante, debido a que estudios como este aportarán una medida, en términos de costos asociados y evitados, a la implementación de proyectos de adaptación en las negociaciones internacionales. Adicionalmente, el análisis de impactos económicos, proveerá una herramienta para acercarse a los sectores productivos en términos cuantitativos para despertar su interés en participar en temas ambientales que pueden mejorar la capacidad de adaptación del país y la interacción de los sectores con el aprovechamiento y uso de los recursos naturales en el presente para mitigar los impactos futuros.

Este trabajo busca relacionar el cambio climático, por medio de sus escenarios, con sectores económicos de Colombia para realizar una aproximación al impacto económico del cambio climático en el país. El objetivo general es determinar cuál es el impacto económico relacionado con los efectos del cambio climático en algunos departamentos del país, en especial lo relacionado con la variación de precipitación y su influencia en el beneficio neto de los productores de plátano..

Para esto, se requiere cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- Establecer la relación entre la demanda de agua requerida para el cultivo de plátano y su relación con las variables climáticas de los escenarios de cambio climático (precipitación y temperatura).
- Analizar la relación de los costos asociados a la producción, el área cosechada y los rendimientos con la variación de precipitación dentro de los sistemas productivos.
- Analizar el impacto del escenario de cambio climático en el beneficio neto de los productores que dependen de las variables climáticas en su demanda de agua.

Las preguntas de investigación que se quieren desarrollar son:

- ¿Cuáles son los principales impactos del cambio climático en el país?

- ¿Cuál es el impacto económico de la disminución de precipitación sobre los sectores productivos del país y cuál es la relación de estas con el cambio climático?
- ¿Cuál es la diferencia de los beneficios netos teniendo en cuenta la variación esperada en las variables climáticas en el país?

2. Revisión de Literatura

Aunque el conocimiento y la divulgación de información son extensos en los temas de cambio climático y calentamiento global desde los años 90's, hasta ahora los países latinoamericanos han empezado a desarrollar estudios regionales y de literatura científica especialmente en el tema de evaluación de impactos económicos.

Krol y Bronstert (2000) realizaron un modelo regional integrado de los impactos del cambio climático en los recursos naturales y en el uso de recursos en la región semiárida del Nordeste de Brasil. En este trabajo se utilizó un modelo integrado que introducía la descripción dinámica de las relaciones entre el forzamiento climático, la disponibilidad de recurso hídrico y algunos procesos agrícolas y sociales seleccionados. Este modelo busca simular los sistemas complejos de relaciones humanas con el medio ambiente en dicha región en términos cuantitativos, para luego ser aplicado al estudio de la sensibilidad de los recursos naturales y de la situación socioeconómica de la región a los efectos del cambio climático.

“El estudio de los impactos de cambio climático en las regiones semiáridas en desarrollo hace un llamado para una aproximación integrada. Los impactos del cambio climático no se reducen simplemente a un cambio en la disponibilidad de recurso hídrico, sino que emergen también desde la confrontación de la disponibilidad y la demanda de la sociedad y los roles que esta demanda juega en la sociedad. Por lo tanto se debe realizar un apropiado estudio de integración el cual incluya el conocimiento de los efectos climáticos sobre el balance hídrico y sobre las plantaciones, así como un análisis del uso del recurso, la economía agrícola y los impactos sociales”.(Krol y Bronster 2000). El modelo regional integrado puede abarcar tanto los conceptos marco como la herramienta de aplicación para la integración de estas diferentes disciplinas.

El modelo de Krol y Bronster (2000) describe la dependencia básica en el sistema humano-ambiental. Se toca de manera somera el rol de este conocimiento en el proceso de toma de decisiones y lo apropiado de su aplicación en el proceso de toma de decisiones.

Krol y Bronster (2000) señalan que los modelos integrados tempranos emergen como una extensión de las ciencias naturales o modelos macroeconómicos que adaptan descripciones dinámicas adicionales de los factores o impactos directrices.

La mayoría de los trabajos consultados en la evaluación de impactos económicos dividen los impactos económicos en impactos directos de bienes y servicios mercadeables y los impactos en la producción de bienes y servicios no mercadeables. Sin embargo, Krol y Bronster 2000, divide los impactos económicos en cuatro categorías principales las cuales incluyen la división de bienes y servicios mercadeables y adicionalmente incluye el concepto de los impactos indirectos sobre otros sectores de la economía de la región donde se aplica el modelo integrado y los impactos indirectos sobre otras regiones y países.

El modelo regional integrado se presenta en dos marcos distintos, uno de ellos es estático y el otro es dinámico. Dentro del modelo estático, el stock regional de capital, la tecnología y las instituciones públicas y privadas son exógenas. Mientras que en el modelo dinámico, estas variables son endógenas y las respuestas dinámicas de ellas son asimilables a las más importantes medidas de adaptación al cambio climático.

Abler y Shortle en el año 2000 presentan en su trabajo llamado *Caracterización económica regional de los impactos y respuestas al cambio climático*, que la principal dificultad al realizar modelos relacionados con la adaptación al cambio climático o la evaluación de las vulnerabilidades y sus implicaciones económicas está relacionada con la información que se requiere. La falta de información sobre los tipos de respuestas a los impactos puede dificultar especialmente la aplicación de modelos regionales de adaptación al cambio climático. El trabajo de Abler y Shortle se muestra evidencias a

nivel regional sobre los tipos de adaptación que son posibles, pero se basa en las estrategias de adaptación determinadas por los estudios del IPCC.

El trabajo de Abler y Shortle está enfocado, no en los impactos biofísicos o físicos del cambio climático, sino que trabaja con estos efectos como los puntos de partida de la caracterización de los impactos económicos regionales y sus respuestas. Aunque este trabajo no presenta ningún modelo empírico específico es una buena base para el análisis socioeconómico de los impactos del cambio climático, pues presenta sugerencias que deben ser tenidas en cuenta al realizar algún modelo regional especialmente en el tema de eventos extremos y para un análisis de mediano plazo.

Como lo aclara Abler y Shortle en el 2000, y por las evidencias de la implementación de proyectos de adaptación en Colombia, se conoce que la importancia del análisis regional radica en que muchas de las decisiones acerca de las medidas de adaptación se realizan a nivel local o regional y no a nivel nacional. Específicamente cuando hablamos de medidas que tiene que ver con cambios en el uso y manejo de los recursos naturales. Esta característica es similar, tanto para las decisiones públicas como para las decisiones que toman los agentes económicos, acerca de cómo y cuándo tomar acciones para responder a las presiones climáticas sobre el sector productivo, las cuales son tomadas a nivel regional o local.

Debido a esto, Abler muestra que es esencial guiar las respuestas de estos agentes económicos especialmente en áreas en las cuales se han realizado análisis de vulnerabilidad de largo plazo.

Aunque algunos análisis, aún de nivel regional, pueden llegar a ser muy agregados para algunos propósitos (Abler, 2000), bajar la escala de los análisis de vulnerabilidad es el primer paso necesario para establecer un efectivo análisis de vulnerabilidad y de respuestas de adaptación.

La eficacia de las estrategias de adaptación están sujetas a variar sustancialmente de una región a otra, algunas regiones podrán tener la habilidad, el conocimiento, las

capacidades y los recursos para adaptarse a los impactos negativos y tomar ventaja de los impactos positivos mientras que otras regiones no lo estarán (Abler , 2000).

Esto se debe a que puede existir un intercambio en la producción de muchos bienes y servicios de una región a otra dentro de un país basado en diferenciales en el costo del trabajo, políticas regulatorias y fiscales, u otros factores. Estos intercambios pueden generar cambios significativos en el ingreso, el nivel de empleo y la estructura económica en el nivel regional, aun cuando estas variables sean relativamente estables a lo largo del país.

Adicionalmente Abler en el 2000, señala cómo los modelos económicos regionales se pueden relacionar de una manera más realista con los modelos regionales de las variables hidrológicas, ecosistemicas y cualquier otra modelación de variables físicas que los modelos económicos nacionales o globales, se hace énfasis en que un país en desarrollo puede ser un nivel de regionalización suficiente, en el análisis y el proceso de reducción de escala de los modelos climáticos. Para Colombia, que es uno de los primeros países en América latina con modelos climáticos regionalizados para todo el país, esta es una de las fortalezas que permite iniciar el estudio de los impactos socioeconómicos ya que cuenta con 24 regiones climáticas modeladas.

Aunque los impactos de cambio climático pueden estar relacionados con muchas de las actividades relacionadas con las actividades públicas como educación, defensa, servicios de información y otros servicios, el modelo de Abler no incluyó esta cantidad de incertidumbres asociadas y solo evaluó los impactos económicos asociados a la salud humana y los servicios ambientales.

La evaluación de los impactos económicos asociados a bienes con derechos de propiedad puede ser dividido a su vez en dos tipos, directos e indirectos, así mismo los impactos no son necesariamente negativos especialmente en el sector económico, en el cual algunas de las nuevas condiciones climáticas pueden llegar a ser favorables para el sector agrícola o el turismo, entre otros. Esto debe ser evaluado dentro de los modelos regionales ya que estas características solo pueden ser evaluadas a nivel local.

La referencia obligada para cualquier estudio económico del cambio climático es el informe Stern. Este reporte sobre la economía del cambio climático realizado por el economista Nicholas Stern por encargo del gobierno británico en el 2006, discute el efecto del cambio climático y el calentamiento global en la economía mundial.

En este informe se muestran los resultados de varios modelos realizados en el mundo acerca de los impactos económicos del cambio climático. Los resultados de estos modelos, según Stern en el 2006, dependen de las decisiones claves para el modelo, incluyendo aquellas como los costos para las regiones más pobres y cuales son los supuestos acerca de la capacidad de la sociedad que se ve enfrentada a los impactos a reaccionar y reducir los costos, adaptándose al cambio climático.

Este informe muestra la importancia de realizar modelos regionales, ya que en los modelos basados en los Ingresos o en el Producto Interno Bruto muchos impactos de gran escala en los países pobres opacarán los pequeños impactos en otros países, desarrollados o en desarrollo, creando una disparidad que se ve reflejada en la incertidumbre del dato del porcentaje mundial del PIB que se ve afectado por el cambio climático.

El informe Stern deja claro que el modelo de impactos económicos debe realizarse comparando dos escenarios, el “business as usual” y el de cambio climático. Así mismo aclara que aunque el análisis se puede realizar en términos de PIB es importante realizar los análisis en términos de beneficios. Uno de los supuestos más importante utilizados en el informe Stern, trata sobre la adaptación al cambio climático. Este supuesto establece que en general, los modelos asumen que los dueños realizan lo que ellos necesitan para adaptarse sin necesidad de estímulos de política.

El informe Stern determina que cualquier modelo de los costos monetarios del cambio climático debe idealmente proveer los siguientes puntos⁷: a) Una simulación de costos en el rango más amplio posible de impactos, tomando en cuenta los mayores

⁷ Stern Review. Economics of Climate Change

impactos que la nueva evidencia científica muestre, y b) Un marco teórico que se ajuste al propósito de análisis de los cambios sociales y económicos los cuales son grandes, impares, con un gran nivel de incertidumbre y que ocurren en un largo periodo de tiempo.

Dentro de los planes inmediatos del país se encuentra la realización de un estudio de la economía del cambio climático siguiendo la metodología Stern en Colombia, sin embargo, dado que este estudio también incluye una recopilación de los principales modelos y análisis realizados es importante desarrollar análisis específicos para muchos de los sectores involucrados con el cambio climático en el país.

Roger Pielke Jr. en el 2007, analizó las fallas del informe Stern, señalando dos grandes fallas sobre los supuestos tomados. La primera sobre los costos de eventos extremos y la segunda entorno al supuesto de la sociedad estática. Pielke asegura que el informe Stern repite y refuerza un error metodológico asumiendo que el clima cambiará pero las sociedades permanecerán iguales.

Pielke trata la diferencia práctica entre un análisis de sensibilidad y una proyección, y dice que es posible determinar los impactos independientes de los cambios sociales en las pérdidas futuras. Un análisis como este indica la vital importancia de incluir el análisis de los potenciales cambios sociales a las condiciones futuras del cambio climático.

En su trabajo se considera que si los daños se incrementarán proporcionalmente con la población y el bienestar per cápita las estimaciones del costo de los daños solo por los cambios sociales puede quintuplicar las pérdidas estimadas por cambio climático en el informe Stern. Este trabajo, aclara que el error metodológico está basado en que el análisis solo considera los efectos del cambio climático en el contexto del PIB total como una proyección, por lo cual más allá de contar cuales son las pérdidas en el futuro, el informe Stern indican el efecto que el clima futuro tendrá en el PIB actual. Por esta razón se debe evaluar la posibilidad de incluir variables sociales que puedan cambiar en el futuro, para hacer más sólidos los resultados.

Una de las mayores falencias observadas del informe Stern, , es que el análisis se ha realizado sin tener en cuenta América Latina. Adicionalmente Piekle señala que también dejan de lado los eventos de pequeña escala los cuales pueden tener costos agregados bastante altos y que no se incluye una revisión de la posible reducción de costos que se puede obtener de algunas medidas de reducción de vulnerabilidad en el tema de prevención de desastres.

Piekle señala que para estimar una mayor relación entre los impactos climáticos y los impactos económicos se debe incluir varias combinaciones de futuros impactos de cambio climático con varios análisis de las condiciones sociales futuras. Así como las relaciones entre ambos factores y adicionalmente, presentar un abanico de posibilidades sociales, que permitiría mostrar una comparación de las diferentes medidas tanto de mitigación como de adaptación.

Uno de los mayores problemas asociados al análisis de cambio climático, y más aún del estudio económico es el tratamiento de la incertidumbre. Acerca de este tema trabajaron Guo, Hepburn Richard y Anthoff. Quienes recopilan en su trabajo información acerca de la alta incertidumbre asociada a la tasa de crecimiento del consumo y de la economía, presentando trabajos de Weitzman (1998, 2001) y otros, quienes a su vez mostraron que si la tasa de descuento apropiada para el futuro distante es incierta, el curso apropiado a seguir es establecer distribuciones posibles de tasas de descuento, para lo cual se deben determinar perfiles de tiempo adecuados para cada una de las tasas de descuento y después determinar una tasa promedio ajustada con el riesgo.

La caracterización de las tasas de interés, así como de las tasas de descuento puede llevar a los investigadores a realizar regresiones econométricas que determinen los cambios que ha sufrido estas como fuerte señal del comportamiento que podría tener para el futuro (Guo et Al). Sin embargo en la mayoría de los estudios que presentan Guo et al, se es consistente con el supuesto que la tasa de descuento para periodos de largo plazo tiene una tendencia decreciente.

Para este trabajo, se tomarán dos supuestos principales acerca de las variables económicas del país y de las regiones objeto de estudios, la primera de ellas es el conjunto de supuestos económicos de los escenarios de cambio climático bajo los cuales se construyen los modelos de escala baja y con los cuales se obtienen los datos de variación en precipitación y aumento de la temperatura y en segunda medida las tendencias económicas y sociales para cada una de las regiones que se trabajó en el país.

Dentro de las más recientes actividades desarrolladas en el tema de cambio climático en Colombia, se invitó a un grupo de expertos del gobierno español en elaboración de modelos climáticos y análisis estadístico de estos con otras variables. Dentro de la intervención de la Universidad de Cantabria se presentó que los problemas asociados a la incertidumbre no son de fácil resolución, aún con los avances realizados en métodos numéricos y se señaló la importancia del análisis estadístico para contribuir en la evaluación de los impactos futuros del cambio climático, porque nos ayuda a calibrar algunas de las variables a través de redes probabilísticas y neuronales en las ciencias ambientales.

La Universidad de Cantabria presentó la importancia de llevar los análisis de impactos económicos a los usuarios finales de los mismos (productores, consumidores y tomadores de decisión) debido a que son ellos quienes pueden mejorar el cálculo de los impactos a partir de sus propias experiencias. Adicionalmente afirmo(con tilde) que el problema de la estacionalidad es intrínseco de los dos modelos, tanto estadísticos como dinámicos, y son derivados de la parametrización de las variables climáticas con las que se trabaja en los escenarios futuros de cambio climático.

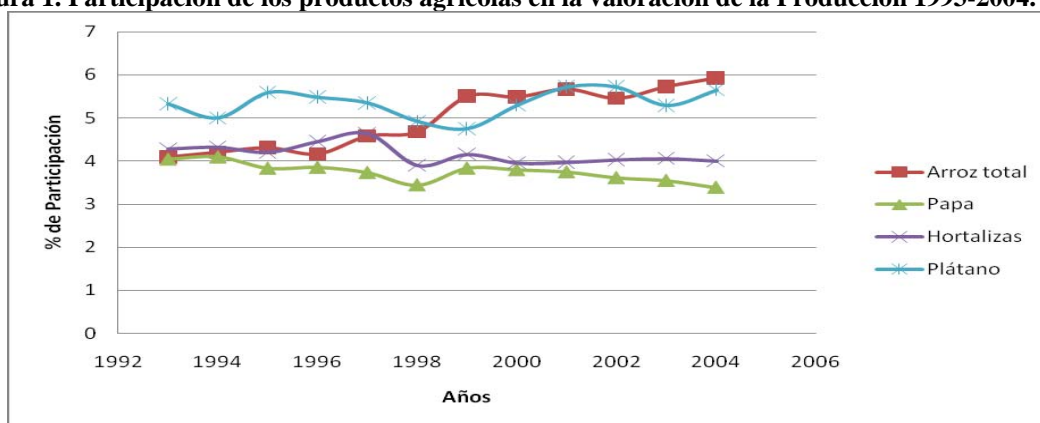
Otro importante análisis relacionado con los impactos económicos del cambio climático es las medidas de adaptación requeridas, estas son más claras a nivel regional e inclusive local debido a que son actividades que se desarrollan por parte de cada agente económico, como lo señala Mc Carthy; la capacidad regional de adaptación depende tanto de las condiciones socioeconómicas como de las características geofísicas, siendo un factor decisivo en la vulnerabilidad al cambio climático de una

región, dejando el análisis de vulnerabilidad a una preocupación bastante regional y específico con respecto al cambio ambiental y climático. (McCarthy , 2001).

Finalmente se realizó la revisión del trabajo de Bonilla, Rosales y Maldonado (2002), en el cual se establece una relación entre el valor óptimo del excedente económico en las condiciones corrientes del consumidor de los productores azucareros en el país y se compara con las soluciones óptimas encontradas a partir de los pronósticos del fenómeno ENOS⁸. Esta comparación muestra el cambio en el bienestar asociado a un sistema de alerta temprana del fenómeno ENOS. La metodología de este trabajo aclara lo importante que es, para establecer la función objetivo, establecer solo el alcance del trabajo de investigación en uno de los productos cultivables del país.

Dentro del proceso de búsqueda de información y estudios relacionados con los impactos económicos del sector agrícola colombiano, se estableció que de acuerdo a la base de datos de las evaluaciones agropecuarias del Ministerio de Agricultura, el plátano para consumo interno es el segundo producto agrícola en valor agregado de los cultivos permanentes en Colombia, con una tendencia creciente en el tiempo, como lo muestra en la Figura 1.

Figura 1. Participación de los productos agrícolas en la valoración de la Producción 1993-2004.



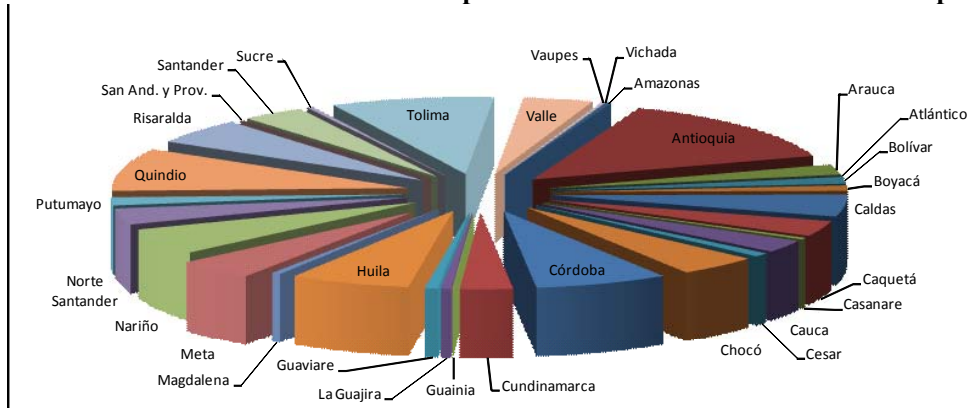
Fuente: Elaboración propia con datos Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura.

⁸ El ENOS es un fenómeno oceánico-atmosférico que consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante y con la atmósfera global. consta, entre otros, de dos fenómenos oceánicos principales: el calentamiento atípico de las aguas tropicales del océano Pacífico conocido popularmente como fenómeno de El Niño y, por otro lado, el enfriamiento atípico de las mismas aguas, fenómeno conocido como La Niña. Fuente (<http://www.imn.ac.cr/educacion/enos.html>)

Adicionalmente es un cultivo que tiene presencia en todos los departamentos del país, como lo muestra la Figura 2, y un producto básico de la canasta familiar colombiana, considerado como de gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo. (Espinal 2006)

Distribución del Área Cultivada de Plátano por Departamentos

Figura 2. Distribución del área cultivada de plátano de consumo interno en Colombia para 2004.



Fuente: Elaboración propia con datos Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura

3. Análisis del concepto de medidas de adaptación desde la economía de los recursos naturales

Según la literatura revisada y la investigación relacionada con el uso de agua por parte del sector agrícola Colombiano se sabe que el cultivo del plátano, exige un clima cálido y una humedad constante en el aire. Necesita una temperatura media de 26-27 °C, con lluvias prolongadas y regularmente distribuidas (Espinal, 2006).

Adicionalmente se encontró que las necesidades básicas de agua de una planta de plátano están definidas en términos de precipitación, la cual siempre está alrededor de 1800 mm anuales (Martínez, 2006), con un mínimo de 1500 mm anuales hasta un máximo de 2200 mm anuales (Peña, 2005). Estableciendo que cuando la cantidad de precipitación sea inferior a las anteriores hay necesidad de aplicar riego (Martínez 2006).

Debido a esta dependencia del cultivo de plátano al agua recibida por precipitación, que en el campo colombiano es una tendencia para muchas prácticas agrícolas, es

importante relacionar la precipitación como recurso natural para el sector y esto permite realizar el análisis del concepto de medidas de adaptación desde la economía de los recursos naturales como un preámbulo a la aplicación de un modelo económico relacionado con los impactos del cambio climático en el sector agrícola.

En este caso podemos analizar cada una de las variables asociadas a la ecuación fundamental de los recursos naturales, la cual se presenta a continuación;

$$F'(x) + \frac{\frac{\partial \pi}{\partial x}}{\frac{\partial \pi}{\partial y}} = \delta \quad \text{Ecuación 1}$$

$F'(x)$ representa la tasa de crecimiento marginal del recurso, para este trabajo estaríamos hablando de la tasa de crecimiento o decrecimiento de los niveles de precipitación esperada para cada uno de los periodos debido al cambio climático.

$\frac{\partial \pi}{\partial x}$ representa el valor marginal de la cantidad de precipitación y $\frac{\partial \pi}{\partial y}$ el valor marginal de la extracción o uso del agua de precipitación. La división de estos dos, representa el efecto marginal del stock del recurso, en este caso el efecto marginal de contar con una unidad adicional de lluvia para un periodo de tiempo. δ representa la tasa de descuento.

Para el caso de los escenarios de cambio climático, una tasa negativa de crecimiento en el recurso debida a la disminución de precipitaciones, hace necesario que para mantener la tasa de descuento positiva el efecto marginal del stock debe ser mayor que cero y a su vez mayor que la tasa de descuento, como se muestra en las ecuaciones 3 y 4.

$$\text{Si } F'(x) < 0 \Rightarrow \delta - \frac{\frac{\partial \pi}{\partial x}}{\frac{\partial \pi}{\partial y}} < 0 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\delta < \frac{\frac{\partial \pi}{\partial x}}{\frac{\partial \pi}{\partial y}}$$

Ecuación 3

El valor marginal del stock será mayor al valor marginal de la extracción, razón por la cual el ahorro de las cantidades almacenadas de la precipitación en el tiempo presente traerá un mayor valor al recurso que la extracción en el tiempo presente. Si reorganizamos la ecuación 3, podemos ver que en las zonas en las cuales la tendencia de la precipitación siga siendo decreciente el valor del almacenamiento de agua debe ser mayor al valor marginal de la extracción presente de agua lluvia por la tasa de descuento.

$$\delta * \frac{\partial \pi}{\partial y} < \frac{\partial \pi}{\partial x}$$

Ecuación 4

La interpretación de esta regla en el lenguaje de las medidas de adaptación nos demuestra que en el caso del recurso hídrico, es claro a partir de la economía de los recursos naturales, que se asignará un mayor valor al agua lluvia almacenada que puede ser utilizada en el futuro.

4. Desarrollo del Modelo Matemático

A partir de la revisión de literatura y del análisis de vulnerabilidad que se ha realizado en los estudios que se llevan a cabo en el IDEAM, se ha determinado que el estudio se realizará para evaluar el impacto económico asociado a la pérdida de recurso hídrico en Colombia por departamentos, basados en los escenarios de cambio climático y la tendencias de precipitación en cada uno de ellos.

4.1. Amenaza del cambio climático sobre el recurso hídrico en Colombia

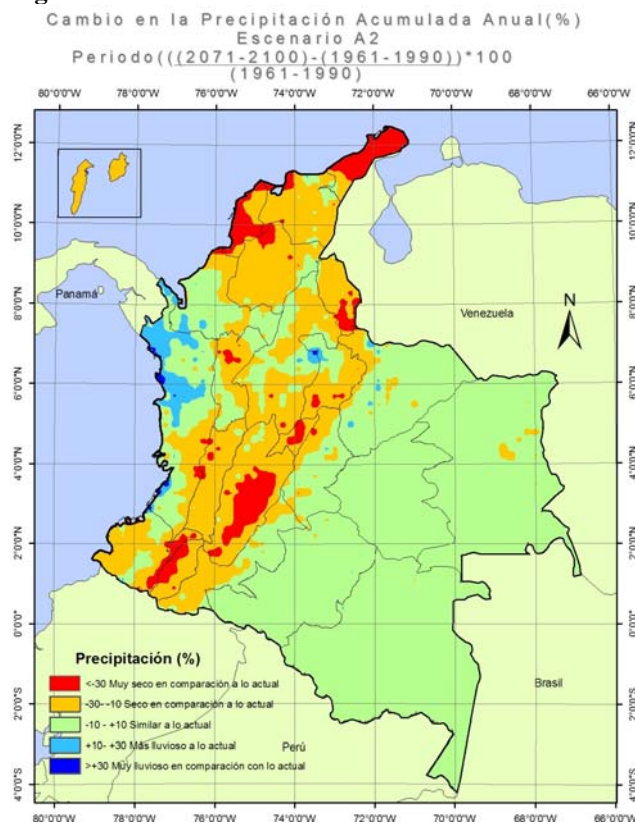
Las amenazas a las que se verá expuesto en el país en términos de recurso hídrico se presentan en los escenarios de cambio climático del país, los cuales se pueden

ver en la figura 3 Este trabajo, desarrollado por el IDEAM con el apoyo de la Universidad Nacional, determina 24 regiones climáticas del país en las cuales se presentan condiciones climáticas características que permiten realizar la modelación con un nivel de incertidumbre manejable.

De los 40 escenarios posibles que ha desarrollado el IPCC, por restricciones técnicas y para establecer los extremos se decidió utilizar en Colombia los escenarios A2: supone un mundo heterogéneo con aumento continuo de la población mundial y el crecimiento económico orientado regionalmente es más fragmentado y más lento que en otros escenarios. Y B2: supone un mundo en el cual el énfasis a soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y ambiental, con crecimiento continuo de la población (inferior a A2) y desarrollo económico intermedio.

Para este trabajo se utilizará el escenario A2 dado que no asume ninguna restricción importante en los supuestos económicos y es el escenario pesimista que puede ser utilizado para determinar las peores expectativas en cuanto a impactos.

Figura 3. Escenarios de cambio climático de Colombia en variación de precipitación esperada



Fuente: IDEAM 2008

Como se mencionó anteriormente el eje central del estudio de vulnerabilidad en Colombia integrado en la SCN es el agua en diferentes estados y disponibilidades. Se evaluó previamente la disponibilidad de información y la relación más directa entre los diferentes sectores asociados al recurso hídrico con variables socioeconómicas que permitieran y facilitaran la implementación de un estudio de impactos económicos del cambio climático.

Para poder relacionar las pérdidas de agua en cada departamento se tienen que relacionar con las 24 regiones climáticas. La relación entre los departamentos y las regiones climáticas se realizo a partir de la cartografía SIG tanto de los escenarios como de la división política de Colombia.

A partir de este mapa, se analizó departamento por departamento cual era la principal zona productora de plátano y a cual rango del escenario dentro del departamento podía asociarse. Con este trabajo se determinó, como dato inicial del modelo, cual era la amenaza asociada a la zona productora en términos de reducciones de precipitación.

4.2. Demanda de Agua para Uso Agrícola

Inicialmente se evaluó la aplicación de la metodología del cálculo de la demanda del sector agrícola determinada en el Estudio Nacional del Agua (IDEAM 2008), y basado en la metodología de la FAO sobre consumo de agua para el sector agrícola, se tiene la siguiente ecuación;

$$D = [\beta - (\varepsilon * k_p)] * A \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde;

D = Demanda de agua para el sector agrícola

β = Precipitación

ε = Evapotranspiración potencial

k_p = Coeficiente de uso de agua del cultivo (FAO 33)

A = Número de hectáreas cultivadas

Sin embargo para conocer las características propias del cultivo de plátano, se consultaron varias investigaciones científicas [4], [5], [9], [11] y documentos en línea sobre las necesidades biofísicas del cultivo de plátano, su entorno socioeconómico y las variables de producción más relevantes para el análisis general en Colombia.

Específicamente en el sector de cultivo de plátano para uso doméstico se encontró que los requerimientos hídricos netos del cultivo oscilaban entre 1500 y 2200 mm de agua, para obtener rendimientos mayores al 80% en el cultivo (Crespo, 2003).

Como se especificó en la introducción el gobierno nacional ha desarrollado el análisis de las principales regiones vulnerables al efecto del cambio climático por sequía dentro de la SCN de Colombia, cuyos resultados preliminares determinaron los productos agropecuarios de mayor vulnerabilidad a nivel regional frente al recurso hídrico el cual se presenta la tabla 1.

Tabla 1. Algunos departamentos y productos priorizados por el análisis de vulnerabilidad de los recursos hídricos en Colombia. SCN

Regiones nacionales	Sector agropecuario
Tolima – Huila	Arroz, maíz, cacao, café, hortalizas (frijol, habichuela, repollo, zanahoria, remolacha), plátano , caña panelera, tabaco, papa.
Llanos Orientales	Arroz, plátano , papaya, soya
Caldas, Risaralda y Quindío	Café, hortalizas, plátano , caña panelera, frutales, cacao.
Antioquia	Maíz, papa, frutales, café, hortalizas, plátano , caña panelera, cacao.

Fuente. IDEAM 2008. Documento de preparación de la Segunda Comunicación Nacional. IV informe del Componente de Recurso Hídrico.

Es de anotar que según el mapa de índice de escasez en Colombia las regiones que actualmente están más propensas a problemas de sequía son las que se muestran en la tabla 1, especialmente en las zonas cercanas a las cabeceras municipales donde se concentra la población en las grandes ciudades.

El modelo se realizó como lo señalaba la revisión de literatura por regiones, específicamente para el departamento de Antioquia, el cual es el principal productor de plátano de consumo interno del país y uno de los departamentos que han sido analizados en la vulnerabilidad por sequía hídrica para cultivos del país.

4.3. Datos utilizados

El procedimiento matemático exigió que se utilizaran las variables que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Variables utilizadas para el modelo

Variable	Unidades	Fuente	Observaciones
Superficie, Producción Rendimiento	Hectáreas, Toneladas y Kg por hectárea	Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura	Datos por departamento
Precio Mercados Mayoristas	Pesos	Agrocadena del plátano, Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura	Datos de precios, algunos proyectados dependiendo del análisis del departamento donde los productores pueden vender y de la dinámica de precios de Bogotá y la participación histórica del departamento en esta.
Costos Asociados al mantenimiento	Pesos	Anuario estadístico de Boyacá Secretarías agrícolas de gobierno de otros departamentos	Basados en los costos de Boyacá del anuario estadístico de Boyacá para los años 1999-2004 y ajustados a los valores puntuales de las secretarías de agricultura de diferentes departamentos para algunos años.
Ingresos y Costos Totales del año	Pesos	Cálculo a partir de la producción y el precio y de las hectáreas sembradas y el costo por hectárea	
Beneficios de Venta Interna	Pesos	Cálculo a partir de Ingresos menos costos	
Precipitación Anual	mm	IDEAM	Precipitación promedio anual de las estaciones representativas de los departamentos seleccionadas de las zonas más cercanas a los principales productores de plátano de cada uno.
Demanda de Agua Factor de Demanda de Agua	m ³	Agua utilizada efectivamente por el cultivo multiplicada por el área del cultivo – Cálculo del modelo de acuerdo a la precipitación.	
Consumo de Agua / Ton producto Agua utilizada Riego + precipitación	M3/tonmm	Demanda de Agua dividido por la producción para ese año A partir del agua que efectivamente necesita el cultivo se calcula si el factor de demanda de agua es suficiente o si requiere riego adicional y se suma una cantidad fija por departamento en caso de déficit.	

4.4. Desarrollo del modelo

Para maximizar los beneficios del productor en cada uno de los periodos de tiempo se hizo una maximización de los beneficios, inicialmente se buscó realizar una maximización temporal de los beneficios descontados. Sin embargo, dado que el área del cultivo (A_t) es una variable que depende de muchos factores (entre ellos: factores de competencia, precio de la tierra, costo de oportunidad de la tierra para otros productos), y a su vez la cantidad demandada de agua (X_t) depende de A_t y de la precipitación (la cual es una variable sobre la que no tenemos control), este tipo de maximización de beneficios no era efectiva en el sentido que se quiere dar al trabajo de investigación y desviaba los objetivos del trabajo.

Por este motivo se realizó un proceso estático para cada periodo del tiempo en el que se maximizaba, por optimización dinámica, de los beneficios sujetos a las dos variables de interés, la demanda de agua X_t y el área cosechada A_t . Para encontrar el área que maximiza la función de beneficios de los productores de plátano se partió de utilizar la siguiente función de beneficios;

$$\pi = \rho_t * P_t * A_t - F_c(A_t)_t \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde;

$\pi_t = \text{Beneficios del Periodo } t$

$\rho_t = \text{Rendimiento del cultivo}$

$P_t = \text{Precio en los mercados mayoristas}$

$A_t = \text{Área cosechada en el periodo } t$

$F_c(A_t)_t = \text{Costos asociados a la producción (directos e indirectos)}$

Esta función de beneficios está sujeta a la disponibilidad de agua de la zona cuya demanda (X_t) de agua está afectada por la oferta de agua de la zona y los límites superior e inferior de las necesidades de agua para el cultivo de plátano, establecidas para este trabajo por medio de recopilación de información de otros trabajos académicos acerca de las necesidades de recurso hídrico del cultivo de plátano.

En la ecuación 7 se pueden observar, las condiciones de demanda de agua del cultivo dependiendo de la oferta.

$$\text{if } \left\{ \begin{array}{l} 1800 < \beta_t < 2200 \Rightarrow x_t = [\beta_t] * A_t \\ \beta_t > 2200 \Rightarrow x_t = 2000 * A_t \\ \beta_t < 1800 \Rightarrow x_t = ([\beta_t] + \varphi) * A_t \end{array} \right\} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde;

$x_t = \text{Demanda agrícola de agua}$

$\beta_t = \text{Precipitación promedio del año } t \text{ en la estación representativa}$

$\varphi = \text{Constante que representa el riego adicional necesario}$

El proceso de obtención del multiplicador del área para hallar la demanda es paralelo a la maximización de beneficios y depende, para cada año particular, sólo de la precipitación y la evapotranspiración, es considerado una constante que se denomina

factor de demanda para cada año y se identifica con la sigla α para el proceso matemático de maximización pero que se escoge según la condición antes nombrada.

Para resolver el problema de maximización, se debió primero encontrar las funciones de rendimiento del cultivo y de costos que permitieran relacionar las variables A_t y X_t de una manera no lineal. Una vez se obtienen las formas funcionales de rendimientos y costos se puede hacer el desarrollo matemático con el que se evalúa el punto óptimo, en el cual se maximizan los beneficios asociados al cultivo de plátano en la región.

Este procedimiento se realiza con tres escenarios diferentes: primero para el año 2005, segundo para el año 2070, con una media de precipitación anual igual al promedio de precipitación de 1970-2000 en la estación representativa de la región, el cual representa el escenario “business as usual” y finalmente se hace la optimización para el año 2070 con la precipitación afectada por la disminución que se determina para la región en el análisis preliminar que se explicó en el capítulo 4.1.

4.4.1. Función de Rendimiento para Antioquia.

El rendimiento del cultivo puede verse influenciado por muchos factores biofísicos del terreno, pero claramente está influenciado por la cantidad de agua utilizada por el cultivo. La parte más compleja de la evaluación de datos para el modelo se centró en establecer la mejor forma funcional que representará, según los datos para cada departamento, la relación existente entre los rendimientos obtenidos en el departamento en función de la cantidad de agua demanda por el cultivo de plátano.

Para el departamento de Antioquia se ajustó el modelo con la forma funcional que se muestra a continuación;

$$p_t = \vartheta + Z * \ln(x_t) \text{ Ecuación 8}$$

una vez se realizó la regresión lineal en Stata para esta forma funcional con los datos de rendimiento y consumo de agua del departamento de Antioquia y se obtuvieron los

resultados: $Z = 7058,86$ y $\vartheta = -122631,8$ Ambos significativos como se puede ver en el resultado de la regresión en el Anexo 1.

4.4.2. Función de costos para Antioquia.

Para hallar la función de costos se utilizaron los datos de costos por hectárea versus hectáreas cosechadas que provenían del Anuario Estadístico del Ministerio de Agricultura, con la siguiente forma funcional;

$$F_c(A_t)_t = \mu e^{\theta A_t} \quad \text{Ecuación 9}$$

Sin embargo, ésta es la forma funcional de los costos marginales, por lo que se debe integrar el resultado de la regresión para obtener las constantes de la función de costos totales, ya que esta última es la que se incluye en la función de beneficio. Los resultados de la regresión y los valores de las variables estadísticamente significativas con la que se trabajó el modelo se presentan en el Anexo 2.

4.5. Resolviendo el problema de maximización

Una vez determinadas las formas funcionales que satisficieran las condiciones estadísticas se puede resolver el problema de maximización, para el caso de Antioquia se presenta a continuación;

$$\pi = \rho_t * P_t * A_t - F_c(A_t)_t \quad \text{st} \quad x_t = \alpha * A_t$$

$$\pi = (\vartheta + Z * \ln(x_t)) * P_t * A_t - \mu e^{\theta A_t} \quad \text{st} \quad x_t = \alpha * A_t$$

$$\tau = (\vartheta + Z * \ln(x_t)) * P_t * A_t - \mu e^{\theta A_t} + \gamma (\alpha * A_t - x_t)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial A_t} = (\vartheta + Z * \ln(x_t)) * P_t - \theta \mu e^{\theta A_t} + \gamma * \alpha = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial x_t} = \frac{Z}{x_t} * P_t * A_t - \gamma = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial \gamma} = \alpha * A_t - x_t = 0 \quad (3)$$

$$\text{De 2: } \frac{Z}{x_t} * P_t * A_t = \gamma$$

$$\text{Reemplazando 3 en 2: } \gamma = \frac{Z A_t}{x_t} * P_t$$

$$\text{Reemplazando 2 y 3 en 1: } (\vartheta + Z * \ln(\alpha * A_t)) * P_t - \theta \mu e^{\theta A_t} + \frac{Z A_t}{x_t} * P_t * \alpha = 0$$

$$(\vartheta + Z * \ln(\alpha * A_t)) * P_t - \theta \mu e^{\theta A_t} + \frac{Z}{\alpha * A_t} A_t * P_t * \alpha = 0$$

Llegamos a la ecuación:

$$(\vartheta + Z * \ln(\alpha * A_t)) * P_t - \theta \mu e^{\theta A_t} + P_t * z = 0 \quad \text{Ecuación 10}$$

La ecuación 10 debe resolverse por medio de iteraciones dinámicas para lo que se utilizó Solver de Excel. Al conocer el área que optimiza la función de beneficios de los productores se puede obtener la demanda de agua del periodo, los costos y por supuesto los beneficios.

4.6. Análisis de Resultados

El área que arroja el modelo está por encima del promedio del área sembrada históricamente en los departamentos debido a las limitaciones del modelo los cuales son: no se incluyen restricciones de otros cultivos o variables de competencia en los mercados que afecta tanto el comportamiento de los precios de venta, como la decisión del área sembrada. Tampoco se incluye un límite de área máxima cultivable con plátano en cada departamento. Dado que se parte del supuesto que los productores agrícolas no están aprovechando el recurso en su punto de máximos beneficios. Se obtuvieron los siguientes resultados para los años más importantes de comparación;

Tabla 3. Resultados del proceso de maximización de beneficios para el cultivo de plátano en el departamento de Antioquia para los años 2005 y 2070.

<i>Antioquia</i>	<i>2005</i>	<i>2070 con CC</i>	<i>2070 sin CC</i>
Área que maximiza los beneficios de los productores (Ha)	103.617,90	100.393,92	88.980,77
Beneficios Millones de pesos de 1999	294.976,68	245.539,83	277.694,39
Variación porcentual respecto a los beneficios del año 2070 con cc		-16,76%	-11,58%

Este resultado muestra que, según el modelo, habrá una pérdida en el beneficio de los productores del 16,76% respecto a los beneficios máximos que podrían recibir en el presente. Adicionalmente muestra que la pérdida de beneficios económicos entre el escenario de cambio climático y el modelo “bussines as usual” para el 2070 sería de 11.58% para una reducción de precipitación de 30% en la región.

Al hacer un análisis del efecto marginal del cambio climático en el cambio de los beneficios, tenemos que sin cambio climático se tiene una variación porcentual de 6.22%. Es decir que si no existiera cambio climático los beneficios netos aumentarían en 6.22 % para el año 2070. Con cambio climático esta variación porcentual es negativa con un valor de 16.76%. Sumando estos dos efectos podemos obtener el efecto marginal

del cambio climático, el cual resulta en una pérdida de 22.98% sobre los beneficios de los productores.

Una pérdida del 22,98% en el actual sistema productivo del plátano, para el año 2005 con los datos de producción, área, precios y costos reales para ese año implica perdidas del orden de 7.697 millones de pesos en el año para el departamento de Antioquia, lo cual representaría una pérdida aproximada del 0.2% del PIB⁹ agrícola del departamento.

Siguiendo los procedimientos establecidos en el numeral 4.4 para otros departamentos se determinó primero la forma funcional que resultará representativa para la relación de rendimientos y demanda de agua, seguido por la forma funcional que determina la función de costos y el proceso de maximización que en todos los casos debe resolverse por iteraciones numéricas.

Se priorizaron los departamentos con mayor producción de plátano del país, sin embargo en algunos casos hace falta más información para que se puedan obtener resultados significativos. A continuación se presentan los resultados de dos departamentos más en los cuales las regresiones dieron resultados significativos para las formas funcionales utilizadas para resolver el problema de maximización.

Tabla 4. Resultados del proceso de maximización de beneficios para el cultivo de plátano en el departamento de Córdoba para los años 2005 y 2070.

<i>Córdoba</i>	<i>2005</i>	<i>2070 con CC</i>	<i>2070 sin CC</i>
Área que maximiza los beneficios de los productores (Ha)	49.554,69	49.935,21	50.318,48
Beneficios Millones de pesos de 1999	72.465,84	75.082,36	77.302,51
Variación porcentual respecto a los beneficios del año 2070 con cc	3,48		-2,96

Para Córdoba, este resultado muestra que con cambio climático y según el modelo, habrá un cambio en el beneficio del 3,48% respecto a los beneficios máximos que podrían recibir en el presente. Adicionalmente muestra que la pérdida de beneficios económicos entre el escenario de cambio climático y el modelo “bussines as usual” para

⁹ PIB de actividades agrícolas, incluyendo silvicultura, café y pesca. Fuente Cuentas Económicas . Gobernación de Antioquia.

el 2070, y el cambio tendría un valor de 2,96% para una reducción de precipitación de 25%.

El aumento en los beneficios de los productores del 2070 respecto al 2005 sin cambio climático sería de 6,67% mientras que el aumento en el mismo periodo de tiempo pero con cambio climático sería de solo el 3,48%, generando un impacto marginal del cambio climático en el beneficio del productor de 3,19%, el cual aplicado a los beneficios reales de los productores en el año 2005 equivaldría a una pérdida de 1.494,92 millones de pesos.

Tabla 5. Resultados del proceso de maximización de beneficios para el cultivo de plátano en el departamento de Caquetá para los años 2005 y 2070.

<i>Caquetá</i>	<i>2005</i>	<i>2070 con CC</i>	<i>2070 sin CC</i>
Área que maximiza los beneficios de los productores (Ha)	16.142,90	16.353,40	16.359,98
Beneficios Millones de pesos de 1999	49.423,83	64.044,80	76.252,40
Variación porcentual respecto a los beneficios del año 2070 con cc	29,58		-16,01

En el caso de Caquetá, se puede ver que, según el modelo, habrá un aumento de 29,58% en el beneficio de los productores en el 2070 con cambio climático, respecto a los beneficios máximos que podrían recibir en el presente. Adicionalmente muestra que existiría una pérdida de beneficios económicos entre el escenario de cambio climático y el modelo “business as usual” de 16,01% para un escenario con el 20% menos de precipitación. En este caso el efecto marginal del cambio climático es de -24,70% lo que implicaría una pérdida de 5.324 millones de pesos.

5. Conclusiones

Con este modelo se comprobó, para el departamento de Antioquia, la hipótesis del trabajo de investigación, y se ha demostrado que la variación en la variable de precipitación en la región, y su cambio potencial, esperado por efectos de la acumulación de GEI en la atmósfera, acarreará una pérdida potencial del beneficio de los productores de plátano que utilizan el agua como uno de sus insumos esenciales.

Sin embargo, al correr el modelo para otros departamentos, se pudo verificar que existen cambios significativos en los impactos económicos que podría acarrear la disminución de precipitación en cada departamento. Estas diferencias se concentran en la distribución de los precios, las funciones de producción de cada uno de ellos y el costo marginal utilizado.

Al realizar las regresiones para algunos departamentos priorizados en el análisis, se presentaron relaciones no significativas que no permitieron encontrar con la forma funcional establecida los valores necesarios para incluir en el modelo. Sin embargo, es posible por medio de un análisis más detallado de las variables de rendimiento, costos, demanda de agua y superficie cosechada encontrar los valores y las formas funcionales necesarias para determinar el área que maximiza los beneficios del productor.

Se puede observar en los resultados, que las pérdidas de beneficios en los productores se dan no solo respecto a los beneficios esperados en el futuro, también se preverá una pérdida de beneficios respecto a los actualmente percibidos, este resultado es muy importante debido a que establece que el cambio climático traerá unos impactos sociales y económicos tan elevados en algunos departamentos que puede empeorar las condiciones de vida de las comunidades y demuestra, la urgente necesidad de realizar análisis para priorizar las acciones en el presente que aseguren la diversidad económica y biofísica que necesitan nuestras sociedades en desarrollo para aumentar la resiliencia a los impactos económicos del cambio climático.

A partir del análisis regional y departamental y teniendo en cuenta las características de producción intrínsecas para cada uno de ellos se pueden obtener resultados económicos que mejoren la priorización de zonas en las cuales es necesario implementar medidas de adaptación, teniendo en cuenta cuales serán los más afectados en términos económicos, los cuales redundan en afectaciones sociales, de calidad de vida y de sobreexplotación de los recursos naturales.

Adicionalmente se reconoció la importancia del cambio en temperatura que se prevé con los escenarios, y el cual se podrá incluir en el modelo por medio de la

evapotranspiración. Al realizar la cuantificación de esta pérdida de beneficios, se espera que los porcentajes de pérdidas sean aún mayores, mientras los porcentajes de ganancia sean menores.

El resultado más importante es contar con el modelo, para poder comparar diferentes regiones del país y así obtener insumos suficientes que permitan realizar un mapa de vulnerabilidad económica del sector agrícola al cambio climático en el territorio Colombiano, sobre el cual se seguirá trabajando y que se espera mejorar para incluir mas información que permita afinar los resultados esperados.

Los principales productores de plátano, Antioquia, Meta y Córdoba tendrán una afectación media a partir de los escenarios de cambio climático, sin embargo departamentos como el Atlántico, la Guajira, y la Orinoquia Colombiana tendrán una afectación mayor ya que son más sensibles a una escasez de precipitación, poseen valores más altos de evapotranspiración y tendrán, en las zonas de cultivo del plátano, un peor escenario de cambio climático.

Por esto es recomendable priorizar estos departamentos para trabajar en medidas de adaptación que se incluyan desde ya en los proyectos nuevos del gobierno colombiano y de las instituciones del país que tengan fondos de financiación para ello, pero incluyendo consideraciones económicas ya que una disminución de precipitación de 20% en todos los departamentos representa un impacto económico muy diferente para cada uno de ellos.

Aunque en este modelo se tomó la variable de precipitación como una variable determinística, es importante seguir adelante con este estudio, incluyendo la característica innata de variables probabilísticas de los cambios en precipitación y temperatura que pueden dar los escenarios de cambio climático para un país o región.

Adicionalmente, dado que la evapotranspiración depende inversamente de la temperatura, el aumento en la temperatura promedio hará que el déficit de agua para el cultivo sea mayor pues la evapotranspiración de las regiones aumentará cada vez más,

esto aumentará las pérdidas en los beneficios de productor en proporción mayor a la mostrada en los resultados para este modelo.

El resultado de este modelo permitirá la integración de los grupos de agrometeorología y de cambio climático para realizar una mejor evaluación de vulnerabilidad del sector agrícola en el trabajo conjunto que se desarrolla. Así mismo, muestra la importancia de establecer un grupo conjunto de investigación que analice los actuales y futuros problemas económicos a los que se verán enfrentados los agricultores colombianos y que será tema de la agenda de adaptación del sector agrícola que se empieza a desarrollar en el año 2009.

Este modelo puede y será aplicado a otros sectores de la economía agrícola que permitirá comparar las diferencias de los impactos económicos debidos al cambio climático entre cultivos y así establecer criterios de diversificación agrícola como medidas de adaptación básica para el país.

6. Bibliografía

- [1] **Abler D, Shortle J, Rose A, Oladosu G.** Characterizing regional economic impacts and responses to climate change. . Global and Planetary Change 25_2000.67–81
- [2] **Bonilla J, Rosales R, Maldonado J.** El valor económico de la predicción del fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENOS) en el sector azucarero colombiano Desarrollo y Sociedad Numero 52. Septiembre de 2003.
- [3] **Costa C.** La adaptación al cambio climático en Colombia. Revista de Ingeniería # 26. Universidad de los Andes, Colombia. ISSN0121-4993. Noviembre de 2007.
- [4] **Espinal C, Martínez H, Peña Y.** La cadena de Plátano en Colombia. Agrocadenas Enero de 2006. http://www.agrocadenas.gov.co/platano/documentos/caracterizacion_platano.pdf
- [5] **FAO.** Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements).
- [6] **The Stern Review** on the Economics of Climate Change.2006
- [7] **Jiehan Guo, Cameron J. Hepburn, Richard S.J. Tol, David Anthoff** f. Discounting and the social cost of carbon: a closer look at uncertainty. environmental science & policy 9 (2006) 205 – 216

- [8] **Maarten S. Krol, Axel Bronstert.** Regional integrated modelling of climate change impacts on natural resources and resource usage in semi-arid Northeast Brazil. *Environmental Modelling & Software* 22 (2007) 259e268.
- [9] **Martínez Garnica Alfonso.** El cultivo del Plátano en los Llanos Orientales. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. PRONATTA 2007.
http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/20061127152826_El%20cultivo%20del%20platanos%20llanos.pdf
- [10] **Palacios Diana Carolina, Ideam.** VI informe de Consultoría componente hídrico SCN.2008.
- [11] **Peña E.** Necesidades Hídricas del Banano y el Plátano. Centro Universitario Las Tunas. Editorial Universitaria. 2005.
http://www.agro.unalmed.edu.co/anuario/costo_platano_mono.htm
- [12] **Pérez, M.** De los Global a lo Local. Liberalización Comercial y Uso del Agua en el Sector Agrícola Colombiano Universidad del Valle. Instituto CINARA. 2005.
- [13] **Pielke Jr R.** Mistreatment of the economic impacts of extreme events in the Stern Review Report on the Economics of Climate Change. *Global Environmental Change* 17 (2007) 302–310.
- [14] **IPCC.** Cuarto Reporte de Evaluación. Grupos de Trabajo I, II y III. OMM-PNUMA.
- [15] **IPCC.** Climate change 2001: Impacts, Adaptation and vulnerability.
- [16] **IDEAM et al.** Primera Comunicación Nacional de Colombia a la Convención Marco de Cambio Climático. 2001.
- [17] **IDEAM, PNUD, MAVDT.** Reflexiones sobre el desarrollo humano y el cambio climático en Colombia. 2007.
- [18] **IDEAM.** Informe Anual del Estado de Los Recursos Naturales: Estudio Nacional del Agua. Relaciones de Demanda de Agua y Oferta Hídrica. 2008
- [19] **IDEAM.** Atlas Climatológico de Colombia. 2007

Referencias en línea

- http://www.infoagro.com/riegos/sequias_hidrologicas.htm
www.meteo.unican.es
<http://www.cru.uea.ac.uk/project>
www.ensembles.es
<http://unfccc.int>

<http://www.ipcc.ch>

http://www.casanare.gov.co/esp/descarga/econo_3.12.pd

<http://mx.geocities.com/crespog3/progde/agma28/revco1.htm#crie-lluv.efect>

http://www.agro.unalmed.edu.co/anuario/mapa_platano_asocio.htm

http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/includej/santander_prov_soto.php

http://www.agrocadenas.gov.co/platano/c_platano.htm

<http://www.angelfire.com/ia2/ingenieriaagricola/mercoplatano.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Stern_Review

Anexo 1. Resultados de las regresiones de las variables de producción y resultados del modelo.

reg rendimiento lnagua - Antioquia						
Source	SS	df	MS	Number of obs = 12		
-----+-----				F(1, 10) = 69.20		
Model	14866007.2	1	14866007.2	Prob > F = 0.0000		
Residual	2148332.39	10	214833.239	R-squared = 0.8737		
-----+-----				Adj R-squared = 0.8611		
Total	17014339.6	11	1546758.15	Root MSE = 463.5		
-----+-----						
rendimiento	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
-----+-----						
lnagua	7058.866	848.5717	8.32	0.000	5168.131	8949.602
_cons	-122631.8	15478.32	-7.92	0.000	-157119.7	-88143.99
reg rendimiento lnagua, noconstant - Córdoba						
Source	SS	df	MS	Number of obs = 12		
-----+-----				F(1, 11) = 466.43		
Model	796094935	1	796094935	Prob > F = 0.0000		
Residual	18774415.1	11	1706765.01	R-squared = 0.9770		
-----+-----				Adj R-squared = 0.9749		
Total	814869350	12	67905779.2	Root MSE = 1306.4		
-----+-----						
rendimiento	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
-----+-----						
lnagua	408.2014	18.90075	21.60	0.000	366.6011	449.8017
reg rendimiento lnaguacaqu, noconstant - Caquetá						
Source	SS	df	MS	Number of obs = 12		
-----+-----				F(1, 11) = 3345.28		
Model	388494776	1	388494776	Prob > F = 0.0000		
Residual	1277455.42	11	116132.311	R-squared = 0.9967		
-----+-----				Adj R-squared = 0.9964		
Total	389772232	12	32481019.3	Root MSE = 340.78		
-----+-----						
rendimiento	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
-----+-----						
lnaguacaqu	291.0359	5.031883	57.84	0.000	279.9608	302.111

Anexo 2. Regresiones Asociadas a Precios y Costos.

Precios Nominales en mercados mayoristas (\$/Kg)						
año	Bogotá	Antioquia	Cordoba	Meta	Quindio	Tolima
1993	698.936	419.362	314.521	629.042	209.681	384.415
1994	767.560	460.536	345.402	690.804	230.268	422.158
1995	584.641	350.785	263.089	526.177	175.392	321.553
1996	454.543	272.726	204.544	409.089	136.363	249.999
1997	705.713	423.428	317.571	635.142	211.714	388.142
1998	775.940	465.564	349.173	698.346	232.782	426.767
1999	602.103	349.175	199.096	618.379	173.335	342.430
2000	640.213	396.344	320.362	588.236	172.839	343.246
2001	538.036	333.312	256.822	367.593	178.024	337.838
2002	501.073	310.666	225.524	344.317	178.029	356.867
2003	523.516	324.580	246.087	426.197	175.225	389.945
2004	522.839	324.160	239.875	365.304	177.684	371.061
2005	550.275	341.171	263.829	412.471	175.419	285.815
2006	574.442	356.154	291.238	431.517	202.654	309.280

```
reg precbogt1 lnprecbog, noconstant
```

```
Source | SS df MS Number of obs = 13
-----+----- F( 1, 12) = 493.25
Model | 4618489.93 1 4618489.93 Prob > F = 0.0000
Residual | 112361.038 12 9363.41984 R-squared = 0.9762
-----+----- Adj R-squared = 0.9743
Total | 4730850.97 13 363911.613 Root MSE = 96.765
```

```
-----
precbogt1 | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
lnprecbog | 93.22074 4.197394 22.21 0.000 84.0754 102.3661
-----
```

```
reg precantioquial lnprecantio, noconstant
```

```
Source | SS df MS Number of obs = 13
-----+----- F( 1, 12) = 528.53
Model | 1707101.02 1 1707101.02 Prob > F = 0.0000
Residual | 38758.8759 12 3229.90632 R-squared = 0.9778
-----+----- Adj R-squared = 0.9759
Total | 1745859.9 13 134296.915 Root MSE = 56.832
```

```
-----
precantioq~1 | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
lnprecantio | 61.46753 2.673691 22.99 0.000 55.64206 67.29301
-----
```

```
reg preccordobal lnpreccord, noconstant
```

```
Source | SS df MS Number of obs = 13
-----+----- F( 1, 12) = 349.44
Model | 952049.096 1 952049.096 Prob > F = 0.0000
Residual | 32693.5758 12 2724.46465 R-squared = 0.9668
-----+----- Adj R-squared = 0.9640
Total | 984742.672 13 75749.4363 Root MSE = 52.196
```

```
-----
preccordobal | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
```

lnpreccord | 48.36783 2.587423 18.69 0.000 42.73032 54.00534

reg precmtéal lnprecmet, noconstant

Source | SS df MS Number of obs = 13

-----+----- F(1, 12) = 234.47

Model | 3297289.72 1 3297289.72 Prob > F = 0.0000

Residual | 168751.552 12 14062.6293 R-squared = 0.9513

-----+----- Adj R-squared = 0.9473

Total | 3466041.27 13 266618.559 Root MSE = 118.59

-----+-----
 precmtéal | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]

-----+-----
 lnprecmet | 80.96664 5.287627 15.31 0.000 69.44589 92.48739

reg precquindiol lnprecquind, noconstant

Source | SS df MS Number of obs = 13

-----+----- F(1, 12) = 636.81

Model | 450326.266 1 450326.266 Prob > F = 0.0000

Residual | 8485.90042 12 707.158369 R-squared = 0.9815

-----+----- Adj R-squared = 0.9800

Total | 458812.166 13 35293.2436 Root MSE = 26.592

-----+-----
 precquindiol | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]

-----+-----
 lnprecquind | 35.64398 1.412476 25.24 0.000 32.56646 38.7215

. reg prectolimal lnprectolim, noconstant

Source | SS df MS Number of obs = 13

-----+----- F(1, 12) = 613.16

Model | 1589443.46 1 1589443.46 Prob > F = 0.0000

Residual | 31106.6634 12 2592.22195 R-squared = 0.9808

-----+----- Adj R-squared = 0.9792

Total | 1620550.12 13 124657.702 Root MSE = 50.914

-----+-----
 prectolimal | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]

-----+-----
 lnprectolim | 59.61895 2.407675 24.76 0.000 54.37308 64.86483

costos por hectarea (\$/ha)			
año	costo 1 año	costo amnetnimiento	costo promedio \$ /ht
1993	817,786.52	335810.695	576798.608
1994	733686.377	265453.065	397481.791
1995	808059.204	331816.332	569937.768
1996	880547.947	361582.651	621065.299
1997	896796.236	368254.746	632525.491
1998	1018656.07	418294.499	718475.285
1999	1139838.44	468056.061	803946.632
2000	1314227.17	572134.568	942703.827
2001	1273374.98	648306.052	960840.109
2002	1013957.68	605124.37	809541.025
2003	1285527.06	611395.937	948461.501
2004	1393731.86	632189.977	1012960.92

reg costot1 lncostost, noconstant

```
Source | SS df MS Number of obs = 11
-----+----- F( 1, 10) = 277.62
Model | 1.2625e+13 1 1.2625e+13 Prob > F = 0.0000
Residual | 4.5475e+11 10 4.5475e+10 R-squared = 0.9652
-----+----- Adj R-squared = 0.9618
Total | 1.3080e+13 11 1.1891e+12 Root MSE = 2.1e+05
```

```
-----
costot1 | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
lncostost | 77552.2 4654.441 16.66 0.000 67181.46 87922.94
-----
```

```
Source | SS df MS Number of obs = 11
-----+----- F( 1, 10) = 198.46
Model | 6.4967e+12 1 6.4967e+12 Prob > F = 0.0000
Residual | 3.2736e+11 10 3.2736e+10 R-squared = 0.9520
-----+----- Adj R-squared = 0.9472
Total | 6.8241e+12 11 6.2037e+11 Root MSE = 1.8e+05
```

```
-----
costoprome~1 | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
lncostosma~e | 59177.66 4200.725 14.09 0.000 49817.86 68537.46
-----
```

reg costoprom1 lncostospro, noconstant

```
Source | SS df MS Number of obs = 11
-----+----- F( 1, 10) = 193.47
Model | 6.4887e+12 1 6.4887e+12 Prob > F = 0.0000
Residual | 3.3538e+11 10 3.3538e+10 R-squared = 0.9509
-----+----- Adj R-squared = 0.9459
Total | 6.8241e+12 11 6.2037e+11 Root MSE = 1.8e+05
```

```
-----
var1 | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
lncostopro~o | 57038.9 4100.741 13.91 0.000 47901.88 66175.92
-----
```

. . reg var2 lncostosantioquia, noconstant

```
Source | SS df MS Number of obs = 13
-----+----- F( 1, 12) = 135.54
Model | 2.0772e+13 1 2.0772e+13 Prob > F = 0.0000
Residual | 1.8391e+12 12 1.5325e+11 R-squared = 0.9187
-----+----- Adj R-squared = 0.9119
Total | 2.2611e+13 13 1.7393e+12 Root MSE = 3.9e+05
```

```
-----
var2 | Coef. Std. Err. t P>|t| [95% Conf. Interval]
-----+-----
lncostosan~a | 90727.43 7793.088 11.64 0.000 73747.75 107707.1
-----
```