

**LA SUPPLY CHAIN EN LOS INGENIOS DE CAÑA DE AZÚCAR Y LA
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

BRAYAN STEVEN LLANO CÓRDOBA

PETER STEVEN MESA FRANCO

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CALI

ABRIL 2020

**LA SUPPLY CHAIN EN LOS INGENIOS DE CAÑA DE AZÚCAR Y LA
ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

BRAYAN STEVEN LLANO CÓRDOBA

PETER STEVEN MESA FRANCO

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

Director proyecto

ANDRÉS LÓPEZ ASTUDILLO

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CALI

ABRIL 2020

Contenido

	Pág.
Resumen	8
Introducción	9
Contexto y Justificación del Problema	10
1.1. Contexto	10
1.2. Justificación del Problema	14
Objetivos.....	18
2.1. Objetivo del Proyecto.....	18
2.2. Objetivos Específicos.....	18
Entregables:.....	18
Marco de Referencia.....	19
3.1. Antecedentes o Estudios Previos	19
3.2. Marco Teórico.....	21
3.2.1 Cambio Climático.....	21
3.2.2 IPCC (Intergubernamental Panel Climate Change)	21
3.2.3 IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)	21
3.2.4 Vulnerabilidad al cambio climático	22
3.2.5 Caña de Azúcar	22
3.2.6 Caña de azúcar y cambio climático	23
3.2.7 El Suelo	24
3.2.8 Acuerdos de Colombia frente al Cambio Climático.....	24
3.3. Impacto del Proyecto	25
Metodología	26
Limitaciones del proyecto	27
Resultados.....	28
5.1. Cadena de suministros y Diagramas de procesos.....	28
5.1.1 Cadena de suministros general	28
5.1.2 Diagramas de procesos y Cuadro comparativo	29
5.2. Análisis y documentación de la evaluación de los impactos generados en los recursos naturales críticos por el cambio climático.....	33
5.2.1 Agua	33

5.2.2 Suelo.....	35
5.3. Caso de estudio de los planes de adaptación del cambio climático	36
5.4. Propuesta documentada de dos posibles escenarios de adaptación	38
5.4.1 Escenario con sequías extremas.....	43
5.4.2 Escenario con lluvias extremas	45
Conclusiones	48
Recomendaciones	50
Anexos.....	51
Bibliografía.....	54

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Pérdida del PIB con respecto al escenario sin cambio climático.</i>	<i>12</i>
<i>Figura 2. Impacto socioeconómico de la actividad agroindustrial.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3. Participación porcentual del Producto Interno Bruto por departamento, año 2018 pr [1].</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4. Composición sectorial del PIB, Valle del Cauca, año 2018.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 5. Demanda de agua para las actividades socioeconómicas, año 2004. ...</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6. Cadena de suministro general de los ingenios azucareros.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7. Proceso de producción Mayagüez.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 8. Proceso productivo Incauca y Providencia.</i>	<i>30</i>
<i>Figura 9. Zona cañera en Colombia.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 10. El calentamiento (°C) comparando las temperaturas con respecto a inicios del siglo XX.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 11. Cambios de la temperatura media del aire. La magnitud de los cambios se denota con rosado y rojo, siendo este último el de intensidad máxima.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 12. Cambios de la humedad relativa. Los aumentos en la humedad se resaltan con azul oscuro y las disminuciones, en tonos rosa y rojo, siendo este último el de máxima reducción.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 13. Cambios en las precipitaciones. Los aumentos están marcados en tonalidad azul y las disminuciones en anaranjado y rojo, siendo estos este último el de máxima disminución.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 14. Bioclima RCP 8,5 al año 2050 en el Valle del Cauca.</i>	<i>42</i>
<i>Figura 15. Localización de los Ingenios azucareros.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 16. Amenazas actuales por el invierno en Colombia.</i>	<i>46</i>

Lista de Tablas

Tabla 1. Fenómenos y tendencias y sus efectos en la agricultura, silvicultura y ecosistemas.....	11
Tabla 2. Cuadro comparativo entre procesos de los Ingenios evaluados.....	31
Tabla 3. Disponibilidad del recurso hídrico del Rio Cauca.....	35
Tabla 4. Impactos generados como consecuencia de la sequía, según el NDMC (2003).	44
Tabla 5. Acciones de adaptación y mitigación	45

Lista de Anexos

Anexo A. Calentamiento de la superficie mundial y aumento del nivel del mar proyectados al final del siglo XX.51

Anexo B. Los cuatro caminos de Forzamiento Radiactivo (FR) seleccionados por el IPCC para evaluar el comportamiento de la concentración de emisiones GEI en el planeta a 2100.52

Anexo C. Comparación entre escenarios de la AR4 y la AR5.53

Resumen

El cambio climático es día a día un tema de tendencia mundial, pues la actividad humana y todos los avances industriales y tecnológicos que se han presentado en el último siglo, han afectado de manera considerable la salud del planeta tierra. Actualmente, uno de los sectores más amenazados por la variabilidad climática, es el sector agrícola. Este, es uno de los más importantes a nivel mundial y en nuestro país, representa el 3,9% del PIB nacional.

El sector agrícola está compuesto por una variedad de cultivos que sustentan la economía de las diferentes regiones, en este caso, la industria de caña de azúcar es una de las más importantes en la región andina colombiana y es causante directa de alrededor de 188.000 empleos en la región. Sin embargo, en los últimos años, los empleos, cultivos y los mismos Ingenios productores, se han visto amenazados por el factor climático. Por tal motivo, este proyecto se enfocó en evaluar el impacto del cambio climático en la cadena de suministro del sector agrícola, principalmente en las etapas de siembra y cosecha.

La metodología estuvo centrada en recolectar información que sirviera como base para, posteriormente, realizar los análisis pertinentes y estructurar un caso de estudio que enlazara entrevistas con los datos obtenidos. Los pasos generales para seguir fueron: recolección de datos, procesamiento y análisis de estos para, finalmente, concretar la construcción de posibles escenarios de adaptación a dos extremos climáticos que cuentan con una alta posibilidad de ocurrencia en Colombia, esto debido a sus condiciones geográficas y atmosféricas, así como también al cambio climático generado en los últimos años por la operación humana.

Cabe resaltar que la metodología fue adaptada para lograr el cumplimiento de los objetivos del proyecto bajo las condiciones presentadas actualmente con el confinamiento por la pandemia ocasionada por el COVID-19, estos ajustes se vieron reflejados principalmente en el trabajo de campo.

Palabras claves: cambio climático, variabilidad climática, adaptación, mitigación, productividad, agricultura, caña de azúcar, vulnerabilidad.

Introducción

La finalidad de este proyecto es dar a conocer los posibles escenarios a los cuales las empresas productoras de caña de azúcar se verán inmersas en un futuro no muy lejano, además se deja detallado cuales son las acciones que se deben tomar para adaptarse y mitigar los efectos causados por la variabilidad climática.

Este proceso de investigación se realiza con el interés de conocer y profundizar en los planes y acciones que han y que están tomado los ingenios y asociaciones correspondientes, frente a las consecuencias que tendrían lugar si se presentan extremos climáticos como sequías extremas o lluvias con inundaciones. Esto permite identificar el nivel de preparación con el que actualmente se encuentran los ingenios de caña de azúcar que fueron objeto de análisis. Así mismo, permite conocer los planes del gobierno y las proyecciones climáticas para las próximas décadas con base en datos históricos y tendencias actuales.

Una de las características importantes del sector azucarero en Colombia, es que tiene una participación importante en el PIB nacional y es altamente representativo en temas económicos para las regiones dónde se siembra y cosecha. También es importante para la economía internacional puesto que anualmente son millones de toneladas de azúcar las que se exportan a países de América y Europa. De esta manera, se identifica claramente que los impactos del cambio climático afectan directamente la cadena de suministro de las industrias que basan sus actividades en cultivos.

A continuación, se explica el contexto actual en el que se enmarca la problemática medio ambiental, así como las bases que dan justificación a esta y los estudios que se han realizado en los últimos años y que muestran las consecuencias que afectan desde el primer hasta el último eslabón de la cadena de suministros en el sector agrícola.

Contexto y Justificación del Problema

1.1. Contexto

De acuerdo con la convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático, este fenómeno se entiende como un cambio en las condiciones normales del clima debido a la actividad humana bien sea de forma directa o indirecta y que altera la composición de la atmósfera y de la capa de ozono mundial. Así pues, las Naciones Unidas tienen al cambio climático como el mayor desafío que actualmente todos los países deben combatir. Además, hay pruebas concretas de que el cambio climático ha causado daños irreversibles en el planeta tierra (United Nations, 2019).

En la última década, los cambios en el clima han presentado variaciones importantes que están afectando considerablemente diferentes sectores de la economía mundial. Si se observan los dos extremos de este fenómeno (altas precipitaciones de lluvias y aumentos de temperatura extrema) se puede decir que día a día hay noticias, reportes y/o novedades de que la extrema sequía está acabando con cultivos, ríos, mares y como si fuera poco, los glaciares y polos; y si se hace referencia a las lluvias extremas, se evidencian las inundaciones, avalanchas, crecimiento de ríos, océanos, etc.

En Colombia los efectos del cambio climático no son una realidad ajena dado que su posición geográfica, así como le brinda ventajas puesto que tiene conexión a los 2 océanos, diversidad de ecosistemas y sobre todo ser entrada para todo Sudamérica, también esa misma posición es una de las principales causas de que el país sea uno de los más vulnerables frente a los impactos que este fenómeno que el clima puede causar. Fenómenos como el del “Niño” el cual se evidencia en Colombia por la falta de lluvias y altas temperaturas provocadas por el calentamiento del océano pacífico y la “Niña”, que se presenta como el aumento en las precipitaciones en la mayor parte del país y a su vez una disminución considerable de la temperatura; son algunos de los que, hasta el momento, más han afectado al país, trayendo consigo grandes consecuencias económicas, sociales y ambientales (IDEAM, 2016).

El Instituto de Hidrología, meteorología y estudios ambientales IDEAM junto al Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) publicó un artículo de nombre **“Análisis de vulnerabilidad y riesgo por Cambio Climático para los municipios de Colombia”** en el cual se expresa que en Colombia todos los municipios son vulnerables ante los efectos del cambio climático. Con base a estos resultados, el Gobierno Nacional y diferentes Organizaciones han iniciado a tomar medidas desde hace ya algunos años para mitigar las consecuencias en el país, sobre todo en los diferentes sectores de la economía.

En la Tabla 1 podemos observar algunos de los fenómenos climáticos que más incidencia tienen en nuestro país. A su vez, los efectos que genera principalmente en la agricultura, que es el sector foco del presente trabajo.

Tabla 1. Fenómenos y tendencias y sus efectos en la agricultura, silvicultura y ecosistemas.

Fenómenos y orientación de las tendencias	Efectos en agricultura, silvicultura, ecosistemas
Menos días y noches más templados y más días y noches más cálidos y aumento de la frecuencia de períodos cálidos	Disminución del rendimiento en entornos más cálidos (estrés térmico) y aumento de plagas de insectos, así como de incendios incontrolados
Aumento de la frecuencia de lluvias intensas	Daños a los cultivos, erosión del suelo, imposibilidad de cultivar tierras por saturación hídrica de los suelos
Aumento de las áreas afectadas por la sequía	Degradación de la tierra, disminución de los rendimientos, daños e inhabilitación de cultivos, mayor riesgo de incendios incontrolados
Aumento de la actividad ciclónica tropical intensa	Daños a los cultivos
Mayor incidencia de niveles de mar extremadamente altos (excluidos los tsunamis)	Salinización del agua de riego, estuarios y sistemas de agua dulce

Fuente: CEPAL, 2009.

El sector agrícola en Colombia día a día está creciendo y ya se perfila como el más productivo y que generará mayores ingresos al país debido a su mercado interno y claramente, a las exportaciones que se realizan principalmente a Europa. Según cifras de ProColombia, Colombia al cierre del 2015 ya había exportado alrededor de \$3.449.470.000 pesos (COP) en productos agrícolas (ProColombia, n.d.). Lo anterior es solo un ejemplo del nivel de importancia que tiene y debe darse a este sector, priorizando políticas y gestionando planes en pro de conservar las tierras y sus cuidados.

El IDEAM, basados en la importancia del sector agrícola en Colombia, realizó un estudio basado en los escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (véase el Anexo A). La institución, tras obtener los resultados del estudio (Figura 1), concluyó que:

“El estudio presenta evidencia de los potenciales efectos del cambio climático en la economía del país. Con base en los escenarios del clima futuro del IDEAM se estima que el impacto agregado del cambio climático en la

economía del país sería negativo. Contando sólo con los impactos analizados en este estudio, de 2011 a 2100, en promedio habría pérdidas anuales del PIB del 0,49%. Esto significa que cada año el PIB sería 0,49% menor que en un escenario macroeconómico sin cambio climático” (DNP, 2014).

Lo anterior sirve para resaltar aún más la valía que este sector tiene, lo cual refuerza la necesidad de priorizar planes y políticas que cubran estos sectores en casos de emergencias climáticas.

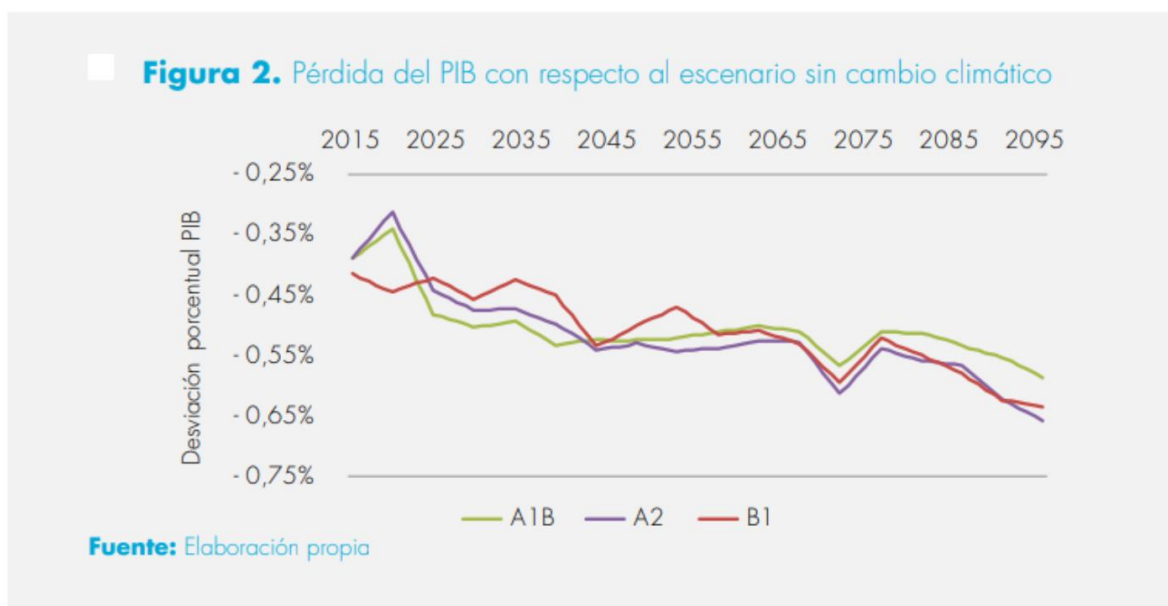


Figura 1. Pérdida del PIB con respecto al escenario sin cambio climático.

Fuente: DNP, 2014.

Con la importancia que genera el sector agrícola para el país, esta investigación centrará el análisis en una economía que está creciendo exponencialmente y su importancia a nivel nacional es cada vez mayor. En el Valle del Cauca representa alrededor del 30.1% del PIB agrícola de la región, 4.3% del PIB total y es causal directa de 188.000 empleos en la zona. Según Asocaña, la caña de Azúcar el motor fundamental de la economía del valle, pues la ubicación geográfica de la región proporciona condiciones climáticas adecuadas para la siembra y cosecha de este tipo de planta (Asocaña, 2019). Además, posiciona a Colombia a nivel mundial como uno de los países con mayor productividad mundial azucarera.

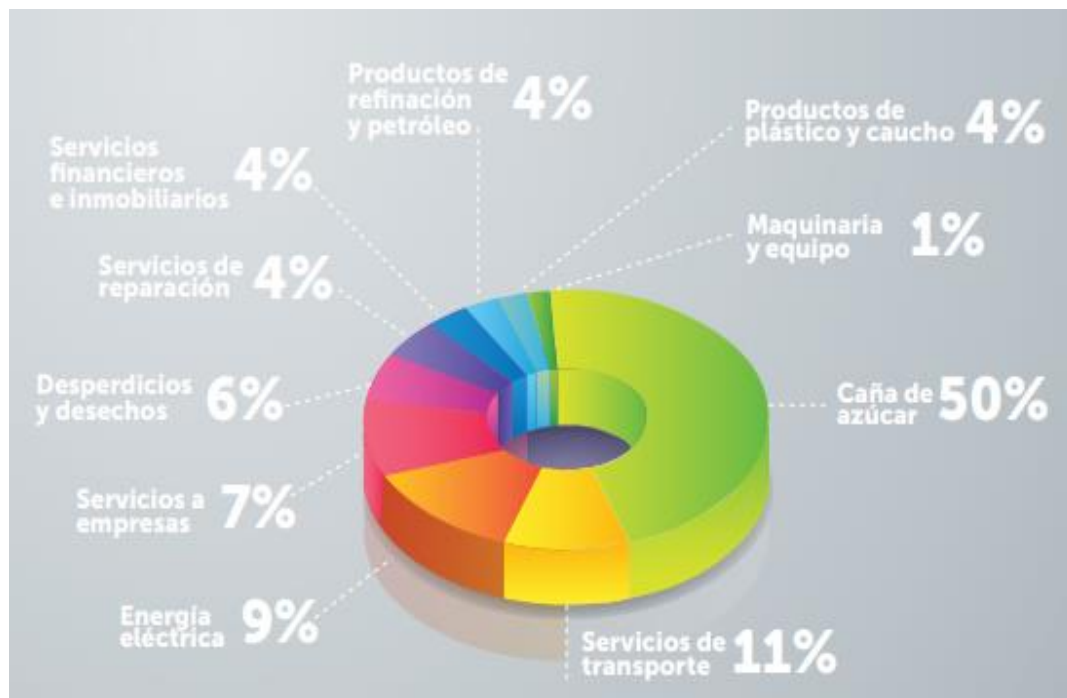


Figura 2. Impacto socioeconómico de la actividad agroindustrial.

Fuente: Asocaña, 2019

En ese orden de ideas, es evidente de que el sector agrícola y especialmente la producción de caña de azúcar necesitan especial atención puesto que representan un número muy alto de oportunidades laborales e ingresos para la economía del país y la región. Sin embargo, como se evidenció en un inicio, al ser un sector altamente dependiente de recursos como tierra, agua y especialmente el clima, lo convierte entonces en un sector con un nivel de alerta importante, pues los fenómenos de cambio climático que se hacen notorios día a día afectan desde la preparación de la tierra hasta la cosecha de las plantas.

Así, se puede inferir entonces que todo el proceso de producción de la caña de azúcar se verá afectado por los impactos del cambio climático y como gran consecuencia, toda la cadena de suministro, la cual involucra al mismo productor, al sistema de transporte del producto, centro de distribución y cliente final, los cuales se verán altamente golpeados por los problemas que desde un inicio de la cadena se presenten.

Ahora bien, según el IDEAM, la proyección del aumento de la temperatura será muy alta para los siguientes años. Tomando como base un aumento de 0.13°C/Década desde el año 1971 hasta el 2000, la temperatura aumentará 1.4°C del 2011 al 2040 y de 2.4°C desde el 2041 hasta el 2070 (IDEAM, 2014). Con base en las cifras anteriores se puede notar que tal aumento de temperatura sí afecta los cultivos de

caña de azúcar, pues a temperaturas cada vez más altas se reduce la fotosíntesis y aumenta la respiración de las plantas, causa directa de que los cultivos disminuyan la productividad.

Finalmente, frente a los fenómenos de cambio climático, los principales ingenios de caña de azúcar del país han tomado algunas medidas de mitigación, especialmente porque son conscientes de que es algo que afecta esta industria directamente. Según el último informe anual de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, Asocaña, la conservación de humedales y siembra de árboles son algunas de las actividades principales que están realizando, además de la producción de Bioetanol, el cual ayuda mitigar el calentamiento global (si y solo si hay un correcto manejo de los residuos y lodos que se generan en la producción) y la producción de gases de efecto invernadero, estos últimos siendo los principales causantes del aumento de la temperatura en la tierra (Asocaña, 2019). Sin embargo, aún existe una brecha muy amplia que no exime a los cultivos de caña de azúcar a ser vulnerables ante el cambio climático y, sobre todo, a la creación de planes de acción y escenarios de adaptabilidad ante extremos climáticos anteriormente explicados.

1.2. Justificación del Problema

El cambio climático es una realidad que, a la fecha, ya afecta a todo el mundo sin excepción alguna. Cada vez se desarrollan propuestas sobre planes y procesos de mitigación y adaptación en el mediano y largo plazo, pero, dado que la variabilidad de los cambios climáticos tiende a tener múltiples implicaciones en los diferentes campos funcionales de todos los países, se ha optado por considerar diferentes planes de acción para generar una respuesta inmediata, o en el corto plazo, a dichas afectaciones.

Uno de los sectores más afectados por estos cambios tan drásticos ha sido el agrícola, que ha podido observar un efecto negativo en sus operaciones y procesos de abastecimiento al notar como sus recursos naturales clave son alterados, modificados y, en algunos casos, limitados por su prominente escasez en el medio. Es aquí donde se encuentra el valor de esta investigación, pues conocer el impacto que tienen estas situaciones en la ejecución de las labores de las compañías agrícolas es sumamente importante para países o entidades que sean fuertes en dicha actividad. Cabe resaltar que, para este tipo de compañías, el agua es un recurso natural vital que afecta directamente su funcionamiento y, además, es uno de los más afectados por los efectos del cambio climático.

Como se puede observar en Figura 3, algunos de los departamentos más representativos en el PIB al 2018 han sido Bogotá D.C, Antioquia y el Valle del

Cauca, que han mostrado una participación del 26%, el 15% y el 10%, respectivamente.

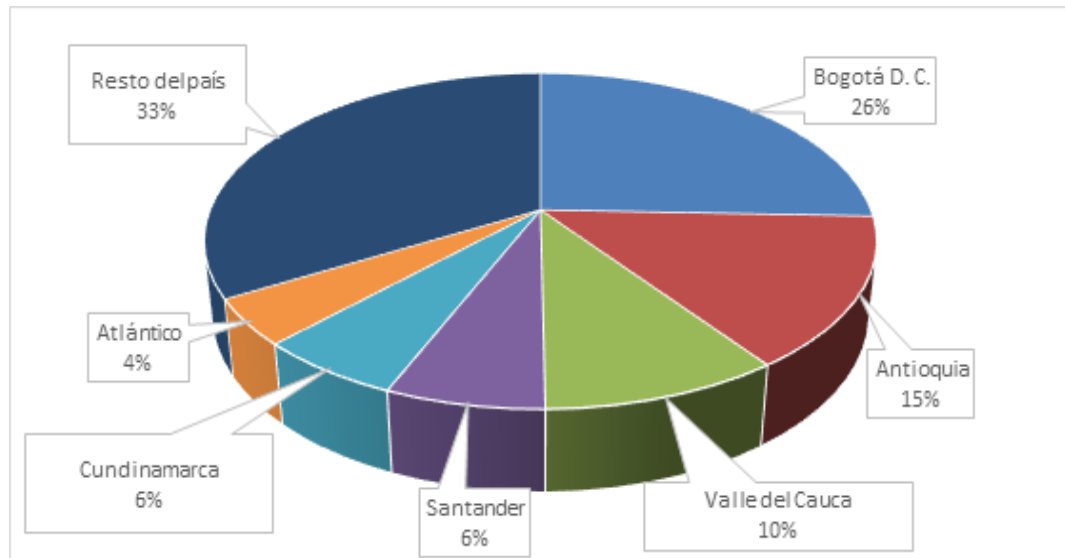


Figura 3. Participación porcentual del Producto Interno Bruto por departamento, año 2018 pr [1].

Fuente: DANE, 2019.

A nivel nacional, el Valle del Cauca es el más destacable en cuanto a operaciones agrícolas, pues para el año 2015 ya se presentaba como el principal productor de banano común, aguacate y Caña de azúcar. Destacando este último como el más fuerte, contando con un gran número de municipios centrados en su producción a lo largo del norte del departamento del Cauca hasta el sur de Risaralda. Sin embargo, y pese a su gran presencia a nivel nacional, la Figura 4 muestra que el sector agrícola cuenta con solo un 5,9% de participación a nivel departamental, manteniéndose por debajo del sector hotelero y manufacturero, que cuentan con un 17,8% y 15,3% respectivamente.

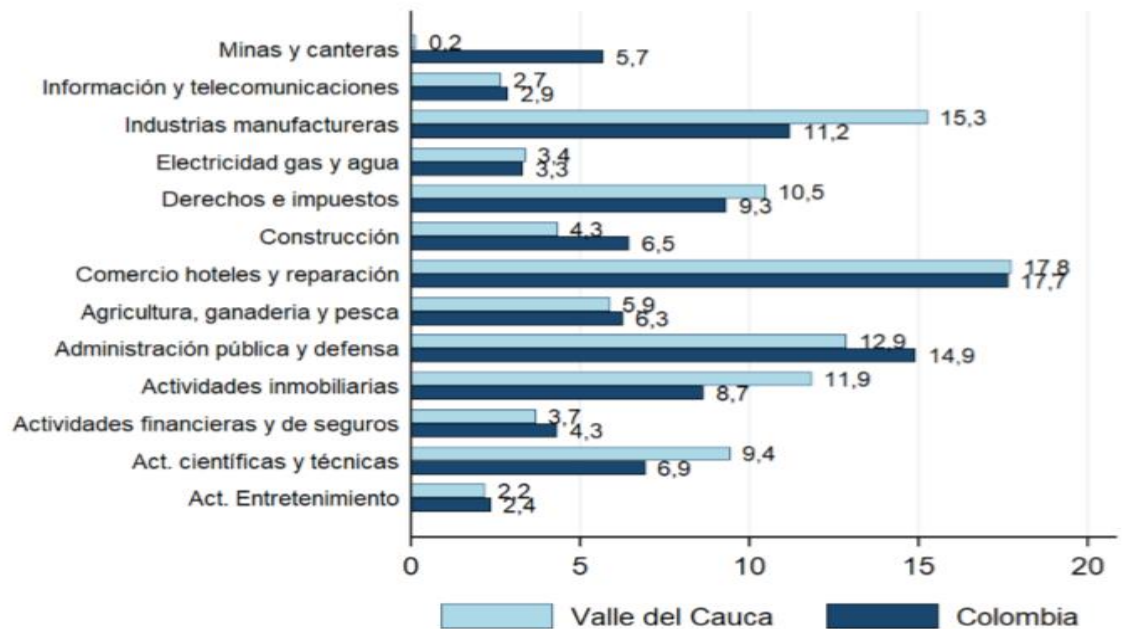


Figura 4. Composición sectorial del PIB, Valle del Cauca, año 2018.

Fuente: Mincomercio, 2019.

Un punto importante para resaltar es el consumo de agua como un recurso indispensable para los diferentes sectores socio economía de la nación pues, como lo presenta la Figura 5, este se encuentra implicado en la gran mayoría de actividades y procesos llevados a cabo en el sector industrial, doméstico y agrícola, en los que está bien cobra un valor incalculable en sus operaciones, contando con un 13%, 29% y 54% de la demanda de agua a nivel nacional respectivamente.

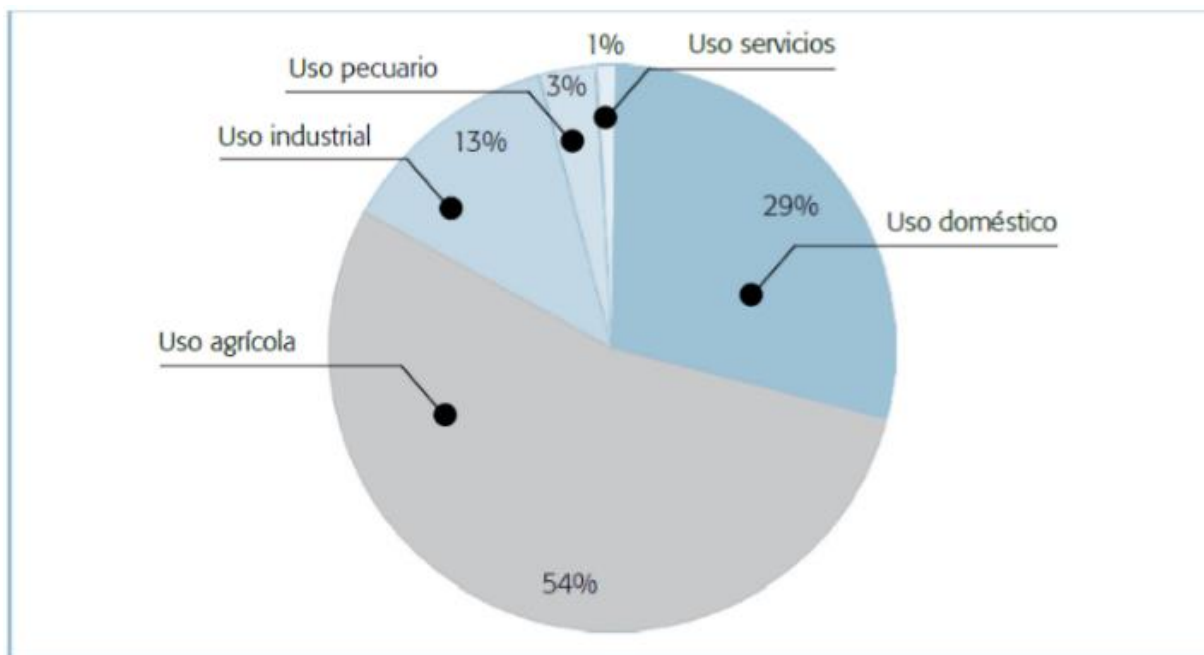


Figura 5. Demanda de agua para las actividades socioeconómicas, año 2004.

Fuente: Canizales Acosta & Estrada T., 2013.

Se hace presente que “la óptima gestión de riesgos debe ser parte estratégica en la operación y rentabilidad de cualquier sector productivo industrial y es por esto por lo que es de gran importancia tener en cuenta las repercusiones que el cambio climático puede traer a estas empresas industriales, sobre todo aquellas que tienen una alta demanda de agua.” que magnifica la importancia de una adecuada gestión planes de adaptación al cambio climático que se vive en la actualidad.

Finalmente, se evidencia la importancia natural y económica del sector agrícola y todos sus derivados. Cualquier variabilidad climática afectará el rendimiento de los cultivos y las consecuencias a nivel nacional y departamental serán totalmente negativas.

Objetivos

2.1. Objetivo del Proyecto

Evaluar el impacto del cambio climático en la cadena de suministro de un proceso industrial del sector agrícola en la producción de caña de azúcar y determinar posibles escenarios de adaptación climática.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar las operaciones en los cultivos de caña de azúcar (siembra y cosecha) en dos ingenios de caña de azúcar colombianos.
- Relacionar los recursos naturales críticos utilizados en los diferentes procesos de siembra y cosecha en las empresas evaluadas.
- Evaluar los planes actuales de adaptación del cambio climático de las empresas evaluadas.
- Determinar posibles escenarios futuros de adaptación y mitigación climática para las empresas evaluadas.

Entregables:

- Cuadro comparativo y diagrama de procesos de las operaciones en las empresas evaluadas.
- Análisis y documentación de la evaluación de los impactos generados en los recursos naturales críticos por el cambio climático en las empresas evaluadas.
- Caso de estudio de los planes de adaptación del cambio climático por cada empresa evaluada.
- Propuesta documentada de dos escenarios posibles de adaptación para las empresas evaluadas.

Marco de Referencia

3.1. Antecedentes o Estudios Previos

En la actualidad, la cadena de abastecimiento en el sector agrícola se relaciona directamente con el cambio climático. Esto, debido a los impactos que se tienen en el suelo y el agua a causa de las lluvias y/o sequías. Las consecuencias que se pueden presentar llegan a tener altos impactos económicos, sociales, culturales y finalmente sobre las empresas y los clientes es dónde se presentan los resultados negativos. Por esto hoy se evalúa la Supply Chain sostenible que permite en las empresas desarrollar procesos de mitigación frente a impactos como los generados por el cambio climático.

La empresa privada Datamyne comunicó algunos de los ejemplos mediante el artículo “Wake up Call on Climate Change”, publicado en el 2016, dónde se evidencia los impactos directos que las altas temperaturas y cambios abruptos del clima tienen diariamente en industrias y productos que son de alta rotación en la economía mundial (Burnson, 2016). Un gran ejemplo son los efectos que el cambio climático ha tenido en los cultivos de Lúpulo en Europa, lo cual ha generado un trastorno en el sabor de la tradicional cerveza alemana e igualmente estas industrias sienten el impacto económico puesto que el acceso al ingrediente principal de la cerveza tuvo un considerable incremento en su precio de compra.

Es importante tener presente que el cambio climático es el fenómeno por el que muchos países alrededor del mundo están tomando acciones puesto que la mayor parte de lo que habita y se cultiva en el planeta tierra depende de ello. Por consiguiente, acuerdos como el de París celebrado en el 2015, en el cual más de 55 países (de hecho, de los que representan 55% de la emisión de gases de invernadero) se pactaron tomar acciones para mantener como límite de aumento de temperatura los 2 °C. Este valor día a día toma más significado y si se lleva al sector industrial y empresarial, los expertos han proyectado que la productividad agrícola disminuirá entre un 15% a 30% en los países en desarrollo de aquí a 2080, que en su mayoría son los más expuestos a los cambios climáticos.

Para el desarrollo de la ruta del estudio fueron una serie de preguntas y encuestas realizadas a estas compañías tomando como base algunos de los productos producidos en países como Colombia, Nicaragua y Pakistán. Las preguntas fueron orientadas a pensar sobre si efectivamente estaban siendo conscientes de cómo el cambio climático afecta su cadena de suministros y a qué más podrían hacer las empresas para mitigar esos impactos de los fenómenos meteorológicos. Finalmente, los resultados de la investigación dieron resultados positivos en los efectos del cambio climático en las empresas, es decir, la economía y los niveles de ventas normales, sí estaban siendo afectados en gran manera. Lo más relevante

que se encontró fue que el cambio climático aumenta los gastos por parte de las empresas y disminuye la calidad y cantidad de la producción.

Ahora bien, es cierto que el cambio climático afecta las empresas e industrias, y tal como se presentó anteriormente, es causa del aumento de los costos y disminución de la productividad. Sin embargo, hay que ser conscientes de que toda la cadena de abastecimiento también es causa de que se presente el fenómeno de cambio climático, pues según el Foro Económico Mundial, la logística de transporte de los diferentes productos es la causa de aproximadamente el 6% de las emisiones de gases de efecto invernadero, por lo que repercute en la cadena de suministro y se entraría a buscar también nuevas alternativas de transporte amigables con el medio ambiente y así salir disminuir las emisiones de gases.

En Colombia, el sector agrícola, principalmente los ingenios y cultivadores de caña de azúcar, han buscado medidas de adaptabilidad frente a los cambios climáticos mediante un proyecto que consta de 3 etapas altamente importantes. La primera consistió en estudios y proyecciones climáticas a corto y mediano plazo en 7 de las principales zonas que Cenicaña identificó. La segunda etapa se centró en la asimilación de carbono a niveles variados de radiación solar en 6 variedades de cultivos. Finalmente, la última etapa se basó en la puesta en marcha de una interfaz que permitiera a cualquier cultivador de caña de azúcar o ingenio, saber que va a pasar con su próxima siembra, teniendo en cuenta variables como temperatura, zona de cultivo y la fecha de siembra (Arana, 2015).

Por otro lado, por medio de un proyecto de investigación llevado a cabo por estudiantes de la Universidad Icesi, se estudiaron los efectos que tiene el cambio climático en algunas empresas del sector industrial del Valle del Cauca, especialmente en los procesos operacionales en los que el recurso hídrico es factor importante (Canizales Acosta & Estrada T., 2013). Además, la investigación presentó un enfoque futuro con los posibles riesgos que los fenómenos climáticos pueden tener en las empresas y también, poder concientizar a las mismas sobre el impacto que estos tienen en todos los procesos empresariales, desde cultivar y cosechar, hasta la entrega final al cliente.

Finalmente, se tuvo en cuenta una publicación realizada en el 2007 por Carlos Costa Posada, director del IDEAM, la cual explica en detalle las posibilidades que Colombia tiene para prepararse y adaptarse al cambio climático (Posada, 2007). Esto, teniendo en cuenta de que el país poco puede hacer para evitar que se siga presentando, pues la baja contribución que este tiene en las emisiones de GEI (Gases de efecto invernadero) lo hacen ser un territorio altamente dependiente de las decisiones que tomen los países que sí tienen una participación mayor y de los cuales depende gran parte de todo el mundo (Chow, 1951).

3.2. Marco Teórico

3.2.1 Cambio Climático

El cambio climático es una realidad que afecta actualmente a toda la tierra. Según la ONU, la lucha contra el cambio climático es el desafío más grande que la humanidad tiene actualmente pero que desde mitad del siglo XX se ha intensificado. Es causado directa e indirectamente por la actividad humana y sus efectos se reflejan en la composición de la atmósfera, la cual absorbe gran cantidad de gases que no permiten que el calor escape de la tierra.

Colombia es un país privilegiado por su posición geográfica, es denominado un país tropical el cual no cuenta con estaciones climáticas, sino que los cambios en el clima se presentan normalmente como: aumento de lluvias o disminución de lluvias. Sin embargo, el país se ha enfrentado a varios desastres naturales que han sido ocasionados por la variabilidad climática a la que Colombia es altamente vulnerable con sus suelos inundables e inestabilidad en partes de mayor altitud.

Ahora bien, las consecuencias del cambio climático han sido enormes. Solo en los últimos 20 años el país se ha visto sometido a fenómenos climáticos como inundaciones y sequías extremas las cuales, según un estudio del Departamento Nacional De Planeación, ya han dejado pérdidas totales que equivalen aproximadamente al 1.1% del Producto Interno Bruto. Los diferentes sectores de la economía han implementado planes de acción y mitigación, sin embargo, la pesca, ganadería y agricultura, siguen siendo muy vulnerables (Pardo, 2017).

3.2.2 IPCC (Intergubernamental Panel Climate Change)

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) es el órgano principal a nivel mundial para la evaluación del cambio climático. Fue creado en 1988 y su objetivo principal es examinar y evaluar las publicaciones que se realizan con relación al cambio climático. El IPCC actualmente lo conforman 195 países miembros de las Naciones Unidas. Al menos una vez al año se reúnen con los diferentes representantes de los países para tomar decisiones, aprobar informes y publicaciones, y también, para elegir al presidente de esta. Uno de los informes más relevantes y alarmantes de este grupo, es el cuarto informe de evaluación del panel, publicado en 2007. En este se explica algunos de los fenómenos y consecuencias que trae asociado el calentamiento global ("IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change," n.d.).

3.2.3 IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales)

Es una entidad del Gobierno Colombiano y que es dependiente del Ministerio de Medio Ambiente. El IDEAM es una institución de tipo investigativa y es la principal

encargada de toda la información relacionada con el Medio Ambiente y el Clima en el País. Su misión va enfocada a mantener informada a la población para así poder tomar decisiones por parte de la población, sector privado, sector público, y en general, los diferentes sectores de la economía.

Dando cumplimiento a la función de mantener a la sociedad informada, algunas instituciones del país, entre ellas el IDEAM, se han unidos para desarrollar escenarios con variedad de posibles trayectorias, dichos trayectos se han sometido a varias adaptaciones y renovaciones. En la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático, se plantearon 4 nuevos escenarios (Véase el Anexo B), un escenario de mitigación estricto (RCP2,6), dos escenarios intermedios (RCP4,5 y RCP6,0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8,5) (Hassan, Pittock, & Ahlskog, 2014). La principal característica de estos, fue la de poder contemplar efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del Siglo XXI (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015).

3.2.4 Vulnerabilidad al cambio climático

Según la IPCC, la vulnerabilidad está definida como el grado de susceptibilidad de un sistema para afrontar las consecuencias que deja los fenómenos del clima y los extremos que este presenta. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático al que se esté expuesto (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016).

A lo largo de los años se han realizado variedad de estudios de vulnerabilidad al cambio climático, la mayoría de estos han concluido que las consecuencias más dramáticas de este fenómeno se presentarán en países en desarrollo, dando cada vez más importancia la realización de estudios que se convirtieran en herramientas imprescindible para la toma de decisiones asociadas con el cambio climático, convirtiendo la sectorización en algo cada vez más necesario para conocer la capacidad del territorio, y de sus municipios, de afrontar los extremos climáticos (CAR & Universidad Nacional de Colombia, 2018; IDEAM, 2017; Minambiente & Universidad Nacional de Colombia, 2017).

3.2.5 Caña de Azúcar

Es una planta de tallo largo la cual puede llegar a alcanzar hasta los 2 metros de altura. Es altamente importante en la economía del Valle del Cauca y sus alrededores, pues de esta planta todo se puede utilizar. Desde su tallo, hojas y flores que son altamente demandadas, pues es una de las principales economías del sector y que desde 1510, cuando los primeros cultivos llegaron al país, no se ha detenido (Procaña, 2015).

El sector azucarero en Colombia ha tomado año a año un nivel de importancia en el Colombia y, sobre todo, en las regiones en donde los cultivos de caña de azúcar son el motor de la economía regional. Actualmente, son 47 los municipios del país que se caracterizan por sus más de 225.000 hectáreas de cultivos, los cuales

corresponden en un 25% a tierras propias de los 13 ingenios de la región y un 75% a los más de 2.700 cultivadores de caña.

Gracias al clima privilegiado del valle geográfico en el cual se encuentran los cultivos, perfectamente se puede sembrar y cosechar caña de azúcar durante todos los meses del año. Esta ventaja agroclimática y sumada al avance tecnológico que se ha implementado en la industria, han posicionado a Colombia como uno de los países con mayor productividad: más de 13 toneladas de azúcar por hectárea sembrada al año (Asocaña, 2019c).

Por otro lado, el azúcar no es el único resultado después del procesamiento de la caña. El papel y el alcohol carburante tienen impactos positivos a nivel económico y sectorial que, por lo tanto, se ve reflejado en toda la cadena de suministro de esta industria. La cadena de suministro especialmente de esta economía es totalmente dependiente e incluso inicia desde procesos naturales de fotosíntesis, luz solar y condiciones climáticas que por defecto la región ya presenta. Sin embargo, que la cadena de suministro dependa en gran medida de factores externos como el clima, y con la posición geográfica de Colombia que lo hace uno de los países más vulnerables de todo el mundo, es lo que lleva a desarrollar planes de acción para evitar que una de las principales economías del país se vea afectada (INCAUCA S.A.S, 2004).

3.2.6 Caña de azúcar y cambio climático

Los cultivos de caña están altamente expuestos a las condiciones climáticas, pues no hay actualmente nada que impida que estos estén exentos de entrar en contacto con un fenómeno de cambio climático. Es así como se evidencia la amenaza a la que están expuestas los miles de hectáreas que actualmente hay, además de las implicaciones económicas y sociales que se pueden presentar. Por lo tanto, esta industria presenta un alto índice de vulnerabilidad, pues la capacidad de resistencia frente a un fenómeno producido por el clima es muy baja.

El gobierno por su parte es consciente de que el cambio climático es un hecho que está afectando y que puede afectar aún más al país, por eso ha decidido desarrollar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático -PNCC- en el cual se formulan proyectos y desarrollan programas para apoyar la preparación del país ante los extremos climáticos. Aquí hacen parte diferentes entidades tanto privadas como del sector público, todos en busca de cumplir con el objetivo principal del PNCC que es reducir el riesgo y los impactos socioeconómicos asociados a la variabilidad y al cambio climático en Colombia (DNP, 2018).

3.2.7 El Suelo

En términos simples, el suelo es definido como: “el resultado de la transformación, en el transcurso del tiempo, de un material geológico (la roca madre), por la influencia de diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Se compone de partículas minerales, materia orgánica, agua y aire en proporciones variables” (Casas Flores, 2012).

Casas, también menciona que las características más relevantes del suelo son la profundidad libre, el color, los elementos gruesos, la textura, la estructura, la porosidad y la capacidad de retención de agua, pues son propiedades prácticamente permanentes, pues su cambio conlleva una costosa y alta dificultad consigo.

3.2.8 Acuerdos de Colombia frente al Cambio Climático

La preocupación del Gobierno Nacional es alta, pues son conscientes de que, aunque los impactos asociados al cambio climático han sido notorios en el país, las consecuencias pueden ser mayores y con pérdidas inimaginables. Debido a esta preocupación, el país desde hace ya algunos años ha sido reconocido a nivel mundial por su implementación de políticas que van en pro de adaptar el territorio a los fenómenos climáticos. Una de las participaciones más importantes fue en la Conferencia de las partes (COP21), celebrada en el 2015 en París. El gran resultado de esta fue la unión de todos los países miembros de Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) para no permitir que la temperatura promedio de la tierra supere los 2°C. Cada país fue autónomo de decidir el nivel de reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Colombia por su parte se comprometió a reducir en un 20% estas emisiones hasta antes del 2030 (Minambiente, 2015).

En la COP 23, que fue llevada a cabo en noviembre del 2017 en Bonn (Alemania), Colombia y Honduras fueron galardonados con el premio “Impulso para el Cambio”, que conceden las naciones unidas, por tener uno de los proyectos más prometedores para la lucha contra el cambio climático, el cual buscaba la implementación de herramientas TIC para dar un enfoque innovador a la agricultura "climáticamente inteligente" (Gaibor, 2017).

Aunque Colombia se comprometió hasta un futuro cercano, cada departamento es autónomo de implementar sus planes ante el cambio climático, y el Valle del Cauca, lugar que se ha caracterizado por tener una economía sustentada en el sector agrícola, no se ha quedado atrás. El Departamento cuenta con un Plan proyectado hasta el año 2040 el cual cuenta con los estudios necesarios para la priorización de medidas que ayuden a disminuir las emisiones de GEI y reducir en gran medida la vulnerabilidad del Departamento y los riesgos que trae consigo cualquier extremo ambiental (CVC, Gobernación del Valle del Cauca, & CIAT, 2018).

3.3. Impacto del Proyecto

Con el auge de la problemática del cambio climático, la comunidad global ha emprendido una tendencia a la evaluación del nivel de afectación de este fenómeno en diferentes sectores, así como en la creación de planes de reacción, mitigación y adaptación a distintos escenarios. Como se ha podido percibir, este tipo de lineamientos se hacen cada vez más importantes para países, regiones y municipios cuyo núcleo se ubique principalmente en el uso y aprovechamiento de sus recursos naturales, como lo es el caso de Colombia y sus diferentes regiones.

A nivel local, Colombia cuenta con sectores económicos centrados exclusivamente en algún tipo de producto natural como, por ejemplo, el de la caña de azúcar, que cuenta con 47 municipios concentrados en dicha actividad, ubicados desde el norte del departamento del Cauca, la franja central del Valle del Cauca, hasta el sur del departamento de Risaralda.

Un hecho importante a mencionar es que, pese al auge de los planes de adaptación al cambio climático en los diferentes sectores de la economía colombiana, algunas entidades del sector azucarero del valle aun no cuentan con este tipo de bosquejos o precauciones, por lo que este proyecto, y algunos de sus entregables, podrá servir de base para futuras investigaciones confabuladas con el tema.

Gracias a lo mencionado anteriormente, el analizar el impacto del proyecto se vuelve una tarea mucho más simple, pues este proyecto servirá de base para próximas investigaciones o iniciativas empresariales del sector azucarero que busquen establecer sus propios planes de adaptación.

Metodología

A continuación, se presenta la metodología que se siguió para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos, y a su vez el objetivo general del proyecto. Esta se dividió en 4 etapas principales, en las cuales se hicieron la recolección, procesamiento y análisis de los datos obtenidos, para finalmente cumplir con los entregables propuestos.

1. Se gestionó la aprobación en al menos 1 ingenio de caña de azúcar y se analizaron sus procesos de siembra y cosecha.

1.1. Actividades críticas:

- 1.1.1. Se identificó a los encargados de sostenibilidad y responsabilidad medio ambiental y a los responsables de campo.
- 1.1.2. Identificó y analizó los diagramas de procesos de cada ingenio.

1.2. Metodología específica:

- 1.2.1. Se revisó de bibliografía, diagramas y esquemas.

2. Análisis de los recursos naturales utilizados en el proceso de siembra y cosecha.

2.1. Actividades críticas:

- 2.1.1. Clasificó cada recurso natural y el nivel de importancia que representa en el proceso.

2.2. Metodología específica:

- 2.2.1. Investigación, bases de datos.

3. Se identificó acciones y planes actuales con los que cada ingenio evaluado cuenta frente a los fenómenos de cambio climático.

3.1. Actividades críticas:

- 3.1.1. Realizó una investigación y análisis sobre los planes de acción frente al cambio climático de cada ingenio de caña de azúcar evaluado.

3.2. Metodología específica:

- 3.2.1. Investigación, bases de datos.

4. Se elaboró un informe con los posibles escenarios de adaptación que los ingenios de Caña de Azúcar pudieran implementar en las situaciones analizadas.

4.1. Actividades críticas:

- 4.1.1. Se presento y dio conclusiones puntuales para cada escenario y la guía de implementación.

4.2. Metodología específica:

- 4.2.1. Revisión bibliográfica, consulta y análisis.

Limitaciones del proyecto

Durante la realización del proyecto se presentaron inconvenientes y situaciones especiales que, pese a no cambiar el objetivo del proyecto, modificaron la manera en que se tenía planeado el trabajo de campo. Es por esto por lo que, obedeciendo a la cuarentena obligatoria dictada por el gobierno nacional que tuvo una duración de más de 2 meses, este último pasó a ser remplazado por un trabajo de campo virtual a distancia. Es decir, se realizaron entrevistas y análisis de datos, solamente que haciendo uso de los recursos tecnológicos y las diferentes plataformas que se encontraban al alcance.

Adicional a ello, se presentaron dificultades en temas de comunicación con expertos, lo anterior debido a la poca disponibilidad de tiempo con la que estos contaban, pues la mayoría de los ingenios desplazaron gran parte del personal a sus casas, dando como único medio de comunicación, disponible al público, el correo electrónico.

Resultados

5.1. Cadena de suministros y Diagramas de procesos

El proceso de producción que llevan a cabo los ingenios azucareros, en general, está separado en dos ramas principales. La primera, que es la etapa de procesamiento Agrícola, posee una gran variedad de procesos, entre los que se resaltan la siembra y cosecha de la caña de azúcar, así como también el cuidado y tratamiento de las tierras usadas a lo largo de este. La segunda etapa, o etapa industrial, tiene también diversas operaciones desde la molienda de la caña hasta la obtención del producto terminado. Durante este extenso ciclo, la caña de azúcar pasa por diferentes procesos físico- químicos y biológicos para ser transformada en azúcar, alcohol y energía.

En estas instancias se hace necesario mencionar que estos ingenios, así como toda compañía, depende, de una u otra forma, de algunos entes y compañías externas que proporcionan información, materiales y suministros implicados directa e indirectamente en sus procesos, pues son estas entidades las que realizan algunas actividades que complementan su actuar en el mercado global.

5.1.1 Cadena de suministros general

Como se mencionaba anteriormente, la cadena de suministros general de los ingenios azucareros cobra una basta relevancia en los procesos internos de cada uno. Como se muestra en la Figura 6, en cada nivel actúan entes de diferentes indoles o con diferentes propósitos, en el caso de los proveedores, se encuentra que en el nivel 3 participan principalmente entidades investigativas (como TecniCaña¹, Asocaña o Cenicaña), en el nivel 2 los productores de maquinarias e insumos (como Casa Toro, John Deere, Bellota, Fleischmann, RIO claro, etc.)², en el nivel 1 los cultivadores de independientes así como, en la mayoría de los casos, los mismos ingenios. Mientras que por el lado de los clientes se presentan algunas industrias de bebidas gaseosas o almacenes de grandes superficies, pertenecientes al nivel 2, y minoristas y clientes finales, propios del nivel 1.

¹ TecniCaña es una institución gremial de carácter técnico, sin ánimo de lucro, creada en octubre de 1977 cuyo fin primordial es promover la discusión de los problemas e innovaciones tecnológicas alrededor del cultivo de la caña de Azúcar y sus industrias derivadas (Paul M. Muchinsky, 2012).

² Casa Toro, John Deere, Bellota y Fleischmann son algunas de las entidades dedicadas a la fabricación y/o comercialización de maquinaria especializada en el sector Agrícola. La compañía RIO claro comprende a una cadena de laboratorios que desarrollan productos fertilizantes para la venta en el mercado agrícola.

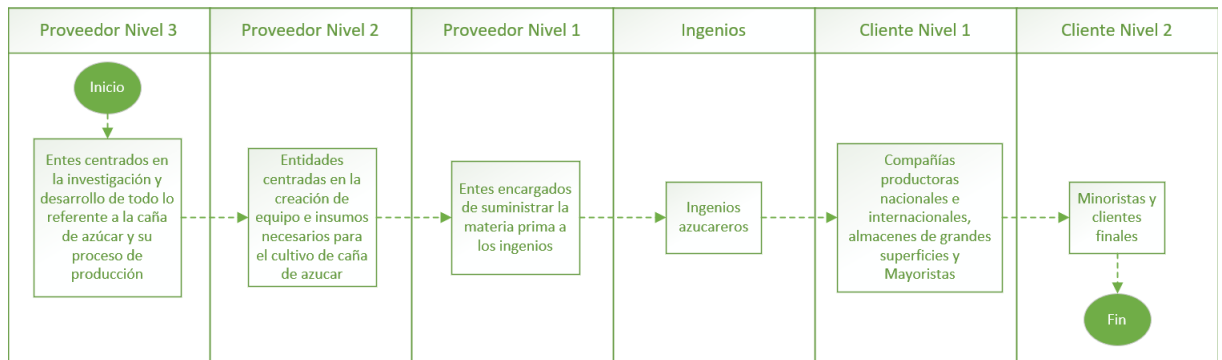


Figura 6. Cadena de suministro general de los ingenios azucareros.

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Diagramas de procesos y Cuadro comparativo

Como se puede observar, las

Figura 7 y Figura 8 muestran los mapas de procesos exhibidos por los ingenios estudiados en sus respectivas páginas web oficiales. Esta información será expuesta con el objetivo de dar a conocer como estos entes describen su ruta de procesos para, posteriormente, enfrentar y compara dichos mapas en un cuadro comparativo.

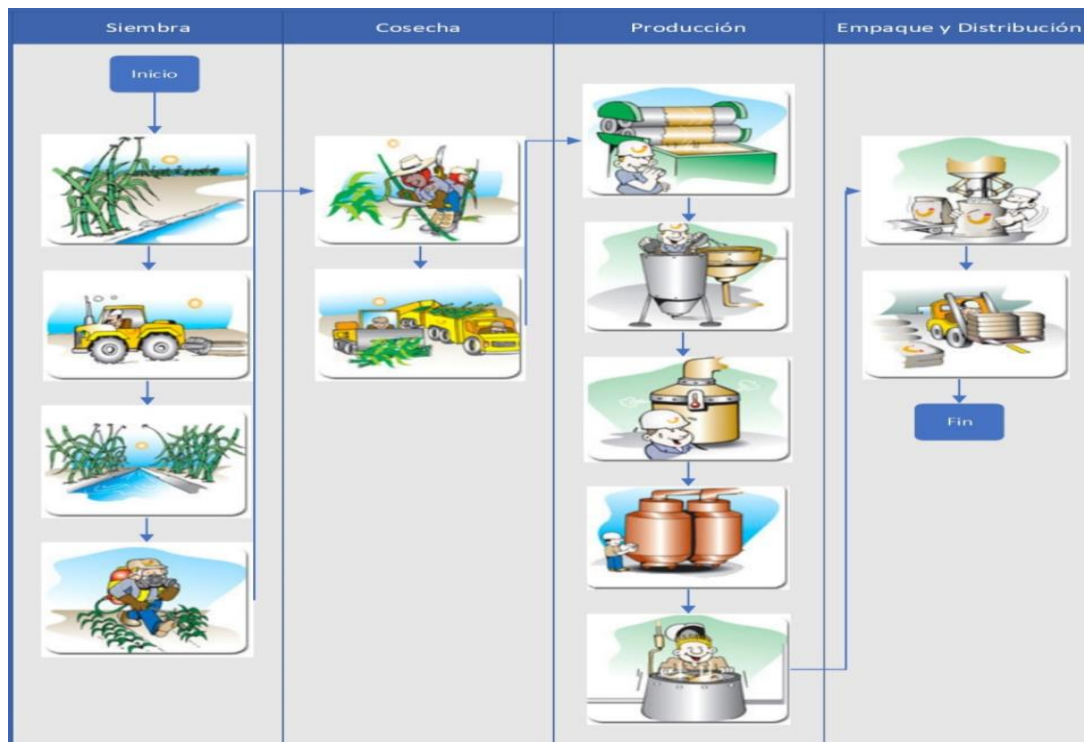


Figura 7. Proceso de producción Mayagüez

Fuente: Elaboración propia.

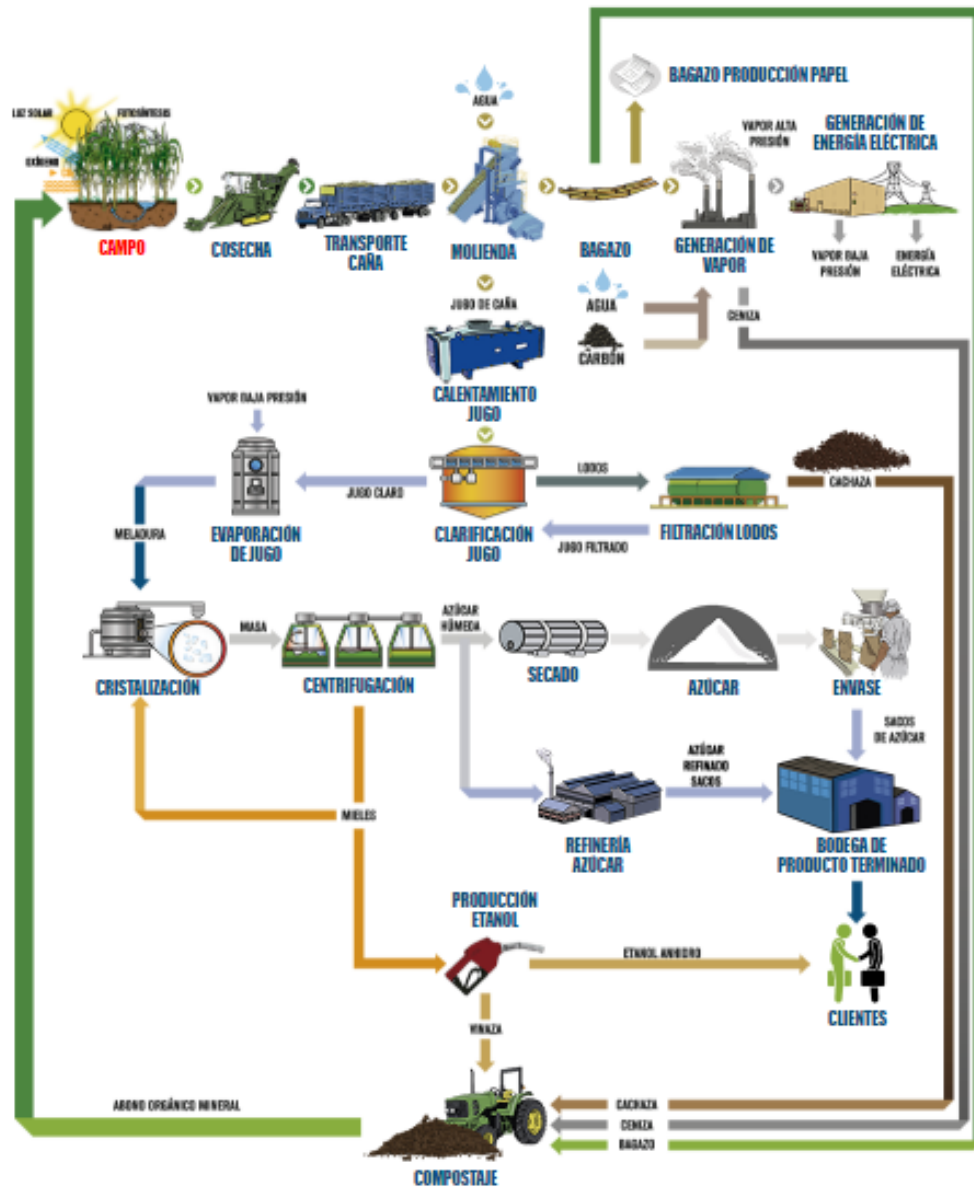


Figura 8. Proceso productivo Incauca y Providencia

Fuente: Incauca S.A.S, 2004; Ingenio Providencia S.A, 2016.

Ahora bien, para caracterizar y comparar las actividades de los ingenios relevantes al proyecto, se han tomado como referencia las dos 2 primeras fases de sus mapas de procesos (las presentadas como campo o siembra y cosecha) y, posteriormente se han plasmado en la Tabla 2, donde se encontró que existen algunos procesos

adicionales en los Ingenios Incauca y Providencia, con los cuales estos expresan un mayor control y seguimiento de cada uno de sus cultivos.

Tabla 2. Cuadro comparativo entre procesos de los Ingenios evaluados.

Ingenio providencia e Incauca	Ingenio Mayagüez
<p>Campo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adecuación de las tierras (nivelación y construcción de obras) • Preparación de suelos. Se realiza la descepada, subsolado, arada, rastrillada y surcada. Esto ayuda a dar mejores condiciones al suelo para que tenga suficiente contacto con la semilla. • Siembra de semillas de aproximadamente 60 cm que posteriormente son tapadas con una delgada capa de suelo. Dependiendo de las condiciones del sueño, se hace mecánica o manual. • Riego de la caña (se realiza inmediatamente y 15 días después) que se hace de acuerdo con la programación de balance hídrico y se utiliza principalmente las aguas de ríos cercanos y de aguas subterráneas. • Fertilización. Se realiza debido a que la tierra pierde nutrientes 	<p>Campo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adecuación del terreno. Se estudia el suelo teniendo en cuenta la topografía del terreno y así mismo se localizan los canales de riego y drenaje. • Riego. Se utilizan técnicas de programación de riego por balance hídrico. • Control biológico. Reproducen insectos benéficos para así lograr un control efectivo de plagas sin afectar el medio ambiente. <p>Cosecha</p> <ul style="list-style-type: none"> • Corte. Se realiza de manera manual o mecánica utilizando parámetros de calidad que disminuyan porcentajes de material extraño. • El transporte a fábrica se realiza en tracto mulas en el menor tiempo posible después del corte.

que son absorbidos por la planta en su ciclo vegetativo.

- Cultivo. Es realizado mecánicamente para separar y des compactar el suelo superficialmente.
- Aporque. Es un proceso que se realiza en los tres primeros meses de la plantación y consiste en remover tierra para levantar el surco y así proteger la caña de la humedad del invierno; encauzar el agua en verano y la evacuación de esta en el invierno.
- Ocho semanas antes de la cosecha se realiza la maduración de la caña para obtener mayor concentración de sacarosa al momento de la cosecha.
- El proceso de campo termina cuando la caña tiene de 12 a 14 meses de edad.

Cosecha

- Comprende la precosecha, quema, corte y alce que se realiza bajo el marco de la legislación ambiental que las rige.
- Se determina el grado de madurez de la caña a través de muestreos y se define el tipo de corte, bien sea manual o mecánico.

<ul style="list-style-type: none"> • Quema de la caña. Se utilizan 34 estaciones meteorológicas para tener datos en tiempo real de la dirección y velocidad del viento. • Si el corte se realiza de forma mecánica, una máquina corta la caña de 20 a 30 cm de largo. • Transporte de la caña de azúcar los cuales se transportan en 5 vagones. 	
--	--

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Análisis y documentación de la evaluación de los impactos generados en los recursos naturales críticos por el cambio climático

Para realizar los posteriores procesos de análisis y documentación de los niveles de impacto que el cambio climático pudiese tener en los recursos naturales críticos pertenecientes a las actividades agroindustriales llevadas a cabo en los ingenios de caña de azúcar, es necesario mencionar que, especialmente para el caso de los ingenios, los recursos que ostentan dicho título son el agua y el suelo o tierra. Adicional a ello, cabe aclarar que dichos recursos serán evaluados bajo circunstancias climáticas extremas que obstaculizan su tratamiento, control y utilización por parte de los ingenios, como lo son la sequía y las inundaciones.

5.2.1 Agua

La industria de la caña de azúcar es un sector de la agricultura muy importante para Colombia, especialmente para la región del Cauca, lugar donde se concentra la mayor cantidad de ingenios y que son responsables de gran parte de los ingresos y empleos de la región. Esta es una industria altamente importante por diversos factores, en este caso, a nivel medio ambiental, los ingenios son responsables de cientos de consecuencias tanto negativas como prácticas positivas en cuanto a uso de los recursos naturales en sus procesos de siembra y cosecha.

Un recurso natural que es utilizado en la mayor parte del proceso de producción de la caña de azúcar y sus derivados es el agua. Este recurso hídrico es sin duda alguna clave para la siembra y cosecha de la caña, pues son utilizados 10.300

m³/ha³ Vs. 3.600 m³/ha y 3.400 m³/ha respectivamente para el maíz y la soja, por ejemplo (Pérez, Peña, & Alvarez, 2011).

Además, también es importante aclarar que la mayor fuente de agua y de la que los ingenios hacen uso, es del río Cauca, el cual también es abastecido por los diferentes ríos del Valle del Cauca. Esta fuente hídrica, es actualmente la más representativa en la región y en la que se centró el análisis para mostrar cómo el cambio climático afecta la cadena de suministro en sus primeras etapas. Según Cenicaña, en un ciclo de cultivo de 13 meses y que esté ubicado en el valle del río Cauca, el requerimiento de agua oscila entre 10.000 m³ y 14.000 m³ por hectárea. Ver Figura 9.



Figura 9. Zona cañera en Colombia.

Fuente: Cenicaña, 2018.

³ Metro cubico por hora

Fenómenos como El Niño o La Niña, ya anteriormente explicados, son los principales causantes de los extremos climáticos y de las variaciones en la región, por un lado, con sequías extremas y, por otro lado, las lluvias torrenciales que se han llegado a extender por periodos prolongados de tiempo. Esto es importante analizarlo debido a los impactos significativos que tiene en la región, la cual depende en gran medida de los cultivos y la actividad agrícola.

Es así, que, durante la temporada de sequías extremas, los niveles del río y de lluvias disminuye considerablemente, llevando a una disminución de la producción y a bajos niveles de productividad en las tierras que se utilizan para la siembra de caña de azúcar. La escasez del recurso hídrico afecta directamente los niveles de disponibilidad (ver Tabla 3) y riego que normalmente se debe tener para que la producción esperada pueda ser cumplida y no se vea afectada como hace algunos años, que, debido al alto impacto del fenómeno de El Niño, la producción pasó de 120 t/ha a 106 t/ha e inmediatamente que la temporada de sequía pasó, la producción empezó a recuperarse paulatinamente.

Tabla 3. Disponibilidad del recurso hídrico del Río Cauca.

Disponibilidad anual promedio del río	Disponibilidad durante sequía
467 m ³ /s	326,9 m ³ /s

Fuente: Noticiero 90 Minutos, 2016.

Por otro lado, se tiene el extremo de lluvias intensas causado principalmente por el fenómeno de La Niña. Este fenómeno del clima tiene grandes consecuencias en el recurso hídrico de la región y que afecta directamente la industria cañera debido a los excesos de agua que se presentan en los cultivos y la sobre saturación en los niveles de riego. Un claro indicador de este es el nivel del río Cauca, pues durante los periodos de lluvia extrema el nivel de río sobre pasa los límites y causa graves inundaciones en los diferentes cultivos, además de elevar los niveles de contaminación en el agua que afectan directamente los cultivos de caña.

5.2.2 Suelo

Como bien se sabe, los suelos y las tierras son un componente de los sistemas naturales, que ofrecen soporte y sustento a las plantas. Estos son el resultado de diferentes factores que regulan los procesos geodinámicos, biogeoquímicos y ecológicos responsables de la estabilidad y oferta biológica (IDEAM, n.d.).

Lo cual hace notar aún más la importancia que este tiene, tanto para la agricultura como para la industria en general, pues es marcado como requerimiento base para toda actividad desarrollada a partir de recursos naturales de primer orden.

Basados en la información anterior, y en la investigación científica presentada en este documento, es apropiado recordar que existen diferentes tipos de suelo, y que cada uno de estos tiene propiedades variables según su composición física, dando a entender que esta pueda llegar a facilitar o dificultar gran variedad de actividades que requieran de su uso directo o indirecto, tales como lo son las de siembra y cosecha llevadas a cabo por la totalidad de los ingenios.

Si se considera la ocurrencia de los escenarios climáticos propuestos para el análisis en esta sección, la afectación que este recurso pudiera tener en cada uno sería un tormento para cada estas compañías, pues afectaría su cadena de procesos y de abastecimiento de forma contundente. Al tener en cuenta que el suelo captura y almacena agua, reduciendo al mínimo la superficie de evaporación y maximizando la eficacia y productividad en el uso del agua (FAO, 2016), se podría considerar una grave afectación tanto en extrema sequía como en grandes inundaciones, pues mientras una causaría su erosión por falta de humectación y nutrientes, la otra causaría una sobre alimentación que explotaría su capacidad de absorción al punto de ser incapaz de sobrellevarla.

5.3. Caso de estudio de los planes de adaptación del cambio climático

Actualmente, la gran lucha a nivel mundial es el cambio climático. Es la batalla que tanto los gobiernos como miles de organizaciones, buscan ganar. Es así, como diferentes sectores de la economía han creado estrategias y planes para la mitigación de los efectos de los fenómenos del clima. Esa adaptación está encaminada a implementar actividades o prácticas para evitar o disminuir los cambios del clima y sus efectos.

En Colombia, diferentes ingenios se han unido a la lucha mundial y a crear estrategias efectivas. Por ejemplo, se encontró que, en las políticas de medio ambiente del Ingenio Incauca, uno de sus principios fundamentales es la mitigación y adaptación al cambio climático y su objetivo está encaminado a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e implementar medidas de adaptación (INCAUCA S.A.S, 2004).

Para complementar lo anterior, se llevó a cabo una entrevista con uno de los ingenieros ambientales, el señor Carlos Vargas del Ingenio Incauca, para así entender un poco más sobre los planes actuales. Durante esta entrevista, el ingeniero explicó que *“ha sido de vital importancia el control de emisiones de gases de efecto invernadero puesto que son causantes directos para el cambio climático”*.

También explicó sobre los planes que Cenicaña presenta y que son una guía para que los ingenios se adapten a este. Puntualmente comentó que *“el ingenio de caña de azúcar está enfocado en toda la parte de prevenir y ser responsables ante el medio ambiente, pero que actualmente no se cuenta con planes estructurados frente a extremos climáticos”*.

La entrevista semiestructurada permitió obtener los siguientes resultados:

-Entrevistador: Buenos días Ingeniero, gracias por aceptar ser parte de nuestro proyecto y gracias de ante mano por la información suministrada.

-Ingeniero: con mucho gusto.

-Entrevistador: Ingeniero, cuéntenos un poco sobre las medidas actuales que el Ingenio Providencia tiene para hacer frente y disminuir el cambio climático

-Ingeniero: para nosotros como ingenio el tema ambiental es muy importante y por eso, desde el año 2016 tenemos un monitoreo constante de la huella de carbono de nuestros principales productos, estos son el metanol, azúcar y la energía eléctrica que se produce directamente desde Providencia. Todo lo que se hace es para cumplir nuestro mayor objetivo que es ser lo más sostenibles que se pueda

-Entrevistador: perfecto. Siguiendo esa línea de sostenibilidad y lo que hacen actualmente. ¿Qué planes tienen ante una eventual sequía extrema?

-Ingeniero: El ingenio desde 2017 adquirió 410 hectáreas de bosque protegido, ubicado en el páramo “las hermosas” este bosque se conserva y se cuida porque es una riqueza hídrica de la cual podríamos tener agua en caso de que los ríos se sequen y no se tengan lluvias por varios meses. Este recurso se encuentra de manera superficial como también debajo de la tierra. Así, podemos decir que Providencia cuenta con el recurso necesario y solo se utilizaría en un caso extremo.

-Entrevistador: excelente. Con base en esa respuesta, y pasando al otro extremo, ¿también tienen planes y estrategias para hacerle frente a las lluvias extremas?

-Ingeniero: realmente es un escenario muy complejo y actualmente no se tiene nada para enfrentar un caso de lluvias extremas. Además, si se presentan inundaciones, sería imposible que los cultivos puedan crecer y definitivamente las consecuencias serían muy grandes.

-Entrevistador: muchas gracias Ingeniero por su tiempo y la información compartida.

Reflexión de las entrevistas:

Sin duda alguna, los ingenios son conscientes de la problemática actual que se vive a causa del cambio climático y de las consecuencias que este tiene. También tienen claro que, si no se toman acciones y no se implementan políticas claras, los efectos serán cada vez mayores.

El escenario que más preocupa es el de lluvias extremas dado que los programas y planes que se tienen son casi nulos y el cual, los ingenios tienen plenamente identificado que traería pérdidas enormes a la compañía.

Es interesante resaltar que, aunque el escenario de lluvias genera mayor preocupación, es también este el que menos planes de acción tiene al respecto. Los esfuerzos han estado centrados en implementar políticas y planes, pero para disminuir los impactos, no están diseñados para una eventual catástrofe en la que realmente se tengan precipitaciones por varios meses.

5.4. Propuesta documentada de dos posibles escenarios de adaptación

Tomando como base la información investigada, actualmente se puede decir que el futuro, hablando en términos de cambio climático, es algo incierto. Si bien, las proyecciones que se tienen para los siguientes años son de un aumento en la temperatura de la tierra, las consecuencias no son solamente el calentamiento global y las sequías extremas; este aumento gradual y difícil de controlar también tiene consecuencias que llevan a las lluvias extremas e inundaciones en gran parte del mundo. Por lo anterior, se puede evidenciar que es necesario plantear diferentes escenarios de adaptación que abarquen las olas de calor extremo, como las presenciadas en la Figura 10, pero también otro escenario que tenga en consideración las consecuencias por excesos de agua bien sea en aumento del nivel de los Océanos o la creciente de los ríos, consecuencias principales del derretimiento de los Polos y la cantidad de lluvia, respectivamente.

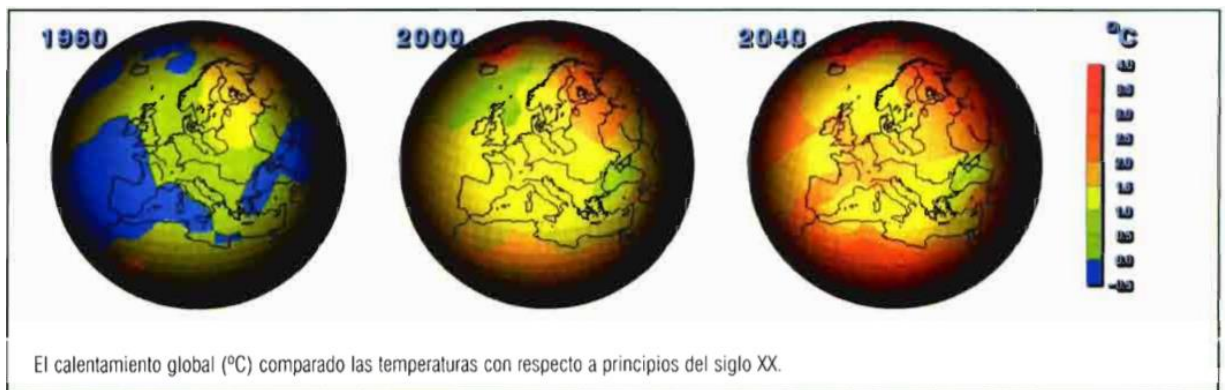


Figura 10. El calentamiento (°C) comparando las temperaturas con respecto a inicios del siglo XX.

Fuente: Pabón Caicedo, 2012.

Ahora bien, para tener claridad sobre las proyecciones climáticas que posiblemente afectarán al país durante próximos años, se tomó como base el proyecto Nacional de adaptación al cambio climático en donde se explica en detalle las variables y el tipo de Software utilizado para emitir los resultados que se explicarán más adelante.

PRECIS es un sistema de modelamiento regional que se parametriza de acuerdo con los datos que se tienen entre la interacción de suelo y atmosfera (Pabón Caicedo, 2012). Con esto, el IDEAM generó proyecciones bajo escenarios específicos que se pueden ver a continuación:

La Figura 11 muestra la tendencia de crecimiento que tendrá el territorio nacional en su temperatura media anual, llegando hasta los 3°C con referencia al periodo base que, para este caso, se tomó desde 1961 hasta 1990.

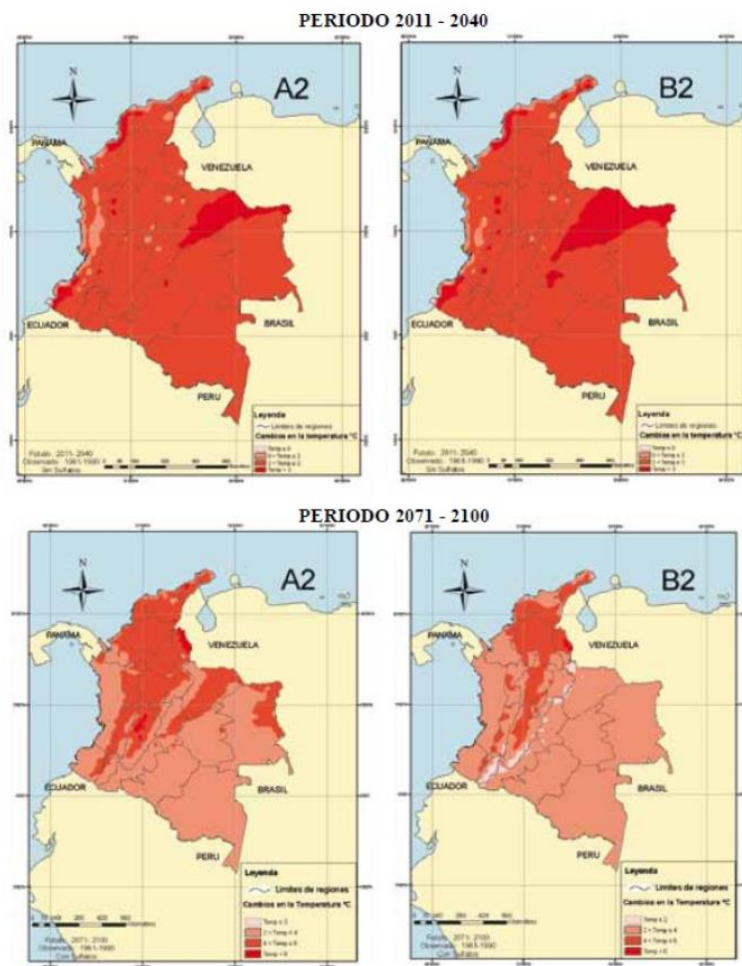


Figura 11. Cambios de la temperatura media del aire. La magnitud de los cambios se denota con rosado y rojo, siendo este último el de intensidad máxima.

Fuente: Pabón Caicedo, 2012.

Los cambios en la humedad también se verán afectados, principalmente por las cifras expuestas anteriormente en las que se observa que el aumento de la temperatura tiene una alta relación con la disminución de la humedad. En la Figura 12 se observan los cambios relativos en los diferentes periodos de análisis.

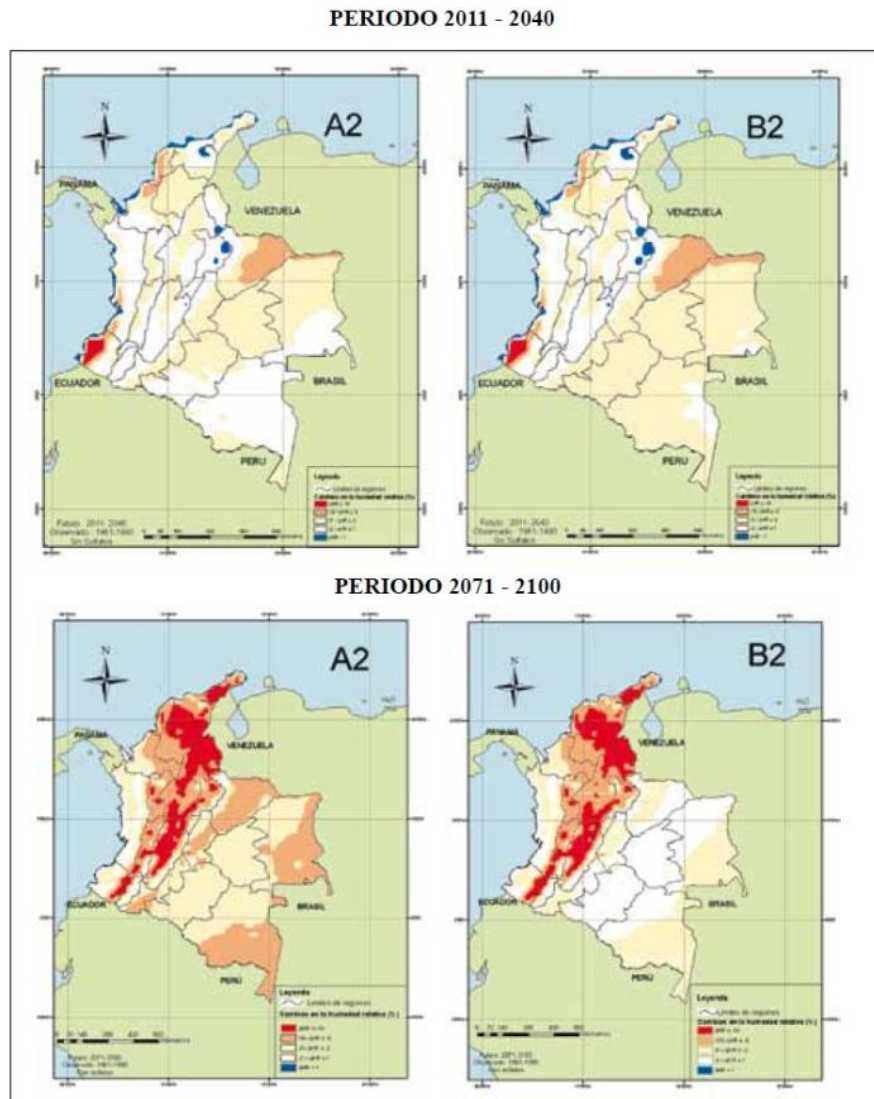


Figura 12. Cambios de la humedad relativa. Los aumentos en la humedad se resaltan con azul oscuro y las disminuciones, en tonos rosa y rojo, siendo este último el de máxima reducción.

Fuente: Pabón Caicedo, 2012.

En la Figura 13 se muestra el mapa de las precipitaciones proyectadas para los periodos que se están analizando. Es importante notar que para el mediano plazo

(que va hasta 2040) las precipitaciones anuales tienen un incremento en más del 50% del territorio nacional.

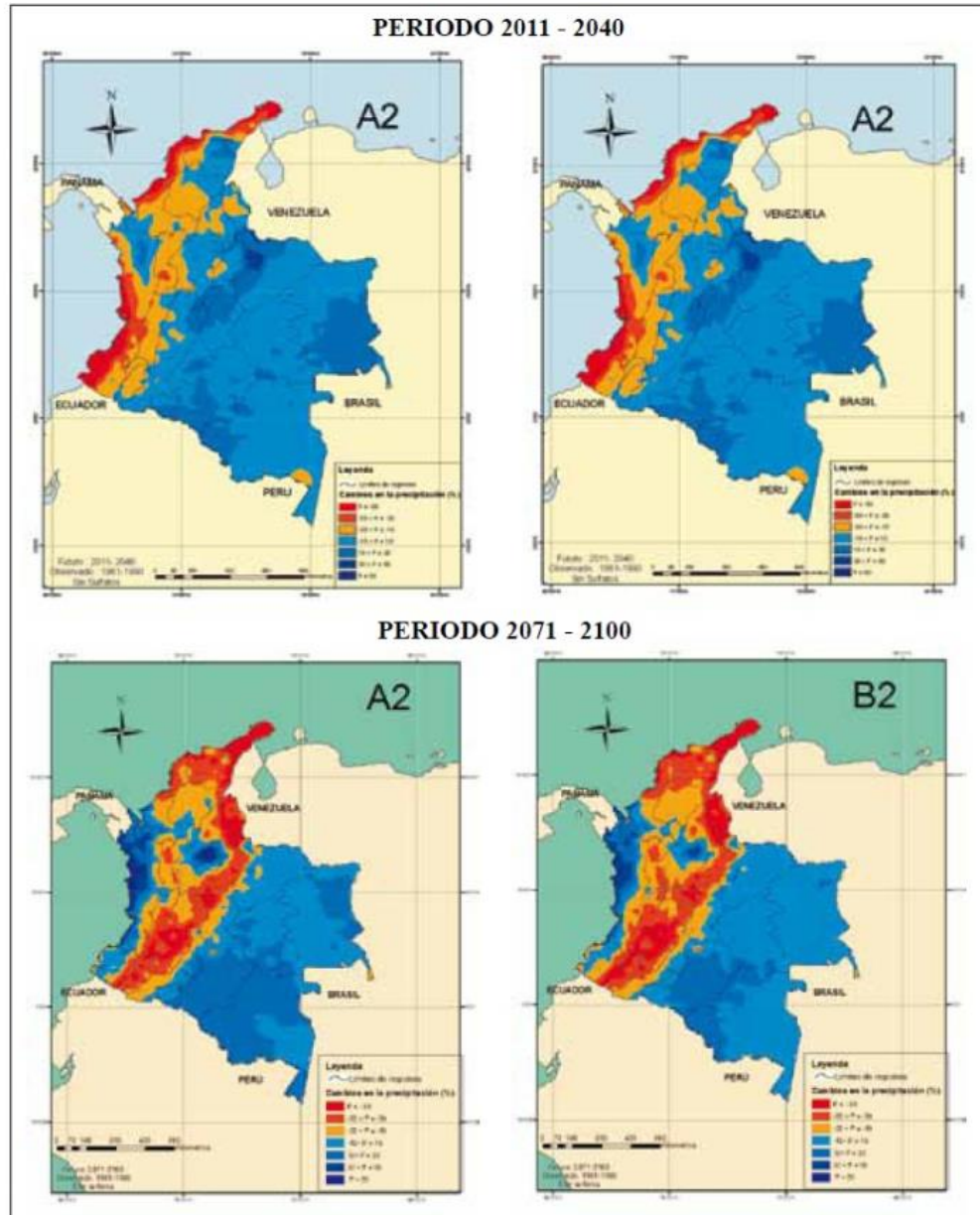


Figura 13. Cambios en las precipitaciones. Los aumentos están marcados en tonalidad azul y las disminuciones en anaranjado y rojo, siendo estos este último el de máxima disminución.

Fuente: Pabón Caicedo, 2012.

Finalmente, centrando el análisis en el Valle del Cauca, se observa que la tendencia sigue siendo igualmente negativa en el escenario de sequías extremas. Esto, tomado de una investigación realizada en la Universidad Nacional, la cual explica claramente que, por el cambio climático, el valle del cauca perdería un piso térmico. Por lo cual, los ecosistemas de menor elevación se extenderían en el territorio. Ver Figura 14.

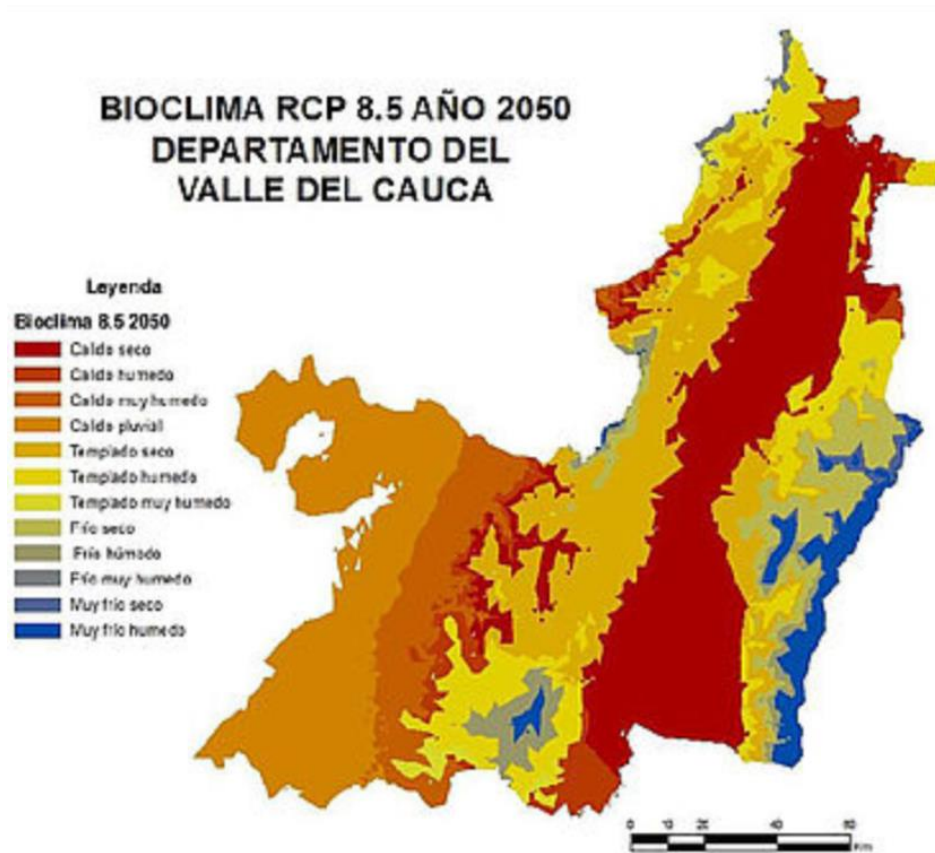


Figura 14. Bioclima RCP 8,5 al año 2050 en el Valle del Cauca.

Fuente: Gaona & Rodríguez, 2016.

A manera de conclusión, se puede inferir con base en las figuras analizadas, que la tendencia para los próximos años es que habrá más épocas de sequía en las regiones donde los principales ingenios de Caña de Azúcar operan. Estas zonas productoras se verán afectadas y es necesario que las políticas con las que actualmente cuentan algunos ingenios se materialicen en planes y programas que permitan tener claridad ante la inminente variabilidad que actualmente el mundo vive y que día a día se proyectan peores escenarios.

Es importante resaltar que, para la simulación sobre escenarios de cambio climático, existen Softwares especializados para realizar todos los procesos. En Colombia, el IDEAM ha publicado la “guía de procedimiento para la generación de escenarios de cambio climático regional y local a partir de modelos globales” que permite direccionar y tener un manual para llevar de manera correcta la realización de escenarios ajustados (Oviedo Torres & León Aristizábal, 2010). Sin embargo, el alcance de este proyecto es para presentar escenarios menos matemáticos, pero sí teniendo en cuenta las proyecciones que ya se han realizado; así, los escenarios se explican con base a la información que se ha recolectado para que los Ingenios tengan bases sólidas para la toma de decisiones.

5.4.1 Escenario con sequías extremas

Es el escenario que tiene mayor probabilidad de presentación en el país y principalmente en la región andina, zona que integra la mayoría de los Ingenios azucareros de Colombia, ver Figura 15. Las sequías extremas tienen innumerables consecuencias de impactos negativos para la tierra y todo lo que en ella habita. Es así, como los cultivos se ven realmente afectados y pueden llegar a una disminución significativa de la productividad e incluso a pérdidas gigantescas de estos.

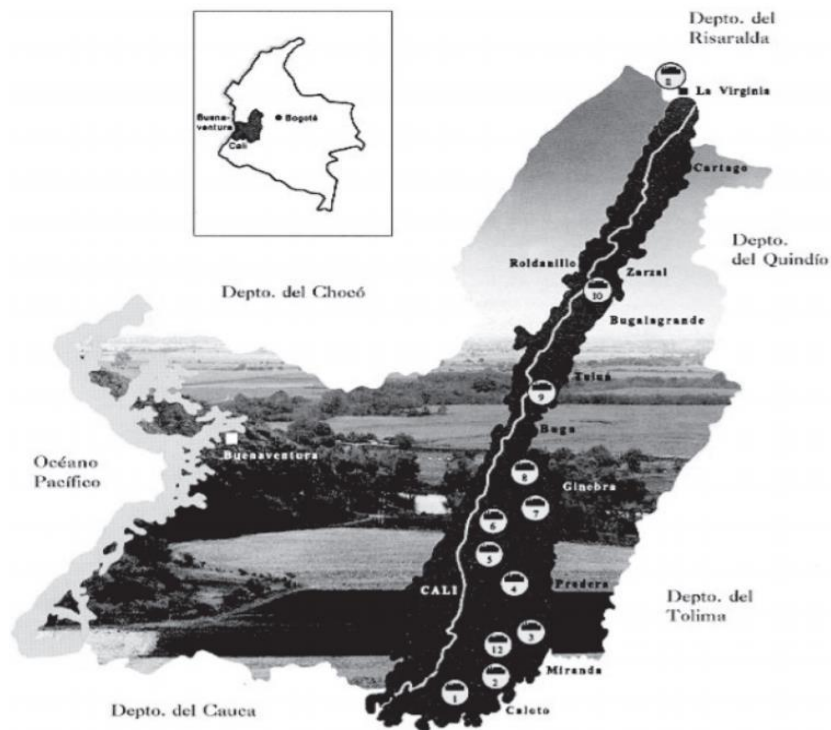


Figura 15. Localización de los Ingenios azucareros.

Fuente: Pérez et al., 2011.

Los ingenios de caña de azúcar, que hacen parte del sector agrícola del país, se verán expuestos a lo que se conoce como sequía agrícola (Tabla 4), la cual se presenta debido a la disminución de las precipitaciones y cuencas o depósitos de agua que son necesarios para que los cultivos puedan crecer y tener un desarrollo adecuado (Mayorga Márquez & Hurtado, 2016).

Tabla 4. Impactos generados como consecuencia de la sequía, según el NDMC (2003).

Impactos económicos	Impactos ambientales	Impactos sociales
Costos y pérdidas para los productores agrícolas: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución de los ingresos ▪ Reducción de la productividad. ▪ Mayor propagación e incidencia de las plagas sobre los cultivos. ▪ Enfermedades de las plantas. ▪ Incremento de los costos por irrigación ▪ Aumento del riesgo de incendios. 	Daño a las especies animales: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Degradación del hábitat de diferentes especies. ▪ Menor oferta de agua para suplir sus necesidades básicas. ▪ Incremento de la mortalidad. ▪ Incremento de las enfermedades. ▪ Migración obligada. ▪ Aumento del estrés. ▪ Pérdida de biodiversidad. 	Salud: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estrés físico y mental. ▪ Deficiencia en la alimentación. ▪ Pérdida de vidas humanas. ▪ Aumento del riesgo por incendios. Aumento de los conflictos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Conflictos por uso del agua. ▪ Conflictos políticos. Conflictos por el manejo del agua.
Costos y pérdidas de los productores de ganado: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Reducción de la producción de leche. ▪ Mayores costos por el acceso al agua. ▪ Pérdida de zonas de pastura. ▪ Incremento en los costos por alimentación. ▪ Tasas elevadas de mortalidad. ▪ Anomalías en el ciclo reproductivo de los animales. ▪ Disminución del peso de los animales. 	Efectos hidrológicos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Baja del nivel del agua en ríos, acuíferos, lagos, etc. ▪ Pérdida de humedales. ▪ Impactos sobre los estuarios marinos por cambios en los niveles de salinidad. ▪ Reducción de la calidad y disponibilidad de agua. 	Disminución en la calidad de vida: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aumento de la pobreza. ▪ Migración de la población. ▪ Pérdida de valores estéticos. ▪ Reducción o modificación de las actividades de recreación.

Fuente: Mayorga Márquez & Hurtado, 2016.

Estos impactos sin duda alguna representan una amenaza para los ingenios de caña de azúcar. El tema económico es posiblemente el que más pérdidas les genere y con esto, las consecuencias sociales muy seguramente serán para miles de familias que dependen directa e indirectamente del trabajo diario que allí se realiza. En los impactos ambientales, el daño que ocasionaría será tal vez irreparable puesto que la degradación del suelo y los niveles de agua, seguramente no volverán a su estado ideal.

El gobierno nacional mediante las Instituciones medio ambientales tiene una estrategia nacional para la gestión integral de la sequía en Colombia. Así, para lograr que las diferentes regiones se adapten a esta, el IDEAM y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) envían información oportuna a cada región del país para crear anticipadamente planes que lleven a reducir y mitigar los impactos (Naciones Unidas, 2019).

En la Tabla 5, se presentan las acciones de mitigación y adaptación sugeridas por las Naciones Unidas para Colombia en el sector agrícola (en este caso, caña de azúcar).

Tabla 5. Acciones de adaptación y mitigación

Sector	Acciones de mitigaciones y adaptación	Entidades encargadas	Instrumentos políticos
Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento de los sistemas de riego. • Mantener activos los sistemas de vigilancia y atención contra incendios. • Tener monitoreo constante de los ríos aledaños a los cultivos y monitorear el contenido de humedad en el suelo. • Nuevos pozos • Mejorar los canales de riego y conducción. 	Corporaciones autónomas regionales, gobernación y federaciones.	Política nacional de agricultores
Caña de azúcar	<ul style="list-style-type: none"> • Seguimiento a las labores de mantenimiento en los canales de drenaje. • Control fitosanitario a los cultivos. • Si hay lotes contiguos, aprovechar el agua de descole para irrigar el lote aledaño. 	Ministerio de agricultura y desarrollo rural, corporaciones autónomas y regionales, etc.	Política nacional de agricultores

Fuente: Elaboración propia.

5.4.2 Escenario con lluvias extremas

La variabilidad climática lleva a tener en consideración el escenario que día a día presenta una tendencia muy marcada de estar presente en los próximos años. En la historia de Colombia, han sido varios los momentos en los que las inundaciones y las lluvias prolongadas han afectado de manera grave los diferentes sectores de la economía, siendo la agricultura uno de los más afectados.

Si bien, el agua es el recurso más importante para la siembra y cosecha de la caña de Azúcar, los excesos de esta también causa pérdidas enormes debido a la

saturación del suelo y la baja tasa de absorción de agua por parte de las raíces de las plantas. En la Figura 16 se observa las zonas del país con mayor amenaza debido a la vulnerabilidad de esta. Justamente, las zonas en alerta roja son dónde se concentran la mayor parte de ingenios de caña de azúcar.



Figura 16. Amenazas actuales por el invierno en Colombia.

Fuente: COLPRENSA, 2017.

A continuación, se presentan algunas medidas y recomendaciones que se han derivado de investigaciones sobre este escenario.

- Incorporación de materia orgánica en el suelo que aumenta la porosidad de este (Hernández, n.d.).
- Pronósticos mes a mes de lluvias y así aumentar el nivel de drenaje.
- Fraccionar la fertilización (para suelos arenosos).

Estas medidas tienen en común que se basan en un análisis previo y detallado para conocer con anticipación las épocas en dónde será necesario la implementación. Además, contar con alternativas y equipo necesario para su aplicación.

Y, según estudios del cambio climático para América Latina realizado por CEPAL, algunas medidas para tener en cuenta para la adaptación son:

- Manejar eficientemente los sistemas de riego.
- Cambios en la distribución espacial de los cultivos.
- Adoptar nuevas tecnologías para control y monitoreo.

Según la información encontrada, la mayoría de los ingenios están adaptando este tipo de medidas a sus políticas ambientales en conjunto con los planes nacionales y departamentales para la adaptación de sus procesos.

Finalmente, también se recomienda revisar la “guía ilustrativa sobre análisis de vulnerabilidad territorial ante el cambio climático”, que se puede encontrar en la página principal de la CAR (corporación autónoma regional y de desarrollo sostenible), especialmente los instrumentos de planificación e identificar los factores clave.

Conclusiones

El objetivo fundamental de esta investigación fue evaluar el impacto del cambio climático en la cadena de suministro de diferentes ingenios azucareros, además de determinar posibles escenarios de adaptación a diferentes fenómenos climáticos. Con el fin de alcanzar estos objetivos, se realizaron extensas y minuciosas investigaciones sobre cada uno de los ingenios evaluados a lo largo del proyecto, adicional a ello, también se indagaron algunos estudios sobre el cambio climático en la industria azucarera, realizados por los principales entes investigativos del sector.

A lo largo de la investigación, se optó por caracterizar las operaciones de las compañías en lo referente a cultivos de caña de azúcar, tras concluir con esta exploración, se encontró que las actividades realizadas en algunos de los ingenios son bastante similares, al punto de ser prácticamente idénticas en cuanto a su estructura operacional y al objetivo que se pretende alcanzar en cada una de las etapas del proceso. Por otro lado, y como en todo sector económico en el que exista cierto nivel de competencia, se encuentran ingenios que carecen de los suficientes recursos y tecnologías necesaria para tener la misma estructura operacional que ya poseen las mejor posicionadas. Asocaña presenta un claro ejemplo de ello, pues en una de sus publicaciones menciona que: “Desde 2005, cinco de los trece ingenios tienen destilerías anexas para la producción de alcohol carburante (Incauca, Manuelita, Providencia, Mayagüez y Risaralda)” (Asocaña, 2019c).

Como ha de suponerse, en todas las actividades que implican procesos de siembra y cosecha, el agua y el suelo son elementos sumamente importantes en toda la cadena productiva, lo cual es una regla general al ser relacionada con las compañías inmersas en el sector agroindustrial. Por el lado de los ingenios evaluados, y tras investigar cuales eran considerados los recursos naturales críticos en cada una de sus operaciones, se encontró que los ingredientes más valorados en cada compañía fueron los ya mencionados, a tal punto que incluso una leve variación en su estructura física o química puede requerir de una modificación y retraso en sus procesos, todo con el fin de mantener su nivel de calidad y capacidad productiva.

Tras investigar algunos de los fenómenos climáticos que circulan en la actualidad, y teniendo en cuenta los resultados de las anteriores investigaciones, se procedió a evaluar los planes de adaptación al cambio climático de cada ingenio. Esto significó una respuesta inesperada, pues al terminar la investigación, se halló que algunos los ingenios evaluados, así como muchos de sus semejantes en la industria, carecen de planes de adaptación al cambio climático propios, pues según palabras de algunos de los trabajadores de estas compañías, sus entidades se limitan a seguir las rutas propuestas por los entes investigativos del área, como en el caso

de Cenicaña, y por los entes gubernamentales afiliados al territorio en el que se encuentran establecidos. Se requiere un tamaño de muestra más grande e investigación más detallada para saber quiénes cuentan con planes estructurados de forma completa o parcial, uno de estos casos es el del ingenio Providencia que cuenta un plan de adaptación a extremas sequías pero que, sin embargo, carece de un plan para enfrentarse a las inundaciones.

Cabe resaltar que, pese a lo mencionado anteriormente, Incauca, así como algunos de sus pares, tienen la intención de generar planes de adaptación adecuados a sus respectivas ubicaciones y condiciones geográficas en el mediano o largo plazo.

Al contar con los resultados globales de la investigación, se pasó a determinar posibles escenarios de adaptación al cambio climático para cada uno de los ingenios evaluados, sin embargo, tras reconsiderar los resultados, la ardua labor y el alto requerimiento de tiempo que esto implica se optó por plantear dos escenarios generales que sirvieran de base para la creación de futuros planes mejor estructurados.

Basado en todo lo anterior, se determinó que la construcción de planes de adaptación al cambio climático, pese a ser una ardua labor que requiere una inmensidad de datos y recursos, es necesaria para el mantenimiento y supervivencia de diferentes industrias, como en el caso de las compañías azucareras, pues en la actualidad se presenta una variedad de fenómenos climáticos, como el fenómeno del niño y la niña, capaces de afectar negativamente las operaciones de las empresas, al punto de causar el detenimiento total de ellas.

Finalmente, se concluyó que las anomalías climáticas tienen un vasto impacto en gran variedad de sectores económicos, y aún más en el agroindustrial, pues son sus subsectores, los que más dependen de buenas condiciones climáticas para mantener o incrementar su capacidad productiva, esto es debido a que la mayor parte de sus operaciones y cadenas de suministros cuentan en gran medida con insumos naturales, como el agua y el suelo, que pueden ser afectados gravemente por dichas singularidades.

Recomendaciones

Colombia, debido a su ubicación geográfica, es un país altamente vulnerable ante el cambio climático, esto fue ampliamente expuesto por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que se encargó de demostrar, en una publicación en su página oficial, lo frágil que es el país ante este tipo de eventos, mencionando que;

“Una muestra de la alta vulnerabilidad social, económica y ambiental de Colombia fue el balance de pérdidas cercanas a los 11.2 billones de pesos, 3.2 millones de personas afectadas que dejó el fenómeno de la Niña entre el 2010 y el 2011” (Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible- República de Colombia, 2019).

Así mismo, Minambiente resalto que las afectaciones generadas por los fenómenos del “El niño” y “La niña”, permitían entender la necesidad e importancia de contar con variedad de planes de adaptación que guiarían la acción en estas eventualidades, con el fin de minimizar el daño que estos pudiera generar.

Basados en toda la información recolectada y en lo expuesto anteriormente, se recomienda a cada ingenio, sin importar si hace parte del grupo de estudio seleccionado para este proyecto o no, que destine parte de sus recursos a la gestión de planes de adaptación al cambio climático debido a que, como se ha mostrado a lo largo del documento, estos portan una gran importancia para cualquier tipo de industria, y más para las actividades relacionadas al campo que se ubican en países altamente vulnerables a las condiciones climáticas, como lo es el caso de Colombia.

Anexos

I. Características de los escenarios planteados por el IPCC, en el Fourth Assessment Report: Climate Change, para los estudios del cambio climático (2010-2100).

Anexo A. Calentamiento de la superficie mundial y aumento del nivel del mar proyectados al final del siglo XX.⁴⁵⁶

Caso	Cambio de Temperatura (°C en 2090-2099 respecto a 1980-1999) ^a		Aumento del Nivel del Mar (m en 2090-2099 respecto a 1980-1999)	
	Mejor estimación	Rango de probabilidad	Rango basado en modelos excluyendo futuros cambios dinámicos rápidos en la circulación del hielo	
Concentraciones constantes del año 2000 ^b	0.6	0.3 – 0.9	NA	
Escenario B1	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38	
Escenario A1T	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45	
Escenario B2	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43	
Escenario A1B	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48	
Escenario A2	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51	
Escenario A1FI	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59	

Fuente: IPCC, 2007.

⁴ a. Estas estimaciones se evalúan partiendo de una jerarquía de modelos incluye un modelo de clima simple, varios Modelos del Sistema Terrestre de Complejidad Intermedia y un gran número de Modelos de Circulación General Atmosfera-Océano (MCGAOs).

⁵ b. La composición constante del año 2000 se deriva exclusivamente de MCGAOs.

⁶ Los escenarios de emisión utilizados en el IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4) (denominados SRES, por sus siglas en inglés) que no contemplaban los efectos de las posibles políticas o acuerdos internacionales tendentes a mitigar las emisiones.

II. Características de los escenarios planteados por el IDEAM para los estudios del cambio climático (2011-2100).

Anexo B. Los cuatro caminos de Forzamiento Radiactivo (FR) seleccionados por el IPCC para evaluar el comportamiento de la concentración de emisiones GEI en el planeta a 2100.⁷⁸⁹

Escenario	Forzamiento Radiactivo (W/m ²)	CO _{2eq} atmosférico (ppm)	Anomalía de temperatura	Trayectoria	Equivalente para escenarios SRES (AR4)
RCP8.5	8.5	>1370	4.9	2100, en aumento	SRES A1F1
RCP6.0	6.0	850	3	Estabilización después de 2100	SRES B2
RCP4.5	4.5	650	2.4	Estabilización después de 2100	SRES B1
RCP2.6	2.6	490	1.5	Picos antes de 2100 y después declina	Ninguno

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015.

⁷ En el Quinto Informe del IPCC (AR5), se han definido cuatro nuevos escenarios de emisión, denominados “Caminos Representativos de Concentración” (RCP’s, por sus siglas en inglés). Al hablar de escenarios RCP 2.6, 4.5, 6.0 u 8.5, no se están indicando aumentos de temperatura en grados centígrados, se indica la cantidad de energía que retiene el planeta, producto del FR: 2.6, 4.5, 6.0 u 8.5 W/m².

⁸ El forzamiento radiactivo como medida de los RCP: El Forzamiento Radiactivo (FR) es un proceso que altera el equilibrio de energía del sistema Tierra – atmósfera, a raíz de un cambio en la concentración de dióxido de carbono o en la energía emitida por el Sol. El FR se expresa en unidades de medida de vatios por metro cuadrado (W/m²).

⁹ Las Partes por millón (ppm): Es una unidad de medida de concentración que mide la cantidad de unidades de sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto.

III. Comparación entre los escenarios de Cambio Climático de la segunda comunicación y los presentados en esta tercera comunicación nacional por el IDEAM para los estudios del cambio climático (2011-2100).

Anexo C. Comparación entre escenarios de la AR4 y la AR5.¹⁰

Criterio de comparación metodológica	Escenarios de Cambio Climático de la Segunda Comunicación Nacional (SRES-AR4) 2010	Escenarios de Cambio Climático de la Tercera Comunicación Nacional (RCP-AR5) 2015	Ventajas de Estos Nuevos Modelos RCP-AR5
Metodología utilizada para la regionalización a Colombia	Downscaling Dinámico	Downscaling estadístico	Mejores datos de clima presente a nivel regional
Número de modelos utilizados y	Menor uso de modelos (1 PRECIS),	Mayor número de modelos de clima global (16),	Mayor resolución espacial
Representación espacial	Temperatura: Corrección orográfica con interpolación usando DEM de 90m Precipitación: apoyo con la salida del modelo	Temperatura: Corrección orográfica con interpolación usando DEM de 30m Precipitación: Cobertura de suelos Corine Land Cover	Mayor resolución espacial: precipitación 0.0487 m; temperatura: 0.0330 m.
Método de construcción	Secuenciales	Paralelo	Acartar el tiempo entre el desarrollo de escenarios de emisiones y el uso de los escenarios climáticos
Número de escenarios	3 (A2, B2 y A1B)	4 (RCP 2.6, 4.5, 6.0, 8.5)	Menor incertidumbre
Nivel de detalle de los resultados	Mapas nacionales (1:500.000)	Mapas nacionales, regionales y departamentales (1:100.000)	Mejores resultados para apoyar la toma de decisiones a nivel regional
Supuestos del modelo	Escenarios socioeconómicos	Supuestos: caminos representativos de concentración de emisiones. Balance adaptación - mitigación	Incluye el efecto positivo de acciones de mitigación.

Fuente: IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA, 2015

¹⁰ Los nuevos Escenarios RCP-AR5, pueden contemplar los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del Siglo XXI (balance entre emisión y mitigación).

Bibliografía

- Arana, J. A. (2015). Tres claves para adaptar el cultivo de la caña de azúcar a la variabilidad y al cambio climático en Colombia - Aclímate Colombia. Retrieved November 25, 2019, from <http://www.aclimatecolombia.org/tres-claves-para-adaptar-cultivo-cana-cambio-climatico-en-colombia/>
- Asocaña. (2019a). Aspectos generales del sector agroindustrial de la caña 2018-2019. In 2019. <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
- Asocaña. (2019b). El Sector Azucarero Colombiano En La Actualidad. Retrieved May 6, 2020, from Sector agroindustrial de la caña website: <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Asocaña. (2019c). Sector Agroindustrial de la Caña En la actualidad. Retrieved November 24, 2019, from <https://www.asocana.org/publico/info.aspx?Cid=215>
- Burnson, P. (2016). Wakeup Call on Climate Change Sounded by Datamyne. Retrieved December 2, 2019, from <https://www.scmr.com/article/supply>
- CANIZALES ACOSTA, V., & ESTRADA T., L. F. (2013). *DIAGNÓSTICO DE LA PERCEPCIÓN SOBRE LOS RIESGOS OPERACIONALES CAUSADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO*. Icesi.
- CAR, & Universidad Nacional de Colombia. (2018). *Análisis de la vulnerabilidad territorial ante el cambio climático*. 74.
- Casas Flores, R. (2012). *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Retrieved from https://books.google.co.cr/books?id=h8_qVzloJ00C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=true
- Cenicaña. (2018). Cultivo de la caña de azúcar. *Cultivo de La Caña de Azúcar*, 16. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.156871>
- Chow, V. Te. (1951). A general formula for hydrologic frequency analysis. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 32(2), 231–237. <https://doi.org/10.1029/TR032i002p00231>
- COLPRENSA. (2017). Colombia, un país expuesto a desastres como el de Mocoa por vulnerabilidad al cambio climático. Retrieved May 22, 2020, from <https://www.elpais.com.co/colombia/un-pais-expuesto-a-desastres-como-el-de-mocoa-por-vulnerabilidad-al-cambio-climatico.html>
- CVC, Gobernación del Valle del Cauca, & CIAT. (2018). *Plan Integral de Cambio Climático para el Valle del Cauca PICC*. Retrieved from

<https://www.valledelcauca.gov.co/codeparh/publicaciones/62659/el-valle-del-cauca-cuenta-con-un-plan-departamental-de-cambio-climatico-hasta-el-ano-2040/>

DANE. (2019). *Producto Interno Bruto*.

DNP. (2014). *Impactos económicos del cambio climático en Colombia*. 26. Retrieved from <http://www.dnp.gov.co>

DNP. (2018). Plan Nacional de Adaptación. Retrieved November 24, 2019, from <https://www.dnp.gov.co/programas/ambiente/CambioClimatico/Paginas/Plan-Nacional-de-Adaptacion.aspx>

FAO. (2016). El rol de los suelos frente a las inundaciones - Revista Chacra. Retrieved March 27, 2020, from <https://www.revistachacra.com.ar/nota/el-rol-de-los-suelos-frente-a-las-inundaciones/>

Gaibor, P. (2017). Ecuador, Colombia y Honduras serán premiados en la COP23 por tener proyectos de acción climática. Retrieved December 2, 2019, from <https://www.dw.com/es/ecuador-colombia-y-honduras-seran-premiados-en-la-cop23-por-tener-proyectos-de-accion-climatica/a-41172914>

Gaona, M. A., & Rodríguez, D. F. (2016). Por cambio climático, Valle del Cauca perdería un piso térmico - UNIMEDIOS: Retrieved May 22, 2020, from Universidad Nacional de Colombia website: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/por-cambio-climatico-valle-del-cauca-perderia-un-piso-termico.html>

Hassan, A., Pittock, S. J., & Ahlskog, J. E. (2014). Steroid-responsive post-traumatic dystonia: A video case report. *Parkinsonism and Related Disorders*, 17(2), 130–132. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2010.10.009>

Hernández, F. (n.d.). Efecto de las lluvias en la agricultura. Retrieved May 5, 2020, from https://www.agro-tecnologia-tropical.com/las_lluvias.html

IDEAM. (n.d.). *CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS Y LAS TIERRAS CONSIDERACIONES GENERALES*.

IDEAM. (2014). ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO. Retrieved November 24, 2019, from <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/escenarios-cambio-climatico>

IDEAM. (2016). Fenomeno Niño y Niña - IDEAM. *Siac*. Retrieved from <http://www.siac.gov.co/ninoynina>

IDEAM. (2017). *Boletín 25: 100% de los municipios de Colombia en riespo por el cambio climático*. 14. Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=1da3fc52-3621-e5e7-5d13->

3db4a075d502&documentId=46484899-78b5-3849-a39b-12685d9307aa

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2015). Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100. In *BMC Genetics* (Vol. 13). <https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-58>

INCAUCA S.A.S. (2004). Procesos de Incauca S.A.S. Retrieved November 24, 2019, from <https://www.incauca.com/es/procesos/>

Ingenio Providencia S.A. (2016). Procesos Ingenio Providencia. Retrieved May 22, 2020, from <https://www.ingprovidencia.com/es/procesos/>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2016). Vulnerabilidad al cambio climático | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático | Gobierno | gov.mx. Retrieved November 25, 2019, from Web page website: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-80125>

IPCC. (2007). Proyecciones de Futuros Cambios Climáticos. Retrieved May 22, 2020, from IPCC website: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/spmssp-6.html

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (n.d.). Retrieved November 25, 2019, from https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml

Mayorga Márquez, R., & Hurtado, G. (2016). *LA SEQUÍA EN COLOMBIA*. Retrieved from http://www.ideam.gov.co/documents/21021/69501251/NotaTécnicaSequia_2006.pdf/34a6a10e-a8f7-4ca9-83e0-87894f081223?version=1.0

Minambiente. (2015). *Colombia Hacia la COP 21*. Retrieved from <http://www.minambiente.gov.co/index.php/convencion-marco-de-naciones-unidas-para-el-cambio-climatico-cmnucc/colombia-hacia-la-cop-21-cop-22>

Minambiente, & Universidad Nacional de Colombia. (2017). Amenazas, riesgos, vulnerabilidad y adaptación frente al cambio climático. In *Guayana Sustentable* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1111/j.1365-263X.2011.01212.x>

Mincomercio. (2019). *Perfiles económicos departamentales*.

Ministerio Ambiente y Desarrollo Sostenible- República de Colombia. (2019). Plan Nacional de Adaptación PNACC | Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Retrieved May 6, 2020, from <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=476:plantilla-cambio-climatico-32>

Naciones Unidas. (2019). Cambio climático. Retrieved November 24, 2019, from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>

- Noticiero 90 Minutos. (2016). Caudal del Río Cauca está en nivel crítico por el ‘Niño.’ Retrieved May 22, 2020, from <https://90minutos.co/caudal-del-rio-cauca-esta-en-nivel-critico-por-el-nino/>
- Oviedo Torres, B., & León Aristizábal, G. (2010). *GUÍA DE PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL Y LOCAL A PARTIR DE LOS MODELOS GLOBALES*. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Guía+Escenarios+Cambio+Climatico.pdf/72eae24f-04ea-4ce2-9a4b-e551559c48fc>
- Pabón Caicedo, J. D. (2012). CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA: TENDENCIAS EN LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XX Y ESCENARIOS POSIBLES PARA EL SIGLO XXI. Retrieved May 5, 2020, from Grupo de Investigación Tiempo, clima y sociedad, Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia website: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082012000200010
- Pardo, C. I. (2017). Algunos efectos del cambio climático en la economía colombiana | Economía | Portafolio. Retrieved November 24, 2019, from <https://www.portafolio.co/economia/algunos-efectos-del-cambio-climatico-en-la-colombiana-507735>
- Paul M. Muchinsky. (2012). SUPPLY CHAIN MANAGEMENT Y LOGÍSTICA EN LA EMPRESA “INGENIO CARMELITA S.A” (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Pérez, M. A., Peña, M. R., & Alvarez, P. (2011). Agro-industria cañera y uso del agua: Análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en colombia. *Ambiente e Sociedade*, 14(2), 153–178. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2011000200011>
- Posada, C. C. (2007). La adaptación al cambio climático en Colombia. *Revista de Ingeniería*, unknown(26), 74–80. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i26.298>
- Procaña. (2015). Historia de la Caña. Retrieved November 24, 2019, from <https://www.procana.org/new/quienes-somos/historia-de-la-cana-de-azucar.html>
- ProColombia. (n.d.). La oferta del sector agrícola colombiano | Colombiatrade - Compradores. Retrieved November 25, 2019, from <http://www.procolombia.co/compradores/es/explore-oportunidades/oferta-del-sector-agr-cola>
- Thorpe, J. (2012). *Riesgos del cambio climático y Responsabilidad en la cadena de suministro: ¿Cómo deben reaccionar las empresas cuando los pequeños*

productores que forman parte de su cadena de suministro se ven afectados por fenómenos meteorológicos extremos?

United Nations. (2019). Cambio climático | Naciones Unidas. *Portada / Asuntos Que Nos Importan / Cambio Climático*, p. 4. Retrieved from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>