

**PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN
ÁREAS INUNDABLES DEL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA**

MARICELA TREJOS ARROYAVE

**Directores del Proyecto
Ph.D. NORBERTO URRUTIA COBO
M,Sc. CARLOS ALBERTO RAMÍREZ CALLEJAS**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
MAESTRIA EN INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
AGOSTO DE 2014**

CONTENIDO GENERAL

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I. MOTIVACIÓN.....	4
CAPÍTULO II. CONCEPTOS GENERALES.....	9
CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN BIOFISICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	18
CAPÍTULO IV. DINÁMICA DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	45
CAPÍTULO V. IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO ECONOMICO CAUSADO POR LAS INUNDACIONES SOBRE EL SECTOR AGRICOLA EN EL AREA DE ESTUDIO	52
CAPÍTULO VI. PLANTEAMIENTO Y EVALUACION DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, EN ÁREAS INUNDABLES DEL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA.....	63
CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
CAPÍTULO VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	84
CAPITULO IX. ANEXOS.....	90

TABLA DE CONTENIDO

1. MOTIVACIÓN	5
1.1 Planteamiento del Problema	5
1.2 Justificación y Antecedentes	5
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo General:	7
1.3.2 Objetivos Específicos:	7
1.4. Metodología	7
1.4.1 Fase I – Caracterización biofísica del área de estudio.....	7
1.4.2 Fase II – Caracterización de la dinámica del uso del suelo en el área de estudio.....	7
1.4.4 Fase IV – Planteamiento y evaluación de sistemas de producción agrícola, mediante un modelo se simulación de cultivos en áreas inundables del valle alto del río cauca	8
2. CONCEPTOS GENERALES	11
2.1 Cambio Climático (CC)	11
2.2 Variabilidad Climática (VC)	12
2.3 Fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS)	12
2.4 Inundaciones	13
2.5 Gestión Integrada de Inundaciones (GII).....	14
2.6 Ronda Hídrica (RH)	15
2.7 Sistemas de Producción Agrícola	15
2.8 Modelos de Simulación de Cultivos	17
3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	20
3.1 Caracterización Biofísica	25
3.1.1 Geomorfología	25
3.1.2 Ecosistemas.....	28
3.1.3 Clima.....	31
3.1.3.1 Precipitación	31
3.1.3.2 Evapotranspiración Potencial	32
3.1.3.3 Temperatura	33
3.1.3.4 Brillo solar	33

3.2 Recurso Hídrico Superficial	34
3.2.1 Balance Oferta-Demanda	35
3.3 Recurso Suelo	36
3.3.1 Uso Potencial del Suelo	37
3.3.2 Cobertura y Uso Actual del Suelo.....	39
3.3.3 Conflicto de Uso del Suelo	43
4. DINÁMICA DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO	47
5. IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO ECONOMICO CAUSADO POR LAS INUNDACIONES SOBRE EL SECTOR AGRICOLA EN EL AREA DE ESTUDIO	54
5.1 Identificación de Zonas Inundables en el Área de Estudio.	54
5.2 Valoración de las Pérdidas Económicas del Sector Agrícola en el Valle del Cauca por la Ola Invernal 2010-2011	57
6. PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, MEDIANTE UN MODELO SE SIMULACIÓN DE CULTIVOS EN ÁREAS INUNDABLES DEL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA.	65
6.1 Establecimiento de Criterios y Principios	65
6.2 Planteamiento de Configuraciones Agrícolas Productivas	66
6.3 Análisis de las pérdidas económicas de las configuraciones productivas en la franja critica de inundación.....	70
6.3.1 Frontera de Inundación Crítica en el Área de Estudio	70
6.3.2 Análisis de las Pérdidas Económicas de la Configuración Productiva Propuesta	75
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
7.1 Conclusiones	80
8. BIBLIOGRAFÍA.....	85
9. ANEXOS.....	90

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Uso y cobertura de los suelos del Valle del Cauca.....	23
Tabla 2. Producción en toneladas de los principales cultivos en el departamento del Valle del Cauca, 2011.	24
Tabla 3. Áreas inundadas en el Valle del Cauca entre 1950 y 2011	24
Tabla 4. Uso Potencial del Suelo en el Valle del Cauca	37
Tabla 5. Cobertura del suelo en el valle alto del río Cauca por debajo de 1.200 msnm.....	40
Tabla 6. Variación en el tiempo de las áreas cultivadas en el Valle del Cauca	41
Tabla 7. Área de producción agrícola sembrada en el Valle del Cauca (2000-2012).....	41
Tabla 8. Resumen de las inundaciones históricas presentadas en el valle alto geográfico del río Cauca.....	56
Tabla 9. Municipios y departamentos que reportan afectaciones por el Fenómeno de La Niña 2010-2011	58
Tabla 10. Pérdidas en la producción como consecuencia de la ola invernal 2010.....	58
Tabla 11. Pérdidas económicas (mil millones de pesos) en cultivos transitorios, permanentes	59
Tabla 12. Pérdidas en cultivos permanentes en Colombia (mil millones de pesos).....	60
Tabla 13. Ingresos perdidos por usos del suelo en el corredor de conservación del río Cauca	60
Tabla 14. Área, producción y pérdidas en la ola invernal en el norte del Valle del Cauca	62
Tabla 15. Configuración productiva propuesta por municipio.....	68
Tabla 16. Estimación de área afectada y perdidas económicas de la configuración productiva Propuesta – Escenario pérdida total del rendimiento productivo	76
Tabla 17. Estimación de área afectada y perdidas económicas de la configuración productiva propuesta – escenario pérdida del 50% del rendimiento productivo	76
Tabla 18. Estimación de área afectada y perdidas económicas del sistema productivo de la caña de azúcar	77
Tabla 19. Mano de obra por cultivo.....	77

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Perfil General Longitudinal de la Cuenca del río Cauca	21
Figura 2 Localización General de la Zona de Estudio	21
Figura 3. Unidades Morfológicas del Valle Alto de Río Cauca	28
Figura 4. Ecosistemas del Valle Alto del Río Cauca	30
Figura 5. Distribución de la Precipitación Media Anual con Probabilidad de exceso de 75% en el Valle del río Cauca, Valores Estimado con Base en Registros.	32
Figura 6. Distribución de la Evapotranspiración Media Anual en el Valle del Río Cauca.....	33
Figura 7. Red hídrica del Río Cauca en el Valle Alto del Río Cauca.	36
Figura 8. Uso Potencial del Suelo en Valle Alto Geográfico del Río Cauca.....	39
Figura 9. Dinámica Productiva de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca (1990-2009).	42
Figura 10. Uso Actual del Suelo en Valle Alto del Río Cauca	43
Figura 11. Área Sembrada por Cultivo en el Valle del Cauca en el Período 1987-2012.....	49
Figura 12. Área Sembrada y Cosechada en el Período 2000-2012	50
Figura 13. Área Sembrada y Cosechada en Caña de Azúcar en el Valle Alto del Río Cauca	51
Figura 14.Frecuencia de Inundación del Valle Alto del Río Cauca	55
Figura 15. Zona Priorizada Estudio CORPOICA.	62
Figura 16. Cultivos Propuestos – Excelencia Productiva por Municipio.	69
Figura 17. Grado de Amenaza a Inundación de la Configuración Productiva Propuesta.	72
Figura 18.Frecuencia de Inundación en la Configuración Productiva Propuesta	73
Figura 19.Escenario Crítico de Probabilidad a Inundación, en la Configuración Productiva Propuesta	74

AGRADECIMIENTOS

- A Dios, porque el principio de la sabiduría está en él.
- A La Universidad del Valle.
- A La Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente EIDENAR.
- A La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Al Ingeniero Carlos Ramírez Callejas. Director trabajo de grado.
- Al Ingeniero Norberto Urrutia Cobo. Director trabajo de grado.
- A mi familia, amigos y compañeros.

DEDICATORIA

Este gran esfuerzo académico y personal se lo dedico a:

Dios por enseñarme a confiar más en él.

A mi Mama Aracelly Arroyave Toro, por la fuerza que me da cada día su ejemplo, por creer en mí y apoyarme en todo.

A mi Esposo Giovanni Cortes Salinas, por ser mi compañía ideal, por su paciencia y apoyo incondicional en este proceso

A mi amiga Yuliana Solarte Gonzalez, por ser esa voz de esperanza que me acompaña.

A mi amiga María Fernanda Velázquez Benjumea, por creer en mí cada día y enseñarme a soñar en grande.

A mis profesores Carlos Ramírez, Jaime Díaz y Norberto Urrutia por sus enseñanzas y el aprecio que me demuestran al exigir de mí cada día más.

Con el fin de proponer soluciones a los problemas en el sector agrícola causados por las inundaciones periódicas en el valle alto del río Cauca, se plantearon y evaluaron, mediante un modelo de simulación de cultivos, varias alternativas de producción. Con ello se busca establecer un mejor uso del suelo, aumentar la diversidad productiva y disminuir las pérdidas económicas del sector originadas por las inundaciones. Con este propósito inicialmente se realizó la caracterización biofísica, hidrodinámica y de usos del suelo (actual y potencial) en el área de estudio y su dinámica espacial y temporal. También se identificaron las zonas afectadas por las inundaciones y la frecuencia de inundación de las mismas durante las últimas seis décadas. Asimismo, se identificaron las áreas más afectadas durante la ola invernal del periodo 2010-2011 y se cuantificaron las pérdidas económicas del sector agrícola, permitiendo establecer el escenario actual de esta problemática.

Posteriormente se aplicó el modelo de simulación de cultivos ECOCROP, a través del software DIVA-GIS, para modelar el rendimiento productivo de diferentes especies frutales en el área de estudio, seleccionadas considerando las recomendaciones del Plan Frutícola del Valle del Cauca. Los resultados de la modelación permitieron identificar las diferentes zonas del valle alto del río Cauca idóneas para el desarrollo vegetativo y óptimo rendimiento productivo de los diferentes cultivos evaluados. Con base en los resultados obtenidos se plantearon varias alternativas o configuraciones de producción agrícola, distribuidas espacialmente teniendo en cuenta el rendimiento productivo, el uso potencial del suelo y las áreas actualmente sembradas con los cultivos evaluados. Finalmente se estimaron las pérdidas económicas que se tendrían en cada una de las alternativas de producción agrícola propuestas a causa de una inundación, considerando para ello tanto la pérdida parcial como la pérdida total de la producción esperada.

Los resultados obtenidos muestran los beneficios que generarían las diferentes configuraciones agrícolas productivas propuestas, por cuanto permitirían un mejor uso del territorio, teniendo en cuenta que la distribución de cultivos propuestas se fundamentan principalmente en el uso potencial de los suelos del valle alto del río Cauca; igualmente permitirían incrementar la diversidad de especies o cultivos productivos, ayudando al crecimiento y fortalecimiento del sector agrícola, puesto que no dependería de un solo cultivo; y además reduciría las pérdidas económicas del sector agrícola debido a que la implantación de los cultivos propuestos generarían diferentes rendimientos productivos por hectárea, fluctuación en los precios de venta de las cosechas y grados de tolerancia diferentes frente al estrés hídrico por inundación.

El cambio climático y la variabilidad climática son algunos de los desafíos más complejos de comienzos de este siglo. Ningún país está inmune, ni puede por sí solo enfrentar los retos que plantean estos fenómenos climáticos entre los que se incluyen decisiones políticas controvertidas y un cambio tecnológico imprescindible. Este tema en los últimos años ha despertado el interés de investigadores de diversas disciplinas y tomadores de decisiones que buscan entender sus causas y evidenciar sus efectos. Los avances en esta materia permitirán tener una mejor comprensión de la interacción entre el ambiente y la sociedad, en miras de alcanzar un consenso entre los sectores académico, técnico, científico y tomadores de decisión (Banco Mundial, 2010).

La alteración de los patrones climáticos evidencia que a medida que se calienta el planeta cambian las pautas de las precipitaciones y se multiplican los episodios extremos como sequías, inundaciones e incendios forestales. La Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL- (2007), junto con otra serie de instituciones, manifiestan que las inundaciones son el evento más frecuentemente observado en Latinoamérica, como evento asociado al cambio climático y/o variabilidad climática. Por ello es importante la implementación de estrategias que incluyan a todos los sectores afectados con el fin de identificar las posibles soluciones de adaptación a este grave problema.

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos, ya que los factores climáticos indispensables para el crecimiento de los cultivos, como son la precipitación y la temperatura, se verán severamente afectados e impactarán sobre la producción agrícola. Se estima que la fluctuación de los patrones climáticos afectará indudablemente la producción y la productividad agrícola de diferentes maneras, dependiendo de los tipos de prácticas agrícolas, sistemas y período de producción, cultivos, variedades y zonas de impacto. Por lo tanto y con el fin de minimizar los impactos, se requiere plantear y evaluar diferentes estrategias y medidas, como pueden ser: identificar variedades de cultivos capaces de soportar crisis climáticas, diversificar los medios de subsistencia de la población rural, mejorar el manejo de los bosques e invertir en sistemas de información (IICA, 2007).

La variabilidad climática representada por el fenómeno del ENOS (Efecto del Niño Oscilación Sur), está directamente relacionada con los eventos y variaciones extremas de la temperatura y la precipitación en el planeta. En Colombia la fase cálida del ENOS (El Niño) está asociada a sequías y la fase fría (La Niña) a un índice alto de precipitaciones. CORPOICA (2012) manifiesta que la excesiva precipitación asociada al fenómeno de La Niña que inició en el año 2010 y se prolongó hasta mayo de 2011, afectó de manera especial al sector agropecuario colombiano, provocando desbordamientos, desde quebradas de régimen intermitente hasta ríos de gran magnitud, como el Cauca y el Magdalena.

En el Valle del Cauca se identificó que la elevación de los niveles de agua del río Cauca por encima de la corona de los diques marginales de protección y la ruptura de algunos tramos de estos, junto con el aumento del nivel freático en los suelos, fueron causas visibles que provocaron la inundación de zonas cultivadas y cultivables, ocupando aproximadamente 40.000 hectáreas, dispuestas en ambos márgenes del río. Esta situación ocasionó grandes pérdidas al sector productivo agrícola e igualmente mostró la vulnerabilidad del sector frente a eventos climáticos extremos y la baja capacidad de adaptación y mitigación (Corpoica, 2012).

Por lo tanto, es importante que las políticas agrarias del país y del departamento del Valle del Cauca se enfoquen no sólo en la satisfacción de la seguridad alimentaria sino también en el aumento de la resiliencia al cambio climático de los sistemas de producción. Es probable que los enfoques integrales ecosistémicos sean útiles para equilibrar múltiples metas en los sistemas de uso de la tierra y alimentos, de las que la adaptación y la mitigación son parte ineludible hoy en día.

La agricultura ofrece un sinnúmero de oportunidades para tener resultados simultáneos en el aumento de la resiliencia agrícola al cambio climático y de la producción de alimentos. Las prácticas integradas y ecológicas en agricultura van dirigidas a alcanzar estas metas de forma eficiente y a costos más reducidos. Fortalecer los sistemas actuales de monitoreo y evaluación agrícola es esencial para implementar medidas efectivas de respuesta al clima y determinar la efectividad de las diferentes prácticas (Naranjo, 2010).

En la presente investigación se plantearon y evaluaron, mediante un modelo de simulación de cultivos, diferentes sistemas de producción agrícola en áreas inundables del valle alto del río Cauca con el fin de ofrecer posibles soluciones al sector agrícola del departamento y disminuir el impacto de las inundaciones.

CAPÍTULO I

MOTIVACIÓN

1. MOTIVACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

¿Cuáles sistemas de producción agrícola se pueden plantear en el Valle Alto del Río Cauca con el fin de minimizar las pérdidas económicas asociadas a la producción agrícola, debido a las inundaciones por el desbordamiento del río Cauca?

1.2 Justificación y Antecedentes

El cambio climático es un problema con características únicas, ya que es de naturaleza global, sus impactos mayores serán en el largo plazo e involucrarán interacciones complejas entre procesos naturales (fenómenos ecológicos y climáticos) y procesos sociales, económicos y políticos a escala mundial (Martínez *et al.*, 2004). La fluctuación de la temperatura en el planeta en los últimos años ha generado cambios irreversibles en las pautas de las precipitaciones y cada vez se presentan con mayor frecuencia episodios extremos como sequías, inundaciones e incendios forestales, que afectan a millones de personas en el mundo al igual que cientos de áreas de producción agropecuaria e industrial, provocando el colapso de economías y evidenciando el alto grado de vulnerabilidad de las distintas regiones ante estos fenómenos.

Ante esta problemática se requiere identificar, generar e implementar nuevas metodologías, formas y estrategias que permitan afrontar dicho cambio, como puede ser el diseño y construcción de infraestructura capaz de resistir las nuevas condiciones y sustentar a un número mayor de personas, hasta la construcción de prácticas que permitan optimizar los limitados recursos de tierras y aguas para suministrar alimentos suficientes y al mismo tiempo preservar los ecosistemas naturales. Dichas temáticas deben ser tratadas como interrelacionadas, inseparables y multicausales; su manejo demanda la conformación de equipos interdisciplinarios, interinstitucionales e intersectoriales para plantear soluciones integrales (Sedano *et al.*, 2012).

Entre los años 2010 y 2011, Colombia afrontó las más fuertes consecuencias del fenómeno de la Niña desde 1956, este fenómeno natural fue el causante de fuertes precipitaciones que provocaron devastadoras inundaciones en todo el territorio nacional (IDEAM, 2011). Las extensas inundaciones y deslizamientos de tierra ocasionados por este fenómeno climático, generaron graves impactos sociales, ambientales y económicos en el país. Entre los diferentes sectores productivos, la agricultura fue el sector más afectado; se estima que por lo menos un millón de hectáreas dedicadas a la ganadería y a la producción de cultivos transitorios y permanentes, base de la seguridad alimentaria y la productividad agrícola del país, fueron afectadas por los desbordamientos de los ríos y las fuertes lluvias que se presentaron en ese periodo (Corpoica, 2011).

Uno de los departamentos más afectados por la ola invernal 2010-2011 fue el Valle del Cauca, donde el área de producción agrícola inundada abarcó aproximadamente 40.000 ha y los principales cultivos afectados fueron caña de azúcar, pastos, maíz, soya, sorgo y frutales. La zona plana del departamento se vio afectada por efectos de las inundaciones y elevación de los niveles freáticos; la mayoría de los cultivos que se encuentran establecidos en esta zona están asentados en el área de retiro del río Cauca, que corresponde geomorfológicamente a sitios de depósito y la planicie aluvial (Corpoica, 2012).

Puesto que está comprobada la vulnerabilidad del sector agrícola frente a los eventos climáticos extremos resulta necesario diseñar, evaluar e implementar acciones tendientes a mejorar la resiliencia de los sistemas productivos, mediante arreglos espaciales y funcionales de los cultivos y otras prácticas, tales como conservación de suelos, agua y especies, que ayuden a aumentar su capacidad de adaptación. Igualmente se debe procurar disminuir la sensibilidad de los mismos evaluando la mejor utilización de las tierras de acuerdo con el sistema de producción y sus requerimientos particulares de agua y temperatura, e inclusive evaluar la reducción de la exposición (Villalobos *et al.*, 2003).

Como estrategia de mitigación a los impactos generados por el cambio climático y/o la variabilidad climática al interior del departamento del Valle del Cauca, en el año 2011 la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) inició, en cooperación con el gobierno de Holanda, un proyecto piloto en la zona hidrográfica del Alto Cauca cuyo objetivo es la construcción de un modelo conceptual para la restauración del corredor de conservación y uso sostenible del sistema río Cauca en su valle alto, considerando escenarios de cambio climático. En este proyecto también se abordará el problema de las inundaciones generadas por los desbordamientos del río Cauca y sus tributarios.

En el marco de esta cooperación estratégica, la presente investigación pretende plantear y evaluar, mediante un modelo de simulación de cultivos, diferentes sistemas de producción agrícola en áreas inundables del Valle Alto del Río Cauca debido al desbordamiento del río Cauca, con el fin de identificar para la zona fronteras de producción más adaptables al cambio. Esta propuesta está basada en los principios de la Gestión Integrada del Riesgo de Inundaciones, la cual manifiesta que la implementación de medidas estructurales y no estructurales son pieza clave para abordar de forma sistémica la problemática asociada a las inundaciones; en este sentido, el planteamiento de sistemas de producción agrícolas más resistentes al cambio climático constituye una medida no estructural importante para nuestro departamento.

En esta investigación se contemplaron como antecedentes las siguientes iniciativas, proyectos y estrategias.

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) y el Centro de Investigación de Agricultura Tropical (CIAT), con apoyo de la Alianza Clima y Desarrollo (CDKN por sus siglas en inglés), desarrollaron el *Proyecto Análisis Interinstitucional y Multisectorial de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático para el Sector Agrario en la Cuenca Alta del Cauca (AVA)*, en el cuál se formuló una metodología para cuantificar y analizar la vulnerabilidad del territorio y de los sistemas productivos; esta promueve la planificación integral de los procesos productivos, la sostenibilidad y la conservación de la cuenca alta del río Cauca. Estudio que propicio las condiciones técnicas y científicas requeridas para garantizar la adaptación y permanencia de los encadenamientos productivos de mayor relevancia en la Cuenca Alta del río Cauca, bajo los escenarios de cambio climático en el mediano y largo plazo.

Actualmente el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) están trabajando en la generación de una línea base de información a través de indicadores socioeconómicos y productivos en tres países de la región andina como son Ecuador, Perú y Colombia. Esta pretende implementar metodologías que contribuyan a la creación de un mapa socioeconómico enfocado en la producción agrícola por medio de la identificación de estrategias de planeación viables que permitan generar un plan de adaptabilidad con base en una línea de información proveniente de fuentes oficiales.

Entre el 2010 y el 2012, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) ejecutó el proyecto Estrategias de Respuesta para Mitigar el Impacto de las Inundaciones sobre la Agricultura en Colombia. Una de las áreas de investigación sobre las que ahondó esta estrategia fue la rehabilitación de la capacidad productiva de los suelos afectados por las inundaciones. Esta iniciativa proporcionó información relacionada con la generación de mapas de riesgo sobre la afectación de los sistemas agropecuarios en las zonas inundadas y adyacentes, incluyendo las laderas y la caracterización de los problemas de contaminación de suelos y agua y definió un plan de manejo que incluye la identificación de estrategias de remediación y recuperación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General:

Plantear y evaluar, mediante un modelo de simulación de cultivos, diferentes sistemas de producción agrícola en áreas inundables del Valle Alto del Río Cauca

1.3.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Caracterizar biofísica del área de estudio
- ✓ Caracterizar la dinámica del uso del suelo en el área de estudio
- ✓ Identificar el impacto económico causado por las inundaciones al sector agrícola del área de estudios durante el 2010 y 2011
- ✓ Plantear y evaluar sistemas de producción agrícola alternativos mediante un modelo de simulación de cultivos en áreas inundables del Valle Alto del río Cauca

1.4 Metodología

La presente investigación es una estrategia que busca recuperar, conservar las áreas circundantes al río Cauca, de forma sistémica, esperando integrar la producción agrícola con el comportamiento fluctuante de los niveles del río e igualmente busca estrategias para la adaptación del sector agrícola al cambio climático y/o la variabilidad climática. Esta se desarrolló en cuatro fases:

1.4.1 Fase I – Caracterización biofísica del área de estudio

Se realizó una extensa revisión bibliográfica relacionada con estudios e investigación desarrollados sobre el área de estudio por instituciones como la CVC, CORPOICA, el Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA) y en los grupos de investigación de la Escuela EIDENAR de la Universidad de Valle, se procedió a identificar las áreas contiguas al río Cauca con el fin de establecer criterios de valoración hidrodinámica, ecosistémica y biofísica.

Entre los documentos consulados se sistematizó información relacionada con la geomorfología del río Cauca, los ecosistemas circundantes a la zona de estudio, el comportamiento de las variables climáticas (precipitación, evapotranspiración, temperatura y brillo solar), la disponibilidad del recurso hídrico y el recurso suelo identificado (uso potencial, uso actual y conflicto de uso), el análisis de las características permitió caracterizar biofísicamente el área de estudio.

1.4.2 Fase II – Caracterización de la dinámica del uso del suelo en el área de estudio

Para caracterizar la variación espacial y temporal del uso del suelo del área de estudio, se partió de los principios básicos de la Metodología de Zonificación Agroecológica de la FAO (1997), la cual establece criterios de valoración a partir de la identificación de la unidad cartográfica de suelos y la conformación de un inventario de recursos de tierras (que parte de la selección de los tipos de uso del suelo).

Igualmente se contó con el Levantamiento de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento del Valle del Cauca -CVC-IGAC, 2004, estudio que expone la clasificación de las tierras por su capacidad de uso, el uso actual, el uso adecuado y conflicto de uso de las tierras en el departamento. Dicha información se completó con informes periódicos de la CVC sobre los uso del suelo en las cuencas del departamento del Valle del Cauca e información proporcionada por la Encuesta Nacional Agropecuaria ENA-2012 realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), entre otras fuentes. En esta fase se evaluó a través de información secundaria el estado actual del uso de suelo en el área de estudio con el fin de identificar su vulnerabilidad frente a eventos extremos como las inundaciones.

✓ 1.4.3 Fase III Identificación del impacto económico causado por las inundaciones al sector agrícola del área de estudios durante el 2010 y 2011

Para esta fase se compiló información meteorológica y estadísticas de las inundaciones en el departamento desde 1983 hasta la fecha, con especial énfasis en la pasada ola invernal 2010-2011, la mayoría de estos estudios fueron desarrollados por la por la CVC y el grupo de Investigación HIDROMAR de la Universidad del Valle. Otras fuentes de información fueron CORPOICA, la cual cuenta con un amplio sistema de información que permite identificar, cuantificar y analizar los problemas relacionados con la producción agropecuaria, y el Sistema de Información Nacional del Sector Agropecuario (SIPSA), que proporciona información semanal de la fluctuación económica del sector agropecuario del país. Información que permitió identificar las áreas afectadas y los impactos generados en los sistemas de producción agrícola a causa de las inundaciones vividas en los años 2010 y 2011 , estableciendo así el escenario actual de esta problemática, al igual que las fluctuaciones económicas del sector en los periodos de inundaciones.

1.4.4 Fase IV – Planteamiento y evaluación de sistemas de producción agrícola, mediante un modelo de simulación de cultivos en áreas inundables del valle alto del río cauca

A partir de la información obtenida en el estado del arte, la identificación del estado actual del área estudio y su conjugación con información obtenida en las visitas de campo, se planteó el establecimiento de sistemas productivos alternos en la zona de estudio.

La selección de los cultivos, su evaluación y distribución espacial en los diferentes municipios del área de estudio se basó en los siguientes criterios: (i) Priorización productiva establecida en el Plan Frutícola Nacional 2006-2019”, el cual permitió identificar los cultivos más promisorio para el área de estudio; (ii) Evaluación del rendimiento productivo de cada cultivo mediante la simulación a través del modelo ECOCROP, la cual permitió identificar las áreas con mayor rentabilidad productiva de los cultivos propuesto; (iii) Uso potencial de los suelos en el área de estudio, el cual permitió proponer cultivos en áreas ambientalmente disponibles para tal fin; y, (iv) Área sembrada de cada cultivo en la actualidad en el departamento.

La simulación de la productividad de los diferentes cultivos seleccionados permitió identificar, en una primera etapa, los cultivos más propicios, teniendo en cuenta la información climática, fisiológica y del relieve de la zona, entre otras variables de entrada del modelo ECOCROP, permitió así establecer para cada cultivo una zonificación agroecológica idónea para su desarrollo productivo, clasificando las diferentes zonas según su productividad (excelente, muy sostenible, sostenible, marginal, muy marginal y no sostenible).

En este sentido se diseñaron una serie de alternativas productivas, las cuales se distribuyeron espacialmente en el área de estudio basándose en los resultados de modelación generada en ECOCROP por cultivo, el uso potencial del suelo y el área sembrada actual por cultivo al interior del área de estudio, información que proporcionó alternativas de producción agrícola basada en la diversidad de especies, el rendimiento productivo y en la sostenibilidad ambiental que le puede brindar la zona.

Para las alternativas de producción propuesta se identificó el área involucrada en la franja crítica de inundación que presenta la zona de estudio, la cual se establece según el grado de amenaza y frecuencia a inundación que presenta la zona, esperando así analizar las posibles pérdidas económicas que se generarían cada alternativa de producción ante una inundación, siendo este dato un criterio de decisión para la implementación de la alternativa a futuro en el área de estudio.

CAPÍTULO II

CONCEPTOS GENERALES

2. CONCEPTOS GENERALES

2.1 Cambio Climático (CC)

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de Río de Janeiro (1992) definió el cambio climático como «un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables». El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2001) lo define como un cambio en el estado del clima que se puede identificar a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente decenios o períodos más largos.

El cambio en los patrones del clima global constituye uno de los problemas ambientales más graves que enfrenta la humanidad en la actualidad. La causa fundamental de este fenómeno, se asocia al incremento sostenido de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera como resultado de procesos naturales y de la actividad humana (UNISDR, 2009).

El clima depende de un gran número de factores que interactúan de manera compleja. A diferencia del concepto tradicional de clima como promedio de algunas variables, hoy en día se piensa que es un estado cambiante de la atmósfera, mediante sus interacciones con el mar y el continente, en diversas escalas de tiempo y espacio (Martínez *et al.*, 2004).

El gran auge investigativo que se ha desatado en los últimos años sobre el estudio del cambio climático, sus causas y posibles efectos fluctuantes e interdependientes de múltiples factores, han llevado al planteamiento de nuevas estrategias que permitan y ayuden a identificar las fases que éste puede tener dentro de un ecosistema o una sociedad, en este sentido surgen las siguientes definiciones:

La mitigación se define como la intervención humana para reducir el forzamiento antropogénico del sistema climático; abarca diferentes estrategias encaminadas a reducir las fuentes y emisiones de gases efecto invernadero y a potenciar sus sumideros (IPCC, 2007).

Colombia aborda el tema de mitigación frente al cambio climático en el marco de la estrategia de sostenibilidad ambiental, dado que reconoce la responsabilidad que se debe tener sobre el manejo integral de los recursos naturales que permita la sostenibilidad de los bienes y servicios ambientales que sustentan la producción, en aras de fortalecer la capacidad sectorial para afrontar los retos que suponen una amenaza para la base productiva, tales como los eventos extremos ocasionados por el cambio climático. Dicha responsabilidad es abordada a través del Plan Estratégico Ambiental del Sector Agropecuario (PEASA), que busca *“establecer un marco estratégico que incorpore activamente la gestión ambiental en los sistemas productivos agropecuarios, promoviendo la competitividad en los mercados nacionales e internacionales y estimulando el uso sostenible de los recursos naturales y los agroecosistemas”* (MADR, 2010).

La vulnerabilidad es la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad a ser afectada o sufrir los efectos adversos en caso de que se manifieste una amenaza (Cardona, 2001). La vulnerabilidad se determina a partir de 2 factores:

- *Exposición o fragilidad física*: la ubicación de personas o bienes económicos en zonas propensas a amenaza, se caracteriza a través de la frecuencia, magnitud y duración;
- *Sensibilidad o fragilidad social*: la relación entre las condiciones humanas (capital social) y las condiciones ambientales (capital natural, riqueza suelo, agua, aire). (EIRD/ONU, 2011).

La adaptación al cambio climático es el ajuste que realizan los sistemas naturales o humanos en respuesta a los estímulos o efectos climáticos (reales o esperados). En términos generales, es la capacidad que tiene un sistema para ajustarse al cambio climático (incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos), con el fin de disminuir los daños potenciales, tomar ventaja de las oportunidades o contrarrestar las consecuencias (IPCC, 2007).

La adaptación al cambio climático es un tema importante y complejo que presenta desafíos, principalmente para los países en desarrollo, dado que los impactos del cambio climático ya están afectando dichos países, en particular a los pobres y más vulnerables, porque cuentan con menos recursos sociales, tecnológicos y financieros para la adaptación (UNDP, 2008). Además, el cambio climático afecta el desarrollo sostenible de los países, así como su capacidad de alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) para el año 2015.

2.2 Variabilidad Climática (VC)

De acuerdo al IPCC (2001), la variabilidad climática se entiende como las variaciones del estado medio o normal en los datos estadísticos de clima en todas las escalas temporales y espaciales más allá de fenómenos meteorológicos determinados. Dicha variabilidad puede tener origen en procesos internos naturales del sistema atmósfera-hidrosfera-criosfera-superficie terrestre-biosfera (variabilidad interna), o por orígenes externos naturales y/o antrópico (variabilidad externa), como erupciones volcánicas, variaciones solares o cambios en el uso del suelo. La variabilidad climática se ve expresada; por ejemplo en veranos e inviernos extremos cada cierto tiempo o la sucesión de inviernos suaves seguidos por un invierno muy fuerte, frío y húmedo (NOAA & TAO, 2011).

2.3 Fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS)

El Niño Oscilación Sur (ENOS) es un fenómeno océano-atmosférico de gran escala, que altera las condiciones normales del ámbito intertropical en el Océano Pacífico con impactos asociados que alteran el clima del planeta, y es una de las principales causas de la variabilidad climática interanual a nivel mundial (Ribstein, *et al.*, 1997). Los impactos que produce son considerables y duran varios meses. Entre ellos se destacan alteraciones en el hábitat marino, precipitaciones, inundaciones, sequías, cambios en los patrones temporales de las tormentas entre otros. Consta de dos fenómenos oceánicos principales: el calentamiento atípico de las aguas tropicales del Océano Pacífico, llamado popularmente fenómeno de El Niño, y por otro lado, el enfriamiento atípico de las mismas aguas, fenómeno conocido como La Niña (UNISDR, 2009).

La fase cálida del ENOS (*El Niño*) se refiere a temperaturas oceánicas por encima del promedio a lo largo de las costas de Ecuador, Perú y el norte de Chile, así como a lo largo de la zona ecuatorial del Pacífico oriental, que persiste en promedio 12 meses, con una recurrencia de 2 a 7 años, y la fase fría del ENOS (*La Niña*) se usa para designar el evento extremo opuesto a El Niño. Las características de La Niña son más frías que las condiciones normales del Pacífico Oriental, y más húmedas y cálidas que las condiciones normales en el Pacífico de la zona oeste (IDEAM, 2010). En Colombia la fase

cálida del ENOS (El Niño) está asociada a sequías y la fase fría (La Niña) a un índice alto de precipitaciones (Carvajal *et al.*, 2010).

En Colombia, el efecto del fenómeno ENOS en sus fases extremas influye drásticamente; ejemplo de eso fueron las excesivas precipitaciones asociadas al fenómeno de La Niña, el cual inició en el año 2010 y se prolongó hasta mayo de 2011, afectando de manera especial al sector agropecuario colombiano, provocando desbordamientos desde quebradas de régimen intermitente, hasta ríos de gran magnitud como el Cauca y el Magdalena. Dicho fenómeno climático dejó como resultado fuertes afectación al sector agrícola del país, como muestra de esto el departamento del Valle del Cauca fue uno de los departamentos más afectados por la inundación de zonas de producción agrícola, superando las 40.000 hectáreas de zonas productivas anegadas por el agua, algunas de las causas visibles asociadas a las inundaciones fueron la elevación de los niveles del río, la ruptura de algunos tramos del dique y el aumento del nivel freático en los suelos (Corpoica. 2012).

2.4 Inundaciones

Los procesos fluviales ocurren dentro del contexto de una cuenca hidrográfica y están relacionados con otros procesos geodinámicos, tales como la evolución de laderas, la erosión y el régimen de precipitaciones, entre otros. En condiciones normales, el caudal de los ríos fluctúa acorde con las entradas provenientes de estos procesos, en especial del volumen de las precipitaciones; de este modo, en los periodos de mayores precipitaciones los caudales se incrementan. El aumento del caudal requiere de cambios en el cauce para acomodar un mayor volumen de agua y sedimentos transportados, por lo que el canal del río debe variar su anchura, profundidad y velocidad (Mas-Pla & Bach, 2008). Cuando la descarga o caudal del río no puede acomodarse dentro de los márgenes normales del cauce se habla de la ocurrencia de inundaciones o crecidas.

Por lo tanto, las inundaciones son un fenómeno natural provocado por la persistencia de las lluvias en una región determinada que resulta en la anegación de vastas zonas y en el desbordamiento de corrientes de aguas superficiales, arroyos, quebradas, elevación del nivel freático (Velis *et al.*, 1991). Es decir, la ocupación que hace el agua de áreas normalmente secas cuando el nivel del agua sobrepasa el nivel del terreno de las orillas en los cauces de los ríos, lagos, acuíferos y océanos (OPS/OMS, 2006). Los ríos que poseen un buen desarrollo suelen formar una planicie o llanura de inundación. Se trata de áreas más o menos planas sobre las márgenes del río que son inundadas con alguna frecuencia; por su alta periodicidad estas inundaciones son esperadas y sus áreas de influencia conocidas, por lo que no representan mayor amenaza, excepto que se hagan usos intensivos de las mismas (Strahler, 1984).

Los efectos generados por los fenómenos naturales asociados a las inundaciones caracterizan y vislumbran los sectores más vulnerables de una sociedad o economía. Relacionando los últimos acontecimientos climáticos y su gran variabilidad y la ocurrencia de inundaciones en muchas áreas del mundo se ha identificado el sector de la agricultura como uno de los sectores más afectados e impactados en los últimos años (Banco Mundial, 2010). Dicho sector ha sufrido cuantiosas pérdidas económicas que obligan a analizar su alta vulnerabilidad, con el fin de identificar estrategias que conlleven a la mitigación y adaptación de tan neurálgico sector. Por lo tanto es necesario identificar metodologías que permitan evaluar los impactos generados en el sector agrícola por inundaciones periódicas. A continuación se listan algunos de los posibles impactos que pueden desencadenar la inundación o el anegamiento de un área agrícola:

- Destrucción o afectación de los cultivos que quedan cubiertos total o parcialmente por el agua durante varios días, a consecuencia del estrés hídrico excesivo
- Presencia de enfermedades y plagas como consecuencia de la humedad persistente en el terreno
- Saturación de los suelos o aumento significativo de la humedad de los mismos
- Pérdida de rendimiento agrícola de los cultivos y de la producción en general como consecuencia de los efectos anteriores

2.5 Gestión Integrada de Inundaciones (GII)

Se entiende la gestión integrada del recurso hídrico (GIRH) como un proceso que aspira al desarrollo y a la gestión coordinada de los recursos hídricos, del suelo y afines para optimizar el bienestar económico y social equitativamente, sin amenazar la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Igualmente la GIRH expone que el manejo de desastres socio-naturales asociados al agua, como lo son las inundaciones, son factor determinante para el desarrollo de una sociedad que busca soluciones adaptativas para beneficiarse de las inundaciones y disminuir su vulnerabilidad al peligro, promoviendo la coordinación en el aprovechamiento y manejo de recursos físicos, políticas, planes y los sistemas humanos (GWP, 2000).

En el marco de la GIRH se plantea la Gestión Integrada de inundaciones (GII) como concepto sistémico que tiene en cuenta la importancia económica y de desarrollo que representan las llanuras de inundación, la necesidad de optimizar el uso eficaz de los recursos de una cuenca fluvial y de reconocer los riesgos de pérdidas económicas y de vidas ocasionadas por las inundaciones. La GII debe tener un carácter participativo y multisectorial con el fin de identificar la mejor combinación de estrategias frente a las inundaciones (APFM *et al.*, 2009). Este enfoque de gestión plantea conjugar los usos del suelo y el recurso hídrico con la sociedad a través de la planificación y el ordenamiento territorial, para generar y seleccionar estrategias eficaces que conlleven a la formulación de planes integrales de la gestión del riesgo de inundaciones.

En el marco de la GII se plantean diferentes estrategias de solución a la problemática asociada a las inundaciones. Una de ellas son *las medidas de control de inundaciones*, las cuales se encuentran las obras estructurales y construcciones físicas, que buscan reducir o evitar los posibles impactos generados por el desbordamiento de una fuente hídrica a una sociedad o ambiente, este tipo de medidas son identificadas como *Medidas Estructurales*, que contemplan la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas de dicho fenómeno, las medidas estructurales comunes para la reducción del riesgo de inundaciones incluyen las presas, los embalses, los encauzamientos, los diques y los albergues en casos de evacuación (UNISDR, 2009).

Dado que las medidas estructurales no pueden ser proyectadas para dar una protección total a la problemática generada en una población o ambiente por una inundación, la mejor estrategia para el control de una inundación se consigue cuando se combinan las medidas estructurales con las *Medidas No Estructurales*, con el fin de dar una respuesta más holística, que permita la apropiación, identificación de soluciones y estrategias de adaptación a este fluctuante fenómeno. Las *Medidas No estructurales* son cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el riesgo y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor conciencia pública, la capacitación y la educación (UNISDR, 2009).

2.6 Ronda Hídrica (RH)

Las rondas hídricas son una zona de transición entre los ecosistemas acuáticos y terrestres, en el caso de los ríos se denominan como un espacio de libertad y/o divagación fluvial, son imprescindibles para que la funcionalidad hidráulica, biológica, bio-geo-química y paisajística del río sea completa, ya que permiten que la dinámica fluvial pueda desarrollar todas sus funciones de manera integral (Ollero, 2007). Estas zonas pueden presentar formas de ocupación y usos socioculturales y económicos, los cuales no deben constituir riesgo alguno para su funcionamiento y menos aún para la vida y bienes de las comunidades.

Las distintas formas de ocupación del territorio, de uso del suelo y de aprovechamiento de los recursos naturales afectan de múltiples formas las funciones geomorfológicas, hidrológicas y ecosistémicas asociadas a las rondas hídricas. Por esto su delimitación y manejo plantea de manera consecutiva el problema de la definición de usos permitidos, restringidos o prohibidos por las autoridades ambientales y municipales. Estos usos deben ser incorporados dentro del marco del ordenamiento territorial como determinantes ambientales, para tener una garantía de la preservación o restauración de las funciones ya mencionadas (Ojeda *et al.*, 2001).

2.7 Sistemas de Producción Agrícola

Diferentes términos se han utilizado para describir los sistemas agrícolas. En ocasiones son definidos con respecto a las posibilidades de producción agrícolas, a la concentración de tecnología, a la facilidad con que se reducen las externalidades negativas inducidas o provocadas por diferentes tecnologías, a la calidad de los recursos naturales disponibles y con respecto al uso de insumos externos. La FAO define los sistemas agrícolas como conjuntos de explotaciones agrícolas individuales con recursos básicos, pautas empresariales, medios familiares de sustento y limitaciones en general similares, a los cuales corresponderían estrategias de desarrollo e intervenciones parecidas. Según el alcance del análisis, un sistema agrícola puede abarcar unas docenas o millones de familias (URL.1).

Actualmente, la percepción de la agricultura moderna enfrenta una crisis ambiental a raíz del uso de prácticas agrícolas intensivas que conllevan a la degradación de los recursos naturales a través de procesos de erosión de suelos, salinización, contaminación con pesticidas, desertificación, pérdida de la fitomasa y, por ende, reducción progresiva de la productividad. Asociado a esta problemática está ligado el conflicto de uso de suelo, ya que el asentamiento de áreas agrícolas en zonas que pueden presentar riesgo para la producción, exponen la alta vulnerabilidad que puede presentar dicho sector en diferentes escenarios.

La amenaza del cambio climático global ha causado preocupación entre los científicos ya que los factores climáticos indispensables para el crecimiento de los cultivos, como son la precipitación y la temperatura, se comportarán severamente fluctuantes, afectando e impactando de forma alarmante la producción agrícola. Aunque los efectos de los cambios en el clima sobre la producción de cultivos varía de una región a otra, se espera que los cambios pronosticados tengan efectos de gran alcance, principalmente en los países con zonas tropicales que, por su régimen de precipitación, se clasifican entre semiáridas y húmedas (Villalobos *et al.*, 2003)

Con lo anterior es claro que el cambio climático puede llegar a generar severas repercusiones e impactos negativos sobre la agricultura, pese a todos los impactos asociados a este inminente

cambio la agricultura ofrece un sinnúmero de oportunidades para tener resultados simultáneamente en la adaptación de los sistemas agrícolas al cambio climático, el aumento de la producción de alimentos y la reducción de emisiones de gases efecto invernadero. Las prácticas integradas y ecológicas en agricultura van dirigidas a alcanzar estas metas de forma eficiente y a costos más reducidos. Fortalecer los sistemas actuales de monitoreo y evaluación agrícola es esencial para implementar medidas efectivas de respuesta al clima y determinar la efectividad de las diferentes prácticas (Porter *et al.*, 2010)

El análisis sobre el comportamiento de la agricultura después de fuertes eventos climáticos, ha puesto de manifiesto que la resistencia a los desastres climáticos está estrechamente relacionada con la biodiversidad presente en los sistemas productivos (Altieri *et al.*, 2008). Por lo cual el estudio de **Agroecosistemas** es una línea alternativa de investigación, que puede resultar viable en la búsqueda de soluciones.

Gliessman (1998) define la agroecología como una ciencia aplicada, que utiliza conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles, donde los insumos externos se sustituyen por procesos naturales como la fertilidad natural del suelo y el control biológico. El principio base de los agroecosistemas es la diversificación de los sistemas agrícolas, promoviendo mezclas de variedades de cultivos, sistemas de cultivos intercalados, sistemas agroforestales y de integración animal; junto con el aprovechamiento sostenible de los recursos agua, suelo y biota.

Los esquemas de diversificación agroecológica son multifuncionales y su adaptación generalmente implica cambios favorables al sistema de producción. Los sistemas agroecológicos exhiben altos niveles de diversidad, integración, eficiencia, flexibilidad y productividad, son los únicos sistemas agrícolas capaces de afrontar los retos del futuro (Holt *et al.*, 2009). Dentro de las soluciones visualizadas hasta el momento por los agroecosistemas y su socio resiliente a los efectos del cambio climático, se categorizan algunos tipos de subsistemas que pueden llevarse a cabo en la implementación de dicha práctica de producción agrícola, tales como rotaciones de cultivos, policultivos, sistemas agroforestales, cultivos de cobertura.

Colombia desde hace un tiempo atrás viene trabajando en la identificación de estos agroecosistemas a través del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el cual ha seguido la metodología establecida por la FAO, con el fin de establecer al interior de país **La Zonificación Agroecológica (ZAE)**, que se refiere a la sectorización de la tierra en unidades de menor extensión con similares características relacionadas con su aptitud de uso, potencial de producción e impacto medioambiental (FAO, 1996). El IGAC ha establecido que las **Zonas Agroecológicas** conforman espacios homogéneos claramente delimitados, donde interactúan variables agrofísicas (clima, geoforma, material parental de suelos, pendientes, erosión y suelos) poco modificables, a corto o mediano plazo, dentro de las condiciones técnico-sociales promedio de manejo actual, las cuales influyen en la sostenibilidad, tendencias y desempeño de los procesos de conservación y producción de cultivos y ganadería en el país (IGAC, ICA, 1998).

Una de las formas más utilizadas actualmente para estudiar el impacto del cambio climático sobre los sistemas agrícolas y pecuarios es evaluando escenarios futuros de cambio a través de sistemas de información geográfica (SIG). Dentro de los múltiples sistemas de información geográfica que pueden proporcionar escenarios o simulaciones del comportamiento actual y futuro de variables climáticas, tales como temperatura y la precipitación, y su asocio con áreas de producción agrícola,

industrial o social, lo pueden encontrar como herramientas de trabajo los Modelos de Simulación de Cultivos, los cuales son software que simulan el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos en función de la dinámica suelo-planta-atmósfera; estos se han utilizado para diversas aplicaciones, entre ellas la evaluación de los sistemas de producción agrícola sobre el impacto de la variabilidad climática y el cambio climático (Ríos, 2011).

2.8 Modelos de Simulación de Cultivos

Un modelo es “una representación simplificada de un sistema real”. Estos asumen diferente grado de complejidad en la simulación del sistema, dependiendo de los objetivos a lograr. Su utilidad radica no sólo en reproducir la realidad, sino porque la simplifican y permiten que los procesos más importantes sean identificados, estudiados y pronosticados (Link, 2005; Steduto, 2006).

Un sistema productivo se desarrolla a través de la interacción de varios procesos internos y externos, que fluctúan de forma espacio-temporal, procesos sobre los cuales se construye un modelo esperando lograr los objetivos propuestos y simular la máxima producción de un cultivo en específico (Milera y Crotti, 2005).

La literatura reporta un gran número de modelos de cultivos, cuya misión es adaptar a los diferentes sistemas, objetivos, procesos y condiciones ambientales para un fin. Existen modelos de simulación de cultivos específicos para un cultivo, por ejemplo para trigo y maíz el CERES-Wheat, CORNGRO, para banano el SIMBA, o por otro lado pueden ser genéricos, los cuales son aplicados a varias especies mediante la utilización de parámetros específicos para cada cultivo, algunos de estos modelos son DSSAT, DAISY, ECOCROP entre otros, inclusive muchos de estos modelos son de libre acceso y utilización.

Entre estos modelos cabe resaltar el modelo ECORCOP, este es un simulador de cultivos desarrollado por la FAO, como una herramienta para la identificación de las especies de plantas adecuadas para determinados ambientes, costumbres y usos. La base de datos contiene información básica del medio ambiente de los cultivos y permite la identificación de más de 2.100 especies de plantas de importancia económica cuyo clima y requerimientos de suelo coincide con los datos de clima y suelo introducidos por el usuario. Es una herramienta para grabar, organizar, comparar mediante estudios la respuesta de los cultivos a los factores ambientales y de manejo.

Este modelo se retroalimenta de la base de datos WorldClim, la cual reportan parámetros fluctuantes como la temperatura y los umbrales de la precipitación con el fin de evaluar la idoneidad de un lugar para implementar una determinada especie de cultivo. El modelo ECOCROP fue implementado en el software DIVA-GIS (Hijmans *et al.* , 2005) y se ha utilizado ampliamente para predecir la idoneidad de los diversos cultivos en diferentes condiciones climáticas.

Para esta investigación el software DIVA-GIS contemplo como variables de entrada, altura sobre el nivel del mar (ASNM) en metros, humedad ambiental (Humedad), definida como el número de meses lluviosos en el año, drenaje natural (Drenaje), caracterizado como un valor entre 1 y 6 y el potencial de hidrogeniones dentro del suelo (pH), las cuales aborda esta investigación para el caso de estudio. Y variables de Salida: la combinación de estas cuatro variables ofrece un espectro de varias posibilidades ambientales orientadas en la interpretación y conjugación de ellas, estableciendo ambientes óptimos para la producción e identificando aquellas zonas que presentan una probabilidad de éxito en la escala Alto-Medio-Bajo.

Para la simulación de este modelo se usaron las bases de datos de suelo y clima que sustentan información a escalas nacionales y mundiales, donde la base de datos de suelos fue tomada del IGAC, específicamente por unidad cartográfica la cual está caracterizada por variables edáficas como el drenaje natural, el pH, el porcentaje de materia orgánica, la pendiente entre otras; La base de datos de clima proviene de dos fuentes: WorldClim y Futureclimate (2xCO₂ climateconditions, CCM3 model), de las cuales se extrajeron datos de precipitación media anual con una resolución de aproximadamente 1 km², con una estimación fluctuante de 2,5 minutos; mientras que el dato de ASNM se tomó de un Modelo Digital de Elevación (DEM), con una resolución de 30 metros.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El río Cauca nace en el Macizo Colombiano, cerca del Páramo Sotaró en el Departamento del Cauca y desemboca en el Brazo de Loba del río Magdalena frente al Municipio de Pinillos, en el Departamento de Bolívar, luego de atravesar gran parte del territorio nacional, encauzado entre las cordilleras Occidental y Central. Cuenta con una longitud de 1.204 km y un área de drenaje de 59.074 km² que representa el 5% del total del territorio nacional. Su trayectoria sigue una dirección Sur – Norte y sus aguas bañan los Departamentos del Cauca, Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquía, Córdoba, Sucre y Bolívar

Por su gran extensión y variada topografía en la cuenca del río Cauca se presentan diferentes pisos térmicos desde la zona de páramos hasta las llanuras cálidas. En promedio la temperatura aumenta 1º C por cada 170 metros de descenso en altura. Presenta un clima que se caracteriza por temperaturas relativamente altas y uniformes durante todo el año. Las lluvias y su distribución espacial y temporal bimodal son el resultado de diversas variables: la influencia del relieve, los vientos alisios y el predominio de las zonas de calma ecuatoriales (CVC, 2007). Características que hacen de esta cuenca hidrográfica una de las más importantes del país, cualificándola como un lugar estratégico y excepcional, para el desarrollo agrícola, pecuario, minero e industrial del Occidente colombiano.

En el recorrido del río Cauca a lo largo del país se identifican claramente cuatro zonas:

- 1. El Alto Cauca**, que comprende desde su nacimiento en el macizo Colombiano hasta la población de Timba, en el límite interdepartamental Cauca – Valle del Cauca, con una longitud aproximada de 170 Km y un descenso de niveles de 4000 a 1000 msnm.
- 2. El Valle del Cauca**, en el cual recorre un trayecto de unos 436 kilómetros hasta la población de La Virginia en el departamento de Risaralda, presentando un desnivel de 100 metros en su recorrido, alcanzando aproximadamente la cota 900 msnm.
- 3. El Cañón del Cauca o Cauca Medio**, tramo que comprende un largo descenso de 400 kilómetros a través de cañones estrechos y profundos, desde La Virginia hasta la población de Tarazá en el departamento de Antioquia, ubicada en la cota 90 msnm.
- 4. El Bajo Cauca**, tramo donde el río abandona el cañón y se abre en una zona de suave topografía, con una longitud aproximada de 260 km hasta su desembocadura en el río Magdalena (Ver figura 1).

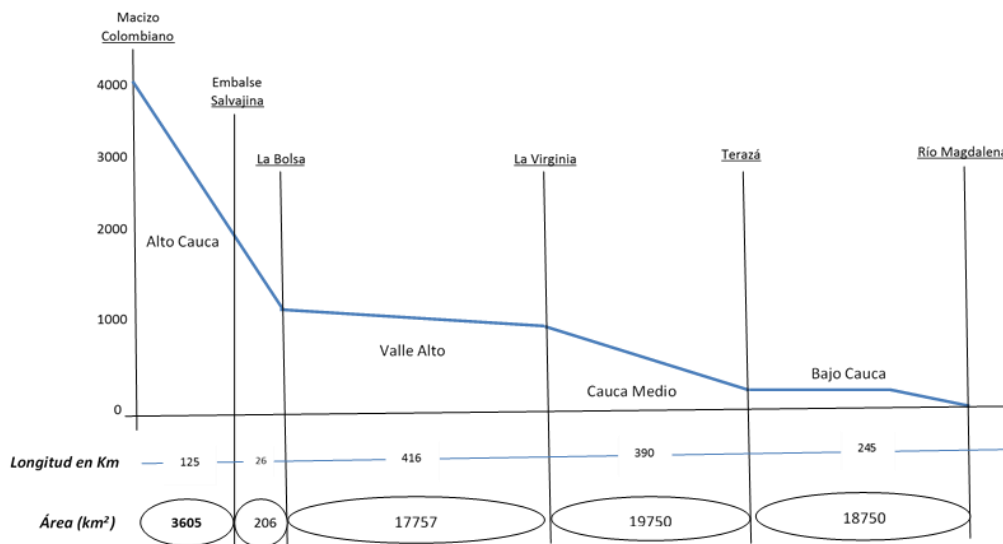


Figura 1 Perfil general longitudinal de la cuenca del río Cauca
Fuente: (Sandoval & Ramírez, 2007)

La zona de estudio para esta investigación corresponde al Valle Alto del río Cauca, considerada como zona plana del tramo Valle Alto, en el departamento del Valle del Cauca (ver figura 2). Esta zona cuenta con una amplia riqueza de recursos naturales dado que se localiza en un valle interandino de suelos fértiles, producto de sedimentos aluviales depositados desde el inicio del periodo geológico del cuaternario, sobre una extensión cercana a los 214 km de longitud y 20 km de ancho, con un área que abarca 440.000 ha; se sitúa entre los 900 y los 1.000 msnm, en un piso térmico cálido-seco, con vegetación de bosque subandino, temperaturas superiores a los 24 °C y un promedio de lluvias de 1.300 mm al año. Las características fisiográficas, el clima y la fertilidad de los suelos favorecen su utilización para el desarrollo económico, centrado principalmente en la agroindustria de la caña de azúcar, con cerca de 200.000 ha cultivadas (CVC. 2007).

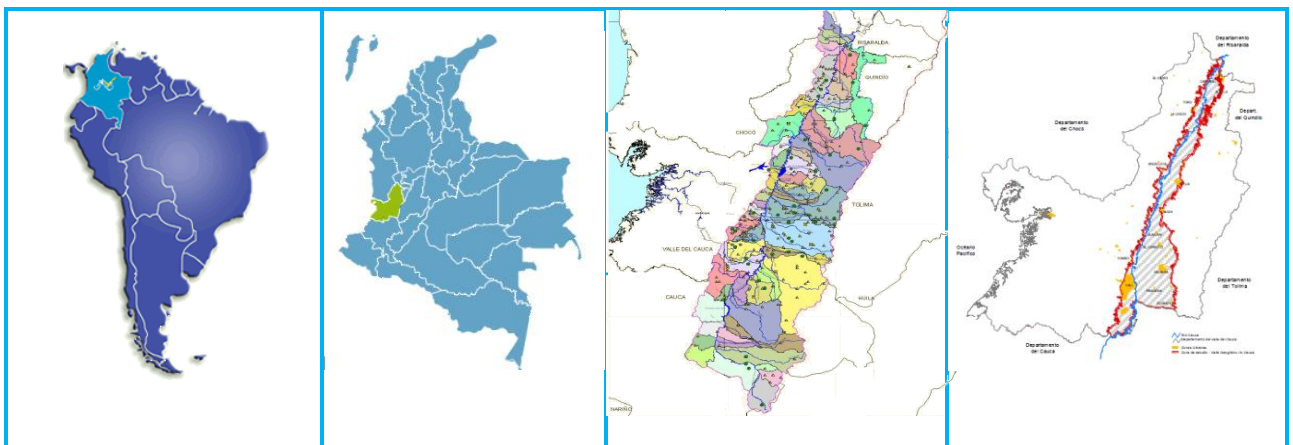


Figura 2 Localización general de la zona de estudio
(Elaboración propia).

Igualmente esta zona, cuenta con un alto potencial hídrico ya que en esta drenan caudalosos ríos tributarios que bajan del flanco occidental de la Cordillera Central como: Palo, Desbaratado,

Amaime, Sonso, Guadalajara, Tuluá, Bugalagrande, La Paila y La Vieja; y, tributarios del flanco oriental de la Cordillera Occidental: Timba, Jamundí, Claro, Cali y Río frío, entre otros. El río Cauca es de tipo aluvial, en este tramo se caracteriza por su forma meandriforme y discurre sobre un valle conformado por los sedimentos transportados y depositados en millones de años por la acción hidráulica y morfológica de su actividad natural.

El departamento del Valle del Cauca se caracteriza por poseer una amplia variedad de suelos agrupados a través de unidades fisiográficas, como lo son la Llanura del Pacífico, la zona de cordilleras y el valle geográfico del río Cauca. La unidad fisiográfica del valle geográfico del río Cauca hace referencia a la planicie aluvial de desborde en proximidades del río en zonas inundables donde se producen las mayores acumulaciones de sedimentos aluviales, son suelos profundos, regularmente drenados, con algunas limitaciones de salinidad. Actualmente están dedicados a la agricultura y a la ganadería extensiva.

La CVC en el 2006 estableció una Línea Base Ambiental para identificar el uso y cobertura del suelo en el departamento, para esto conforma y clasifica unos primeros grandes grupos como son agricultura, ganadería, minería, núcleos poblados, plantaciones forestales y vegetación primaria, para un total de más de dos millones de hectáreas de suelo con un uso clasificado. En la Tabla 1 se pueden visualizar estos tipos de usos, en orden de importancia por el área ocupada.

Tabla 1. Uso y cobertura de los suelos del Valle del Cauca

USO	ÁREA (HA)	COBERTURA	ÁREA (ha)
Agricultura	363.600	Construcción agrícola	1.138
		Construcción apícola	240
		Construcción avícola	315
		Construcción porcícola	20
		Cultivo anual	43.844
		Cultivo permanente	304.807
		Cultivo semipermanente	12.912
		Estanque agrícola	323
Eriales	4.021	Tierras eriales	4.021
Ganadería	544.907	Pasto de corte	6.856
		Pasto natural	538.051
Minería	1.042	Aurífera	43
		Cantera	683
		Ladrillera	272
		Magnesita	44
Núcleos poblados	33.532	Zona de Recreación	3.614
		Zona franca	96
		Zona industrial	1.734
		Zona urbana	28.089
Plantaciones forestales	21.658	Reforestación comercial	21658
Vegetación primaria	1.099.004	Bosque natural	914.133
		Estanque piscícola	11.860
		Humedal	22.536
		Rastrojo natural	105.983
		Vegetación de páramo	44.492
Total	2.067.766	Total	2.067.766

Fuente: CVC (2006)

Estas características fisiográficas, el clima y la fertilidad de los suelos en el Valle del Cauca son ejes de desarrollo que favorecen notablemente la vocación agrícola del departamento, cuyo sector está centrado principalmente en la agroindustria de la caña de azúcar, con cerca de 223 mil ha cultivadas. En este departamento se encuentra el 78% del área sembrada de caña de azúcar del país (Asocaña, 2013).

El Departamento Valle del Cauca es considerado uno de los mayores productores agrícolas del país, calificando como despensa agrícola del occidente colombiano. Actualmente el 92,5% de la producción interna del departamento está relacionada con cultivos permanentes y el 7,5 % con la producción de cultivos transitorios (ver tabla 2), siendo éstos los mayores aportantes a la economía del departamento (DPN, 2011).

Tabla 2. Producción en toneladas de los principales cultivos en el departamento del Valle del Cauca, 2011.

	TIPO DE CULTIVOS	PRODUCCIÓN TOTAL (TON)	%
CULTIVOS TRANSITORIOS	Maíz tecnificado	112.581	50,40
	Sorgo	34.514	15,40
	Arroz riego	31.906	14,30
	Soya	15.380	6,90
	Algodón	11.766	5,30
	Papa	8.029	3,60
	Maíz tradicional	6.412	2,90
	Fríjol	2.664	1,20
	Tabaco rubio	256	0,10
	Trigo	50	0,00
	Total transitorios	223.557	100,00
CULTIVOS PERMANENTES	Azúcar	2.563.468	92,50
	Plátano	163.235	5,90
	Caña panelera	28.997	1,00
	Yuca	10.649	0,40
	Arracacha	3.857	0,10
	Cocotero	1.603	0,10
	Cacao	176	0,00
	Total permanentes	2.771.985	100,00
TOTAL CULTIVOS		2.995.541	100,00

Fuente: DNP-Dirección de Desarrollo Rural y Sostenible con base en evaluaciones agropecuarias de las URPA y de las UMATA. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural- Dirección de Política Sectorial- Grupo Sistemas de Información. (2011). Elaboración propia.

Las características climáticas del Valle del Cauca oscilan de la siguiente forma: las precipitaciones medias se distribuyen así, el 89% del área con valores fluctuantes entre los 1.000 a 2.000 mm/año, el 10% del área con valores de 2.000 a 3.500 mm/año y 1% del área con menos de 1.000 mm/año; La humedad relativa del departamento en la región Pacífica es del 87%, en el valle geográfico entre los municipios de Jamundí y Cartago del 75% y en la zona de ladera del 80%; El promedio multianual de la temperatura en la parte plana del Valle del Cauca es de 24° C aproximadamente (CVC 2007)

Las condiciones climatológicas, morfométricas e hidráulicas del valle alto del río Cauca son determinantes en el comportamiento hidrodinámico del río. Dichas características favorecen la ocurrencia periódica de crecientes del río Cauca y sus tributarios, las cuales pueden estar asociadas a lluvias fuertes y prolongadas que provocan el aumento de los caudales y los niveles de agua. Estas crecientes generan la inundación de los terrenos adyacentes cuya vocación es agrícola, ganadera, de asentamientos humanos entre otros, generando a dichos sectores graves daños y múltiples pérdidas económicas. En la tabla 3 se exponen las áreas inundadas en el Valle del Cauca debido a las crecientes históricas del río Cauca.

Tabla 3. Áreas inundadas en el Valle del Cauca entre 1950 y 2011

AÑO DE LA CRECIENTE	ÁREA INUNDADA (ha)
1950	84.400
1966	36.400
1967	16.000

AÑO DE LA CRECIENTE	ÁREA INUNDADA (ha)
1971	59.000
1974	40.000
1975	41.000
1982	11.000
1984	23.000
1988	8.000
1997	5.400
1999	11.500
2008	8.382
2010	41.173
2011	36.938

Fuente: Grupo Cartografía – CVC (2011)- Elaboración Propia

La ola invernal vivida en entre el año 2010 y 2011, afectó considerablemente el sector agrícola del departamento, ya que las áreas inundadas afectaron directamente cultivos como la caña de azúcar, los pastos, el maíz, la soya, el sorgo y cultivos frutales. La mayoría de estos cultivos se encuentran asentados en el área de retiro del río Cauca, que corresponde geomorfológicamente a sitios de depósito y la planicie aluvial (Corpoica, 2012).

3.1 Caracterización Biofísica

Para la caracterización biofísica se analizan los componentes del medio natural del área de estudio, donde se abordan el recurso suelo, agua, fauna y flora, al igual que las fluctuaciones del clima.

La información biofísica y ambiental se obtuvo en las siguientes entidades e instituciones: CVC, IDEAM, IGAC, INGEOMINAS, CORPPOICA y Universidad del Valle. Es de señalar que la mayor parte de la información se obtuvo en CVC, entidad encargada de la administración y manejo de los recursos naturales en el departamento del Valle del Cauca.

El Valle del Cauca es un departamento de gran diversidad, expresada en todos los niveles, especies, poblaciones, comunidades, ecosistemas, climas, suelos y paisajes. La ocupación del territorio en el departamento ha venido generando un proceso acelerado de demanda de bienes y servicios del medio natural, causando cambios repentinos y fuertes sobre el ambiente. Por tal motivo, es de vital importancia especificar el estado actual de las características biofísicas de la zona de estudio iniciando con:

3.1.1 Geomorfología

El Valle del Cauca es un departamento que cuenta con una gran variedad de formas del terreno debido a su privilegiada posición geográfica enmarcada entre las vertientes del pacífico y del río Cauca, por tanto una evaluación geomorfológica se constituye en un elemento determinante a la hora de conocer el origen y la evolución del paisaje. Cabe destacar que la evaluación geomorfológica se ha realizado con un enfoque fisiográfico basado en la información disponible en el estudio de Geología del departamento del Valle del Cauca. Escala 1:250.000. INGEOMINAS, 2001, en los informes del Proyecto de Modelación Río Cauca –PMC. Convenio CVC-UNIVALLE, 2004 y en el Libro El Río Cauca en su Valle Alto, 2007.

Las geoformas existentes en el Valle del Cauca se pueden describir de manera general en cuanto a los paisajes, ambientes morfogenéticos y tipos de relieve dominante en cada sector del departamento, de acuerdo a la configuración de los paisajes se reconocen los de montaña, lomerío, piedemonte, planicie marina, planicie fluvial y valle.

El valle del río Cauca se constituye en una gran unidad geomorfológica regional de planicie aluvial, desarrollada por la dinámica del río durante el período cuaternario, cuando se formaron unidades bien diferenciadas unas de otras, según su génesis y forma final de depositación.

El río Cauca es clasificado como un río aluvial, el cual tiende a variar en su posición, su forma y sus dimensiones debido a las fuerzas hidráulicas que actúan sobre el lecho y las orillas. La evidencia indica que la mayoría de los ríos aluviales son inestables y se constituyen en una de las geoformas más dinámicas de la superficie terrestre. Generalmente las bancas se erosionan, los sedimentos se depositan y en consecuencia, los canales, las islas y las planicies de inundación sufren alteraciones en el tiempo. El depósito de sedimentos en la planicie aluvial del valle geográfico del río Cauca lo caracteriza como un área muy fértil e históricamente ha concentrado parte de la producción agrícola del departamento, condición que ha afectado la dinámica natural de esta planicie aluvial la cual hoy refleja la vulnerabilidad al riesgo de inundación que presenta el asentamiento de estos cultivos en ella.

Esta morfología de planicie aluvial se encuentra delimitada, tanto al este como al oeste, por dos conjuntos morfoestructurales que hacen parte del sistema estructural o falla tectónica del Cauca, como son los macizos rocosos de las cordilleras Occidental y Central. Estos se constituyen en los conjuntos más importantes por su complejidad en cuanto a formación y extensión en la zona, y se denominan sistema Cordillerano.

Estas unidades en su parte terminal forman hacia la zona de piedemonte otro conjunto morfoestructural que se diferencia del sistema Cordillerano por su longitud, relieve y menor complejidad, tanto estructural como genética. Esta unidad corresponde a los abanicos aluviales, coluviales y colinas que forman un lomerío, producto de la profunda disección que ha alcanzado la red de drenaje sobre las rocas que conforman estas unidades. Estas rocas algunas veces alcanzan las orillas del río Cauca y se convierten en controles litológicos y zonas estables para el río debido a su mayor resistencia a la acción erosiva de las aguas.

A continuación se describen las subunidades morfológicas correspondientes a la planicie aluvial del río Cauca y se incluyen, de manera general, algunas unidades de piedemonte que afloran e influyen en ciertos sectores de las riberas del río y se constituyen en controles litológicos y/o hidráulicos (ver figura 3).

De acuerdo con lo anterior, dos de los principales factores generadores de geoformas característicos en el valle alto del río Cauca, son las formas deposicionales y las formas erosionales. Ambos factores están relacionados íntimamente con la dinámica fluvial desarrollada por el río Cauca.

- *Formas deposicionales:* Son el resultado de un proceso constructivo de depositación sobre la superficie terrestre. Los paisajes resultantes reflejan una acumulación gradual de materiales y constituyen la mayoría de las geoformas presentes en el área.
- *Formas erosionales:* Por tratarse de una zona plana, las geoformas de erosión se limitan a las producidas por las corrientes en el cauce del río, principalmente en los meandros. Tanto la erosión

como el depósito están involucrados en la formación de un meandro. El material desprendido de las orillas se mueve río abajo, para ser depositado en las zonas de menor turbulencia. Como el río oscila de un lado a otro, el meandro continúa creciendo por erosión sobre el lado externo de las curvas y por sedimentación en el lado interno, donde las características topográficas, la pendiente, el relieve y la morfogenética de la zona juegan un papel importante en la formación de estas, a continuación se describen:

Zona de Vertiente: se trata de las zonas montañosas que conforman las cordilleras Central y Occidental y que encajonan el relleno aluvial del río Cauca. Presentan pendientes moderadas a fuertes y laderas largas y/o coluviales.

Zona de Abanicos: se localizan entre la zona de vertiente y la planicie aluvial del río Cauca, formada por los materiales transportados por los mayores tributarios y depositados al entrar a la planicie aluvial. Igualmente y contemplando los principios expuestos por Thornbory W.D, 1955, la CVC e Ingeominas en sus diferentes estudios,

Zona de Colinas: se ubican principalmente hacia los extremos norte y sur del departamento: Zarzal y Cartago en el norte, Villarrica, Pance y Meléndez en el sur. Están constituidas por rocas sedimentarias dispuestas subhorizontalmente, formadas en ambientes fluvio-torrenciales y lacustres.

En general las geoformas típicas del río en su valle alto, ayudan a la formación natural de inundaciones, las cuales hacen parte de la dinámica natural del valle aluvial del río Cauca, la fluctuación de los niveles del agua dan lugar a un proceso de labrado de orillas del río, donde los meandros característicos del río Cauca generan lagunas y madre viejas que conforman zonas de almacenamiento natural de las aguas en exceso, las cuales ejercen un papel importante en la regulación del caudal al captar grandes volúmenes de agua en invierno para liberarlos en verano. Esta regulación natural se ve afectada por la agricultura intensiva, la urbanización, la contaminación, la desecación y otras formas de intervención que conllevan a la degradación de estos ecosistemas, cambios drásticos que al hoy presentan un alto grado de vulnerabilidad a inundaciones de la zona de estudio.

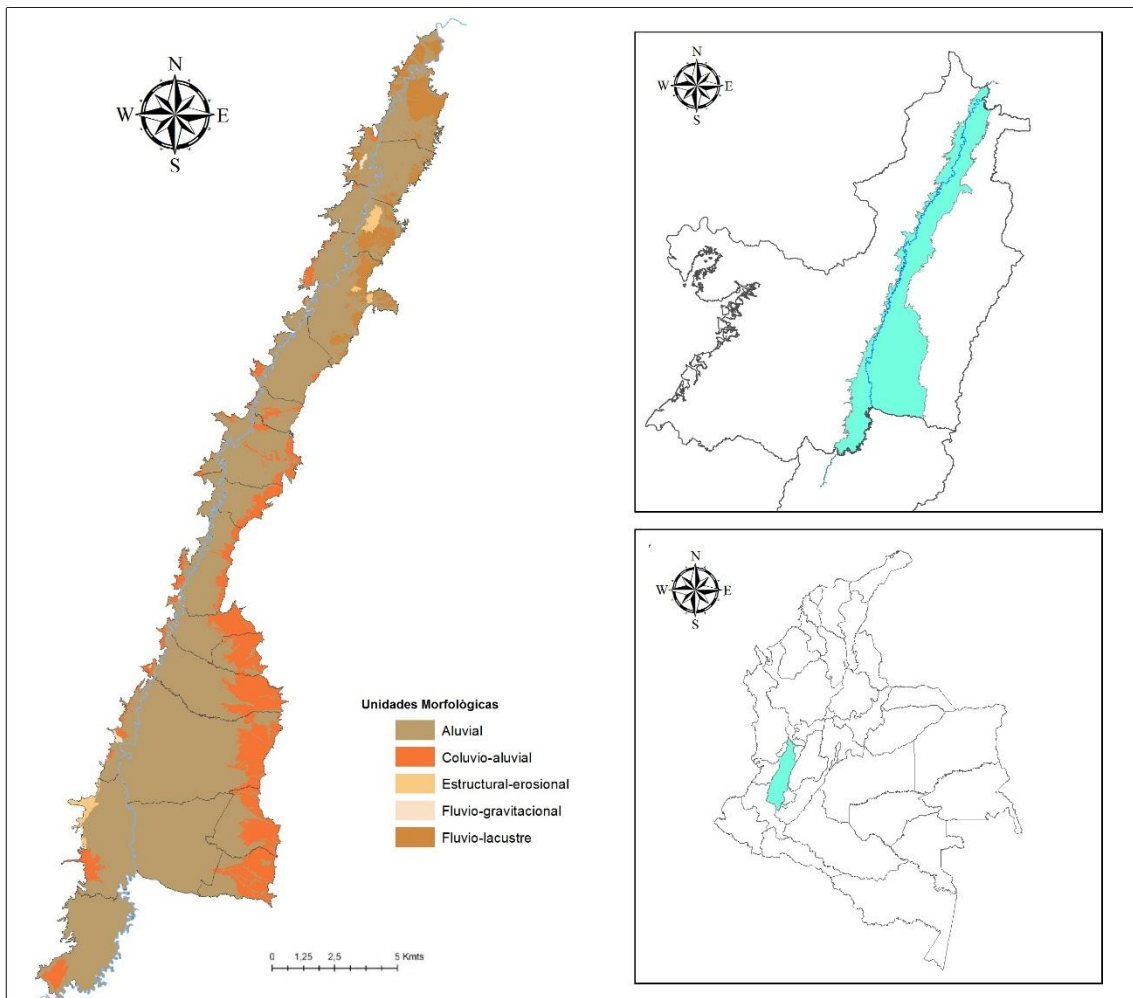


Figura 3. Unidades Morfológicas del Valle Alto de Río Cauca
Elaboración Propia - (fuente CVC 2012).

3.1.2 Ecosistemas

La CVC en el 2009 define los ecosistemas como la suma de las interacciones entre los organismos vivos y su entorno, donde es de vital importancia entender que los ecosistemas funcionan como sistemas dependientes de las interacciones de sus componentes. Por lo cual contemplar la pérdida de cualquier componente del sistema se reflejará en la pérdida de la integridad de éste y cualquier cambio en la estructura afectará el funcionamiento del mismo.

El Valle del Cauca es un departamento de gran diversidad expresada en todos los niveles, especies, poblaciones, comunidades, ecosistemas, y paisajes. Este departamento se caracteriza por poseer variados ecosistemas entre ellos las selvas inundables, los páramos, los bosques secos y muy secos, los bosques andinos y subandinos, las lagunas y madre viejas.

Para el caso particular del valle alto del río Cauca, la mayor predominancia ecosistémica está ligada a los bosques secos y muy secos y a las lagunas y madre viejas (ver figura 4), ecosistemas biológicos ampliamente diversos, cuyos servicios suplen las necesidades de la sociedad y de los grupos humanos que allí habitan, en cuanto a frutos, madera, leña, fibras, fauna silvestre, regulación del clima y del agua, entre otros servicios ecosistémicos, que de igual forma exponen la gran fragilidad biológica de estos territorios.

Los humedales asociados al río Cauca se conforman debido a la condición meandrica y a la dinámica del río. Estos se forman a lo largo del recorrido, identificados por depósitos en forma de herradura que reciben el nombre de madre viejas. En la década de los cincuenta en el departamento existían alrededor de 16 mil hectáreas de humedales pero a fines de los años sesenta el 88% de ellos habían desaparecido, principalmente por la adecuación del espacio para expansión de los monocultivos de la caña de azúcar, subvalorándose los atributos, productos y funciones que cumplen estos ecosistemas (CVC, 2002).

Actualmente en el valle alto del río Cauca existen cerca de 49 humedales, los cuales tienen áreas de espejo lagunar de entre 2 y 60 hectáreas y son refugio de una gran riqueza de fauna acuática y terrestre, entre las que sobresalen las especies de peces que son fuente de proteína para los moradores de la región.

Entre las actividades que generan deterioro en los humedales del valle alto del río Cauca se identifican los procesos de desecación para la adecuación de tierras para los monocultivos y la ganadería, la eutrofización por la contaminación de aguas de escorrentía que se vierten a los humedales, la extracción de agua de los humedales por medio de bombeo para los cultivos y la ganadería, las prácticas agrícolas realizadas hasta los bordes de los humedales y la ausencia de franja protectora.

El bosque seco tropical es otro de los ecosistemas predominantes en el valle alto geográfico del río, este ecosistema es uno de los más amenazados del neotrópico, ya que sus condiciones climáticas, la fertilidad de sus suelos y la estructura del bosque mismo son idóneas para el asentamiento de humanos y de cultivos, siendo este así reemplazado y fragmentado en pequeñas áreas. Es difícil estimar el porcentaje de pérdida de áreas de bosque seco a nivel mundial, ya que se desconoce la distribución original. En el caso de Colombia se estima una cobertura potencial de 80.000 km², de los cuáles sólo quedan cerca del 1,5%. Las tres zonas del país que presentan bosque seco son la llanura del Caribe, el valle del río Magdalena y el valle del río Cauca, esta última es la de menor extensión y mayor vulnerabilidad (CVC e IAvH. 2004).

La CVC en 1990 realizó un estudio donde buscó cuantificar la cobertura boscosa de la cuenca alta del río Cauca entre los años 1957 y 1986, donde a través de fotos aéreas y registros de campo, se estimó que en el norte del departamento del Cauca y en el departamento del Valle del Cauca, ocurrió una reducción del 66% de los bosques en ese período. Igualmente se hallaron 86 mil ha remanentes de bosque, que representaban sólo el 3% del área total del valle aluvial en esta zona (421.000 ha) (incluyeron zonas de cultivos con cobertura arbórea como cacao, café y cítricos); es

decir, la extensión del bosque seco era menor aún, aproximadamente 5.700 ha, lo cual representaba solo el 1,3% de la extensión estudiada.

En el año 2012 Arcila y otros realizaron un estudio para la identificación de la cobertura de uso de tierra actual del valle geográfico, encontrando que las coberturas dominantes son cultivos y pasturas en menor proporción zonas urbanas y rastrojos, y sólo el 1,76% (10716 ha) corresponde a bosque. La matriz de paisaje del bosque seco en la cuenca alta del río Cauca está compuesta en su mayoría por coberturas de origen antrópico, como pastos y cultivos, además de zonas urbanas y rastrojos que suman el 96% del área estudiada, situación que refleja el alto nivel de transformación al que ha estado expuesto este ecosistema, condición directamente asociada al uso de tierra y actividad económica que modula esta zona.

Dicho estudio identificó que la actual cobertura de bosque seco está distribuida en un número alto de fragmentos, más de 1600, con áreas menores a las 330 ha. El tamaño promedio de los parches es tan pequeño (6,03 ha) que probablemente se encuentren totalmente afectados por cambios microclimáticos ocasionados por efecto de borde. Esta situación evidencia el alto nivel de transformación del paisaje y que persiste una cobertura muy baja del bosque seco tropical en el valle alto geográfico del río Cauca. Esta área, además de que se encuentra altamente fragmentada, sus parches se hallan en su mayoría muy separados entre si, haciendo que la conectividad entre estas áreas sea muy difícil.

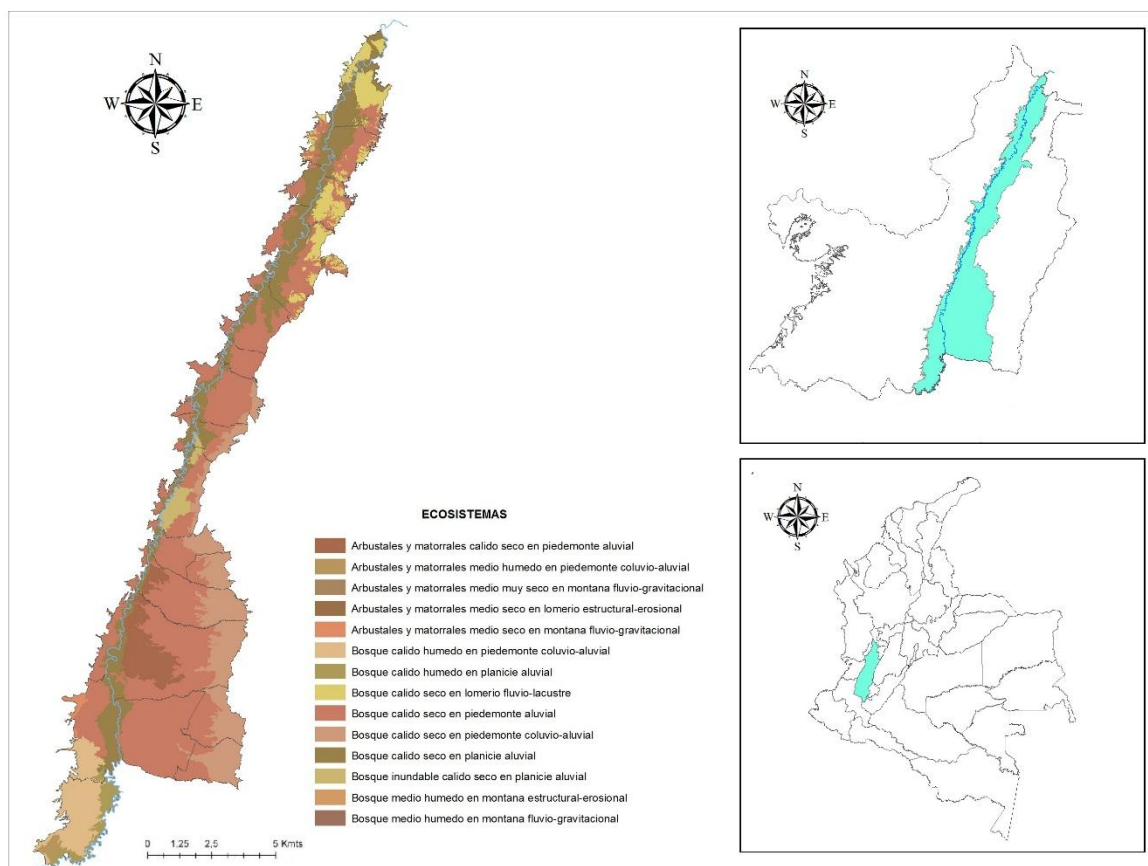


Figura 4. Ecosistemas del Valle Alto del Río Cauca
Elaboración Propia - (fuente CVC 2012).

3.1.3 Clima

La caracterización climática de la zona de estudio es fundamental al momento de identificar la fluctuación de diferentes variables climáticas, cuya variabilidad se destaca en función de la altura sobre el nivel del mar y la lluvia por zonas. La CVC al interior del departamento, ha establecido una amplia red de monitoreo para la medición de las variables hidroclimatológicas, permitiendo conocer y caracterizar el comportamiento climático en su área de influencia.

3.1.3.1 Precipitación

Teniendo en cuenta los estudios de precipitación media multianual del Valle del Cauca realizado por la CVC en 1996 y en el 2006, al igual que el estudio de zonificación agroecológica en el valle alto del río Cauca realizado en el 2011 por CENICAÑA, se presentan las principales fluctuaciones espaciales y temporales de la precipitación en el área de estudio (ver figura 5).

El valle alto del río Cauca se caracteriza por poseer un régimen de lluvias con distribución bimodal, donde se presentan dos trimestres secos, diciembre a febrero; junio a agosto y dos periodos lluviosos, marzo a mayo; septiembre a noviembre. Esta condición de distribución bimodal está asociada a las actividades de la ZCIT (Zona de Confluencia Intertropical), (CVC.2006). La cuenca del río Cauca presenta precipitaciones medias que se distribuyen según su área de la siguiente manera: 89% del área con 1.000 a 2.000 mm/año, 10% del área con 2.000 a 3.500mm/año y 1% del área con menos de 1.000 mm/año (MADR. 2006).

CENICAÑA en el 2011 realizó un estudio detallado en el valle alto del río Cauca, donde se analizó una serie de tiempo de 15 años de datos de precipitación mensual, registros tomados por 216 estaciones pluviométricas operadas por la CVC y otras entidades, identificando que la precipitación media anual para esta zona alcanza los 1275 mm/año. Dicho estudio mostró que la frecuencia de precipitación media anual que presenta la zona, contempla una probabilidad de exceso del 75%, que se puede interpretar también como el valor mínimo de precipitación que se tendría en 7.5 años en un periodo de 10 años; es decir que solamente en 2.5 años de 10 es probable que ocurran eventos de precipitación menores o mayores al esperado. La figura 5 presenta las isoyetas de precipitación media anual con probabilidad de ocurrencia de 75%.

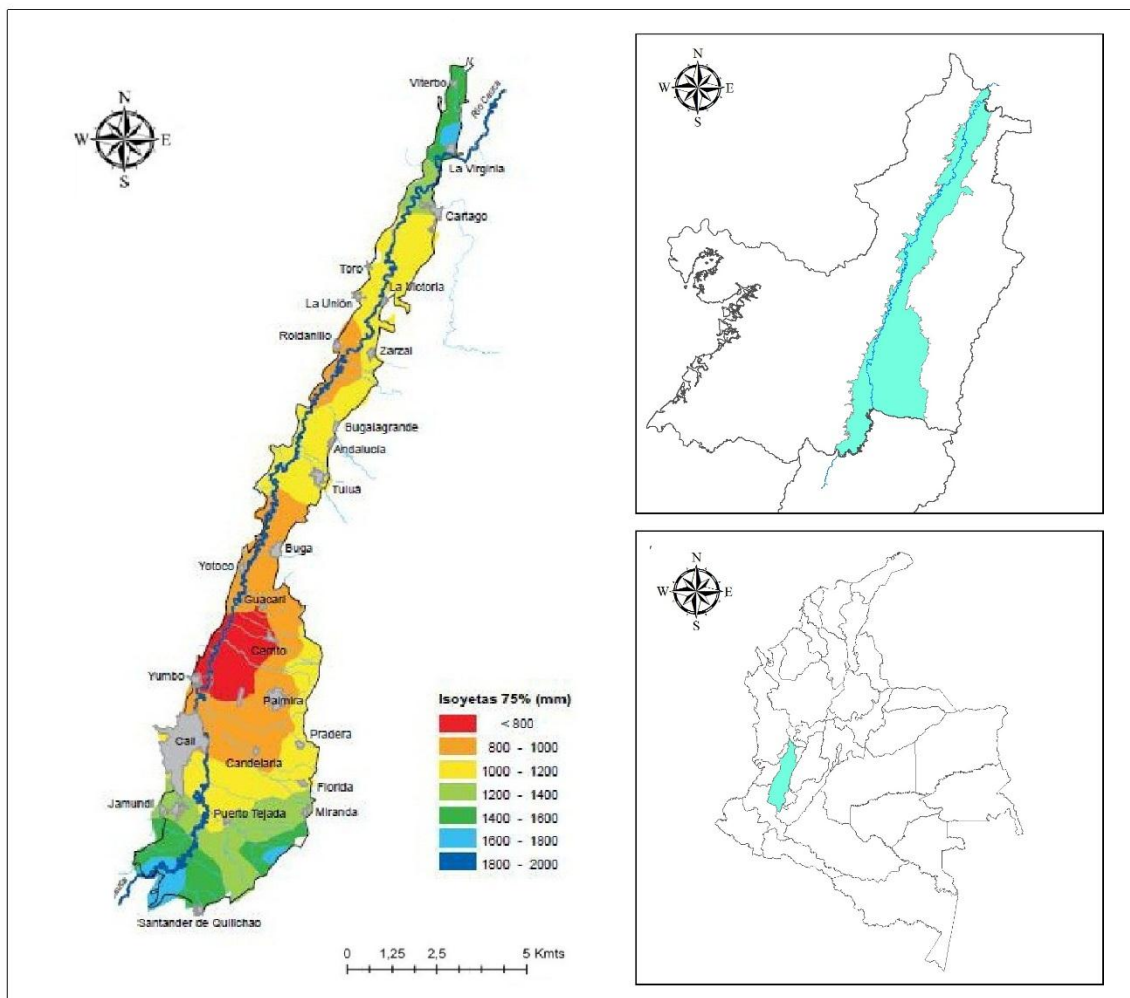


Figura 5. Distribución de la precipitación media anual con probabilidad de exceso de 75% en el Valle del río Cauca, valores estimado con base en registros.
Fuente: CENICAÑA, 2011.

3.1.3.2 Evapotranspiración Potencial

Entendida como el proceso por el cual se mueve el agua desde el suelo y las plantas hacia la atmósfera. Está constituida por dos fenómenos naturales: la transpiración, que es el movimiento del agua a través de las plantas hacia la atmósfera, y, la evaporación, que es el movimiento de vapor de agua desde el suelo y las áreas con vegetación hacia la atmósfera. Estos dos procesos son los que representan la porción de la precipitación que retorna a la atmósfera (IGAC, 2003).

Para estimar la evapotranspiración en el valle alto del río Cauca, CENICAÑA en el 2011, utilizó una serie de datos diarios de 10 años, mediante el análisis de esta serie se estimó la evapotranspiración media diaria para años normales (probabilidad de ocurrencia del 50%). Cuya fluctuación oscilo entre los 1200 y los 1800 mm/anuales. En el figura 6 se presenta la distribución espacial de la evapotranspiración media anual en el valle alto del río Cauca (CENICAÑA, 2011).

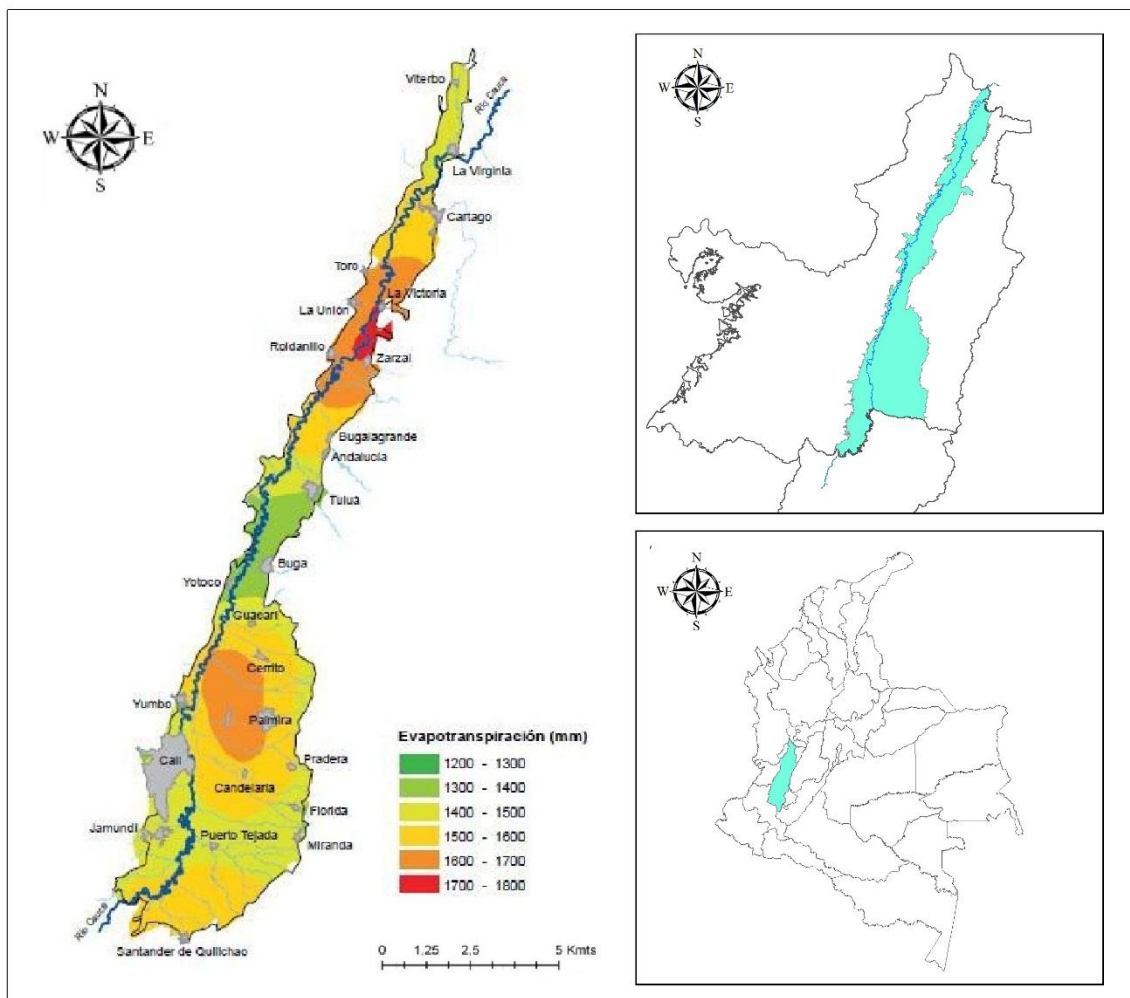


Figura 6. Distribución de la evapotranspiración media anual en el valle del río Cauca.
Fuente: CENICAÑA, 2011.

3.1.3.3 Temperatura

La temperatura media multianual en la zona de estudio es de 24° C y su fluctuación diaria puede ser hasta de 10° C, situación óptima para el sector agrícola que se desarrolla en el valle alto del río Cauca. Las tendencias de variación que presentan en promedio las temperaturas máximas, medias y mínimas a escala mensual, pueden considerarse relativamente uniforme durante todo el año (MADR, 2006).

3.1.3.4 Brillo solar

El brillo solar depende de la altitud y la nubosidad conjugada con la presencia de lluvias, es decir, en zonas lluviosas el brillo solar es menor que en zonas con poca lluvia. Para la identificación del brillo solar se establece la siguiente escala: el brillo solar durante menos de 4 horas por día se considera bajo, entre 4 y 5 horas medio, entre 5 y 6 horas alto y mayor de 7 muy alto.

Para la zona de estudio el promedio multianual es de 5.9 horas, factor influyente en los cultivos que se desarrollan allí, con especial incidencia en el cultivo de la caña de azúcar (CVC, 2011).

Es importante destacar que las anteriores variables climáticas fluctuaron ampliamente durante los años 2010 y 2011, como incidencia de fenómenos macroclimáticos representativos de la variabilidad climática regional, como lo es el fenómeno ENOS, en estos caso por efecto de la fase fría La Niña.

Entre estas variables, la precipitación fue la que presento mayor cambio, ya que presento un incremento del 40% del promedio anual, cambio que inicio con fuertes lluvias en las cuencas Jamundí y Amaime alcanzando picos diarios con precipitaciones de 102 mm/día y 89mm/día, las cuales fueron aumentando y extendiéndose con el pasar de los días sobre toda la cuenca del río Cauca en su valle alto, generando núcleos de precipitación en casi todas sus cuencas. Esta situación genero frentes frío que modificaron la temperatura promedio la cual entre los 12 y 15 °C y estas a su vez modificaron las demás variables climáticas, generando alteraciones en el clima local (IREHISA. 2012).

3.2 Recurso Hídrico Superficial

El río Cauca nace en el Macizo Colombiano, entre las Cordilleras Occidental y Central de los Andes, cerca del Páramo de Sotará en el departamento del Cauca y desemboca en el Brazo de Loba del río Magdalena frente al Municipio de Pinillos, en el Departamento de Bolívar. Presenta una longitud de 1350 km y drena una cuenca de 63300 km². El río se subdivide en tres tramos: alto, medio y bajo Cauca. El Alto Cauca comprende desde su nacimiento hasta el municipio de La Virginia en el departamento de Risaralda, el Cauca Medio va desde La Virginia hasta el municipio de Puerto Valdivia en el departamento de Antioquia; y, el Bajo Cauca va desde Puerto Valdivia hasta el Brazo de Loba en el departamento de Bolívar.

La zona de estudio de esta investigación corresponde al valle alto del río Cauca, la cual abarca el tramo del río desde La Balsa hasta el municipio de La Virginia. Este tramo del río tiene una longitud de 444.7 Km, el ancho varía desde unos 80 metros en la parte alta del tramo (La Balsa) hasta unos 150 m en la parte baja (Anacaro). La profundidad a banca llena oscila entre 3.5 m y 8 m (CVC – UNIVALLE, 2007).

A su paso por el valle alto geográfico, el río se caracteriza por ser de tipo aluvial y poseer un forma meandrica que discurre sobre un valle conformado por los sedimentos transportados y depositados en millones de años por la acción hidráulica y morfológica de su actividad natural. En este tramo el río Cauca recibe de sus tributarios un caudal promedio de 260 m³/s. Los tributarios más importantes en este sector son, sobre su margen occidental, los ríos Claro, Timba, Jamundí y Risaralda; y sobre la margen oriental, donde el valle es más amplio, los ríos Ovejas, Palo, Amaime, Tuluá, Guadalajara, Bugalagrande y La Vieja (ver Figura 7), los cuales se clasifican como ríos torrenciales, de pendientes fuertes que presentan crecientes apreciables de corta duración, sus aportes líquidos y de materiales sólidos afectan el comportamiento hidrológico, hidráulico, sedimentológico y morfológico del río Cauca (CVC, 2007).

3.2.1 Balance Oferta-Demanda

La gran oferta hídrica con que cuenta el valle alto del río Cauca hace de este un lugar estratégico para el desarrollo poblacional, agrícola e industrial. Pese a esta amplia disponibilidad hídrica, debido a la contaminación del afluente, asociada a la deforestación, la minería ilegal en la cuenca alta y, el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales, entre otras problemáticas ambientales, esta disponibilidad hídrica y de calidad de la fuente se ha ido deteriorando, presentándose como un limitante para el desarrollo. Se prevé que la demanda futura de agua potable para atender el consumo humano será muy alta en el corto plazo en la mayoría de las cabeceras municipales, especialmente en la zona sur del departamento del Valle del Cauca, donde, según las proyecciones de población, se presentan las mayores tasas de crecimiento anual. Por lo cual será necesario la implementación de tecnologías de tratamiento de agua más eficientes con el fin de atender dicha demanda, dado que el agua es factor fundamental para desarrollo.

El sector agrícola es uno de los sectores que mayor demanda del recurso hídrico a nivel local y regional. Los sistemas de riego que se usan se caracterizan por demandar altos volúmenes de agua y tener eficiencias de aplicación muy bajas, especialmente en el riego por gravedad, donde la eficiencia no supera el 35%; en consecuencia, un alto porcentaje del agua se pierde por infiltración y percolación profunda (CVC, 2004).

Con relación a la disponibilidad hídrica la subdirección técnica de la CVC a través del tiempo han adelantado estudios que permiten precisar hoy en día los caudales que manejan los ríos presentes en la zona, los cuales presentan aproximadamente una disponibilidad media anual de 520 m³/s y en el mes de Julio 350 m³/s (período seco y época de mayor demanda de agua). Para el manejo del recurso hídrico al interior del departamento la CVC ha establecido que el volumen máximo para suplir las demandas de uso del recurso en la actividades que se tejen al interior del departamento son de 168.3 m³/s para riego, 10.6 m³/s para uso industrial, 14.3 m³/s para uso doméstico y 9.1 m³/s para producción de energía. Es necesario aclarar que el 75% de los caudales asignados se capta de aguas subterráneas (CVC, 2011).

El valle alto geográfico del río Cauca posee un gran potencial hídrico subterráneo disponible para su aprovechamiento, los acuíferos en su mayoría se encuentran almacenados en un extenso relleno aluvial de 2400 km², formado por el río Cauca y sus afluentes, es necesario tener claro que estas aguas no son renovables a corto y mediano plazo, ya que su recarga natural se da a largo plazo.

Se estima para el año 2020 una demanda media anual de 179 m³ de agua y una disponibilidad media anual de 645 m³/s, lo cual da un balance hídrico favorable de 466 m³/s. Para el mes de Julio del mismo año se calcula que la demanda total será de 424 m³/s contra una oferta de 475 m³/s y un balance hídrico favorable de 51 m³/s (CVC, 2007).

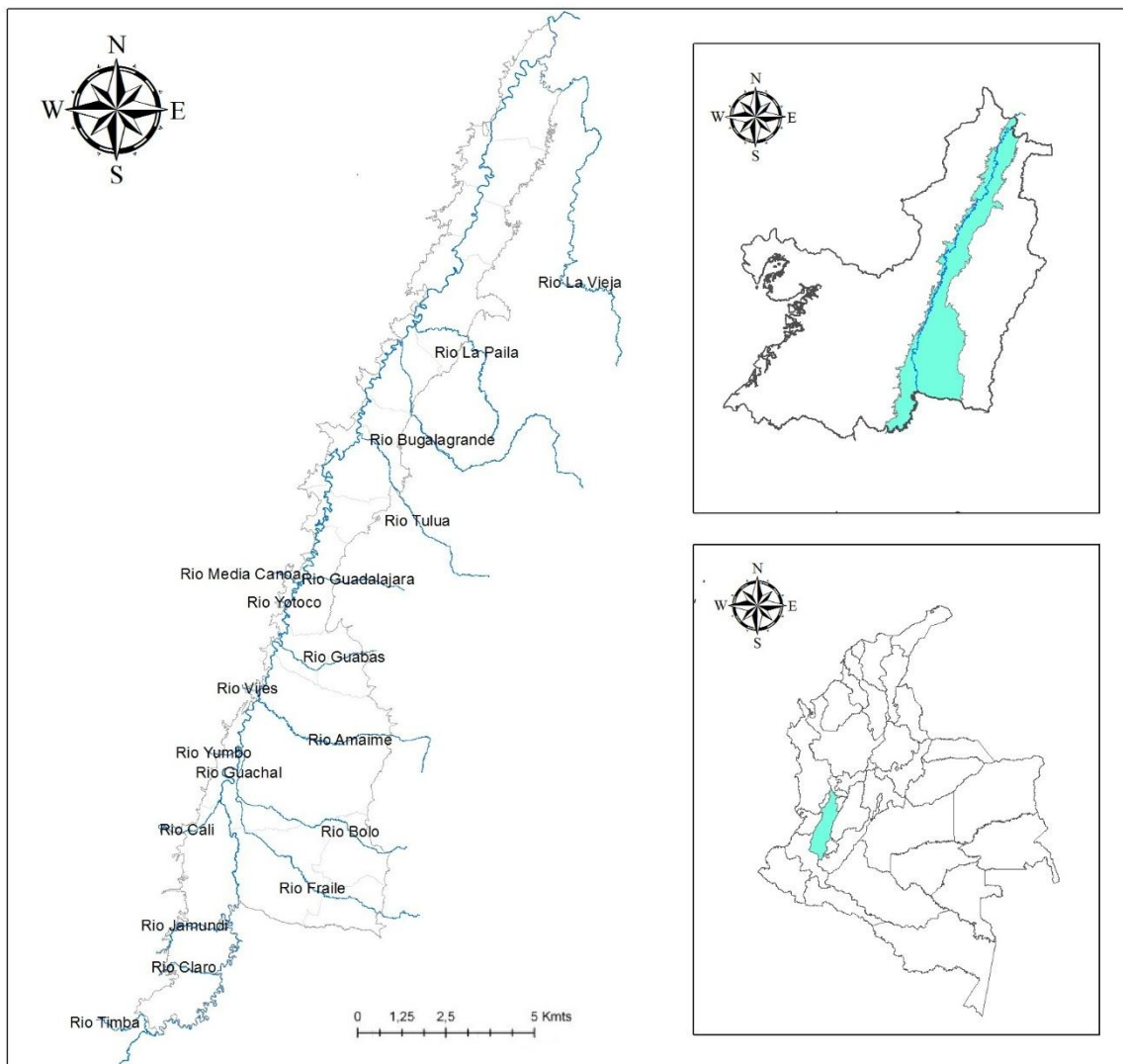


Figura 7. Red hídrica del río Cauca en el valle alto del Río Cauca.
Elaboración Propia (Fuente: CVC, 2012).

3.3 Recurso Suelo

El Valle del Cauca cuenta con una amplia variedad de suelos gracias a sus condiciones edafoclimáticas y morfogenéticas, la caracterización de sus suelos está referenciada de acuerdo con las unidades fisiográficas de la llanura del Pacífico, la zona de cordilleras y el valle alto geográfico del río Cauca. En la unidad fisiográfica del valle alto geográfico del río Cauca se identifica la planicie aluvial en proximidades del río en zonas inundables, donde se producen las mayores acumulaciones de sedimentos aluviales, sus suelos son profundos, regularmente drenados, con algunas limitaciones de salinidad. Actualmente están dedicados a la agricultura y a la ganadería extensiva.

Dentro de esta unidad fisiográfica se halla una zona de terrazas de origen sedimentario fluvio-lacustre de textura arcillosa, con drenaje pobre y limitado por presencia de sales y/o sodio, la actividad económica es la agricultura mecanizada, principalmente con cultivos de caña de azúcar y pastos.

Hacia el piedemonte se identifican dos tipos de suelos: los abanicos antiguos y los recientes, distribuidos indistintamente en el valle desde el río hasta el pie cordillerano. El material que conforma estos suelos es de origen aluvial, limitado por sales en los abanicos recientes, y en los antiguos con horizontes compactos, con gravas y pedregosidad. La actividad de mayor relevancia en esta zona es la agricultura con cultivos de caña de azúcar, soya, algodón, maíz, sorgo, plátano, vid, yuca y hortalizas, entre otros (CVC, 2004).

El Valle del Cauca cuenta con 299.226 hectáreas en la parte plana del valle alto del río Cauca, de las cuales 217.118 son aptas para la agricultura, y el resto presenta problemas de sales de sodio y magnesio, presencia de arcillas expansivas, drenaje imperfecto y compactación. Estos suelos pertenecen a las clases agrológicas I, II, III y IV, dentro de las cuales se encuentran los órdenes molisoles, vertisoles e inceptisoles (MADR, 2006).

3.3.1 Uso Potencial del Suelo

El uso potencial se define como la capacidad natural que poseen las tierras para producir o mantener una cobertura vegetal. Igualmente se puede definir como la clasificación de las condiciones físicas de los suelos, con el fin de delimitar áreas homogéneas y definir las alternativas de uso agrícola, pecuario, forestal o de protección, con el propósito de que cada unidad sea usada de acuerdo con la capacidad productiva de sus suelos. Esta son una serie de condiciones sobre las cuales el hombre debe definir sus prácticas de manejo y conservación del suelo, esperando garantizar la productividad del suelo con el mínimo riesgo de deterioro del mismo en el tiempo (IGAC, 1998).

Para la caracterización del uso potencial del suelo en el valle alto del río Cauca, la CVC adoptó la clasificación agrológica establecida por las pautas del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, donde se tienen en cuenta tres niveles: Clase, Subclase y Unidad de uso y manejo (Unidad de Capacidad). Metodología que agrupa los diferentes suelos en unidades que permiten dar recomendaciones para su manejo y uso adecuado, de tal forma que se garantiza una mejor y mayor producción por unidad de superficie, conservando a la vez el recurso suelo.

Dicha metodología consiste en la designación de ocho clases (I a VIII). La clase I incluye suelos con pocas o ninguna limitación, aptos para el mayor número de cultivos y con el menor riesgo de deterioro cuando se trabajan. Los suelos de las otras clases tienen limitaciones progresivamente mayores y exigen prácticas de conservación y manejo que aumentan en intensidad a medida que se asciende en la escala de clasificación.

Con base en la información recopilada por la CVC se han identificado grandes grupos relacionados con la vocación de uso del suelo del Valle del Cauca. En el área de jurisdicción de esta entidad se encuentran 1.716.794 ha con estudios de uso potencial, donde la vocación de uso predominante para el Valle del Cauca son tierras forestales (ver tabla 4 y figura 8).

Tabla 4. Uso Potencial del Suelo en el Valle del Cauca

USO POTENCIAL DEL SUELO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
Tierras forestales	1.280.176	75
Tierras para pradera	53.900	3
Tierras para cultivos	191.264	11
Tierras para recuperación	11.595	1

USO POTENCIAL DEL SUELO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
Tierras de reserva natural	70.279	4
Tierras silvoagrícolas	109.580	6

Fuente: CVC (2011)

A la par de los estudios realizados por la CVC en la identificación de la vocación de uso del suelo del Valle del Cauca, otra serie de organizaciones productivas han ido realizando estudios de suelos sectorizados con el fin de identificar las mejores zonas productivas; ejemplo de eso es la Zonificación Agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del Río Cauca, realizado por CENICAÑA en el 2011, estudio que reportó que el Valle del Cauca tiene alrededor de 299 mil ha en la parte plana del valle alto del río Cauca, de las cuales 217 mil ha son aptas para la siembra de la caña de azúcar. Igualmente dicho estudio expone que estos suelos pertenecen a las clases agrológicas I, II, III y IV, de las cuales se encuentran los órdenes molisoles, vertisoles e inceptisoles, estos se caracterizan por ser suelos profundos a moderadamente profundos, de texturas francas a franco-arcillosas y arcillosas, de buena a mediana retención de humedad y de alta a mediana fertilidad.

En este mismo sentido, el Plan Frutícola Nacional “Valle del Cauca, tierra de frutas”, realizado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR, la gobernación del Valle del Cauca y otras entidades del departamento en el año 2006 analizaron la vocación de los suelos del Valle del Cauca con el fin de ubicar las áreas con mayor potencial para la producción frutícola, encontrándose que existen cerca de 333 mil ha aptas para el cultivo de frutales en el Valle del Cauca en las tres unidades fisiográficas analizadas (MADR *et al.*, 2006).

Los anteriores estudios son el ejemplo de como actualmente en el Valle del Cauca los estudios de vocación de suelos están orientados a identificar nuevas y mejores zonas aptas para la agricultura, zonas que potencialicen la producción por hectáreas sembradas de diferentes cultivos, situación que genera grandes contrastes con la vocación natural de los suelos. La expansión de la frontera agrícola en el departamento va en contravía de su vocación natural de uso del suelo, dado que como la CVC reporta sólo 191 mil ha son aptas para la agricultura (ver Tabla 4), mientras que el cultivo de la caña de azúcar tuvo cerca de 228 mil ha sembradas en el años 2012 (Asocaña, 2013). Por tal razón, es importante identificar el grado de conflicto de uso del suelo en el departamento con el fin generar posibles alternativas de solución que minimicen los impactos ocasionados por los cambios en los usos del suelo.

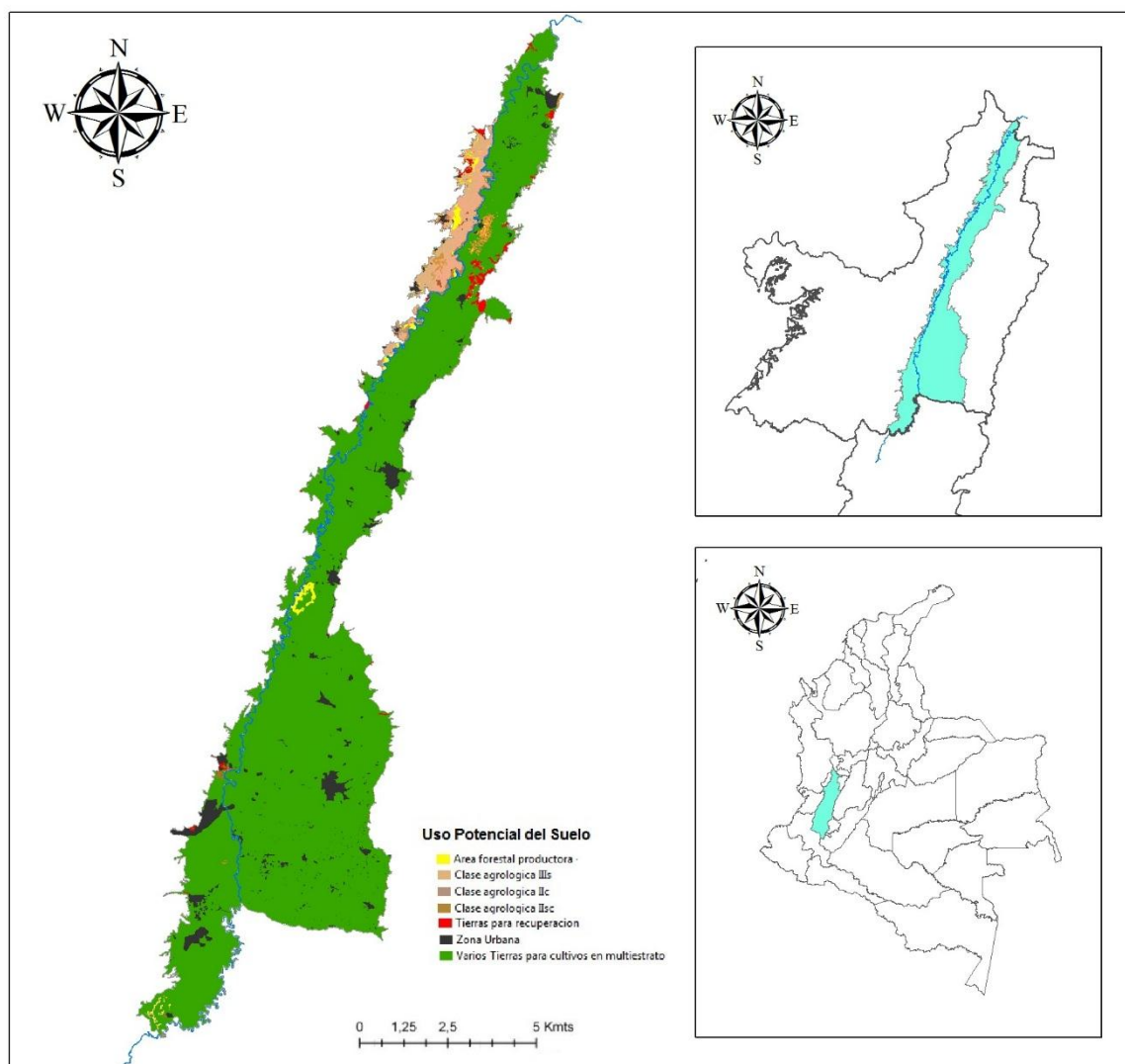


Figura 8. Uso potencial del suelo en Valle alto geográfico del río Cauca
Elaboración Propia (Fuente: CVC, 2012)

3.3.2 Cobertura y Uso Actual del Suelo

La cobertura del suelo hace referencia al aspecto morfológico y tangible del suelo y comprende todos los aspectos que hacen parte del recubrimiento de la superficie terrestre, de origen natural o cultural, mientras que el uso del suelo hace referencia a las funciones que se desarrollan sobre aquellas cubiertas, es la calificación de todas las actividades realizadas por el hombre sobre la cobertura del suelo, de forma parcial o permanente, con la intención de cambiarla o preservarla, para obtener productos y beneficios (URL 1.)

El Valle del Cauca a través del tiempo se ha caracterizado por poseer una amplia diversidad de suelos y climas, entre otras condiciones, que han favorecido la formación de variados ecosistemas. Se estima que en los años 50 cerca de la tercera parte de la planicie vallecaucana se hallaba cubierta por bosques débilmente modificados por el hombre. Los dos tercios restantes de la planicie se

repartían entre zonas de cultivos (cacao, café, plátano, maíz, tabaco, arroz y árboles frutales) y pastizales destinados a la ganadería.

La forma de manejo y siembra de dichos cultivos conservaba cierta cubierta arbórea, dando un paisaje de vegetación boscosa que comenzaba próxima a los poblados y se extendía en amplias franjas alrededor del río Cauca y sus afluentes, llegando hasta la cima de sus cordilleras.

La dinámica del uso del suelo en la zona plana del Valle del Cauca en los últimos 50 años, ha cambiado de forma radical la fisonomía natural de éste; prácticamente todos los bosques de planicie han sido derribados para darle paso al crecimiento de la frontera agropecuaria. Ciénagas, lagunas y madrevejas han sido desecadas en su mayoría; la tala indiscriminada de los bosques cordilleranos y las quemadas subsiguientes, la eliminación de amplias fajas de vegetación protectora en las márgenes de ríos y quebradas y las erróneas prácticas de manejo del suelos han causado que la erosión pluvial, antes moderada, se haya tornado en un agente de increíble potencia destructiva en la planicie vallecaucana (CVC, 2000).

La tabla 5, muestra la cobertura del suelo actualmente en el valle alto del río Cauca por debajo de los 1200 m.s.n.m, reflejando de forma directa el uso del suelo al interior del departamento; la cobertura predominante en esta zona es antrópica, caracterizada de cultivos y pasturas e igualmente es evidente la fragmentación del bosque seco característico de esta región, los cuales se identifican en pequeñas fracciones del territorio.

Tabla 5. Cobertura del suelo en el valle alto del río Cauca por debajo de 1.200 msnm

Cobertura	Área (ha)	%
Bosque	10715.80	1.8
Humedal	2.522.60	0.4
Cuerpo de agua	2.496.70	0.4
Rastrojo	21.248.60	3.5
Cultivos	317.049.10	52.1
Pastos	217.235.50	35.7
Bosque plantado	595.8	0.1
Zona urbana	29.846.80	4.9
Bosque guadua	7.249.90	1.2
TOTAL	608.991.80	100

Fuente: Arcila *et al.*, 2012

El Valle del Cauca, potencia agrícola de un país que se caracteriza a nivel mundial por estar entre los primeros productores de caña de azúcar, café, plátano y frutales, por lo cual cabe resaltar que el recurso suelo de este departamento es el que ha soportado los avances de un sector que crece de forma acelerada, la tabla 6 refleja como a través del tiempo se ha venido expandiendo el área para la siembra de cultivos como la caña de azúcar, entre otros, que han sido foco de producción en el departamento gracias al desarrollo óptimo de las condiciones agronómicas de dichos cultivos, situación que ha ido desplazando de forma masiva la producción de otros cultivos y disminuyendo las áreas boscosas, generando así conflictos ecosistémicos.

Tabla 6. Variación en el tiempo de las áreas cultivadas en el Valle del Cauca

TIPO DE CULTIVO	1954 ^a	1974 ^b	2012 ^c
Caña de azúcar	40000	96051	204153
Arroz	9000	10100	2772
Frijol	7000	1580	1201,5
Maíz	10000	13300	9696,6
Otros Cultivos	1300	118246	41596,1

Fuentes: ^a CVC, 2004:75; ^b Gobernación del Valle del Cauca, 1974:157; ^c Secretaria de Agricultura y Pesca – Valle del Cauca, 2012.

El sector agrícola históricamente ha sido el agente transformador de los usos naturales del suelo en el departamento, así lo expone la tabla 7, donde se relaciona el área sembrada por grupo productivo, resaltando de los cultivos permanentes, la caña de azúcar el cual es el cultivo con mayor área sembrada de este grupo.

Tabla 7. Área de producción agrícola sembrada en el Valle del Cauca (2000-2012)

AÑO	PERMANENTE	TRANSITORIOS	FRUTALES	HORTALIZAS	RAÍCES Y BULBOS	OTROS
2000	290.307	45.176	23.820	5.227	3.940	1.072
2001	291.619	49.000	24.122	5.137	3.716	1.373
2002	292.422	51.867	24.860	5.248	3.573	1.487
2003	297.178	53.673	26.002	5.530	3.542	1.552
2004	299.935	54.165	27.856	5.488	3.660	1.082
2005	309.559	60.728	27.957	5.940	3.707	1.378
2006	307.500	56.534	27.879	6.535	3.977	1.347
2007	308.295	48.865	29.379	6.342	3.662	1.226
2008	305.399	45.540	30.839	6.760	4.437	1.195
2009	309.196	40.248	32.844	6.127	4.380	1.195
2010	304.008	36.198	31.716	6.315	3.850	870
2011	306.189	36.451	30.824	6.202	4.035	781
2012	302.519	34.407	30.963	6.030	3.761	843

Fuente: Secretaria de Agricultura y Pesca- Valle del Cauca. (2012), URL 1.

El sector económico del Valle del Cauca es soportado en la dinámica de su producción agrícola, donde a través del tiempo ha jugado un papel muy importante el clúster del cultivo de la caña de azúcar, el cual en los últimos 130 años ha presentado varias etapas de auge; entre los años sesenta y ochenta el área sembrada paso de las 64 mil ha a 110 mil ha, dado al aumento de las exportaciones a países como EEUU (Ramos, 2005). Igualmente la apertura económica de los noventa proporcionó mayor inversión económica en dicho cultivo hasta alcanzar áreas de siembra de cerca de 220 mil ha en 2008, la cual en su momento representaba la mitad de la disponibilidad de tierra del valle alto del río Cauca.

La figura 9 refleja la dinámica del cultivo de la caña de azúcar con relación al área sembrada de este y a la cantidad de azúcar producida entre los años de 1990 y 2009; se aprecia que el uso del suelo para este cultivo se ha venido incrementando de forma acelerada, trayendo consigo beneficios económicos para el departamento, pese a esto, el monocultivo de la caña de azúcar ha dejado una gran deuda ambiental con los recursos naturales, generando fuertes alteraciones a los ecosistemas del valle alto del río Cauca y el deterioro paisajístico del territorio.

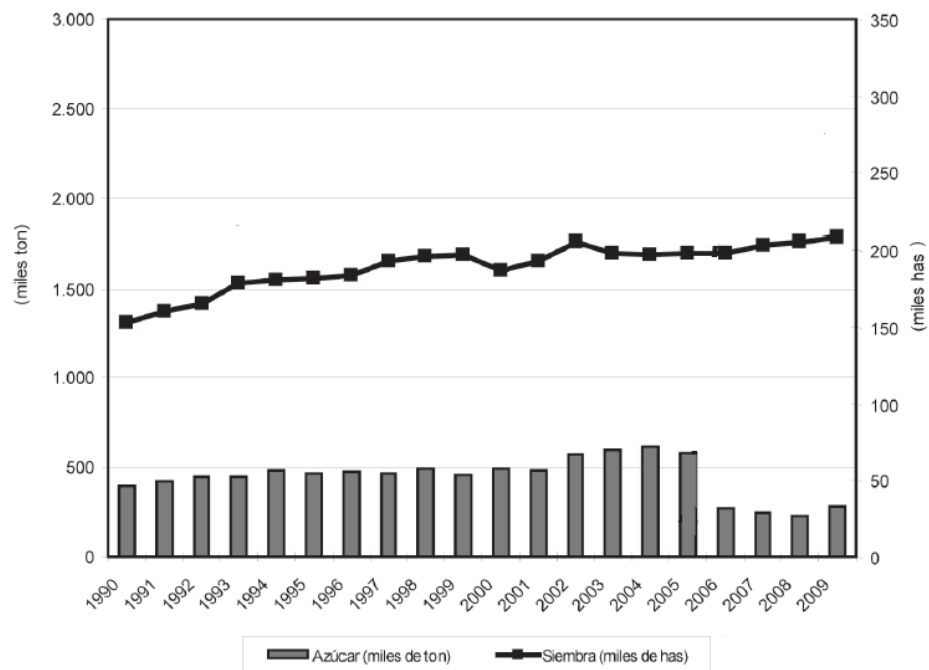


Figura 9. Dinámica productiva de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca (1990-2009).

Fuente: Pérez et al., 2011

En la figura 10 se presenta el uso actual del suelo del área de estudio, donde se puede ver que el uso actual está dado hacia la producción agrícola de alto rendimiento, especialmente el monocultivo de la caña de azúcar, este uso claramente ha generado beneficios económicos y sociales, pero igualmente ha implicado el desplazamiento de gran parte de la ganadería y la agricultura de subsistencia hacia la zona de ladera, generando competencia con su vocación forestal y afectando, en consecuencia, los recursos naturales.

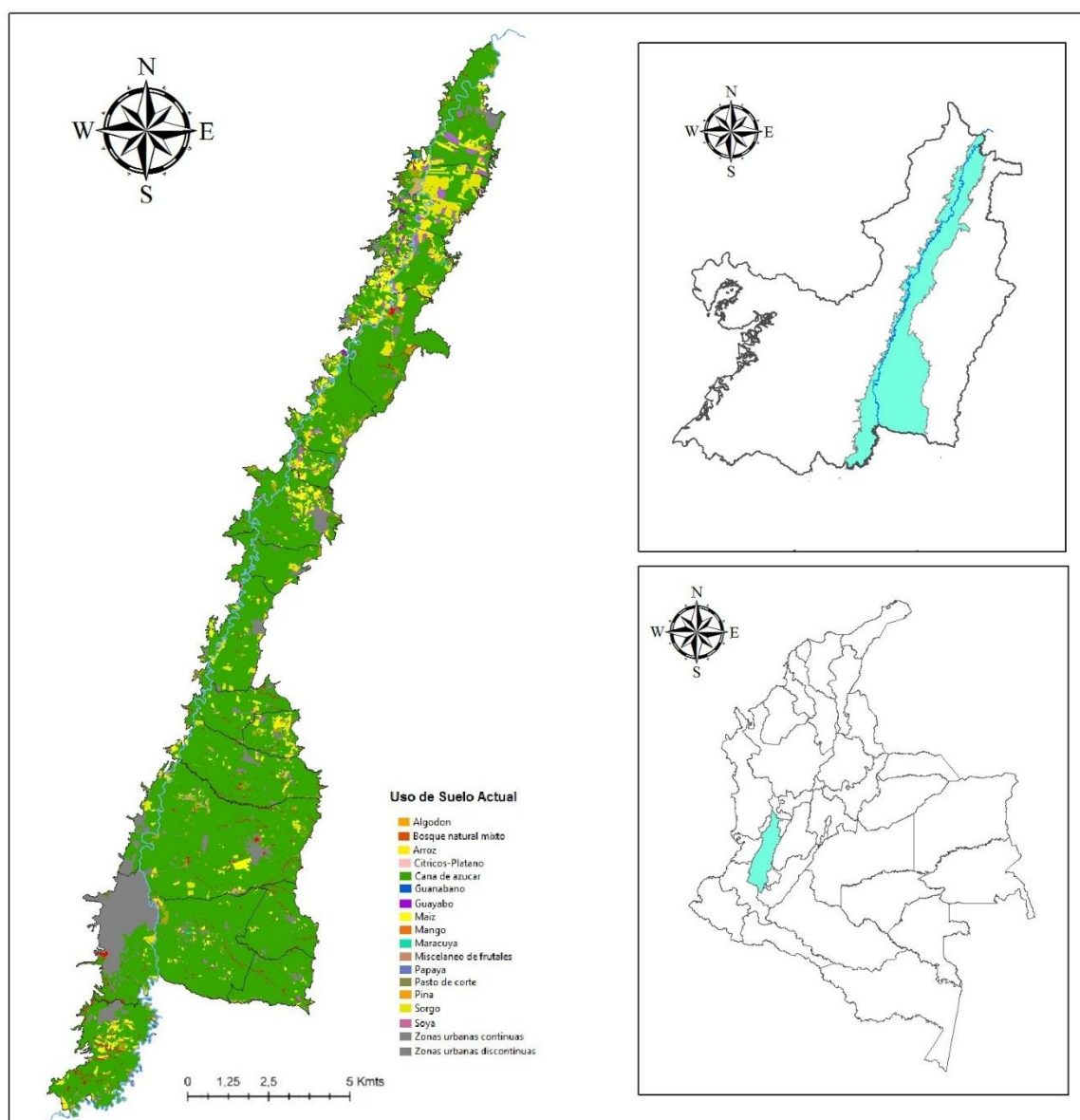


Figura 10. Uso actual del suelo en valle alto del río Cauca
Elaboración Propia (Fuente: CVC, 2012)

3.3.3 Conflicto de Uso del Suelo

El conflicto por el uso del suelo se presenta cuando el uso del suelo no corresponde al uso potencial del mismo; es decir, las exigencias de la cobertura vegetal establecida son diferentes a la capacidad natural ofrecida por el suelo. El objetivo central de los estudios de identificación del conflicto por el uso de suelo de una zona en particular es cuantificar las áreas donde la cobertura vegetal establecida no está acorde con las condiciones físicas naturales del suelo. Este se hace con el fin de establecer los correctivos necesarios que eviten el deterioro del recurso (CVC, 2007).

La identificación del conflictos de uso del suelo en la zona de estudio está definido con base en la magnitud de la diferencia existente entre el uso actual y el uso potencial, algunas de los procesos que permitirían identificar una zona en conflicto de uso, serían aquellas que manifiesten problemas de mal drenaje y salinidad de los suelos, el alto grado de erosión y el uso inadecuado del territorio. En este sentido cabe resaltar que los cambios de cobertura y uso del suelo a nivel local están ligados a la combinación de factores económicos, tecnológicos, institucionales, culturales y demográficos, enmarcados en el contexto histórico que ha trascendido en la zona de estudio, donde la actividad agrícola ha sido tal vez el factor antrópico más influyente en la modificación de cobertura y uso del suelo, factor sustentado en la evolución socioeconómica del departamento (Geist&Lambin, 2002).

La problemática asociada a la actividad agrícola, como principal factor de cambio de uso del suelo, evidencia múltiples problemas asociados a las prácticas de expansión de la frontera agrícola, los métodos de manejo y aprovechamiento del suelo, los sistemas de riego y las fuentes hídricas que los alimentan, al igual que los sistemas de siembra de monocultivos, en la mayoría de los casos son agentes ineficientes que generan deterioro al momento de usar el territorio. Algunos estudios realizados con el fin de identificar los conflictos del uso del suelo en el departamento indican que las 299.226 ha de tierras dedicadas a la agricultura en valle alto del río Cauca presentan degradación asociada al mal manejo del agua en la actividad agrícola; y 85.000 hectáreas están afectadas por salinidad y mal drenaje. Dicha salinidad sigue aumentando debido al manejo inadecuado que se le da al agua en la agricultura (PGAR, 2012).

Una de los fenómenos que puede evidenciar el grado de deterioro de un suelo es la erosión, la cual se puede presentar en diferentes grados. Para el caso especial de la cuenca del río Cauca, la CVC informa que el 54% de su superficie se encuentra erosionada, y las posibles causas son el uso inadecuado de los suelos a través de prácticas agrícolas e industriales no amigables con la sostenibilidad del recurso; igualmente se identifica al sector ganadero como el mayor generador de este proceso, casi irreversible. Evidencia clara de esta situación se da al comparar el uso potencial del suelo con el uso actual, donde se observa que las tierras aptas para pastoreo en el departamento son sólo el 1.28%, mientras que en la actualidad el 25.9% está dedicado a esta actividad (CVC, 2010)

Otro sector afectado por el conflicto de uso de suelos en el valle alto del río Cauca son las zonas forestales y de bosque. Según estudios realizados, 595.097 hectáreas del bosque vallecaucano son de uso potencial forestal, entre bosques productores (5.4%), productor-protector (6.0%) y tierras de protección (17.4%), indispensables para la conservación de los suelos y la regulación de las aguas. La incompatibilidad entre procesos productivos y usos del suelo ha generado una disminución de la cobertura vegetal de la que resulta un déficit de bosque, hoy sobre las 260.453 hectáreas (Arcila *et al.* 2012).

Algunas actividades propias del sector maderero y ganadero afectan desfavorablemente en el incremento forestal en el Valle del Cauca. Actualmente el área de bosques plantados representa el 1.05% frente a una potencialidad del suelo que permite cubrir el 5.8% del área, situación que evidencia el grado de conflicto de uso de estas zonas, las cuales están dedicadas actualmente a pastos naturales y ganadería extensiva. Pese a las inversiones hechas por entidades públicas y privadas en reforestación, muchas veces los programas no alcanzan exitosamente los objetivos por la inadecuada selección de especies arbóreas e incorrectas técnicas de establecimiento y manejo.

Sin perjuicio a la importancia que tiene el desarrollo socioeconómico y agrícola del valle alto del río Cauca, es importante referir la opinión de quienes consideran que el desarrollo agropecuario

también ha traído consigo enormes daños para la región, tales como: la reducción de la pequeña agricultura minifundista en la zona plana; la afectación de la biodiversidad de flora y fauna; la erosión y compactación del suelo; la desaparición de pequeños poblados rurales; el creciente monocultivo de la caña de azúcar y la alta concentración de la propiedad de la tierra, entre otra serie de afectaciones (CEPAL & CNP, 2002).

Por lo anterior, es claro que se debe trabajar conjuntamente desde los diferentes sectores, tales como el económico, el social, el gubernamental e institucional con el fin de proponer soluciones sistémicas que mitiguen y detengan el grado de deterioro en el que se encuentra el recurso suelo actualmente en el área de estudio. Como primera medida se puede fortalecer el soporte técnico a los procesos de producción agrícola y pecuaria; igualmente mejorar la coordinación institucional y la reformulación de la política agraria y el ordenamiento territorial.

CAPÍTULO IV
DINÁMICA DEL USO DEL SUELO
EN EL ÁREA DE ESTUDIO

4. DINÁMICA DEL USO DEL SUELO EN EL ÁREA DE ESTUDIO

La transformación acelerada de las superficies forestales en áreas de uso agropecuario o urbano ha sido uno de los procesos más comunes en varias regiones del país durante los últimos 30 años (Velásquez *et al.*, 2002; Salazar *et al.*, 2004), donde la fluctuación de la cobertura y el uso del suelo han sido dos elementos que evidencian la transformación de la superficie terrestre en el país asociada a la acción humana, la cual es uno de los principales agentes transformadores de los ecosistemas.

La disminución de la vegetación (asociada frecuentemente con la sobreexplotación) puede ocasionar diversas alteraciones en una región, tales como la reducción de la recarga de mantos acuíferos, el incremento de la tasa de erosión, el aumento de la tasa de rebose de presas y lagos, el aumento de inundaciones causadas por el desbordamiento de ríos y el cambio de las condiciones climáticas locales (Ordóñez *et al.*, 2000). Estas alteraciones y transformaciones hacen ver cada vez más necesarios estudios e investigaciones sobre los procesos dinámicos de los cambios de uso del suelo y deforestación, dado que proporcionan información de las fluctuaciones y las tendencias de estos procesos, especialmente el de la degradación de los suelos, en los que intervienen factores ecológicos y socioeconómicos (Kaimowitz y Angelsen, 1998; Velázquez *et al.*, 2002; Priego *et al.*, 2004; Guerra y Ochoa, 2006).

Para el caso del área de estudio, el acelerado crecimiento poblacional, aunado a las también crecientes expectativas de desarrollo, junto con la incursión del clúster productivo de la caña de azúcar, se constituyen en una enorme presión de uso sobre los recursos naturales. Esto no sólo se traduce en la intensificación de cultivos en áreas agrícolas, sino también en su expansión hacia zonas marginales, generando los minifundios productivos en las partes altas de la cuenca. Estos sólo son algunos de los problemas ambientales que se reflejan en la pérdida de los recursos naturales y favorecen la ocurrencia de desastres, generando cuantiosos daños materiales y la pérdida de vidas humanas (Vitousek *et al.*, 1997; Mateo y Ortiz, 2001).

Para determinar e interpretar la fluctuación en el tiempo de la cobertura y los usos del suelo de una zona específica es necesario contar con información detallada de fuentes primarias, tales como inventarios históricos de uso de suelo, imágenes satelitales y herramientas SIG, que al ser conjugadas con información secundaria permite llegar a un diagnóstico cuantitativo y cualitativo de la situación, el cual se convierte en una herramienta estratégica para el ordenamiento y la utilización controlada de los recursos naturales disponibles

Algunos estudios previos han reflejado puntualmente ciertos usos del suelo en el área de estudio. En la tabla 6 se presenta la variación temporal de las áreas sembradas con diferentes cultivos en el Valle del Cauca en el período 1954-2012. Se aprecia como el crecimiento de la frontera agrícola ha sido quizás el mayor modulador del territorio en el área de estudio, entre los cultivos de mayor relevancia están la caña de azúcar, el café, el plátano y los frutales, que han llevado a que esta región sea considerada una de las despensa agrícolas del país. Se deduce que el recurso suelo de este departamento es el que ha soportado los avances de un sector que crece de forma acelerada por la demanda a nivel nacional e internacional.

La frontera agrícola en el Departamento pasó de tener 67 mil hectáreas dedicadas a la agricultura a casi 260 mil en menos de 60 años, presentando un crecimiento ampliamente acelerado que ha desplazado otros sectores y usos naturales del suelo. En la Figura 11 se presenta la variación de las

áreas sembradas de diferentes cultivos emblemáticos en el Valle del Cauca en el período 1987-2012 (MADR, 2013).

Como lo muestra la figura 11, el Valle del Cauca a finales de la década de los ochenta contaba con una distribución algo equitativa de tierra para diferentes cultivos; era considerado uno de los departamentos de mayor producción de algodón, sorgo, soya, arroz caña de azúcar y caña panelera, donde la variedad productiva hacía de este departamento un punto de inversión para industrias nacionales e internacionales que suplían sus demandas con la materia prima allí generada. Los procesos económicos y de inversión que se tejieron al interior del departamento en las últimas tres décadas dejaron posicionado, en una alta y aventajada situación, el clúster productivo de la caña de azúcar, el cual es actualmente el mayor sector productivo aportante al producto interno bruto del departamento, al igual que posee la mayor área sembrada de dicho cultivo en el país.

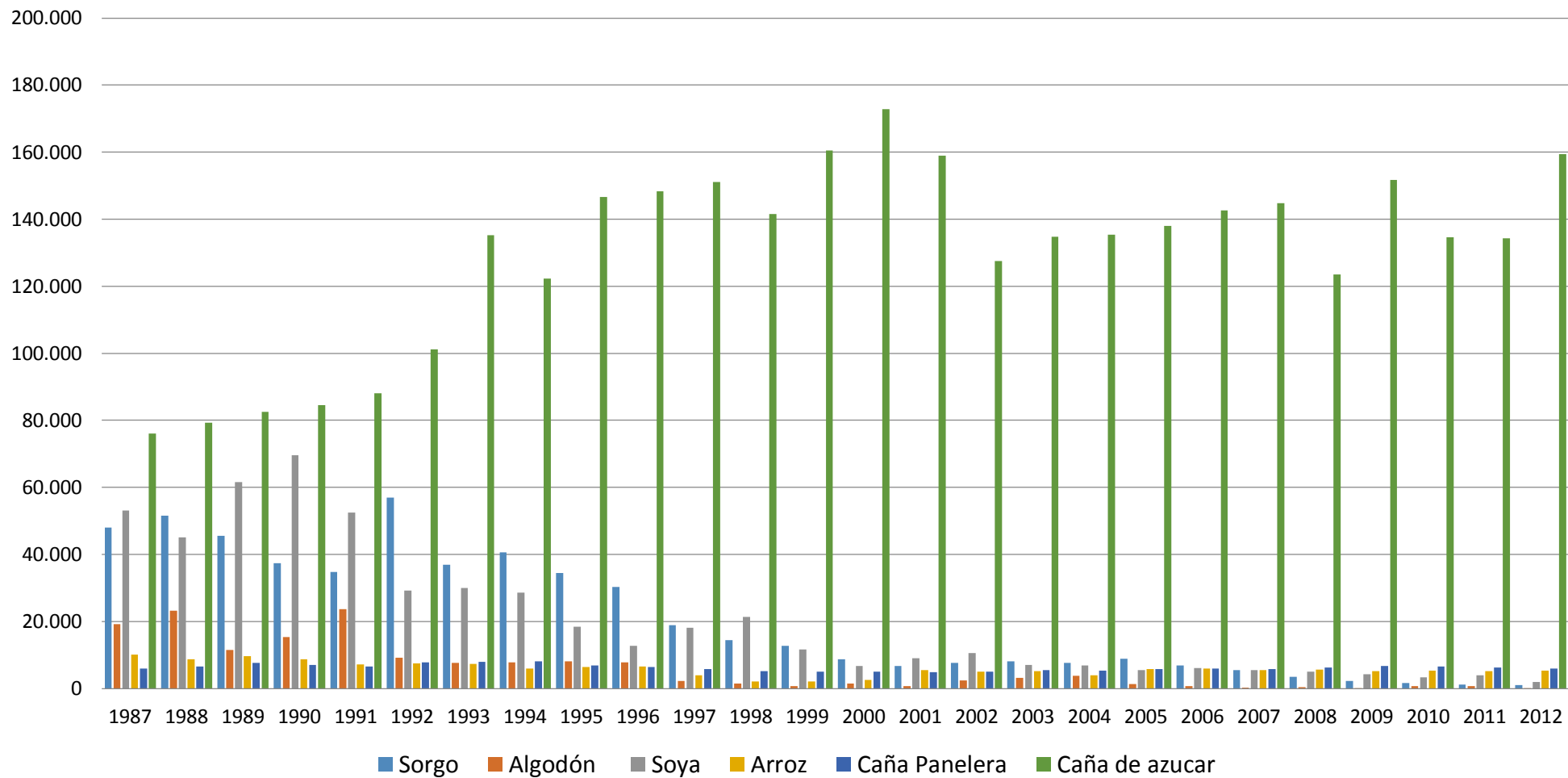


Figura 11. Área Sembrada por cultivo en el Valle del Cauca en el período 1987-2012.
Fuente: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2013 - Elaboración Propia

En la figura 12 se puede apreciar cómo en los últimos 12 años el área sembrada por cultivos permanentes, transitorios y frutales ha fluctuado en el área de estudio. En los cultivos permanentes el área sembrada aumentó en cerca de 70 mil hectáreas, mientras que los cultivos transitorios han cedido terreno en cerca de 12 mil hectáreas y los frutales han presentado un leve crecimiento, con un avance de la frontera en cerca de 3 mil hectáreas.

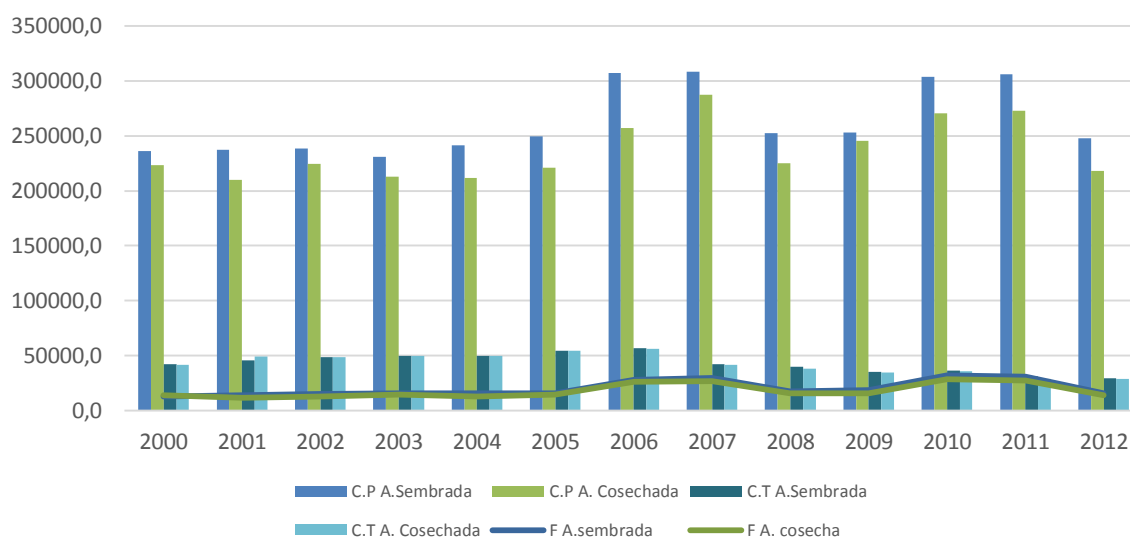


Figura 12. Área sembrada y cosechada en el período 2000-2012

Fuente: Secretaría de Agricultura y Pesca - Departamento del Valle del Cauca – URL II - Elaboración propia. (C.P.A. Sembrada: Cultivos Permanentes Área sembrada; C.P.A. Cosechada: Cultivos Permanentes Área cosechada; C.T.A. Sembrada: Cultivos Transitorios Área sembrada; C.T.A. Cosechada: Cultivos Transitorios Área cosechada; F.A. Sembrada: Frutales Área sembrada; F.A. Cosechada: Frutales Área Cosechada)

Las áreas sembradas y cosechadas en los cultivos transitorios y frutales son muy similares y no presentan variaciones anuales significativas. Estos pueden interpretarse como sistemas productivos eficientes, dado que la práctica de recolección y el seguimiento presentan asistencia dirigida y puntual. Caso contrario ocurre en los cultivos permanentes en los cuales se presentan pérdidas considerables, ya que un porcentaje alto de área cultivada no llega a punto de maduración y cosecha, estos cultivos, en promedio, presentan pérdidas aproximadas del 5% anualmente, pero el período 2010-2011 se dejó de cosechar cerca del 15 % del área sembrada.

En el área de estudio, la tendencia en el uso del suelo está dada por la presencia de cultivos permanentes, donde el cultivo con mayor área sembrada es la caña de azúcar; éste ha presentado una expansión de su frontera de forma acelerada y significativa, situación que se da por las condiciones climáticas, agroecológicas y sociales que han permitido la instauración del modelo de desarrollo basado en la agroindustria de la caña de azúcar, que hoy cuenta con por lo menos trece grandes ingenios con más de 100 empresas, en renglones como la energía (etanol), papel, sucroquímica, azúcar, mieles, abonos orgánicos, alimentos, bebidas, alcoholes y licores, entre otros.

El desarrollo del cultivo de caña de azúcar y sus características lo clasifican como uno de los más grandes monocultivos de Colombia; en su mayoría se ubica sobre las márgenes del río Cauca, desarrollándose en varios departamentos, tales como el norte del Cauca, Valle del Cauca y parte de Risaralda y Caldas. La dinámica de crecimiento de esta frontera agrícola se evidenció fuertemente entre los años 60s y 80s, donde el área sembrada casi se duplica, al pasar de 64 mil a 110 mil ha. A

partir de 1990, como resultado de la apertura económica, se acentúa la especialización hacia el cultivo de la caña de azúcar hasta alcanzar las 203 mil ha sembradas. Para el año 2012, ASOCAÑA reporta un área sembrada de 228 mil ha, situación que evidencia la dinámica creciente de este cultivo y sus derivados (ver figura 13).

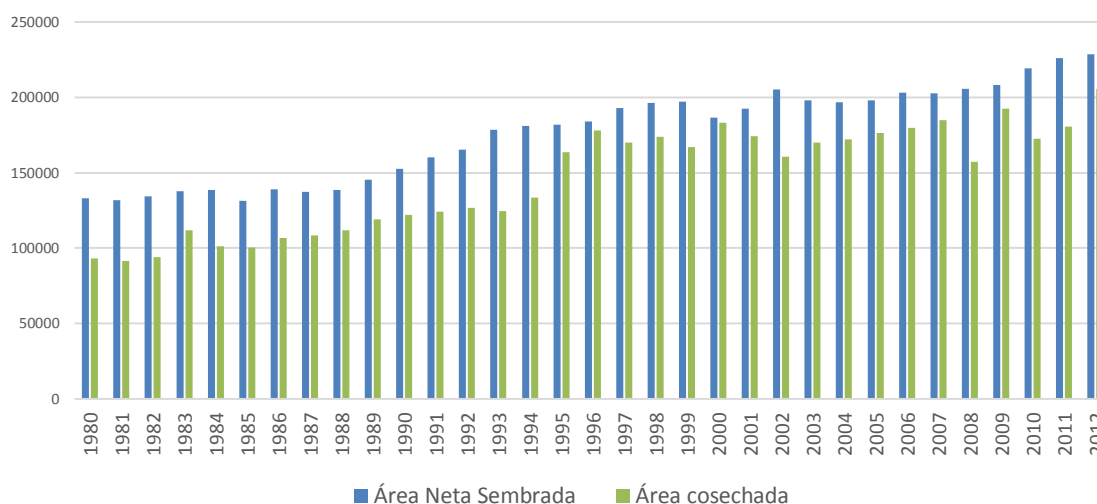


Figura 13. Área sembrada y cosechada en caña de azúcar en el valle alto del río Cauca Fuente: Asocaña (2012) – Elaboración Propia.

Dicho sector productivo se ha posicionado como una industria altamente productiva, presentando producciones que superan las 126 tons de caña verde por hectárea, cerca de 15 tons de azúcar/ha y, además, importantes desarrollos en investigación y biotecnología. Esta agroindustria, además, entró en el negocio de los agrocombustibles, produciendo un millón 50 mil litros diarios de etanol.

En la figura 13 se muestra el área anual sembrada y cosechada en caña de azúcar en el valle alto del río Cauca. Este clúster productivo ha sido eje de desarrollo socioeconómico e industrial de esta importante zona del país. Pese a los múltiples beneficios que este sector ha proporcionado al departamento, su expansión e intensiva explotación han dejado a través del tiempo una amplia deuda ambiental, dado que el uso excesivo de los recursos naturales han provocado el colapso ecosistémico de esta importante región.

Esta situación se evidencia en el cambio de cobertura vegetal, dado que en menos de tres décadas se pasó de poseer variados ecosistemas naturales, como los humedales, el bosque seco inundable entre otros sistemas propios de esta zona que cumplían una función natural de hábitat y sustento para múltiples especies endémicas de fauna y flora, fluctuantes ante la dinámica cambiante del río Cauca, a poseer un ecosistema antrópico que transformó la dinámica natural de la región.

Según el estudio *Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca, Colombia* (Arcila, 2012), la cobertura natural en el área de estudio cada vez está más fragmentada, al presentarse como cobertura predominante la antrópica, con un porcentaje importante en cultivos agrícolas y pasturas, entre otros usos del suelo (ver tabla 5). Este estudio refleja el alto conflicto ambiental que se ha venido presentando en el área de estudio por el uso intensivo del suelo para

un solo fin, dado que el sector agrícola es el mayor demandante del recurso suelo y agua y, por ende, el transformador directo de los ecosistemas naturales al ampliar su frontera.

Lo anterior refleja, como la dinámica cambiante del recurso suelo y sus usos han jugado un papel determinante en la transformación productiva, ambiental y social del valle alto del río Cauca, donde sus usos han modulado y transformado la economía departamental y, a su vez, desde la arista ambiental ha dejado daños irreparables. Se puede concluir que dicho recurso natural ha sido agente de cambio ante el inminente desarrollo presentado a través de los años en el área de estudio, y por lo cual no debería ser ajena la necesidad de implementar nuevas y mejores políticas de manejo, distribución y planificación de tierras en el departamento con el fin de alivianar el rezago ambiental y social en la tenencia de tierras, para fines más amigables y sostenibles en el tiempo.

CAPÍTULO V
IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO ECONOMICO
CAUSADO POR LAS INUNDACIONES SOBRE EL SECTOR
AGRICOLA EN EL AREA DE ESTUDIO

5. IDENTIFICACIÓN DEL IMPACTO ECONOMICO CAUSADO POR LAS INUNDACIONES SOBRE EL SECTOR AGRICOLA EN EL AREA DE ESTUDIO

5.1 Identificación de Zonas Inundables en el Área de Estudio.

Las características hidrológicas, hidráulicas y morfométricas del Valle del Cauca favorecen la ocurrencia de inundaciones en los periodos de lluvias intensas, originando el desbordamiento del río Cauca y sus tributarios en las planicies de inundación. La emergencia asociada a la ola invernal 2010 – 2011, provocó al interior del país fuertes problemas socioeconómicos, con afecciones marcadas en el sector productivo, infraestructura, industria, turismo entre otros.

Para el caso del Departamento del Valle del Cauca la ola invernal dejó estragos en la red vial, el sector agropecuario, colapso de estructuras de contención como diques y canales de drenaje de áreas urbanas y rurales, situación que dio lugar a que el Gobierno Departamental expidiera el Decreto 1454 del 11 de noviembre de 2010, “Por medio del cual se declara la urgencia manifiesta para el Departamento del Valle del Cauca”.

Cerca de 40 mil hectáreas afectadas por las inundaciones en el Departamento, donde más de 28 mil de ellas asociadas al sector agropecuario. Este fue uno de los departamentos más afectados a nivel nacional, evidenciándose así la necesidad de incorporar la concepción de vulnerabilidad al riesgo, gestión integrada al riesgo y resiliencia en los procesos de planificación del desarrollo del territorio en miras de mitigar a futuro emergencias como la vivida en el 2010-2011.

El comportamiento histórico que se ha presentado en el Valle del Cauca en tema de inundaciones ha sido fluctuante en el tiempo, dado que estas se consideran como eventos naturales y recurrente, que están directamente asociadas a los cambios hidroclimatológicos que se han presentado en la zona. Las inundaciones registradas en el valle del río Cauca, se han identificado tradicionalmente como se presenta en la tabla 8, donde se exponen los años en que estas se han presentado, el área de afectación y un análisis por cada uno de estos eventos.

En el caso de las inundaciones reportadas en los años 1967, 1982, 1997 y 2010, cabe resaltar que dichas inundaciones abarcaron periodos hidrológicos que comprendieron varios años, incrementando así su área de afectación dado que el sistema natural de las cuencas hidrográficas estaba saturado en sus partes altas y por ende la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo estaría saturada, generando como externalidad mayor escorrentía y un aumento significativo en el caudal de los ríos principales.

Históricamente los eventos hidroclimatológicos que afectaron de forma más directa el Valle del Cauca fueron los asociados a los años 1967, 1984, 1998, 2010 y 2011, los cuales presentaron las mayores áreas de inundación registradas hasta el momento. Las pérdidas económicas, sociales y ambientales relacionadas con estos eventos, muestran como cada uno de ellos generaron impactos en sectores tan sensibles como la agricultura y la industria, que a su vez se reflejan en impactos sociales; por ende, la economía departamental y nacional resultan afectadas debido a la fluctuación económica que se vive por los efectos colaterales de las inundaciones.

En la figura 14, se puede observar el mapa de la frecuencia de inundación del valle alto del río Cauca, el cual expone las zonas que históricamente se han inundado con mayor recurrencia ante los

eventos ocurridos hasta el momento. Esta figura hace evidente que la zona más afectada históricamente es la ubicada desde el río Amaime hasta el río Bugalagrande, sobre ambas márgenes del río Cauca, mientras la zona norte del departamento entre el río Bugalagrande hasta el sector de ASONORTE se presenta la menor frecuencia de inundaciones, lo cual obedece al desfogue de caudal que inunda la zona centro.

La acción reguladora del embalse de Salvajina blinda de inundaciones la zona sur del departamento, por lo cual presenta la menor frecuencia de inundación, esta zona corresponde desde río Amaime aguas arriba. Estos mapas son estratégicos al momento de identificar zonas de mayor vulnerabilidad al riesgo de inundación, dado que permite identificar las áreas afectadas, las zonas más sensibles y propensas a inundación, por lo cual son insumos que se deberían de tener en cuenta al momento de la planificación y distribución del territorio, con el fin de dar un buen uso al suelo y minimizar las zonas de conflicto.

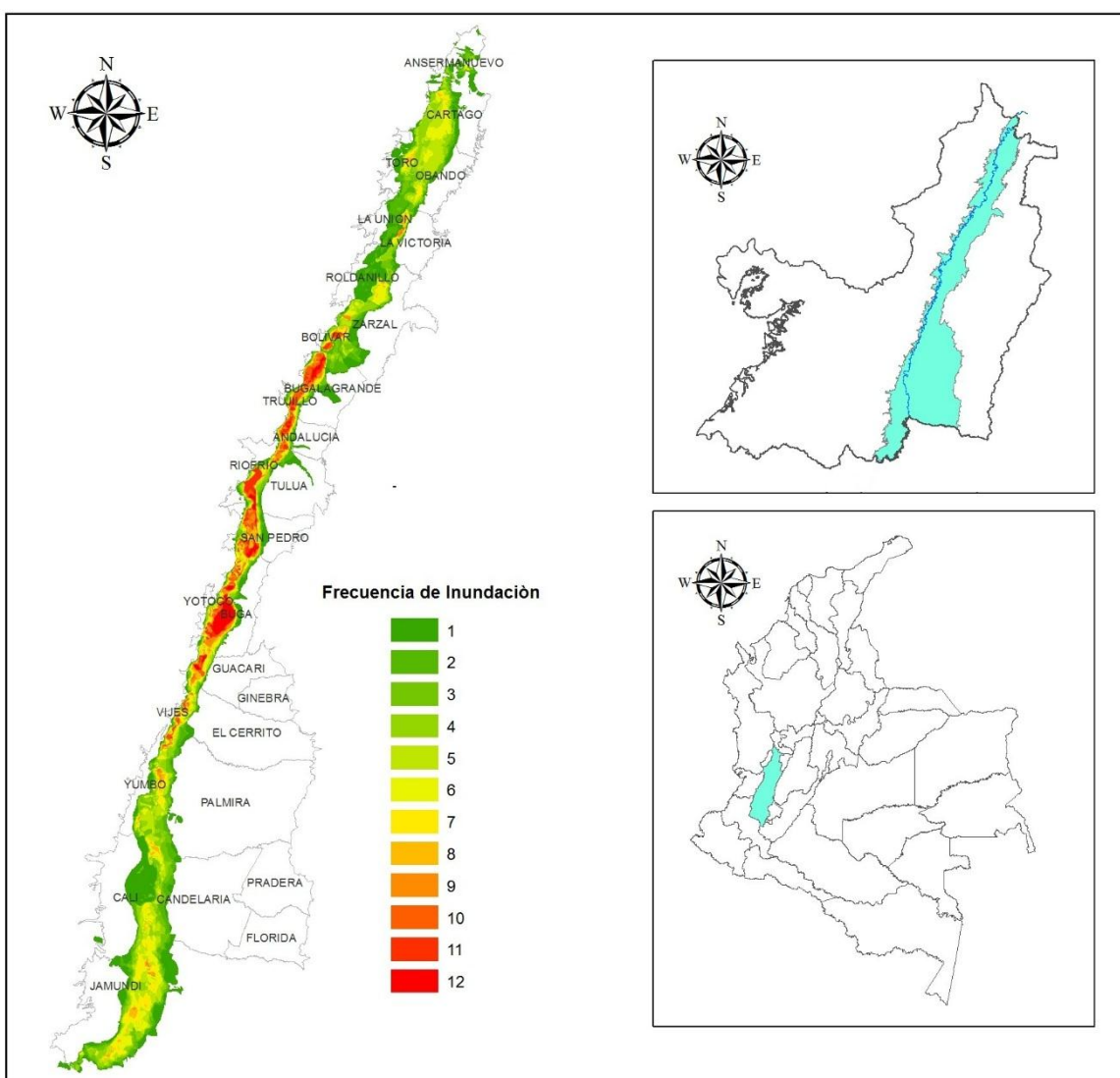


Figura 14.Frecuencia de inundación del valle alto del río Cauca -Elaboración Propia (Fuente: CVC, 2012).

Tabla 8. Resumen de las inundaciones históricas presentadas en el valle alto geográfico del río Cauca

Creciente	Caudal Máximo Reportado (m³/s)	Estación	Área Inundada (ha)	Observación
1949 -1950	1044	Juanchito	86.768	La inundación más extensa reportada históricamente, para este año aún no se contaba con obras de protección contra inundaciones. Emergencia que enmarcó la necesidad de las obras de adecuación de tierras, el Gobierno Nacional proporcionó recursos económicos con los que se construyeron: El proyecto piloto del distrito de riego y drenaje de “Aguablanca”; los canales y la estación de bombeo del Paso del Comercio en Cali y, por último la construcción del distrito RUT (Roldanillo – La Unión - Toro).
1966-1967	1254	La Bolsa	70.502	Esta inundación abarcó desde la desembocadura del río Timba hasta el municipio de La Victoria. En esta emergencia fueron claves las obras de contención realizadas por la CVC en años anteriores, dado que minimizaron el impacto y extensión de inundación.
1970-1971	1222	La Victoria	66.382	Este evento estuvo directamente relacionado con el fenómeno de La Niña, las fuertes precipitaciones se prolongaron por cerca de 19 meses, afectando así todo el departamento. Dada la magnitud de esta inundación se formuló el diseño definitivo del Proyecto de Regulación del Río Cauca, el cual comprendía la construcción de la Represa Multipropósitos de Salvajina, la implementación de diques, canales y estaciones de bombeo en la zona plana.
1974	1200	La Victoria	41.914	Esta inundación presentó una fuerte influencia de los tributarios especialmente los ubicados entre La Balsa y Juanchito siendo éstos los ríos Palo, Timba y Ovejas, entre otros. Igualmente estuvo relacionada con el fenómeno de La Niña, con fuerte influencia en el primer semestre del año.
1975	1317	La Victoria	43.115	En este evento presentó influencia directa por los tributarios entre Mediacanoa y La Victoria. Dada la emergencia presentada en estas inundaciones CVC promueve la ejecución de obras de protección como diques y canales de drenaje en las riberas de los ríos.
1982	950	La Victoria	11.000	Este fue un evento de inundación pequeño, el área de afectación no fue amplia y no estuvo relacionado con ningún fenómeno climático, solo se asoció a un frente frío presentado en la región Andina.
1984	1214	La Victoria	35.391	Esta fue la última inundación antes de la puesta en marcha de la represa de Salvajina donde la creciente alcanzó los caudales pico en el mes de noviembre, asociada al fenómeno de La Niña que inicio en el mes de octubre de 1984 y se prolongó por un año.
1988	929	Juanchito	12.882	Este fue el primer evento de inundación después de la puesta en marcha de la Represa de Salvajina, gracias a la intervención de esta se regularon los caudales de entrega al río.
1997	1000	Juanchito	5.400	Después de casi una década sin inundaciones y con la represa Salvajina en operación, se presentó esta creciente, la cual fue la más corta en duración reportada hasta el momento.
1998	1150	La Victoria	13.370	Este evento se presentó en el primer semestre del año, el incremento en el caudal ocasionó la ruptura en algunas partes del dique de protección aumentando así el área de afectación.
2008	1045	Pan de Azúcar	8.290	Esta inundación se prolongó por la zona centro-norte del departamento con influencias directas sobre la Laguna de Sonso y de los zanjones, Burriga (Buga – Tulua), y La Cañada (Bugalagrande). Se presentó después de 9 años sin inundación.
2010-2011	1200	Juanchito	44.023	En el año 2010 se reportó creciente más prolongada en la historia del río Cauca, iniciando los primeros días de noviembre y finalizando los últimos días de enero del siguiente año. Las afectaciones por esta inundación son las más grandes registradas después de la puesta en marcha de la represa de Salvajina, la zona norte del departamento fue la mayor afectada por esta emergencia.
	1051	Juanchito	39.316	Para el año 2011 se presentaron inundaciones en los dos semestres; el primer evento inició a finales de febrero y terminó a finales de abril. El segundo evento inició en octubre llegando a desarrollar tres picos, siendo el mes de diciembre el más crítico. Estas inundaciones estuvieron directamente relacionadas con el fenómeno de La Niña y el evento del 2010.

Fuente: CVC, 2011; ASOCARS–CVC, 2013; IREHISA, 2012- Elaboración propia

5.2 Valoración de las Pérdidas Económicas del Sector Agrícola en el Valle del Cauca por la Ola Invernal 2010-2011

La ola invernal presentada en Colombia entre el 2010 y el 2011 se categorizó como un fenómeno hidroclimatológico asociado a La Niña. Este periodo se constituyó en la mayor tragedia que ha vivido Colombia, por el número de personas afectadas y por el valor de los daños sufridos por diferentes sectores del país. Sin duda una magnitud de afectación sin precedentes, ni siquiera comparable con hechos tan trágicos como el terremoto de Popayán, la erupción del Volcán Nevado del Ruiz o el terremoto del Eje Cafetero.

Juan Carlos Ramírez, Director de la CEPAL en Colombia, informó que las inundaciones reportadas para este periodo superaron las 1.662.108 hectáreas, cerca del 47% más de áreas inundadas en relación con el comportamiento habitual en temporada de lluvias, y expresó que *“se trató de un evento sistémico porque confluyeron múltiples variables en la generación de este desastre. Tanto las más generales y globales como el cambio climático (que intensifica el fenómeno), los eventos de variabilidad climática (fenómenos de El Niño y La Niña) y otros asuntos de tipo social y territorial. La forma como se ha degradado el medio ambiente y la forma como ocupamos los territorios (mal ocupados) hicieron evidente y posible este gran desastre”*.

El Gobierno Nacional ha establecido estrategias a nivel nacional y departamental con el fin de disminuir el alto grado de vulnerabilidad al riesgo sobre el cual la población y la economía Colombiana fluctúan; en el año 2004 el Consejo Nacional de Política Económica y Social formula el documento CONPES 3318 de 2004, por medio del cual se “autoriza a la nación invertir cerca de US \$260 millones, con el fin de financiar parcialmente el programa de reducción de la vulnerabilidad al riesgo del estado frente a los desastres naturales”.

El fenómeno de La Niña 2010-2011 alteró el clima nacional desde el comienzo de su formación en el mes de junio del año (2010). Al analizar la ponderación del Índice Multivariado Enso - MEI (por sus siglas en inglés), el cual estima la intensidad del fenómeno de La Niña, se identificó que este evento durante el año 2010 ha sido el más fuerte jamás registrado. Como consecuencia de este evento, los suelos presentaron un mayor nivel de saturación de humedad, superando así su equilibrio estructural y, por ende, generando eventos extraordinarios de deslizamientos y crecientes rápidas en cuencas, ríos y quebradas de alta pendiente en la región Andina, Caribe y Pacífica (Decreto 4580, 2010).

El IGAC reportó el análisis de información espacial hecho en Colombia en el periodo 2010-2011, el cual se basó en interpretar un total de 45.9 millones de hectáreas (66.3% del territorio nacional continental), de las cuales encontró 3.5 millones de hectáreas inundadas, donde el 19% eran cuerpos de agua (ríos, lagunas, pantanos, etcétera), el 34.4% terrenos que se inundan de manera periódica y un exceso de inundación de 46.6% (1.642.108 hectáreas) (CEPAL, 2012). En este sentido, Colombia Humanitaria en diciembre de 2011 informa que el fenómeno hidroclimatológico y sus altos niveles de precipitaciones provocaron al interior del país inundaciones, deslizamientos de tierra y otras emergencias menores en 28 departamentos (88% del total nacional) y 1.068 municipios (96% del total nacional) (ver tabla 9).

Tabla 9. Municipios y departamentos que reportan afectaciones por el Fenómeno de La Niña 2010-2011

Región	Departamentos Afectados	%	Municipios afectados	%
Caribe	7	88%	191	98%
Pacífica	4	100%	175	98%
Andina	10	100%	601	96%
Oriental	7	70%	74	63
Total	28	88%	1041	93%

Fuente: Colombia Humanitaria (2012).

Se interpretó la intensidad de las lluvias como una de las principales causas del desastre natural reportado en Colombia para este periodo, pero sin duda fue la sinergia de algunas problemáticas ambientales que se vienen presentando en el país desde años atrás. El BID – CEPAL exponen que la grave emergencia social, ambiental y económica que se vivió en Colombia en el 2010-2011 presentó innumerables impactos ambientales que representan cerca de 40 millones de dólares en pérdidas económicas.

Algunos de los problemas ambientales que agudizaron la problemática en la ola invernal fueron la degradación de las cuencas hidrográficas y el recurso suelo, el deterioro de las fuentes hídricas y su baja calidad, la deforestación, la pérdida de bosques y páramos y el alto grado de erosión del suelo. Se habla que cerca del 12% del área total inundada en Colombia para esta ola invernal representó los bosques y las áreas de vegetación herbácea y arbustiva natural (IGAC, *et al.*, 2012).

Dentro de los efectos negativos que presentaron las lluvias e inundaciones sobre la actividad económica del país en el año 2010, se estimó que las pérdidas asociadas a los sectores de infraestructura, hábitat, administración pública y sectores productivos, ocasionaron un detrimento del 12% del PIB en ese año. En lo que respecta a las pérdidas económicas, el total de la disminución de ingresos netos esperados estimados fue de 2.1 billones de pesos corrientes, distribuidos en el sector agropecuario, infraestructura, transporte, minería e industria mercantil, entre otros pequeños aportantes al PIB (ver tabla 10) (CEPAL, 2012).

Tabla 10 Pérdidas en la producción como consecuencia de la ola invernal 2010

Sectores	Pérdidas (mil de millones de pesos)			Porcentaje (%)	PIB 2010 (miles de millones de pesos)
	2010	2011	Total		
Agropecuario	418.250	344.844	763.094	36.8	35.552
No Agropecuario	946.284	364.744	1.311.028	63.2	366.672
Transporte	142.699	275.063	417.762	20.1	34.770
Vivienda	46.383	46.383	92.765	4.5	40.639
Electricidad, Gas y Agua	17.220	4.368	21.588	1.0	21.956
Industria y Turismo	125.914	32.861	158.775	7.7	139.353
Minería	608.000	0	608.000	29.3	44.966
Sectores sociales	6.069	6.069	12.138	0.6	84.988
Otros sectores					146.049
TOTAL	1.364.534	709.588	2.074.122	100	548.273

Fuente: Cálculos Misión BID-CEPAL, Elaboración propia.

El sector agrícola fue uno de los sectores más afectados por la ola invernal, el total de pérdidas en dicho sector y calculadas sólo desde las pérdidas económicas asociadas a cultivos transitorios y permanentes afectados por la emergencia, superó los 690 mil millones de pesos. Los departamentos donde se registraron las mayores pérdidas, en orden de valor han sido Valle del Cauca, Córdoba, Sucre, Santander, Antioquia, Cundinamarca, Bolívar, Boyacá, Meta y Norte de Santander, que representan el 73% de las totales en cultivos (Ver tabla 11).

El Valle del Cauca reportó pérdidas económicas asociadas al sector agrícola a causa de la pasada ola invernal, ascendieron a los 111 mil millones de pesos. Este departamento heredó externalidades de la ola invernal, dado que el exceso de humedad en sus suelos afectó directamente los rendimientos de producción en las áreas afectadas parcialmente, que a su vez se vieron afectadas por problemas fitosanitarios. La tabla 12 expone, de forma específica cómo el cultivo permanente de mayor importancia en el departamento, como lo es la caña de azúcar presentó pérdidas por 53.594 millones de pesos por la baja en su rendimiento productivo y cerca de 23.147 millones de pesos por caña de azúcar no cosechada por el alto grado de anegamiento (MADT, 2012).

Tabla 11. Pérdidas económicas (mil millones de pesos) en cultivos transitorios, permanentes

Departamento	Cultivos Permanentes	Cultivos Transitorios	Total	Participación (%)
Antioquia	29.788	14.232	44.020	6.3
Atlántico	532	499	1.031	0.1
Bolívar	14.074	25.682	39.756	5.7
Boyacá	3.063	26.264	29.327	4.7
Caldas	9.222	595	9.817	1.4
Casanare	2.597	20.419	23.016	3.3
Cauca	13.298	23.61	15.659	2.3
Cesar	4.114	12.059	16.173	2.3
Córdoba	2.301	62.698	64.999	9.4
Cundinamarca	6.297	35.472	41.769	6
Huila	20.936	3.172	24.108	3.5
La Guajira	14.12	4.251	5.663	0.8
Magdalena	11.991	3.914	15.905	2.3
Meta	10.438	19.876	30.314	4.4
Nariño	17.81	19.601	21.382	3.1
Norte de Santander	12.063	16.315	28.378	4.1
Quindío	19.500	451	19.951	2.9
Risaralda	10.603	178	10.781	1.6
Santander	28.129	25.286	53.415	7.7
Sucre	56.26	53.795	59.421	8.6
Tolima	10.097	13.963	24.060	3.5
Valle del Cauca	88.140	23.368	11.1508	16.1
Total	306.002	384.451	690.453	100

Fuente: MADR 2012, Elaboración propia

Tabla 12. Pérdidas en cultivos permanentes en Colombia (mil millones de pesos)

Cultivos	Pérdidas No Cosecha	Pérdidas Producción Disminuida	Total
Café	23.782	72.616	96.398
Caña de Azúcar	23.147	53.594	76.741
Frutales	16.643	32.246	48.889
Yuca	1.641	19.445	21.086
Plátano	7.676	13.283	20.959
Caña Panelera	7.849	10.842	18.691
Banano	4.761	5.427	10.188
Palma	2.077	5.500	7.577
Cacao	1.428	4.042	5.470
Total	89.004	216.995	305.999

Fuente: MADR. Elaboración propia.

En el periodo 2010-2011 el departamento del Valle del Cauca reportó 43.367 hectáreas inundadas, específicamente en su zona plana y directamente asociadas al sector agrícola, los principales cultivos afectados fueron caña de azúcar, pastos, maíz, soya, sorgo y cultivos frutales, estos en si se vieron afectados por inundación directa y elevación de los niveles freáticos. Los cultivos más afectados por esta emergencia fueron aquellos que estaban establecidos en las rondas hídricas del río Cauca, área que corresponde geomorfológicamente a sitios de depósito y la planicie aluvial y a su vez son zonas de regulación de caudal de los ríos.

Esta situación expuso el conflicto de usos del suelo que se presenta en el departamento, donde el sector agrícola tiene gran parte de responsabilidad, ya que el aumento de su frontera no se ha dado de una forma sostenible y amigable con el ambiente, el asentamiento de cultivos en las zonas de retiro de los ríos ha generado un desequilibrio de estos ecosistemas y a su vez se ha aumentado la vulnerabilidad al riesgo de los cultivos asentados allí, cogenerando perdidas económicas por anegamiento total y parcial de dichos predios.

La CVC en el 2012 realizó la identificación y caracterización de las zonas afectadas por la inundación en el departamento del Valle del Cauca, este estudio presenta un balance de los cultivos y las áreas afectadas por la ola invernal 2010 - 2011. La tabla 13 muestra las hectáreas inundadas por cultivo y los ingresos que normalmente debería recibir el agricultor por hectáreas cultivada y llevada a punto de cosecha, su relación permite suponer las pérdidas que se presentaron por cultivo en el Valle del Cauca, dicho cálculo arrojando la alarmante suma de 63 billones de pesos en pérdidas económicas, este dato solo contempla las pérdidas que se dejaron de percibir por los cultivos afectados, sin sumar las demás impactos económicas que dejó la ola invernal en diferentes sectores del departamento.

Tabla 13. Ingresos perdidos por usos del suelo en el corredor de conservación del río Cauca

Cultivos	Área Inundada (Ha)	Ingresos (\$/Hectáreas) 2013*	Pérdidas
Ají	0.1	12.690.401	1.269.040
Algodón	62.7	6.330.677	396.933.448
Arroz	157.8	5.631.978	888.726.128
Avícola	0.1	3.931.628	393.163
Banano	7.1	4.208.061	29.877.233
Cacao	69.1	236.565	16.346.642

Cultivos	Área Inundada (Ha)	Ingresos (\$/Hectáreas) 2013*	Perdidas
Café	1.6	4.165.538	6.664.861
Caña de Azúcar	20.646	2.422.706	50.019.188
Cítricos	33.4	10.402.101	347.430.173
Guanábano	6.0	12.742.059	76.452.354
Guayabo	252.5	7.366.906	1.860.143.765
Maíz	2014.6	3.608.460	7.269.603.516
Maracuyá	104.1	12.627.120	1.314.483.192
Melón	20.7	15.084.537	312.249.916
Papaya	128.4	25.679.888	3.297.297.619
Pasto de Corte	664.5	2.215.739	1.472.358.566
Pasto Natural	8.231	1.623.284	13.361.250.604
Pimentón	7.6	10.684.776	81.204.298
Piña	0.3	29.037.616	8.711.285
Piscícola	20.1	1.347.951.349	27.093.822.115
Plátano	13.1	13.808.899	180.896.577
Piscícola	1.3	54.522.679	70.879.483
Sorgo	45.49	2.335.853	106.257.953
Soya	1.679	2.226.020	3.737.487.580
Tomate	0,8	11.969.299	9.575.439
Uva	159	7.488.544	1.190.678.496
Zapallo	5.2	4.858.458	25.263.982
Total de Perdidas (millones de pesos)			63.206.276.614

Fuente: CVC 2012; MADR 2012. *Costos de la SAP. Elaboración Propia.

Al interior del Departamento se enmarcaron puntos neurálgicos ante esta emergencia, uno de ellos y tal vez el de mayor envergadura fue la situación vivida en la zona norte del departamento. CORPOICA en el 2012, menciona que cerca de 20.000 hectáreas de esta zona relacionadas con sistemas productivos se vieron afectadas por la inundación, con afecciones colaterales a la población asentada en esta zona. Problemática que fue analizada desde el Gobierno Nacional junto con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, los cuales abordan la problemática desde las políticas y gestiones de Colombia Humanitaria, la cual estableció redes de desarrollo e investigación con CORPOICA, con el fin de generar estrategias de respuesta para mitigar el impacto de las inundaciones sobre la agricultura colombiana, de donde nacieron acciones como las establecida en el proyecto titulado *Rehabilitación de la Capacidad Productiva de los Suelos Afectados por las Inundaciones. Caso Norte del Valle*, desarrollado por CORPOICA sede Palmira.

En este sentido y con el fin de ejercer acciones de mitigación ante las afecciones generadas por las inundaciones en el norte del Valle, CORPOICA prioriza y selecciona los municipios de Roldanillo, Bolívar, Toro, La Unión y La Victoria de acuerdo con los siguientes criterios: afectación a pequeños productores, magnitud del área afectada por inundación, generación empleo, mayor área en producción frutícola, presencia o ausencia de apoyo técnico y reporte al CREPAD y CLOPAD. El universo de trabajo de este proyecto fue dado por reporte hecho por el CREPAD a 19/08/2011, donde reportan 5.345 hectáreas inundadas que correspondían a los municipios anteriormente mencionados (ver figura 15).

Algunos de los resultados de esta investigación fue la identificación de los cultivos afectados por emergencia en la ola invernal, donde los más afectados en superficie fueron caña de azúcar, café, maíz de zona plana, papaya, guayaba, maracuyá, soya, uva y melón, información que sirvió de insumo para analizar lo sucedido con la producción agrícola en la zona. Al estimar la disminución de la producción física en la zona se reportaron pérdidas cercana a 88.669 toneladas, de las cuales 69% corresponden a caña de azúcar, 12% a papaya, 3% a melón, 2% a maíz y 2% a maracuyá. El impacto económico que generó dicha disminución productiva supero los 19.600 millones, este valor representa las pérdidas directas en cultivos causadas en el momento de la inundación, estimado como el valor de venta en el mercado de la potencial producción que rendiría el cultivo afectado (ver tabla 14).

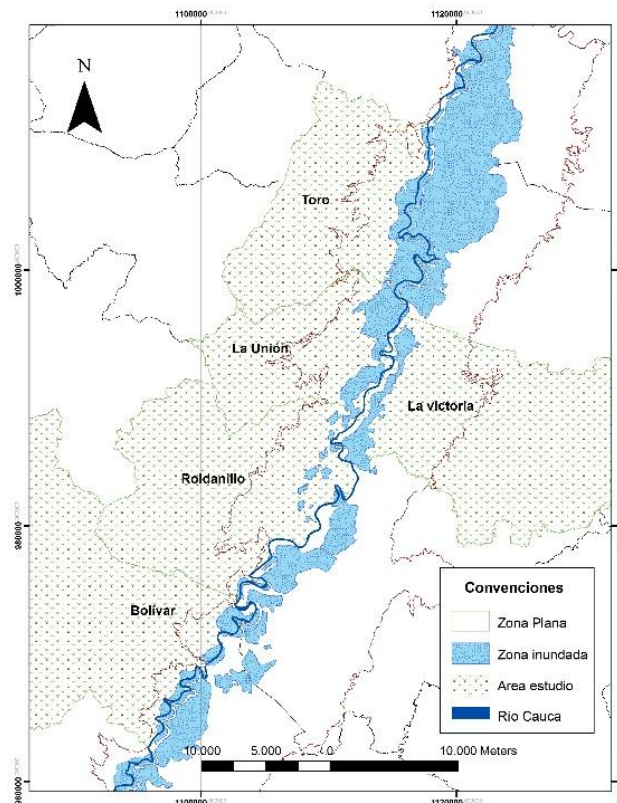


Figura 15. Zona prioritizada estudio CORPOICA.

Tabla 14. Área, Producción y Pérdidas en la Ola Invernal en el Norte del Valle del Cauca

Cultivo	Superficie Afectada (ha)	% Área Afectada en la Zona	Producción Afectada (ton)	Valor de la producción Afectada (\$)
Caña azúcar	1.216	34%	60.947	\$ 2.925.447.746
Otros cultivos	430	12%	2.168	\$ 1.856.708.889
Café	416	11%	336	\$ 1.395.073.401
Maíz z. plana	360	10%	2.195	\$ 1.492.782.205
Papaya	190	5%	10.837	\$ 5.418.604.665
Guayaba	182	5%	738	\$ 531.494.829
Maracuyá	181	5%	1.477	\$ 1.137.547.353
Soya	156	4%	374	\$ 355.680.014
Uva	123	3%	386	\$ 424.116.934
Melón	117	3%	2.510	\$ 1.581.103.835
Sorgo	85	2%	450	\$ 265.293.498

Cultivo	Superficie Afectada (ha)	% Área Afectada en la Zona	Producción Afectada (ton)	Valor de la producción Afectada (\$)
Yuca	84	2%	1.275	\$ 637.449.999
Ají	83	2%	1.511	\$ 1.264.881.178
Plátano	65	2%	506	\$ 328.895.430
Total	3.688	100%	85.710	\$ 19.615.079.976

Fuente: CORPOICA. 2012. Elaboración propia

La tabla 13 se puede apreciar de forma general que el cultivo más afectado económicamente por la ola invernal a nivel departamental fue el cultivo de la caña de azúcar seguido de los frutales y el maíz, y en la tabla 14 a nivel local para el caso del norte del Valle el más afectado fue el cultivo de papaya, esta zona es catalogada como el área frutícola del departamento y está compuesta por pequeños productores, los cuales se vieron fuertemente afectados por las pérdidas económicas que dejó esta emergencia, la cual de una u otra forma conllevó a la crisis económica del sector agrícola que se vive a nivel nacional en este momento.

Asocaña en el 2010 informó que este sector representa el 56% del PIB agrícola del Valle del Cauca y el 4,1 a nivel nacional, condición que preocupa al momento de analizar las pérdidas económicas dejadas a este sector por la ola invernal 2010-2011, ya que estas hacen fluctuar de manera negativa la economía del departamento en el tema agrícola y afecta directamente diversos subsectores dependen implícitamente de sus productos y derivados.

Este panorama de pérdidas económicas asociadas al sector agrícola se vivencio en todo el país como resultados de la inundaciones 2010-2011, dejando así parcialmente comprometida la economía del país y desestabilizada la del sector. Situación de análisis que debería ser abordada por los diferentes estamentos territoriales y de desarrollo del país, con el fin de optimizar los procesos de ocupación del territorio en miras de regular los usos del suelo, proceder que en el tiempo brindaría estabilidad social, ambiental y económica como principios del desarrollo sostenible.

A manera de conclusión la emergencia vivida en Colombia a causa de la ola invernal 2010-2011 evidenció la estrecha relación que tiene la gestión de riesgo de desastres, la resiliencia a eventos extremos y la vulnerabilidad al riesgo con el desarrollo del país. Situaciones como estas están asociadas al comportamiento climático global, pero que se agudizan ante la degradación ambiental y el conflicto de usos de suelos que presenta Colombia en la mayoría de sus cuencas hidrográficas, circunstancias que se convierten en un detonante al momento de masificar los desastres naturales. Por ende la necesidad de llevar a cabo la planificación del territorio de una forma adecuada con políticas de gestión que proporciones en el tiempo un desarrollo sostenible en miras de minimizar las pérdidas sociales ambientales y económica ante eventos extremos como el ocurrido en este periodo.

CAPÍTULO VI

PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA MEDIANTE UN MODELO DE
SIMULACIÓN DE CULTIVOS EN ÁREAS INUNDABLES
DEL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA

6. PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA, MEDIANTE UN MODELO DE SIMULACIÓN DE CULTIVOS EN ÁREAS INUNDABLES DEL VALLE ALTO DEL RÍO CAUCA.

El Valle del Cauca, a través de la historia, se ha caracterizado como una de las despensas agrícolas del Suroccidente colombiano, dado que la riqueza del suelo, la variedad de climas, la disponibilidad de agua, el brillo solar durante largas horas, entre otras características, permiten el desarrollo fisiológico de cultivos agrícolas, entre ellos y tal vez los más emblemáticos los frutales, el sorgo, el algodón, la soya, el maíz, el plátano, la caña panelera y las hortalizas.

Algunos de estos cultivos se han sostenido en el tiempo pese al desarrollo industrial que se ha impreso en el territorio, el cual ha enmarcado la producción agrícola en el monocultivo de la caña de azúcar, desplazando la diversidad productiva hacia los minifundios del departamento, y ésta a su vez ha vulnerado la seguridad alimentaria; se habla que la intensidad de este cultivo en los últimos 20 años ha ido empobreciendo los suelos y aumentado su frontera de siembra y producción de forma desmesurada, estableciéndose en áreas que antes se consideraban naturales, como lo era la gran planicie del valle geográfico del río Cauca, donde predominaba el bosque seco inundable y las madre viejas o humedales, de los cuales quedan hoy pequeños fragmentos.

El asentamiento de este cultivo a través del tiempo en dichas zonas y sumado a los cambios del clima han dejado abierta una amplia puerta hacia la vulnerabilidad productiva, especialmente ante eventos extremos como inundaciones y sequías, con efectos colaterales en la sociedad y la economía que depende de éste, como se expuso en los capítulos anteriores.

Los impactos económicos y sociales que actualmente representa la vulnerabilidad al cambio climático por parte de la agricultura, han manifestado ante las últimas olas invernales la necesidad de rediseñar o restablecer los sistemas productivos que se enfoquen en la diversidad productiva, el establecimiento de estos se deben de dar en zonas óptimas para su producción, con el fin de establecer sistemas productivos sostenibles ambientalmente y viables socioeconómicamente

6.1 Establecimiento de Criterios y Principios

Por lo anterior se plantean una serie de sistemas productivos para el área de estudio alternos al actual (caña de azúcar), en los cuales se proponen configuraciones productivas diversas, el establecimiento de estos cultivos bajo las condiciones ambientales de la zona permitirían aumentar el rendimiento productivo, diversificar la producción y hacer un uso más adecuado del suelo.

El diseño y el establecimiento de estos nuevos sistemas productivos para el área de estudio se plantean como una opción productiva, con especial énfasis en las áreas vulnerables a inundaciones periódicas, en miras de identificar cultivos que sean más óptimos para estas áreas y a su vez más resilientes, estos estarán planteados desde la lógica de la zonificación ambiental la cual establece criterios para la selección de zonas idóneas para un cultivo en específico, conjugadas a través del software Diva Gis y el modelo ECOCROP, estos permite dar una primera aproximación de los cultivos que serían más propicios teniendo en cuenta información climática de la zona.

La selección de los cultivos y su distribución espacial en los diferentes municipios del área de estudio se basó en los siguientes criterios:

- i) Priorización productiva establecida en el Plan Frutícola Nacional “Valle del Cauca, Tierra de Frutas 2006-2019” (Este criterio identificó dentro del plan frutícola del departamento los cultivos más promisorios para el área de estudio según este plan, fortaleciendo de esta manera procesos que promuevan la identificación de nuevas y mejores áreas para la implementación futura de estos cultivos).
- ii) Evaluación productiva simulada por el modelo ECOCROP para cada cultivo (Criterio elemental para identificar las áreas con mayor rentabilidad productiva de los cultivos propuestos para el área de estudio, ya que la simulación del modelo evalúa la rentabilidad productiva que presentaría cada cultivo para la zona)
- iii) Uso potencial del suelo que representa la zona (este criterio permitió proponer cultivos en áreas ambientalmente disponibles para tal fin)
- iv) Área sembrada de cada cultivo en la actualidad en el departamento (este criterio interpretó las zonas donde se han sostenido en el tiempo la siembra tradicional de alguno de los cultivos seleccionados)

La conjugación de estos criterios permite plantear una configuración productiva basada en la diversidad de especies y en la sostenibilidad ambiental que le puede brindar la zona para un alto rendimiento productivo.

Ante la vulnerabilidad al riesgo de inundación y la frecuencia de eventos extremos de inundación que presenta la zona, se identificó para las configuraciones productivas propuestas el área involucrada por cultivo en la frontera de inundación y a su vez la disminución del rendimiento productivo que podría presentar cada cultivo ante una inundación. Esta información permitirá llegar a identificar dentro de los cultivos propuestos cuál sería el más adaptable a la variabilidad de cambio que imprime la zona, el comportamiento productivo que presentaría ante un evento extremo de inundación y las pérdidas generadas por éste.

Estas configuraciones productivas se plantean como una de las bases para el desarrollo de las consideraciones propuestas dentro del Plan Frutícola Nacional “Valle del Cauca, Tierra de Frutas 2006-2019”, donde entre sus objetivos está seleccionar y priorizar las especies frutícolas más competitivas en el departamento, al igual que definir las zonas agroecológicas óptimas para cultivar áreas nuevas, esperando generar nuevos núcleos productivos. En este sentido el departamento en los últimos años ha desarrollado diferentes proyectos encaminados al cumplimiento de sus objetivos en miras de posicionar nuevamente el departamento como una de las despensas agrícolas del suroccidente colombiano.

6.2 Planteamiento de Configuraciones Agrícolas Productivas

Se evaluaron las especies frutícolas priorizadas para el área de estudio según el plan frutícola del departamento. Entre los cultivos más competitivos se destacan los cítricos (naranja, mandarina), la guayaba, la guanábana, el mango, la papaya, la piña, la maracuyá y el melón. La evaluación productiva de los cultivos propuestos se realizó con el software DIVA-GIS simulado a través del módulo ECOCROP, el cual es una de las herramientas disponibles para la identificación de zonas

óptimas de producción de los cultivos planteados como alternativa de producción en el área de estudio.

El modelo ECOCROP permitió establecer, por cultivo, una zonificación agroecológica idónea para su desarrollo productivo, generando así mapas que presentan la viabilidad productiva en el área de estudio, donde se identifican zonas en una escala de valores tal como Excelente - Muy sostenible- Sostenible – Marginal - Muy marginal - No sostenible.

Los anexos del I al IX, presentan la evaluación productiva de los cultivos de naranja, mandarina, guayaba, guanábana, mango, papaya, piña, maracuyá y melón en el área de estudio, simulada a través ECOCROP. Se puede resaltar que este modelo matemático evaluó el rendimiento productivo de cada cultivo en la zona de estudio, presentando así esta zona como propicia para el desarrollo vegetativo de los cultivos propuestos. Dicha evaluación productiva presenta los cultivos de pina y guayaba como los más viables productivamente para la zona, ya que su desarrollo sería “Excelente” en el 100% del área de estudio; para los cultivos de naranja, mandarina, mango y guanábana presentan rendimientos productivos “Sostenible” en las áreas aledañas al río Cauca y en “Excelentes” en el resto del área de estudio.

Con la simulación productiva generada por ECOCROP se identificaron las áreas donde el desarrollo vegetativo de cada cultivo sería “Excelente”; en este orden de ideas es necesario contemplar el uso potencial del suelo recomendado para el área de estudio (ver figura 8), con el fin de establecer una distribución espacial viable y sostenible para los cultivos propuestos, por lo cual los suelos de la zona de estudio según la CVC son propicios para el desarrollo de una amplia gama de cultivos, áreas forestales y terrenos en pastoreo entre otros usos.

En este sentido y con el fin de fortalecer los procesos que se han tejido al interior del departamento con respecto al establecimiento de núcleos de producción frutícola, se tuvo en cuenta la relación del área sembrada por cultivo actualmente y su distribución en la zona de estudio (ver anexo XI). Las anteriores consideraciones se contemplaron como ejes centrales para la configuración de tres opciones productivas (A, B y C), las cuales se proponen como alternativa de producción para el área de estudio (ver figura 16 y tabla 15), donde principios como la diversidad de especies, el rendimiento productivo, la sostenibilidad ambiental, la adaptabilidad al cambio y aspectos socioeconómicos son analizados y reflejados en estas propuestas productivas.

Cada una de las configuraciones productivas de la figura 16, son una distribución espacial de los cultivos propuestos sobre los municipios del área de estudio:

En las componentes A y B de la figura 16 se distribuyen los cultivos, contemplando el rendimiento productivo de cada uno de ellos según la simulación de ECOCROP y su relación con el área sembrada de estos actualmente en la zona, igualmente se tienen en cuenta los demás criterios de selección planteados.

La figura 16 (C), presenta una distribución productiva espacial de cada uno de los cultivos considerando principalmente que el rendimiento productivo sea “Excelente”, según la simulación propuesta por ECOCROP, así no se presente actualmente área sembrada del cultivo en el municipio. Estas configuraciones productivas son un claro ejemplo de la diversidad de cultivos que se pueden implementar en la zona y los rendimientos productivos a los que se llegarían gracias a condiciones ambientales de esta, por lo tanto identificar nuevas fronteras de producción en el área de estudio

permite considerar en el mediano y largo plazo el establecimiento de una despensa hortofrutícola competitiva a nivel productivo en el país.

Tabla 15. Configuración Productiva Propuesta por Municipio

MUNICIPIO	CONFIGURACIÓN I	CONFIGURACIÓN II	CONFIGURACIÓN III
Andalucía	Naranja	Mango	Guanábana
Ansermanuevo	Papaya	Papaya	Piña
Bolívar	Guayaba	Piña	Naranja
Buga	Pasto	Melón	Guayaba
Bugalagrande	Mandarina	Guanábana	Pasto
Cali	Papaya	Piña	Papaya
Candelaria	Naranja	Papaya	Naranja
Cartago	Maracuyá	Guayaba	Maracuyá
El cerrito	Melón	Mango	Piña
Florida	Guanábana	Piña	Piña
Guacari	Guayaba	Naranja	Mandarina
Ginebra	Melón	Mandarina	Mandarina
Jamundí	Maracuyá	Pasto	Guanábana
La Unión	Guayaba	Guayaba	Naranja
La Victoria	Guanábana	Guayaba	Naranja
Obando	Piña	Pasto	Maracuyá
Palmira	Guanábana	Mandarina	Piña
Pradera	Guanábana	Piña	Mandarina
Riofrio	Guayaba	Naranja	Pasto
Roldanillo	Piña	Maracuyá	Pasto
San Pedro	Pasto	Melón	Guayaba
Toro	Guayaba	Pasto	Mango
Trujillo	Mango	Guanábana	Melón
Tulua	Mango	Naranja	Mango
Vijes	Melón	Guayaba	Papaya
Yotoco	Pasto	Pasto	Guayaba
Yumbo	Piña	Piña	Naranja
Zarzal	Mandarina	Mandarina	Melón

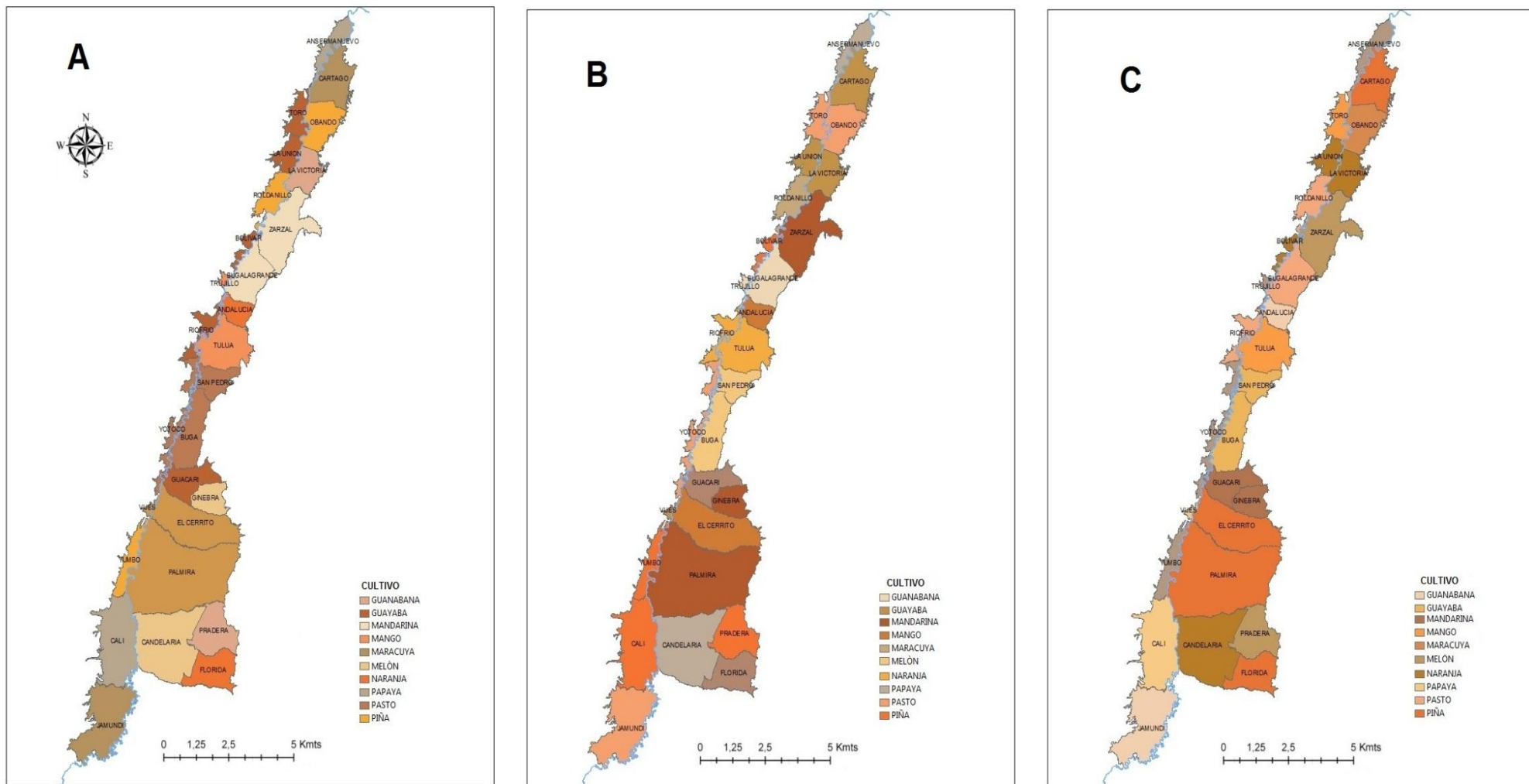


Figura 16. Cultivos Propuestos – Excelencia Productiva por Municipio.

6.3 Análisis de las pérdidas económicas de las configuraciones productivas en la franja crítica de inundación

6.3.1 Frontera de Inundación Crítica en el Área de Estudio

En capítulos anteriores se expuso la alta probabilidad al riesgo de inundación que presenta la zona de estudio y a su vez se desglosan los efectos directos y colaterales que ocasiona un evento extremo de inundación. En la ola invernal 2010-2011 el sector tal vez más afectado en el departamento fue el sector agrícola, presentando pérdidas considerables que impactaron la estabilidad alimentaria y económica del país. Esta inundación reflejó la fragilidad productiva que presenta la zona, el conflicto de uso de suelo y la pérdida de diversidad de especies productivas entre otras problemáticas que salieron a flote ante este evento extremo y generaron la necesidad de replantear la forma de uso de suelo, el manejo de los sistemas agrícolas y el restablecimiento de la diversidad productiva, con el fin de fortalecer la adaptabilidad y resiliencia del sector agrícola del área de estudio.

Por lo cual para las configuraciones productivas propuestas, la figura 17 identifica la amenaza de inundación que representa el asentamiento de estos cultivos en la zona, figura que expone el riesgo más alto a inundación en las riberas del río Cauca, condición natural dada por la hidrodinámica de este. Ante la toma de decisiones es clave plantear las áreas donde el desarrollo de los cultivos presentaría mayor sensibilidad a un estrés hídrico (inundación), en este sentido y como herramienta de apoyo la figura 18 presenta la frecuencia de inundación histórica que se ha presentado en el valle alto del río Cauca, específicamente en el área donde la vulnerabilidad al riesgo de inundación se presenta como mayor, figura que contempla la ocurrencia de 12 crecientes hidrológicas, donde la zona centro del área de estudio ha evidenciado entre 10 y 12 crecientes, condición que refleja este tramo como el más crítico ante inundaciones y el más sensible para la siembra de cultivos. En este sentido y para esta investigación la frecuencia de inundación se interpretará como baja para áreas que han presentado entre 1 y 4 crecientes, media entre 4 y 8 crecientes y alta entre 8 y 12 crecientes.

Conjugar la amenaza al riesgo de inundación y la frecuencia de inundación para la zona de estudio bajo la configuración productiva propuesta a través de un sistema de información geográfico, permite identificar un escenario crítico (ver figura 19). Escenario que crea la necesidad de analizar esa franja de afectación y vulnerabilidad en el área de estudio, con el fin de identificar como se afectaría el rendimiento productivo de los cultivos involucrados en esta área.

Identificar una franja de inundación crítica en el área de estudio permite considerar primero que los municipios de Buga, Yotoco, San Pedro, Tuluá, Riofrío, Andalucía, Trujillo, Bugalagrande y Bolívar, es donde la franja de inundación se torna más crítica, ya que presentan un alto grado de amenaza de inundación y al igual que una alta frecuencia de inundación, entre ellos el más crítico es el municipio de Buga presentando cerca de 4600 hectáreas involucradas en esta área. El municipio de Cartago se caracteriza por presentar una baja frecuencia de inundación, pero cerca del 40% del área total del municipio está involucrada en la franja crítica de inundación. Los Municipios de Roldanillo, La Unión y Toro, pese a que hacen parte de la franja crítica de inundación su frecuencia es baja, situación que los favorece ante otros municipios del norte y se da debido a la barrera de protección que ejerce el distrito de riego RUT.

Los cultivos propuestos que se asocian a estos municipios en particular son frutales arbustivos tales como mango, naranja, guayaba, guanábana y mandarina. Se propone este tipo de especies para ésta zona en específico, ya que como lo plantea Fischer (2010), las especies frutales y principalmente aquellas que se desarrollan en arbustos presentan un ligero ajuste osmótico al momento de presentarse un estrés hídrico ya sea inundación o sequía, este mismo autor plantea que si el estrés hídrico se presenta en la fase de floración de la especie, la probabilidad que el cultivo llegue a cosecha es mínima ya que en esta fase el cultivo es más susceptible a cambios externos. Esta particularidad vegetativa hace que estos cultivos presenten una mayor adaptabilidad al cambio y sean viables en la zona propuesta.

El anegamiento total o parcial que ocasiona una inundación sobre un cultivo afecta directamente el rendimiento productivo de éste. Lozano (2003) argumenta que una especie productiva que sea expuesta a una inundación por un periodo mayor o igual al admisible por esta, puede ocasionar el declive del rendimiento productivo hasta en un 50%. Cultivos como el de la guayaba son un claro ejemplo de la capacidad de adaptación que puede presentar un especie frutícola arbustiva ante una inundación, este cultivo presenta un ajuste osmótico excelente, el cual se basa en su sistema radicular fasciculado, dado que como respuesta rápida a la inundación incrementa considerablemente la red de raicillas superficiales (Lozano et al., 2003).

Para el caso crítico del municipio de Buga, la configuración productiva (A) refleja la implementación de sistemas silvopastoriles, sistema que propondría a este punto neurálgico la posibilidad de aprovechamiento de las inundación periódicas, ya que al momento de presentarse un evento extremo sortearlo con la configuración interna que este presenta acarearían menos pérdidas económicas a comparación de otros sistemas productivos, y a su vez la inundación retroalimentaría el suelo de nutrientes, reflejando el incremento de las siguientes cosechas de pasto. (Asoyotoco 2012).

Este sistema productivo es una opción más en esta configuración productiva propuesta para el área de estudio; la implementación de estos sistemas al interior de la zona de estudio se desarrolla con éxito como es el caso de Asoyotoco, la cual es una organización de cerca de 100 productores del municipio de Yotoco y sus alrededores, zona donde enfrentan inundaciones periódicas asociadas al complejo de humedales que conforman la laguna de Sonso. En los predios de estos productores la franja de inundación está dedicada al silvopastoreo, representando pérdidas mínimas ante la inundación; por el contrario manejan el territorio entendiendo la dinámica hidráulica de esta zona y beneficiándose de ella (Asoyotoco 2013). Esta investigación cita este sistema de producción como una alternativa que podría ser evaluada y analizada a fondo en investigaciones futuras con el fin de identificar las fluctuaciones que presentarían de los componentes del sistema frente a un evento extremo de inundación.

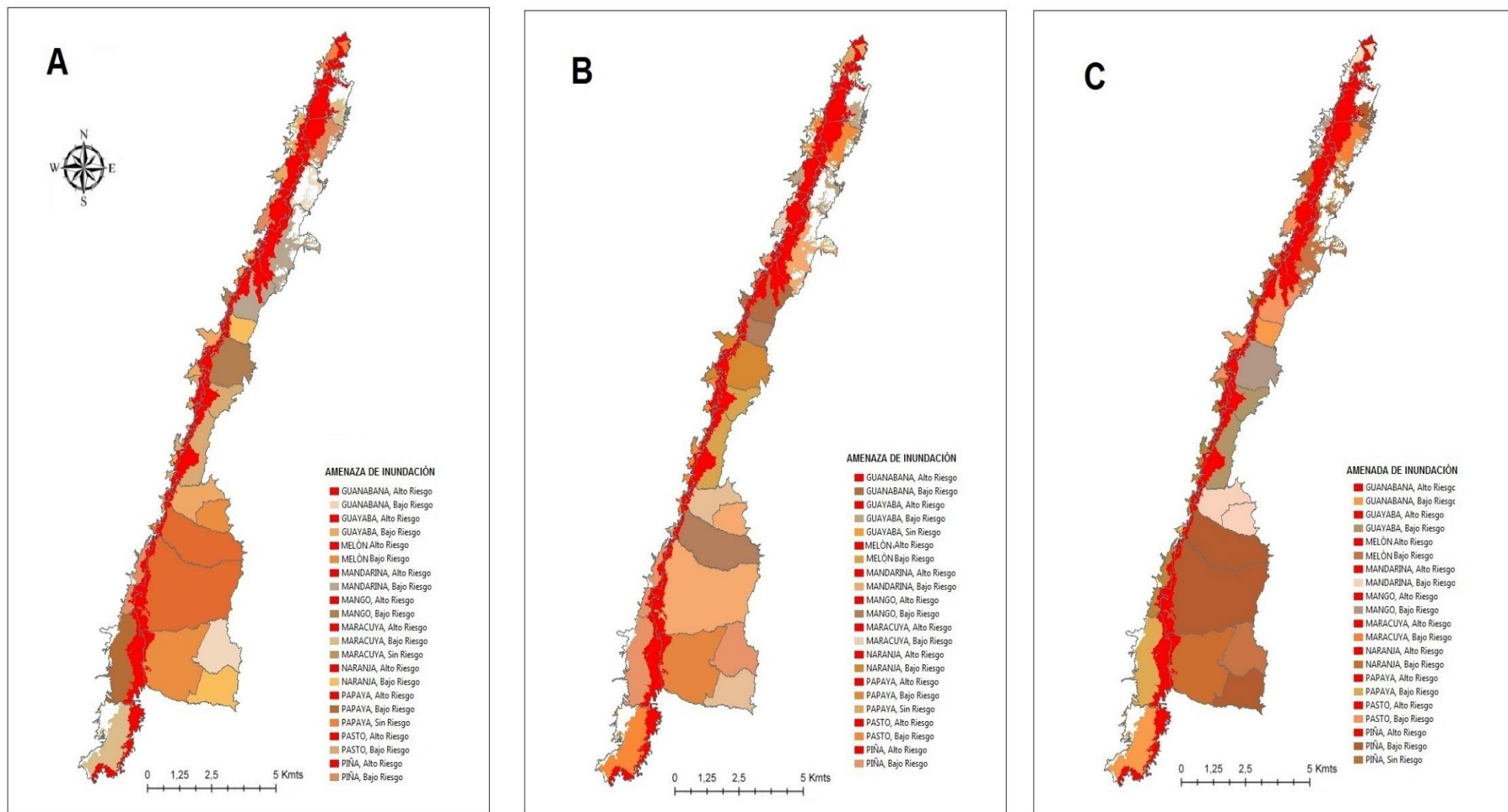


Figura 17. Grado de Amenaza a Inundación de la Configuración Productiva Propuesta.

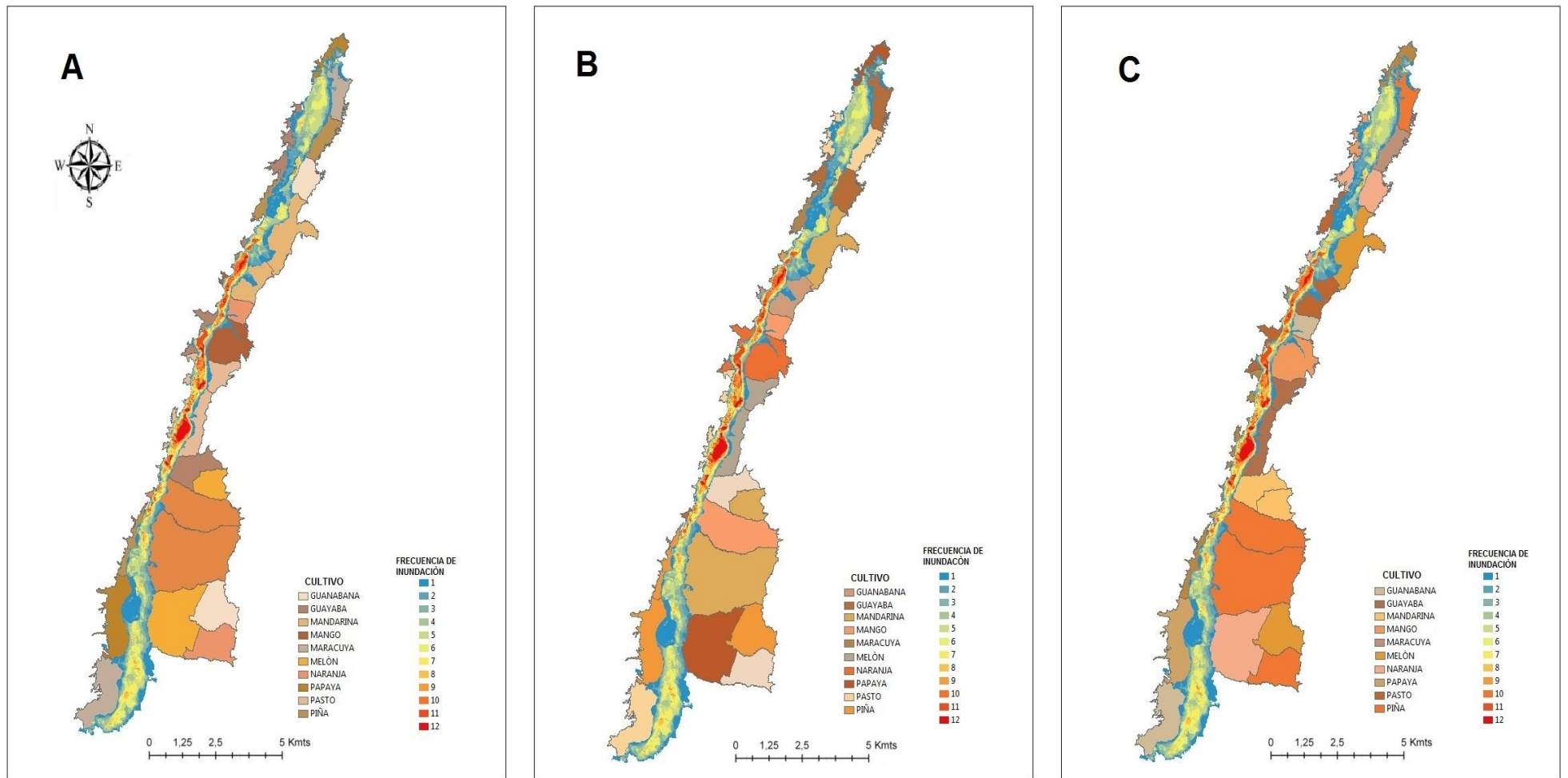


Figura 18.Frecuencia de Inundación en la Configuración Productiva Propuesta

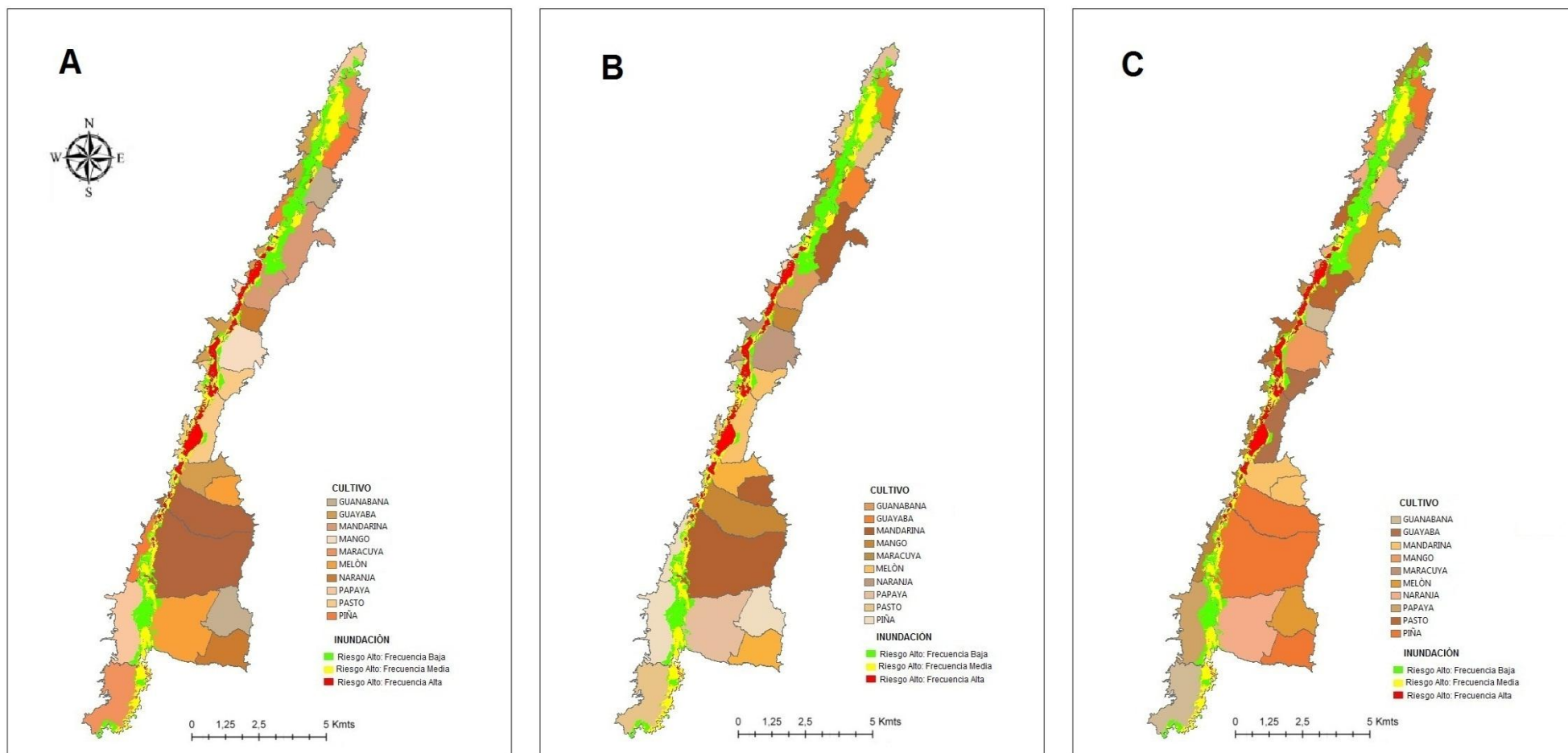


Figura 19. Escenario crítico de probabilidad a inundación, en la configuración productiva propuesta

6.3.2 Análisis de las Pérdidas Económicas de la Configuración Productiva Propuesta

La condicionalidad que imprime esta franja de inundación ante la implementación de sistemas agrícolas en su zona crítica, es necesario contemplarla al momento de distribución o siembra de ellos, ya que algunas especies productivas presentarán mayor sensibilidad frente a una inundación que otras. En este sentido las configuraciones productivas que propone ésta investigación para el área de estudio están orientadas a plantear una serie de sistemas agrícolas alternativos viables ambientalmente, competitivos productivamente y a su vez mas resilientes al cambio.

Por lo tanto, identificar las alteraciones que representaría un evento extremo de inundación en el área de estudio, bajo las configuraciones productivas propuestas, específicamente en la franja crítica de inundación es todo un desafío. Para este caso se analizó el comportamiento de las pérdidas económicas asociadas a las áreas inundadas por cultivos, siendo éste uno de los caminos que permitiría cuantificar una aproximación de las pérdidas económicas que se presentarían ante un evento extremo de inundación.

En este orden de ideas, cabe resaltar que los eventos extremos del clima como inundaciones y sequías, son los nuevos retos de investigación de diferentes instituciones. En el caso de la agricultura es una necesidad sentida ya que las fluctuaciones del clima están afectando considerablemente los sistemas de producción y sus tasas de rendimiento. El no contar con esta información actualmente limita la caracterización del comportamiento de los diferentes cultivos ante estos eventos. Para esta investigación se trabajó sobre los siguientes supuestos:

- i) Se consideró que los cultivos (a excepción del pasto de corte) se perdieron totalmente tras la inundación, representando la pérdida total de la producción en la siguiente cosecha.
- ii) Se consideró que los cultivos (a excepción del pasto de corte) se perdieron parcialmente tras la inundación, representando la pérdida del 50% de la producción en la siguiente cosecha.
- iii) El área crítica de inundación afecta total y parcialmente el cultivo predominante en la zona de estudio actualmente (caña de azúcar), bajo las mismas características de los supuestos anteriores.

En la tabla 16, se encuentra relacionada el área que se afectaría por cultivo ante una inundación, ésta se presenta para las tres configuraciones productivas, igualmente se reporta el rendimiento productivo por hectárea y el valor de mercado por tonelada, información que al conjugarse permite identificar los ingresos que dejaría de percibir el sector frutícola por el anegamiento de éstas áreas. El área reportada es la involucrada por cultivo en la franja crítica de inundación (ver figura 19).

De acuerdo a la cuantificación de pérdidas presentadas por configuración productiva y ante los supuesto i y ii, se puede concluir que la configuración productiva que representaría menor pérdida económica por anegamiento hídrico total y parcial sería la configuración productiva “B” (ver tablas 16 y 17), la cual reportaría una pérdida de cerca de 402 billones de pesos para el caso de pérdida total de producción y 201 billones de pesos para el escenario de pérdida parcial del 50% de la producción total esperada, 170 billones menos aproximadamente que las otras dos configuraciones productivas. Pese a esto las tres configuraciones representarían menores pérdidas económicas ante las generadas por una inundación bajo la configuración productiva actual (caña de azúcar), ya que ésta representaría una pérdida que superaría los 625 billones de pesos para el caso de total y 312 billones de pesos en el caso de parcial (ver tabla 18).

Tabla 16. Estimación de Área Afectada y Perdidas Económicas de la Configuración Productiva Propuesta – Escenario Pérdida Total del Rendimiento Productivo

Cultivos	Rendimiento (ton/ha)*	Ingresos ** (\$/ton)	Área Inundada Conf_A (ha)	Área Inundada Conf_B (ha)	Área Inundada Conf_C (ha)	Perdidas (\$) Conf_A	Perdidas (\$) Conf_B	Perdidas (\$) Conf_C
Guanábana	11,2	1.120.000	1032	2934	4309	12.945.408.000	36.804.096.000	54.052.096.000
Guayaba	11,5	644.000	7185	8430	6807	53.212.110.000	62.432.580.000	50.412.642.000
Mandarina	16,5	46.800	4577	5635	1204	3.534.359.400	4.351.347.000	929.728.800
Mango	11,3	588.000	1909	1955	2892	12.684.159.600	12.989.802.000	19.215.604.800
Maracuyá	23	910.000	5963	724	6306	124.805.590.000	15.153.320.000	131.984.580.000
Melón	45	850.000	2750	2655	2185	105.187.500.000	101.553.750.000	83.576.250.000
Naranja	16	280.000	2707	3074	6035	12.127.360.000	13.771.520.000	27.036.800.000
Papaya	60	770.000	2196	1647	2588	101.455.200.000	76.091.400.000	119.565.600.000
Piña	65,5	490.000	4457	2486	2698	143.047.415.000	79.788.170.000	86.592.310.000
TOTAL						568.999.102.000	402.935.985.000	573.365.611.600

*Rendimiento productivo afectado en su totalidad. **Reporte Semana SIPSA -06 de Agosto de 2014

Tabla 17. Estimación de Área Afectada y Perdidas Económicas de la Configuración Productiva Propuesta – Escenario Pérdida del 50% del Rendimiento Productivo

Cultivos	Rendimiento (ton/ha)*	Ingresos ** (\$/ton)	Área Inundada Conf_A (ha)	Área Inundada Conf_B (ha)	Área Inundada Conf_C (ha)	Perdidas (\$) Conf_A	Perdidas (\$) Conf_B	Perdidas (\$) Conf_C
Guanábana	5,6	1.120.000	1032	2934	4309	6.472.704.000	18.402.048.000	27.026.048.000
Guayaba	5,75	644.000	7185	8430	6807	26.606.055.000	31.216.290.000	25.206.321.000
Mandarina	8,25	46.800	4577	5635	1204	1.767.179.700	2.175.673.500	464.864.400
Mango	5,65	588.000	1909	1955	2892	6.342.079.800	6.494.901.000	9.607.802.400
Maracuyá	11,5	910.000	5963	724	6306	62.402.795.000	7.576.660.000	65.992.290.000
Melón	22,5	850.000	2750	2655	2185	52.593.750.000	50.776.875.000	41.788.125.000
Naranja	8	280.000	2707	3074	6035	6.063.680.000	6.885.760.000	13.518.400.000
Papaya	30	770.000	2196	1647	2588	50.727.600.000	38.045.700.000	59.782.800.000
Piña	32,75	490.000	4457	2486	2698	71.523.707.500	39.894.085.000	43.296.155.000
TOTAL						284.499.551.000	201.467.992.500	286.682.805.800

**Rendimiento productivo afectado en un 50%. **Reporte Semana SIPSA - 06 de Agosto de 2014

Tabla 18. Estimación de Área Afectada y Perdidas Económicas del sistema productivo de la Caña de Azúcar

Cultivos	Área inundada (ha)	Rendimiento (Ton/Ha)*	\$/TON	Perdidas
Caña de Azúcar	43.569	16	897.994	625.995.209.376
Caña de Azúcar	43.569	8	897.994	312.997.604.688

*toneladas de azúcar generadas por hectárea. **ASOCAÑA, julio 2014.

Cabe resaltar que al proponer configuraciones productivas alternas a la actual, estarían también bajo riesgo a pérdidas productivas y socioeconómicas, y sobre todo en área donde la amenaza a inundación es eminente, por lo cual plantear sistemas productivos de diversas especies para el área de estudio permitiría disminuir considerablemente este riesgo, ya que una de las ventajas de implementar sistemas productivos diversos es la resiliencia que pueden presentar los cultivos ante una inundación, dado que los umbrales de estrés hídrico (inundación) de cada cultivo son diferentes. Ejemplo de esto son los resultados obtenidos de la evaluación de pérdidas económicas realizada a las configuraciones productivas propuestas en este estudio, donde efectivamente se presentarían pérdidas económicas ante una inundación, pero éstas serían menores a las que se ocasionarían por el anegamiento del sistema productivo actual (caña de azúcar).

Vale la pena mencionar que la implementación de estas configuraciones productivas para el área de estudio, presentarían una gran oportunidad de generación de empleo, ya que los cultivos en frutales exigen mano de obra permanente para el desarrollo de actividades como siembra, escarda, fertilización, riego, poda, control de plagas y enfermedades y cosecha. En la tabla 19 se relaciona el número de jornales necesarios para llevar a punto de cosecha los cultivos propuestos, al comparar cada uno de estos con el cultivo de la caña de azúcar, en general representan mayor demanda de mano de obra que este, condición que se da ya que el cultivo de la caña de azúcar presenta un alto grado de tecnificación en el manejo integrado de suelos, aguas y cosecha; caso contrario al de los frutales donde sus actividades de implementación y seguimiento se hacen casi en 100% manual, por ende estos generarían un aumento considerable en la demanda de empleo en la región.

Tabla 19. Mano de Obra por Cultivo

Cultivos	No. Jorn/ha
Guanábana	130
Guayaba	56
Mandarina	27
Mango	70
Maracuyá	125
Melón	35
Naranja	49
Papaya	100
Piña	54
Caña de Azúcar	25

La anterior información es clave al momento de la toma de decisiones, especialmente porque expone la importancia de identificar la distribución y usos que se le deben dar a un territorio en miras de disminuir al máximo los riesgos productivos, sociales y económicos. El planteamiento de estas alternativas de producción agrícola en el área de estudio, lo refleja una vez más como un territorio excelente para la diversidad productiva con estándares de alto rendimiento y beneficios

sociales y económicos que pueden y deberían reajustarse a las condiciones ambientales de este, conllevando así a un desarrollo sostenible.

Esta propuesta permitiría llegar a una predicción más puntual, de contarse con bases de datos a un nivel escalar más detallado ya sea regional o predial permitiendo llegar así a la modelación de zonas específicas por sitio. Igualmente este modelo se constituye en una herramienta propicia para tener en cuenta ante los sistemas de toma de decisión a nivel agrícola dado que permite responder preguntas, tales como “¿Puedo cultivar esta especie aquí?” o “¿Qué crecería bien aquí?”; interrogantes que generalmente el agricultor no encuentra respuesta (CIAT, 2003).

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

En el presente estudio se plantearon y evaluaron varias configuraciones de cultivos para el valle alto del río Cauca, con el fin de permitir la diversificación de la producción agrícola, aumentar la resiliencia y adaptación de las especies productivas ante las inundaciones, disminuir las pérdidas económicas causadas por las inundaciones, reducir los impactos negativos de las inundaciones en el sector agrícola y aumentar la participación social en la zona. Inicialmente se realizó la caracterización biofísica, hidrodinámica y de usos del suelo (actual y potencial) en el área de estudio y su dinámica espacial y temporal. También se identificaron las zonas afectadas por las inundaciones y la frecuencia de inundación de las mismas durante las últimas seis décadas. Asimismo, se identificaron las áreas afectadas durante la ola invernal del periodo 2010-2011 y se cuantificaron las pérdidas económicas del sector agrícola. Luego se identificaron las zonas inundables y se cuantificaron las pérdidas económicas generadas al sector agrícola en el área de estudio por las inundaciones 2010-2011, estableciendo así el escenario actual de esta problemática, al igual que las fluctuaciones económicas del sector en los periodos de inundaciones

Finalmente se plantearon una serie de cultivos agrícolas alternativos, los cuales se evaluaron mediante la aplicación del modelo simulador de cultivos ECOCROP, lo cual permitió generar una serie de configuraciones agrícolas productivas para el área de estudio; con estas alternativas de producción agrícola se busca disminuir los impactos negativos de las inundaciones en el sector.

Las principales conclusiones del estudio se presentan a continuación:

7.1.1 Caracterización Biofísica del Área de Estudio:

El Valle del Cauca es un departamento con una gran diversidad, expresada en la gran variedad de especies, ecosistemas, climas, suelos, paisajes, etnias y comunidades. La ocupación del territorio y, en particular de la planicie aluvial del río Cauca, ha venido generando un proceso acelerado de demanda de bienes y servicios del medio natural, causando cambios fuertes sobre el ambiente. Esta situación ha conducido a la transformación de los sistemas naturales característicos de esta zona y sus servicios ecosistémicos, dándole paso al desarrollo sobre el cual se han basado los ejes socioeconómicos del departamento.

La cuenca alta del río Cauca cuenta con una gran riqueza hídrica, debido a la gran cantidad de ríos que drenan en ella, tales como los ríos Timba, Jamundí, Claro, Cali, Riofrío, Palo, Desbaratado, Amaime, Sonso, Guadalajara, Tuluá, Bugalagrande, La Paila y La Vieja. En este tramo el río Cauca se caracteriza por su alta sinuosidad, su baja pendiente y los desbordamientos periódicos durante las crecientes, principalmente durante la presencia del fenómeno climático de La Niña, causando la inundación de los terrenos adyacentes al cauce y, en muchas ocasiones, la rotura de los diques marginales de protección, produciendo el anegamiento de extensas zonas de producción agrícola

7.1.2 Análisis de la Dinámica de Uso del Suelo:

El uso potencial de los suelos del área de estudio corresponde a una zona propicia para el desarrollo de actividades forestales, de conservación y agrícolas. No obstante, el uso actual de los suelos en el valle alto del río Cauca ha estado fuertemente influenciado por el modelo de desarrollo económico

adoptado que ha presionado y conducido a la expansión de las fronteras agrícolas, encontrándose que en un periodo de menos de 60 años se pasó de tener 67 mil hectáreas dedicadas a la agricultura a casi 260 mil. En este modelo se observa cómo el cultivo de la caña de azúcar aumentó considerablemente su área sembrada en los últimos 60 años al pasar de 40 mil ha a cerca de 223mil; por esta razón se le considera el eje principal de la dinámica cambiante del uso del suelo en el área de estudio. La expansión de este cultivo ha relegado otra serie de cultivos, como el del arroz, el algodón, la soya y los frutales, entre otros, llevándolos a casi desaparecer en el área de influencia del valle alto del río Cauca.

7.1.3 Identificación del Impacto Económico Causado por Las Inundaciones Sobre el Sector Agrícola en el Área de Estudio:

El río cauca es un río aluvial propenso a los desbordamientos durante las crecientes, propiciando la ocurrencia de inundaciones en el área de estudio. Entre los reportes históricos se encuentran documentadas dieciséis grandes crecientes, las cuales generaron inundaciones a diferentes escalas; el 44% de ellas ocurrieron durante el primer semestre del año y el 56% restante durante el segundo semestre; estas crecientes, en su gran mayoría, estuvieron directamente relacionadas con la ocurrencia del fenómeno climático de La Niña.

El departamento del Valle del Cauca fue uno de los más afectados a nivel nacional por la ola invernal 2010-2011, reportándose cerca de 40 mil hectáreas afectadas por las inundaciones, donde cerca del 85% de éstas correspondieron al sector agropecuario. Los principales cultivos afectados fueron caña de azúcar, pastos y frutales, entre otros; para el caso de la caña de azúcar 20 mil hectáreas resultaron afectadas por inundación directa y elevación de los niveles freáticos.

Las pérdidas económicas generadas al sector agrícola por la ola invernal 2010-2011 en el departamento del Valle del Cauca ascendieron a los 112 billones de millones de pesos. Entre las externalidades ambientales que generaron dicha ola invernal, la de mayor impacto para este sector fue el exceso de humedad en el suelo, afectando directamente los rendimientos de producción de los cultivos en las áreas inundadas.

El sistema productivo más afectado al interior del departamento del Valle del Cauca fue la caña de azúcar, el cual dejó de percibir 53 mil millones de pesos por la reducción en su rendimiento productivo y cerca de 24 mil millones de pesos por caña de azúcar no cosechada ante el alto grado de anegamiento.

7.1.4 Planteamiento y Evaluación de Alternativas de Producción Agrícola en Áreas Inundables del Valle Alto del Río Cauca:

Teniendo en cuenta la alta vulnerabilidad del sistema productivo predominante actual en el valle alto del río Cauca, como es el monocultivo de la caña de azúcar, se plantearon varias alternativas de producción agrícola, en las cuales se proponen configuraciones de cultivos productivos diversos. El establecimiento de estos cultivos bajo las condiciones ambientales de la zona permitiría aumentar el rendimiento productivo, diversificar la producción y hacer un uso más adecuado del suelo.

Entre los cultivos propuestos, la guayaba y la piña presentaron una rentabilidad productiva en el 100% del área de estudio, ya que su desarrollo sería “excelente”. Los cultivos de naranja, mandarina, mango y guanábana presentaron rendimientos productivos “sostenibles” en las áreas aledañas al río Cauca y “excelentes” en el resto del área de estudio.

La distribución espacial en el área de estudio de las configuraciones productivas propuestas demuestra las excelentes condiciones ambientales con que cuenta la zona, ya que presenta amplias áreas idóneas para el desarrollo vegetativo de diversos cultivos. En este sentido cabe resaltar que las configuraciones propuestas permiten analizar el gran abanico de posibilidades productivas que ofrece esta zona.

La configuraciones productivas propuestas presentan un rendimiento productivo excelente y una adaptabilidad viable para la zona de estudio, condiciones que fluctúan ante un evento extremo de inundación, dado que de implementarse éstas en la zona de estudio, un porcentaje de ellas estarían inmersas en la franja crítica de inundación y, por ende, podrían generarse pérdidas económicas ante una inundación; pese a esto las pérdidas económicas que se presentarían serían menores a las que generaría el sistema productivo actual (caña de azúcar).

Diversificar la producción agrícola en el área de estudio generaría mayor empleo directo en la zona e igualmente permitiría el crecimiento de nuevas agroindustrias alimenticias, promoviendo así un desarrollo socioeconómico más estable, ya que no dependería de un solo cultivo y producto y, a su vez, sería un pasivo ambiental en el área de estudio.

Esta propuesta puede permitir llegar a una predicción más precisa de contarse con bases de datos a un nivel escalar más detallado, ya sea local o predial, permitiendo modelar zonas específicas por sitio. Igualmente el modelo aplicado se constituye en una herramienta a tener en cuenta para la evaluación e implementación de sistemas productivos, ya que desliga y provee información que permite tomar decisiones antes de la siembra de un cultivo en particular para una zona específica.

7.2 Recomendaciones

La investigación realizada permitió formular una alternativa de producción para el valle alto del río Cauca, donde se propone una configuración productiva como medida para optimizar la gestión de las inundaciones en dicha zona. Con el fin de tener un mayor grado de detalle de las configuraciones productivas propuestas se sugiere implementar las siguientes recomendaciones:

- Implementar en la zona de estudio nuevas y mejores políticas de manejo, distribución y planificación de tierras con el fin de alivianar el rezago ambiental y social en la tenencia de tierras, en mirar de hacer uso de las potencialidades del suelo en la zona.
- Identificar en estudios futuros los umbrales de estrés hídricos que pueden soportar los cultivos propuestos, proporcionando así información para estudio de este tipo a futuro
- Evaluar en campo el comportamiento productivo que tendrían las especies propuestas ante una inundación, con el fin de identificar las fluctuaciones en el rendimiento productivo de estas.
- Realizar un análisis detallado a las áreas de la franja crítica de inundación del valle alto del río Cauca, desde lo económico, lo productivo y lo ambiental, con el fin de determinar la rentabilidad

económica del sector agrícola vs la rentabilidad ambiental que le presentaría retornar esas áreas a su dinámica natural.

- Se debe efectuar un análisis económico donde se consideren las pérdidas socioeconómicas que representaría la inundación de las diferentes configuraciones productivas propuestas.
- Se recomienda identificar otras alternativas de producción para el área de estudio, tales como sistemas agroforestales, agroecológicos y de silvopastoril entre otros, que se analizan a nivel mundial como medida de mitigación de los impactos causado por el cambio o variabilidad climática a la agricultura.
- Los resultados de este estudio pueden constituir un importante insumo para las autoridades encargadas de la planificación y ordenación del territorio, por cuanto contribuyen al uso adecuado del suelo y optimiza la gestión integral del riesgo por inundaciones del sector agrícola.
- Esta propuesta puede permitir llegar a una predicción más precisa de contarse con bases de datos a un nivel escalar más detallado, ya sea local o predial, permitiendo modelar zonas específicas por sitio. Igualmente el modelo aplicado se constituye en una herramienta a tener en cuenta para la evaluación e implementación de sistemas productivos, ya que desliza y provee información que permite tomar decisiones antes de la siembra de un cultivo en particular para una zona específica.

CAPÍTULO VIII

BIBLIOGRAFÍA

8 BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M. (1995). *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Boulder co: westview press.
- APFM, OMM & Asociación Mundial Para El Agua. (2009). *Gestión integrada de crecidas: documento conceptual*. Ginebra: programa asociado de gestión de crecidas (APFM), organización meteorológica mundial (OMM), asociación mundial para el agua.
- Arcila, C; Valderrama, A; Chacón, D. (2012). Estado de fragmentación del bosque seco de la cuenca alta del río Cauca Colombia: *Revista biota colombiana*. Bogotá.
- ASOCAÑA. (2013). *Aspectos generales del sector azucarero colombiano 2012 -2013*, presidente: Luis Fernando Londoño Capurro.
- ASOCAÑA. 2014. Estadísticas del precio internacional mensual del azúcar [en línea]. <<http://www.asocana.org/modules/documentos/10251.aspx>> [citado en 20 febrero de 2014].
- Banco Mundial. (2010). *Informe sobre el desarrollo mundial "desarrollo y cambio climático"*. Banco mundial. Washington, DC.
- BID-CEPAL. (2012). *Valoración de daños y pérdidas ola invernol en Colombia 2010-2011*. Banco interamericano de desarrollo – BID - comisión económica para américa latina y el caribe – CEPAL. Bogotá DC.
- Cardona, O. (2001). *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo "una crítica y una revisión necesaria para la gestión"*. Artículo int. Work-conf. On vulnerability in disasters theory and practice. Wageningen: disasters studies of Wageningen University and research centre.
- Carvajal, Y; Ordóñez, C; Pérez, M; Rojas, J; Ordoñez, C. (2010). *Desarrollo sostenible: principios, aplicaciones y lineamientos de política para Colombia*. Cali, Colombia.
- CENICAÑA. (2011). *Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca*. Realizado por el centro de investigación de la caña de azúcar (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Cali, CENICAÑA.
- CEPAL & CNP. (2002). *El conglomerado del azúcar del Valle del Cauca, Colombia*. CEPAL - serie desarrollo productivo. Versión electrónica.
- CEPAL, ONU & BID. (2007). *Información para la gestión del riesgo de desastres. Estudios de caso de cinco países. Caso de estudio Colombia*. Bogotá: misión BID - CEPAL.
- CEPAL. (2012). *Valoración de daños y pérdidas. Ola invernol en Colombia, 2010-2011*. Bogotá: misión BID - CEPAL.

- CIAT. (2003). *Conocimiento Local – Desarrollo por sitio específico*.
(<http://gisweb.ciat.cgiar.org/Sig/esp/conocimiento-local.htm>)
- CORPOICA. (2011). Informe estrategias de respuesta de CORPOICA para mitigar el impacto de las inundaciones sobre la agricultura colombiana, *Rehabilitación de la capacidad productiva de los suelos afectados por las inundaciones, en el Valle del Cauca*. Palmira, Colombia. Palmira. Colombia
- CVC. (2002). *Lagunas y madre viejas del departamento del Valle del Cauca*. Subdirección de patrimonio ambiental, grupo de hidrobiología. Cali. Colombia.
- CVC e IAVH. (2004). *Plan de acción en biodiversidad del Valle del Cauca*. Corporación autónoma regional del Valle del Cauca e instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humboldt. Cali. Colombia
- CVC. (2004). *Plan de gestión ambiental regional del Valle del Cauca*. Cali. Colombia.
- CVC. (2006). *Aplicación de técnicas estadísticas en las series climatológicas mensuales totales de precipitación, evaporación y brillo solar, con el fin de corregir, complementar y verificar la calidad de la información*. Grupo de Gestión y Apoyo a la Ingeniería Agrícola de Colombia – GAIACOL. Cali. Colombia.
- CVC. (2011). *Guía rápida temática para el usuario SIG uso potencial*. Grupo sistema de información ambiental. Cali. Colombia.
- CVC. (2011a). *Áreas afectadas por ola invernal y evaluación de acciones*. Realizadas por CVC-contrato CVC. N°. 0309 de 2011. Cali. Colombia.
- CVC. (2012). *Sistema de Información Ambiental*. Cali. Colombia.
- CVC-UNIVALLE. (2007). *El Río Cauca en su Valle Alto. Un aporte al conocimiento de uno de los ríos más importantes de Colombia*. Cali. Colombia.
- DPN – Departamento Nacional de Planeación. (2011). *Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: Estimación de pérdidas y cuantificación de costos*. ERN Evaluación de riesgos Naturales. BOGOTA DC.
- EIRD/ONU. (2011). *Informe de evaluación global sobre la reducción del riesgo de desastres*. Ginebra, Reino Unido.
- FAO. (2009). *Ecocrop*. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/home>.
- Fischer G. (2010). *Environmental Conditions That Affect Growth, Development and Quality of the Pasifloráceas*. Memorias ASOFRUTOCOL. Neiva. Colombia.
- Geist, H. & Lambin, E. (2002). *Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation*. Bioscience.

- Gliessman SR. (2007). *Agroecology: the ecology of sustainable food systems*. CRC Press
- Gliessman, S. (1998). *Agroecology: ecological process in sustainable agriculture*. Ann Arbor press, Michigan.
- Global water partnership – GWP -. (2000). *Manejo integrado de los recursos hídricos*. Documento base No 4. Estocolmo: comité técnico de la asociación mundial para el agua.
- Hijmans R, Cameron S, Parra J, Jones P, Jarvis A. (2005). *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. International Journal of Climatology.
- Holt, E. & Patel, R.(2009). *Food rebellions: the real story of the world food crisis and what we can do about it*. Fahumu books and grassroots international. Oxford, UK.
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del agua 2010*. Bogotá DC. Colombia
- IDEAM-DANE. (2011). *Reporte final de áreas afectadas por las inundaciones 2010 - 2011*. Instituto geográfico Agustín Codazzi, instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales; departamento administrativo nacional de estadística. Bogotá DC. Colombia.
- IGAC & CVC. (2004). *Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca*. Bogotá DC. Colombia
- IGAC, IDEAM & DANE. Reporte consolidado de áreas afectadas por inundaciones 2010-2011. .Mayo 20 de 2011. Bogotá DC. Colombia
- IGAC. (1998). *Zonificación agroecológica de Colombia*. Subdirección agrológica y subgerencia de investigaciones y transferencia de tecnología agropecuaria. Bogotá DC.
- IICA. (2007). *Proyecto cambio climático y pobreza rural – incorporación del cambio climático a las estrategias de desarrollo rural*. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. Montevideo, Uruguay.
- IPCC - Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. (2001). *Cambio climático 2001: impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Informe del grupo de trabajo II. Resumen para responsables de política. OMM-PNUMA. Ginebra, Suiza.
- IPCC. (2001). *Climate change 2001: synthesis report*. A contribution of working groups I, II, and III to the third assessment report of the. Cambridge University Press.
- IPCC. (2007). *Cambio climático. Resumen para responsables de políticas*. Base de ciencia física. Contribución del grupo I de trabajo al cuarto informe de evaluación del IPCC. (IPCC & Solomon et al., ed.) Cambridge, reino unido: IPCC & Cambridge University Press.
- Lozano J. C.; Toro J. C.; Garcia R.; Tafur R. *Manual sobre el cultivo del guayabo en Colombia*. Cali, Colombia.

- MADR –UNAL. (2012). *Guía para el Acotamiento de las Rondas Hídricas de los Cuerpos Agua de Acuerdo a lo Establecido en el Artículo 206 de la ley 1450 de 2011 - Plan Nacional de Desarrollo*. Bogotá DC. Colombia.
- MADR. (2008). *Plan nacional frutícola “Valle del Cauca tierra de frutas”*. Gobernación del Valle del Cauca; Asociación hortofrutícola de Colombia-Asohofrucol. Cali.
- MADR. (2010). *Informe de gestión ambiental en el sector agropecuario*. Ministerio de agricultura y desarrollo rural (MADR). Bogotá. Colombia.
- Martínez, J., Fernández, A. & Osnaya, P. (2004). *Cambio climático una visión desde México*. Instituto nacional de ecología. México DC.
- Mas-Pla, J & Bach, J. (2008). Los riesgos geológicos en el sistema de cuenca. *Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica*. Documento universitario. Girona, España.
- Noaa & Tao. (2011). El Niño theme page. Acces to distributed information on El Niño. [En línea]. <http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/nino_normal.html> [citado el: 28 de mayo de 2013].
- Ojeda, D. & Leiva, P. (2001). *Ecosistemas y medio ambiente en Colombia. 2001.*, IDEAM. Bogotá DC. Colombia.
- Ollero, A. (2007). Territorio fluvial. *Diagnóstico y propuesta para la gestión ambiental y de riesgos en el Ebro y los cursos bajos de sus afluentes*. Bakeaz y fundación nueva cultura del agua, Bilbao.
- OPS/OMS. (2006). *Hospitales seguros ante inundaciones, (serie mitigación de desastres)*. Organización panamericana de la salud, área de preparativos para situaciones de emergencia y socorro en caso de desastre. Washington DC.
- Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación –FAO-. Análisis de los sistemas agrícolas en: sistema de producción agropecuaria y pobreza [en línea]. <http://www.fao.org/farmingsystems/description_es.htm> [citado en 4 febrero de 2014].
- Peñas, V. 2002. *Agua y territorio: “Esquema de temas importantes”*. *Plan hidrológico de la Cuenca del Ebro*. Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea. [En línea, citado el: 16 de 05 de 2013].
- PGAR. (2012). *Plan de gestión ambiental regional del Valle del Cauca 2002-2012*. Gobernación del Valle del Cauca. Cali. Colombia.
- Porter, J., Parry, M. & Carter, T. (2010). *The potential effects of climatic change on agricultural insect pests*. Agricultural and forestry meteorology.
- Ramos, G. (2005). *Caña de azúcar en Colombia*. Revista de indias. Bogotá DC. Colombia.
- Ribstein, P. (1997). *Evenements enso er hidrologie de glaciers en Bolivie*. S.I. seminario internacional sobre las consecuencias del Enso a escala regional y local. Washington DC.

- Ríos, D., Vargas, D. & Funes, F. (2011). *Innovación agroecología, adaptación y mitigación del cambio climático*. Instituto nacional de ciencias agrícolas (inca). Cuba.
- Sánchez, L. (2009) *Sistema de toma de decisiones basado en lógica difusa, para determinar ambientes idóneos para especies promisorias en Aipe (Huila)*. Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
- Sedano, R., Carvajal, Y. & Ávila, A. (2012). *Variabilidad climática, cambio climático y gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia*. Cali, Colombia.
- SIPSA - *Boletín Semanal Precios Mayoristas* - Semana 26 Juli -01 Agos [En Línea].
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Semana_26jul_1_ago_2014.pdf.
- Strahler, A. (1984). *Geografía física*. (trad. Por Ana María Guillo y José francisco Albert). (7 ed.). Barcelona, España.
- UNDP. (2008). *El plan de acción de Bali: los temas principales en las negociaciones sobre el clima*. An environment & energy group publication. Washington DC.
- UNISDR (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastres*. Estrategia internacional para la reducción de desastres de las naciones unidas. Ginebra, Suiza.
- Velis, L. & Campos, N. (1991). *Los desastres en el salvador. Una visión histórico-social. Desastres por actividad hidrometeorológica*. Centro de protección para desastres. San salvador, salvador.
- Villalobos, R., Retana, J. & Flores. (2003). *Efecto del cambio climático en la agricultura. Experiencias en costa rica*. Gestión de Desarrollo Instituto Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica.

CAPITULO IX

ANEXOS