

CONTENIDO

RESUMEN	15
ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA	15
ANÁLISIS DE OFERTA-DEMANDA HÍDRICA ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020 ANTE ESCENARIOS CLIMÁTICOS	16
CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO TULUÁ.....	17
CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO AMAIME.....	17
ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN PERMANENTE ASOCIADA A LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME	18
INTRODUCCIÓN	19
CAPITULO 1. MARCO DE REFERENCIA: VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO GLOBAL EN LA GESTIÓN DEL AGUA	22
1.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	22
1.2. VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GESTIÓN DEL AGUA	25
1.3. FACTORES SOCIALES Y ECONÓMICOS EN LA DEMANDA DE AGUA	26
CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO CUENCA DEL RÍO CAUCA	28
2.1. LOCALIZACIÓN Y CLIMA DE LA CUENCA DEL RÍO CAUCA.....	28
2.2. ASPECTOS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO TULUÁ.....	31
2.2.1. USO DEL SUELO EN LA CUENCA.....	32
2.2.2. CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE LOS AÑOS 1996 Y 2006	33
2.3. ASPECTOS GENERALES DE LA CUENCA DEL RÍO AMAIME.....	35
2.3.1. USO DEL SUELO EN LA CUENCA.....	37
2.3.2. CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO ENTRE 1996 Y 2006.....	37
CAPITULO 3. METODOLOGÍA	40
3.1. ANÁLISIS DE TENDENCIAS EN SERIES CLIMÁTICAS	42
3.1.1. SELECCIÓN DE LAS CUENCAS DE ESTUDIO PARA EL BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA ANTE ESCENARIOS CLIMÁTICOS ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2.020	42
3.1.2. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE BASES DE DATOS CLIMÁTICAS	44
3.1.3. ANÁLISIS TEMPORAL -EXPLORATORIO DE LOS DATOS	47
3.1.3.1. Manejo de datos faltantes	48
3.1.3.2. Identificación de datos atípicos	48
3.1.3.3. Análisis de estacionariedad	50

3.1.4.	ANÁLISIS ESPACIAL DE LOS DATOS CLIMÁTICOS	51
3.1.4.1.	Procesamiento a la base de datos climáticos.....	52
3.1.4.2.	Análisis estructural.....	52
3.1.4.3.	Interpolación espacial de los datos climáticos	54
3.1.5.	DETERMINACIÓN DE TENDENCIAS EN LAS SERIES CLIMÁTICAS.....	55
3.1.6.	DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO	57
3.1.6.1.	Proyección lineal	58
3.1.6.2.	Proyección con el modelo autoregresivo estacional: ARIMAE.....	58
3.1.6.3.	Proyección utilizando escenarios del Magicc/Scengen	59
3.1.6.4.	El escenario de la oferta hídrica superficial.....	62
3.2.	ANÁLISIS DE FACTORES SOCIOECONÓMICOS QUE DETERMINAN LA DEMANDA HÍDRICA ANTE ESCENARIOS CLIMÁTICOS ACTUALES Y SU PROYECCIÓN AL AÑO 2020	65
3.2.1.	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE BASES DE DATOS.....	67
3.2.2.	PROYECCIONES DE FACTORES SOCIOECONÓMICOS Y AMBIENTALES AL AÑO 2020	68
3.2.2.1.	Proyección del área sembrada en la cuenca	69
3.2.2.2.	La proyección de población a 2020.....	78
3.2.2.3.	La proyección del consumo de agua bovino	81
3.2.3.	PROYECCIÓN DEMANDA HÍDRICA EN 2020	86
3.2.4.	BALANCE OFERTA-DEMANDA HÍDRICA EN 2020	87
3.3.	ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN PERMANENTE ASOCIADA A LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME	88
3.3.1.	OBTENCIÓN DE IMÁGENES DE SENSORES REMOTOS.....	90
3.3.2.	SELECCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DE VEGETACIÓN PERMANENTE EN LA CUENCA	91
3.3.3.	OBTENCIÓN DE DATOS DE NDVI CONSIDERANDO COBERTURAS DE VEGETACIÓN PERMANENTES	93
3.3.4.	CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS DE PRECIPITACIÓN DIARIA	96
3.3.5.	ANÁLISIS EXPLORATORIO A LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y PLUVIOMÉTRICOS.....	97
3.3.6.	ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CRUZADA ENTRE ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y PLUVIOMÉTRICOS.....	98
<u>CAPITULO 4. ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA.....</u>		100
4.1	DESCRIPCIÓN DE LAS SERIES CLIMÁTICAS ENTRE 1975 Y 2006 EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA.....	100
4.1.1	LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y ESTACIONAL	101
4.1.2	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE	110
4.1.3	DÍAS DE LLUVIA ANUAL Y ESTACIONAL	115
4.2.	TENDENCIAS DE LAS SERIES CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA.....	120
4.2.1	TENDENCIAS EN LAS SERIES CLIMÁTICAS A ESCALA INTRANUAL	120
4.2.1.1.	Tendencias en la precipitación mensual.....	121
4.2.1.2.	Tendencias en la temperatura media del aire mensual	129
4.2.2.	TENDENCIAS EN LAS SERIES CLIMÁTICAS A ESCALA INTRANUAL	131
4.2.2.1.	Tendencias en la precipitación estacional.....	131
4.2.2.2.	Tendencias en temperatura media del aire estacional	135
4.3.	ESCENARIOS CLIMÁTICOS ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020 EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS TULUÁ Y AMAIME.....	137
4.3.1.	CASO: CUENCA DEL RÍO TULUÁ.....	138

4.3.1.1.	La precipitación total mensual.....	142
4.3.1.2.	La temperatura media del aire.....	144
4.3.1.3.	La evapotranspiración mensual.....	146
4.3.1.4.	La oferta hídrica superficial.....	147
4.3.2.	CASO: CUENCA DEL RÍO AMAIME	150
4.3.2.1.	La precipitación total mensual.....	150
4.3.2.2.	La temperatura media del aire.....	153
4.3.2.3.	La evapotranspiración mensual.....	156
4.3.2.4.	La oferta hídrica superficial.....	157

CAPITULO 5. ANÁLISIS DE FACTORES QUE DETERMINAN LA DEMANDA HÍDRICA ANTE EL ESCENARIO CLIMÁTICO ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020..... 160

5.1.	CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO TULUÁ.....	161
5.1.1.	DESCRIPCIÓN DE FACTORES SOCIOECONÓMICOS QUE DETERMINAN LA DEMANDA HÍDRICA.....	161
5.1.1.1.	Áreas sembradas y rendimientos censales de cultivos a nivel municipal	161
5.1.1.1.1.	El cultivo del café	161
5.1.1.1.2.	El cultivo de la caña de azúcar	164
5.1.1.1.3.	El cultivo de maíz	165
5.1.1.1.4.	El cultivo de sorgo	167
5.1.1.1.5.	El cultivo de soya	169
5.1.1.1.6.	El cultivo de papa.....	171
5.1.1.2.	Áreas sembradas de cultivos a nivel de cuenca	173
5.1.1.3.	Población en la cuenca	175
5.1.1.4.	Inventario bovino en la cuenca	175
5.1.2.	PROYECCIÓN AL 2020 DE LOS FACTORES SOCIOECONÓMICAS.....	177
5.1.2.1.	Proyección del área sembrada.....	177
5.1.2.1.1.	Áreas proyectadas a partir de registros censales entre 1988 - 2007.....	178
5.1.2.1.2.	Áreas máximas según factores limitantes ambientales	179
5.1.2.1.3.	Área de siembra estimada al año 2020 en la cuenca.....	180
5.1.2.2.	Proyección de población en la cuenca al año 2020	186
5.1.2.3.	Proyección de consumo de agua bovino a 2020	186
5.1.3.	DEMANDA HÍDRICA ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020 ASOCIADA A FACTORES SOCIOECONÓMICOS EN LA CUENCA	187
5.1.3.1.	Demanda agrícola	188
5.1.3.2.	Demanda industrial.....	192
5.1.3.3.	Demanda doméstica	193
5.1.3.4.	Demanda bovina	194
5.1.3.5.	Demanda ambiental.....	196
5.1.3.6.	Demanda hídrica total en la cuenca	197
5.1.3.6.1.	Balance precipitación-demanda hídrica agrícola.....	197
5.1.3.6.2.	Demanda hídrica neta en la cuenca	200
5.1.4.	BALANCE OFERTA-DEMANDA HÍDRICA ANTE EL ESCENARIO CLIMÁTICO ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020 ASOCIADO A FACTORES SOCIOECONÓMICOS EN LA CUENCA.....	203
5.2.	CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO AMAIME	205
5.2.1.	DESCRIPCIÓN DE FACTORES SOCIOECONÓMICOS QUE DETERMINAN LA DEMANDA HÍDRICA.....	205
5.2.1.1.	Áreas sembradas y rendimientos censales de cultivos a nivel municipal	205

5.2.1.1.1.	El cultivo del café	205
5.2.1.1.2.	El cultivo de la caña de azúcar	207
5.2.1.1.3.	El cultivo de maíz	208
5.2.1.1.4.	El cultivo de sorgo	210
5.2.1.1.5.	El cultivo de frutales-plátano	211
5.2.1.1.6.	El cultivo de hortalizas	212
5.2.1.2.	Análisis de área sembrada a nivel de la cuenca del río Amaime	214
5.2.1.3.	Población en la cuenca	216
5.2.1.4.	Inventario bovino en la cuenca	217
5.2.2.	PROYECCIÓN AL 2020 DE LOS FACTORES SOCIOECONÓMICOS	218
5.2.2.1.	Proyección del área sembrada.....	218
5.2.2.1.1.	Áreas proyectadas a partir de registros censales entre 1988 - 2007.....	219
5.2.2.1.2.	Áreas máximas según factores limitantes ambientales	220
5.2.2.1.3.	Área de siembra estimada al año 2020 en la cuenca.....	226
5.2.2.2.	Proyección de población en la cuenca al año 2020	228
5.2.2.3.	Proyección de consumo de agua bovino a 2020.....	229
5.2.3.	DEMANDA HÍDRICA ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020 ASOCIADA A FACTORES SOCIOECONÓMICOS EN LA CUENCA	230
5.2.3.1.	Demanda agrícola	230
5.2.3.2.	Demanda industrial.....	233
5.2.3.3.	Demanda doméstica	234
5.2.3.4.	Demanda bovina	235
5.2.3.5.	Demanda ambiental.....	236
5.2.3.6.	Demanda hídrica total en la cuenca	236
5.2.3.6.1.	Balance precipitación-demanda hídrica agrícola.....	237
5.2.3.6.2.	Demanda hídrica neta en la cuenca	238
5.2.4.	BALANCE OFERTA-DEMANDA HÍDRICA ANTE EL ESCENARIO CLIMÁTICO ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020 ASOCIADO A FACTORES SOCIOECONÓMICOS EN LA CUENCA.....	240

CAPITULO 6. ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN PERMANENTE ASOCIADA A LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME..... 243

6.1.	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DE LOS BOSQUES ANDINOS Y SU RELACIÓN CON EL CLIMA	244
6.2.	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN Y LA VEGETACIÓN DE BOSQUE NATURAL EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME	246
6.2.1.	ÍNDICES DE VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL	246
6.2.2.	ÍNDICES DE VEGETACIÓN NDVI EN ZONAS DE BOSQUE NATURAL EN LA CUENCA	256
6.3.	RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN Y LA VEGETACIÓN DE BOSQUE NATURAL EN LA CUENCA	261

CAPITULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 264

7.1.	ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA.....	264
7.2.	ANÁLISIS DE FACTORES QUE DETERMINAN LA DEMANDA HÍDRICA ANTE EL ESCENARIO CLIMÁTICO ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2.020	269

7.3. ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN PERMANENTE ASOCIADA A LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME	275
--	------------

CAPITULO 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	277
---	------------

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	279
---	------------

ANEXOS	292
---------------------	------------

ANEXO 1. ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO DE LA CUENCA DEL RIO TULUÁ ENTRE LOS AÑOS 1996 Y 2006.....	293
--	------------

ANEXO 2. CARTOGRAFÍA DE CAMBIOS EN EL USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RIO AMAIME 1998-2003.....	300
---	------------

ANEXO 3. LISTADO DE ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN, TEMPERATURA Y DÍAS LLUVIA EMPLEADAS PARA EL ANÁLISIS EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS CAUCA, TULUÁ Y AMAIME - ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CLASIFICADAS EN GRUPOS HOMOGÉNEOS Y DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO.....	310
--	------------

ANEXO 4. CALCULO DE LA EVAPORACIÓN TOTAL MENSUAL EN FUNCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y LA TEMPERATURA DEL AIRE.....	325
---	------------

ANEXO 5. RANGOS DE TOLERANCIA DE FACTORES AMBIENTALES ESTABLECIDOS PARA CADA CULTIVO EN LAS CUENCAS DE LOS RÍOS TULUÁ Y AMAIME.....	327
--	------------

ANEXO 6. POBLACIÓN RURAL Y URBANA DESDE 1985 AL 2020 ESTIMADA EN LOS MUNICIPIOS QUE PERTENECEN A LAS CUENCAS DE LOS RÍO TULUÁ Y AMAIME.....	331
--	------------

ANEXO 7. LOCALIZACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME DE LOS PÍXEL DE NDVI OCONSIDERADOS EN EL ESTUDIO.....	333
--	------------

ANEXO 8. VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO CAUCA.....	339
---	------------

ANEXO 9. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA EL ANÁLISIS CON ESTACIONES DE TEMPERATURA, DÍAS LLUVIA Y PRECIPITACIÓN.....	342
---	------------

ANEXO 10. CLASIFICACIÓN Y ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LA PRECIPITACIÓN DIARIA DE CADA ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	352
--	------------

FIGURAS

Pág.

CAPITULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO CUENCA DEL RÍO CAUCA

Figura 2.1. Localización de la zona de estudio: Cuenca del río Cauca.....	29
Figura 2.2. Distribución de mensual de la precipitación y la temperatura del aire entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca	30
Figura 2.3. Localización y división política de la cuenca del río Tuluá.....	31
Figura 2.4. Uso del suelo en la cuenca del río Tuluá de los años 1996 y 2006.....	34
Figura 2.5. Localización y división política de la cuenca del río Amaime	36
Figura 2.6. Uso del suelo en la cuenca de los ríos Amaime de los años 1998 y 2003.....	38

Capitulo 3. METODOLOGÍA

Figura 3.1. Esquema metodológico general del estudio de variación climática en la cuenca del río Cauca.....	41
Figura 3.2. Localización de las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime seleccionadas como casos modelo de estudio en el análisis de oferta hídrica ante escenarios climáticos.....	43
Figura 3.3. Localización de estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas utilizadas en el estudio de tendencias climáticas entre los años 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca.....	46
Figura 3.4. Localización de estaciones pluviométricas y climatológicas del estudio de tendencias climáticas en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.....	47
Figura 3.5. Ejemplo de gráfica de semivarianza en función de la distancia.....	54
Figura 3.6. Distribución de frecuencias de los cambios en la precipitación mensual según test Theil-Sen y rangos asignados para proyecciones de los escenarios climáticos globales al año 2020 en las cuencas Tuluá y Amaime.....	60
Figura 3.7. Distribución de frecuencia de cambios en la temperatura media mensual según test Theil-Sen y rangos asignados para la proyecciones en 2.020 de los escenarios climáticos globales en la cuenca Amaime.....	61
Figura 3.8. Zonas de producción y consumo hídrico y las estaciones hidrométricas de estudio en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.....	63
Figura 3.9. Esquema metodológico del flujo de información para el análisis de factores socioeconómicos que determinan la demanda de agua en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.....	66
Figura 3.10. Distribución porcentual del uso agrícola en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime. Años 1996, 1998, 2003 y 2006.....	70
Figura 3.11. Ejemplo de procedimiento para obtener usos del suelo por municipio.....	72
Figura 3.12. Ejemplo de procedimiento para obtener usos del suelo en la cuenca por municipio.....	72
Figura 3.13. Ejemplo de procedimiento para calcular los porcentajes del cultivo en cada municipio dentro de la cuenca.....	74

Figura 3.14. Ejemplo de procedimiento para estimar los rangos de tolerancia como factores limitantes ambientales que determinaron las áreas máximas de siembra actual y su proyección al año 2020.....	76
Figura 3.15. Ejemplo del procedimiento para identificar las áreas máximas de desarrollo de los cultivos.....	78
Figura 3.16. Población urbana y rural en los municipios que pertenecen a las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.....	80
Figura 3.17. Flujo de la información para el cálculo de la demanda hídrica proyectada al año 2020 ante el escenario de cambio climático en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.....	86
Figura 3.18. Desarrollo metodológico del análisis integrado de oferta-demanda hídrica en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime al 2020.....	87
Figura 3.19. Desarrollo metodológico para el análisis de cambios en la vegetación permanente asociados a la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Amaime.....	89
Figura 3.20. Ejemplo de la obtención y el corte de las imágenes MODIS en la cuenca del río Amaime.....	92
Figura 3.21. Localización de las zonas de NDVI georeferenciados en la cobertura de bosque natural y estaciones de lluvia de estudio en la cuenca del río Amaime.....	94
Figura 3.22. Histograma de valores de NDVI clasificados por rangos de nube, sombra y vegetación del bosque natural según análisis cluster en la cuenca del río Amaime.....	95

Capítulo 4. ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA

Figura 4.1. Histograma de frecuencia de la precipitación anual promedio entre 1.975 y 2.006 en la cuenca del río Cauca.....	102
Figura 4.2. Gráfico para el análisis de tendencia de la distribución espacial de la precipitación total anual en la cuenca del río Cauca.....	102
Figura 4.3. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca – I.....	105
Figura 4.4. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando con dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca – II.....	106
Figura 4.5. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando con dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca – III.....	107
Figura 4.6. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando con dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca – IV.....	108
Figura 4.7. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando con dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca – V.....	109
Figura 4.8. Histograma de frecuencias de la temperatura media del aire entre 1975 y 2006 en la cuenca del río cauca.....	110
Figura 4.9. Gráfico para el análisis de tendencia de la distribución espacial de la temperatura media del aire en la cuenca del río Cauca.....	111
Figura 4.10. Distribución espacial de la temperatura media del aire intranual y mensual en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 – I.....	112
Figura 4.11. Distribución espacial de la temperatura media del aire intranual y mensual en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 – II.....	113
Figura 4.12. Distribución espacial de la temperatura media del aire intranual y mensual en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 – III.....	114

Figura 4.13. Histograma de frecuencias de los días de lluvia promedio anual entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca.....	115
Figura 4.14. Gráfico para el análisis de tendencia de la distribución espacial de los días de lluvia anual en la cuenca del río Cauca.....	115
Figura 4.15. Distribución espacial del número de días con lluvia a escalas anual y trimestral en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 – I.....	117
Figura 4.16. Distribución espacial del número de días con lluvia a escalas anual y trimestral en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 – II.....	118
Figura 4.17. Distribución espacial del número de días con lluvia a escalas anual y trimestral en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 – III.....	119
Figura 4.18. Distribución de magnitud de tendencias en la precipitación mensual entre los años 1975 y 2006 (Según clasificación de significancia a un Nivel de Confianza del 90%).....	121
Figura 4.19. Distribución espacial de tendencias en la precipitación mensual entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca (casos significativos con nivel de confianza del 90%) e interpolación con kriging utilizando el modelo Gaussiano).....	123
Figura 4.20. Estaciones pluviométricas clasificadas en grupos homogéneos según la tendencia y el promedio de precipitación mensual en la cuenca.....	124
Figura 4.21. Histogramas de frecuencia* de grupos homogéneos de precipitación mensual entre 1975- 1990 y 1991-2006.....	126
Figura 4.22. Series de tiempo de los grupos homogéneos de precipitación mensual con la tendencia lineal Theil-Sen y la media móvil (con periodos de 5 años) desde 1.975 al 2.006 en la cuenca del río Cauca.....	127
Figura 4.23. Distribución de magnitud de tendencias en temperatura media del aire entre los años 1975 y 2006 (Según clasificación de significancia a un nivel de confianza del 90%).....	129
Figura 4.24. Distribución espacial de tendencias en la temperatura media del aire entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca (casos significativos con Nivel de Confianza del 90% e interpolación con kriging utilizando el modelo Gaussiano).....	130
Figura 4.25. Casos en la precipitación intranual con cambios significativos (Según Test Mann-Kendall con Nivel de Confianza del 90%) entre 1975 al 2006 en la cuenca alto Cauca.....	132
Figura 4.26. Casos con cambios significativos en los días de lluvia trimestral (según Test Mann-Kendall con un Nivel de Confianza del 90%) entre 1975 al 2006 en la cuenca alto Cauca.....	134
Figura 4.27. Casos con cambios significativos en la temperatura media del aire trimestral (según Test Mann-Kendall con Nivel de Confianza del 90%) entre 1975 al 2006 en la cuenca alto Cauca.....	136
Figura 4.28. Interpolación Espacial* de la precipitación anual acumulada y de la temperatura media del aire actual y sus proyecciones al 2.020 en la cuenca del río Tuluá.....	140
Figura 4.29. Interpolación Espacial de la temperatura media del aire actual y su proyección al 2020 en la cuenca del río Tuluá.....	141
Figura 4.30. Escenarios de precipitación mensual actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Tuluá.....	142
Figura 4.31. Escenario actual y su proyección al 2.020 de la temperatura media del aire mensual en la cuenca del río Tuluá.....	145
Figura 4.32. Escenario actual y su proyección al 2.020 de la evapotranspiración total mensual en la cuenca del río Tuluá.....	146

Figura 4.33. Escenario actual y su proyección al año 2.020 del caudal medio mensual en la cuenca del río Tuluá.....	148
Figura 4.34. Escenario actual y su proyección al año 2.020 de la oferta Hídrica superficial mensual promedio en la cuenca Tuluá: la precipitación total en las zonas de producción y de consumo hídrico, y el caudal medio (en mm).....	148
Figura 4.35. Distribución espacial de la precipitación total anual (en mm.) actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime.....	151
Figura 4.36. Escenarios de precipitación mensual actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime.....	152
Figura 4.37. Distribución espacial de la temperatura media del aire (en °C) actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime.....	154
Figura 4.38. Escenarios de temperatura media del aire mensual actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime.....	155
Figura 4.39. Escenarios de evaporación total mensual (en mm.) actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime.....	156
Figura 4.40. Escenario actual y su proyección al año 2.020 del caudal medio mensual en los ríos Nima (estación: Los Tambos) y Amaime (estación: Los Ceibos).....	158
Figura 4.41. Escenario actual y su proyección al año 2.020 de la oferta Hídrica superficial mensual promedio en la cuenca del río Amaime: la precipitación total en las zonas de producción y de consumo hídrico, y el caudal medio (en mm).....	159

Capítulo 5. ANÁLISIS DE FACTORES QUE DETERMINAN LA DEMANDA HÍDRICA ANTE EL ESCENARIO CLIMÁTICO ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020

Figura 5.1. Área sembrada y rendimientos del café en municipios de la cuenca Tuluá.....	162
Figura 5.2. Precios promedio anuales del café colombiano (US\$ por libra).....	163
Figura 5.3. Áreas sembradas y rendimientos censales de caña de azúcar en los municipios de la cuenca del río Tuluá.....	165
Figura 5.4. Área sembrada y rendimientos censales del maíz en los municipios de la cuenca del río Tuluá.....	167
Figura 5.5. Área sembrada y rendimientos censales de sorgo en municipios de la cuenca Tuluá.....	169
Figura 5.6. Área sembrada y rendimientos censales de la soya en los municipios de la cuenca.....	171
Figura 5.7. Área sembrada y rendimientos censales de papa en municipios de la cuenca Tuluá.....	172
Figura 5.8. Usos del suelo agrícola predominantes en la cuenca del río Tuluá.....	174
Figura 5.9. Población rural en la cuenca del río Tuluá desde 1986 y proyectados al 2020 a partir de datos censales.....	175
Figura 5.10. Inventario bovino entre 1.996 y 2.006 en la cuenca Tuluá. (En Número de Bovinos).....	176
Figura 5.11. Número de reses según tipo de explotación entre 1.996 y 2.006 en los municipios dentro de la cuenca del río Tuluá.....	177
Figura 5.12. Espacialización de sistemas productivos y de sus áreas máximas según factores limitantes ambientales en el año 2006 y su proyección al año 2020 en la cuenca Tuluá.....	181

Figura 5.13. Espacialización de sistemas productivos y de sus áreas máximas según factores limitantes ambientales de los cultivos de Café, Caña de azúcar y Papa en el año 2006 y su proyección al año 2020 en la cuenca Tuluá.....	182
Figura 5.14. Espacialización de sistemas productivos y de sus áreas máximas según factores limitantes ambientales del pasto natural y el pasto de corte en el año 2006 y su proyección al año 2020 en la cuenca Tuluá.....	183
Figura 5.15. Espacialización de sistemas productivos y de sus áreas máximas según factores limitantes ambientales de los cultivos de Sorgo, Soya y Maíz en el año 2006 y su proyección al año 2020 en la cuenca Tuluá.....	184
Figura 5.16. Consumo de agua bovino histórico proyectado desde 2.007 al 2.020 a partir de datos censales entre 1.996 y 2.006 en la cuenca del río Tuluá.....	195
Figura 5.17. Demanda ambiental actual y su proyección al año 2.020 en la cuenca Tuluá...196	
Figura 5.18. Representación de la demanda hídrica total anual por sectores, según escenarios actuales y la proyección al año 2020 en la cuenca del río Tuluá.....	202
Figura 5.19. Balance oferta-demanda hídrica según escenarios actuales (E1: censal y E2: cartográfico) y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá.....	203
Figura 5.20. Área sembrada y rendimientos censales de café en los municipios de la cuenca del río Amaime.....	206
Figura 5.21. Área sembrada y rendimientos censales de caña de azúcar en los municipios de la cuenca del río Amaime.....	208
Figura 5.22. Área sembrada y rendimientos censales de maíz plana en los municipios de la cuenca Amaime.....	209
Figura 5.23. Área sembrada y rendimientos censales de sorgo en los municipios de la cuenca del río Amaime.....	211
Figura 5.24. Área sembrada y rendimientos censales de frutales-plátano en los municipios de la cuenca.....	212
Figura 5.25. Área sembrada y rendimientos censales de Hortalizas en los municipios de la cuenca.....	214
Figura 5.26. Usos agrícolas predominantes en la cuenca del río Amaime.....	215
Figura 5.27. Población rural y urbana en la cuenca del río Amaime desde 1986 y proyectados al 2020 a partir de datos censales.....	216
Figura 5.28. Inventario bovino en la cuenca entre 1996 y 2020 en la cuenca del río Amaime.....	217
Figura 5.29. Número de reses en la cuenca del río Amaime según su tipo de explotación.....	218
Figura 5.30. Área sembrada proyectada de los principales cultivos en la cuenca del río Amaime.....	219
Figura 5.31. Espacialización de áreas máximas de expansión de los cultivos de café, caña de azúcar y hortalizas (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime.....	221
Figura 5.32. Espacialización de áreas máximas de expansión de los cultivos de árboles frutales y maíz (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime.....	222
Figura 5.33. Espacialización de áreas máximas de expansión de los cultivos de sorgo (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime.....	223
Figura 5.34. Espacialización de áreas máximas de expansión del pasto natural (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime.....	224

Figura 5.35. Espacialización de áreas máximas de expansión del pasto de corte (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime.....	225
Figura 5.36. Consumo de agua bovino histórico y su proyección (entre el 2006 y 2020) por tipo de producción en la cuenca del río Amaime.....	229
Figura 5.37. Demanda ambiental actual y su proyección al año 2020 en la cuenca Amaime.....	236
Figura 5.38. Demanda hídrica anual por sectores y escenarios actuales así como su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime.....	240
Figura 5.39. Balance oferta-demanda de agua según escenarios actuales y su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime.....	241

Capítulo 6. ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN PERMANENTE ASOCIADA A LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME.....

Figura 6.1. Grupos homogéneos de estaciones pluviométricas con precipitación diaria entre los años 2.000 a 2.006 en la cuenca del río Amaime y cuencas aledañas.....	247
Figura 6.2. Número de días promedio (2.000-2.004) en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95 según los grupos homogéneos de estaciones pluviométricas en la cuenca....	249
Figura 6.3. Número de días promedio mensual para cada año entre el 2.000 y el 2.004 en que la precipitación es superior al percentil 95 según los grupos homogéneos conformados en la cuenca del río Amaime.....	250
Figura 6.4. Total de lluvia mensual promedio cuya precipitación es superior al percentil 95 según grupos homogéneos en la cuenca.....	251
Figura 6.5. Total promedio de lluvia mensual- multianual cuya precipitación es superior al percentil 95 en los dos grupos homogéneos de la cuenca.....	251
Figura 6.6. Concentración porcentual de la lluvia mensual respecto a la anual según grupos homogéneos de precipitación en la cuenca del río Amaime.....	252
Figura 6.7. Precipitación media diaria mensual según grupos homogéneos de precipitación.....	253
Figura 6.8. Precipitación media mensual según grupo homogéneos de estaciones pluviométricas en la cuenca del río Amaime.....	254
Figura 6.9. Promedio mensual de máximo número de días con lluvia consecutiva por mes según grupos homogéneos de precipitación en la cuenca del río Amaime.....	255
Figura 6.10. Distribución anual (2.000-2.004) promedio del máximo número de días consecutivos con lluvias en el mes, según grupos homogéneos de precipitación en la cuenca.....	255
Figura 6.11. Máximo número de días consecutivos sin lluvia en el mes según los dos grupos homogéneos en la cuenca del río Amaime.....	256
Figura 6.12. Zonas de NDVI codificadas con cobertura de bosque natural y sus estadísticos descriptivos en la cuenca del río Amaime.....	258
Figura 6.13. Regresión lineal en zonas 0104 y 0105 con mayores cambios del NDVI entre los años 2000 y 2004 en la cuenca del río Amaime.....	260
Figura 6.14. Precipitación media mensual y NDVI mensual promedio entre 2000 y 2004....	260

TABLAS

Pág.

Capítulo 3. METODOLOGÍA

Tabla 3.1. Descripción de las bases de datos para el análisis de tendencias climáticas en la cuenca del río Cauca y las cuencas Amaime y Tuluá.....	44
Tabla 3.2. Descripción de bases de datos conformadas para el análisis de factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica en las cuencas Tuluá y Amaime.....	67
Tabla 3.3. Cifras de censos de población rural y urbana en los municipios de las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime (valores en No. de Habitantes)	79
Tabla 3.4. Inventario bovino de los municipios que pertenecen a las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime entre 1996 y 2007.....	81
Tabla 3.5. Área de pasto natural en los municipios que hacen parte de las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime (En Hectáreas)	83
Tabla 3.6. Áreas de pasto natural estimadas entre 1.996 y 2.006, en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime (En Hectáreas)	84
Tabla 3.7. Consumo aproximado de agua diaria en bovinos (en l/día).....	85
Tabla 3.8. Rangos de evaluación del NDVI en el estudio.....	96

Capítulo 4. ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA

Tabla 4.1. Descripción de la base de datos de series climáticas entre los años 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca.....	101
Tabla 4.2. Estaciones de medición (número y porcentaje del total) con cambios en la media de las series climáticas en la cuenca del río Cauca, entre 1975 y 2006.....	120
Tabla 4.3. Tendencias en grupos homogéneos de precipitación mensual- intranual.....	125
Tabla 4.4. Distribución de los cambios en los días de lluvia entre 1975 al 2006 en la cuenca.....	128
Tabla 4.5. Tendencias en la precipitación acumulada a escala intranual entre 1.975 y 2.006 en la cuenca (NC del 90%).....	133
Tabla 4.6. Tendencias en los días de lluvia a escala intranual entre 1.975 y 2.006 en la cuenca (Nivel de Confianza del 90%).....	135
Tabla 4.7. Tendencias en la temperatura media del aire trimestral entre 1975 y 2006 en la cuenca (Nivel de Confianza del 90%).....	136
Tabla 4.8. Resultados de proyecciones de las variables climáticas al 2020 y la comparación con los valores medios actuales.....	138
Tabla 4.9. Resultados de proyecciones de las variables climáticas al 2.020 y la comparación con los valores medios actuales en la cuenca del río Amaime.....	150

Capítulo 5. ANÁLISIS DE FACTORES QUE DETERMINAN LA DEMANDA HÍDRICA ANTE EL ESCENARIO CLIMÁTICO ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020

Tabla 5.1. Área sembrada y rendimiento de café por municipios de la cuenca del río Tuluá.....	161
Tabla 5.2. Área sembrada y rendimiento de caña de azúcar por municipios de la cuenca Tuluá.....	164
Tabla 5.3. Área sembrada y rendimiento de maíz por municipios de la cuenca Tuluá.....	166
Tabla 5.4. Área sembrada y rendimiento de sorgo por municipios en la cuenca Tuluá.....	168
Tabla 5.5. Área sembrada y rendimiento de soya por municipios de la cuenca Tuluá.....	170
Tabla 5.6. Área sembrada y rendimiento de papa por municipios de la cuenca del río Tuluá.....	172
Tabla 5.7. Área de uso agrícola predominante en la cuenca del río Tuluá (hectáreas).....	174
Tabla 5.8. Área sembrada según información censal proyectada en los años 2.008 y 2.020 mediante modelos ARIMAE en los municipios de la cuenca del río Tuluá.....	178
Tabla 5.9. Áreas de siembra proyectadas a partir de registros censales entre 1.988 y 2.007, y el porcentaje de expansión del cultivo dentro de la cuenca del río Tuluá en 2.020.....	179
Tabla 5.10. Áreas máximas de siembra según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Tuluá.....	180
Tabla 5.11. Áreas de siembra: actuales según la base de datos censal y la cartografía de uso del suelo, así como la proyectada al 2020 en la cuenca del río Tuluá.....	180
Tabla 5.12. Población rural actual y su proyección al 2.020 en la cuenca Tuluá.....	186
Tabla 5.13. Inventario y proyección al 2020 de las cabezas de ganado y del consumo de agua bovino en la cuenca del río Tuluá, clasificadas por tipo de producción.....	187
Tabla 5.14. Cálculo del factor de consumo de la demanda hídrica agrícola en la cuenca Tuluá.....	190
Tabla 5.15. Demanda hídrica agrícola según escenarios actuales y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá (en mm/mes)	191
Tabla 5.16. Demanda hídrica industrial según escenarios actuales y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá (en mm/mes).....	192
Tabla 5.17. Demanda doméstica actual y la proyectada a 2020 a nivel rural y urbano en la cuenca del río Tuluá.....	194
Tabla 5.18. Conversión del consumo de agua bovino en mm/mes según los escenarios de área de pasto natural y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá.....	195
Tabla 5.19. Balance precipitación-demanda agrícola según los escenarios actuales y de proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá (en mm/mes).....	198
Tabla 5.20. Demanda hídrica neta según factores socioeconómicos actuales y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá (en mm/mes)	200
Tabla 5.21. Área sembrada y rendimientos de café por municipios de la cuenca Amaime.....	205
Tabla 5.22. Área sembrada y rendimientos de caña de azúcar por municipios.....	207
Tabla 5.23. Área sembrada y rendimientos de maíz por municipios de la cuenca Amaime.....	209
Tabla 5.24. Área sembrada y rendimientos de sorgo por municipios de la cuenca Amaime.....	210
Tabla 5.25. Área sembrada y rendimientos de frutales-plátano por municipios.....	211
Tabla 5.26. Área sembrada y rendimientos de hortalizas por municipios en la cuenca Amaime.....	213
Tabla 5.27. Usos de Suelo Agrícola Predominantes en la Cuenca Amaime.....	215
Tabla 5.28. Áreas máximas de expansión de los cultivos actuales y su proyección al año 2.020 según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime.....	220

Tabla 5.29. Áreas actuales (censal y cartográfica) y su proyección al año 2.020 de los principales cultivos en la cuenca del río Amaime. (En Hectáreas).....	227
Tabla 5.30. Población rural actual y su proyección al 2020 en la cuenca del río Amaime.....	228
Tabla 5.31. Cálculo del factor de consumo de la demanda hídrica agrícola en la cuenca del río Amaime.....	231
Tabla 5.32. Demanda hídrica del sector agrícola según escenarios actuales (E1 y E2) y su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime. (En mm.).....	232
Tabla 5.33. Demanda hídrica industrial (lámina de agua en mm) según escenarios actuales (escenario actual censal y E2) y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Amaime.....	233
Tabla 5.34. Demanda doméstica actual y la proyectada a 2.020 a nivel rural y urbano en la cuenca del río Amaime.....	234
Tabla 5.35. Consumo de agua bovino según escenarios actuales (escenario actual censal y E2) y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Amaime.....	235
Tabla 5.36. Balance precipitación- demanda agrícola según escenarios actuales (E1y E2) y su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime. (Lámina de agua en mm).....	237
Tabla 5.37. Demanda hídrica mensual por sectores y según escenarios actuales (ESCENARIO ACTUAL CENSAL y E2) así como su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime. (Lámina en mm.).....	238

Capítulo 6. ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN PERMANENTE ASOCIADA A LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME

Tabla 6.1. Índices de variabilidad de la precipitación mensual conformados con dos grupos homogéneos de estaciones pluviométricas y sus valores promedio mensual en la cuenca...248	248
Tabla 6.2. Resultados de la regresión lineal* en las zonas de NDVI en la cuenca Amaime....259	259
Tabla 6.3. Resultados de análisis de correlación mediante regresión lineal entre NDVI vs. Índices de precipitación mensual en la cuenca del río Amaime.....261	261
Tabla 6.4. Resultados de análisis de correlación mediante el test de Granger (rezago de 3 meses) entre NDVI vs. Índices de precipitación mensual en la cuenca del río Amaime.....262	262

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo, evaluar los efectos de la Variabilidad Climática (VC) y el Cambio Climático (CC) en variables climáticas y su relación con usos del suelo, la oferta hídrica y factores socioeconómicos en dos cuencas del río Cauca: Tuluá y Amaime.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada cuenca de estudio:

ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA

Se establecieron tendencias de la precipitación total, los días de lluvia y la temperatura media del aire (1975-2006) en 108 estaciones de precipitación, 71 de días lluvia y en 24 climatológicas respectivamente, a escalas multianual y estacional, en la cuenca del río Cauca ubicada en el occidente Colombiano. Las tendencias se detectaron por medio de la prueba no-paramétrica de Mann-Kendall.

En los resultados, se encontraron cambios multianuales significativos (con nivel de confianza de 90%) en el 43% de casos de la precipitación acumulada y del 21% en los días lluvia; en la temperatura media del aire se obtuvo el mayor porcentaje con 83% del total; en promedio se obtuvo tendencias por decenio de descenso de la pluviosidad en -0.2% y de aumento de la temperatura en 0.18°C.

A escala intranual, durante Diciembre-Enero-Febrero (DEF) (de baja pluviosidad) existe tendencia a lluvias más intensas y más frecuentes, con incrementos promedio por decenio de 11% en la precipitación total y de 3 días lluvia. Por el contrario, en Junio-Julio-Agosto (JJA) como periodo de menor pluviosidad en el año, se determinó mayor

disminución de la precipitación en un 3% por decenio (con 80% de casos significativos).

La temperatura media del aire, presentó el mayor aumento promedio de 0.6°C por decenio, en Septiembre-Octubre-Noviembre (SON). Espacialmente, los mayores impactos de descenso de precipitación (2% por decenio) y aumento de temperatura (0.8°C por decenio) a escala interanual, se observaron en los ecosistemas de media y alta montaña, principalmente hacia la cordillera central de los Andes colombianos; en la cuenca, estos cambios plantean retos para la gestión del recurso hídrico, siendo estos a su vez, los que desempeñan un papel fundamental en la conformación de la oferta hídrica; de esta manera, se observa la importancia de emprender acciones coordinadas sobre el territorio, dado que los cambios en las partes altas de las subcuencas, afectarán también las actividades en zonas media y baja, así mismo en la población y los diferentes sectores productivos de la zona de estudio.

ANÁLISIS DE OFERTA-DEMANDA HÍDRICA ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020 ANTE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

El proceso metodológico que se desarrolló en esta investigación, estuvo dirigido a construir del Balance de Oferta-Demanda Hídrica (BH) actual y su proyección al 2020. Dado el reconocimiento de múltiples fuentes de información, los procesos permitieron construir bases de datos socioeconómicas y de escenarios climáticos que condujeron principalmente a generar, como insumos para el BH, cinco productos: base de datos hidroclimática depurada y cartografiada, base de datos de factores socioeconómicos, escenarios de variabilidad climática, proyección al 2020 de factores de análisis y demanda hídrica.

CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO TULUÁ

Al 2.020, se proyectaron cambios en el promedio anual de las series climáticas, con aumentos de 0,2 °C en la temperatura, 1% en la precipitación y 1% en el caudal; por el contrario la evaporación desciende en 1%; adicionalmente, se proyectan cambios en la estacionalidad que alterarán el régimen bimodal; espacialmente, en la zona media de la cuenca sucede la mayor aumento de la pluviosidad. También, se estimó una expansión del 8% (2.473 Ha) en el área sembrada, de la cual el 25% (10.352 Ha) será ocupada en caña de azúcar; el consumo de agua bovino aumentará en 10%, con valor proyectado de 85.296 l/día, del cual el 60% corresponderá a la producción de lechería y la población rural crecerá en 7.234 habitantes (28%). En total, para el 48% del área de estudio, el balance oferta-demanda hídrica al 2020, estima una ganancia del 9%, durante el mes de enero, se proyectó la mayor ganancia en el superávit hídrico, de 83 mm (53%).

CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO AMAIME

Al 2.020, se proyectaron cambios en el promedio anual en las series climáticas, con aumentos de 0,1 °C en la temperatura y de 2% en la evaporación; por el contrario la precipitación y el caudal descienden en 4% cada uno, agosto será el mes con mayor afectación; espacialmente, en la zona media de la cuenca sucede la mayor reducción de la pluviosidad. También, se estimó una expansión del 2% en el área sembrada, de la cual el 64% (29.777 Ha) será ocupada en caña de azúcar; el número de reses aumentará en 5.521, lo que representará un incremento del 20% en la demanda hídrica bovina y la población rural, así como la urbana crecerán en 4.501 (8%) y 21.948 (9%) habitantes, respectivamente. En total, para el 48% del área de estudio, al presente, el balance oferta-demanda presenta un superávit de 290 mm/año, al 2020, se estima de 197mm/año, lo cual muestra un descenso de 32%; adicionalmente, se

estimaron déficits intranuales en los meses de julio y agosto con magnitudes proyectadas de -79 mm y -77 mm, respectivamente.

Análisis de cambios en la vegetación permanente asociada a la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Amaime

En la cuenca del río Amaime, se realizó el análisis de cambios en la vegetación de bosque natural asociados a la variabilidad de la precipitación mensual entre el año 2.000 al 2.004, con el estudio del Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) y de siete indicadores construidos a partir de series de la precipitación diaria. En los resultados, se obtuvo que existen relaciones hasta del 80%, principalmente con los índices de: concentración porcentual de la lluvia, la precipitación diaria y mensual, así como el máximo número de días consecutivos sin lluvia mensual. Por lo anterior, la frecuencia y concentración de la lluvia en Septiembre-Octubre-Noviembre son los factores que afectan en mayor proporción la vegetación permanente en la cuenca. Adicionalmente, se observó una relación inversa de tal forma que, cuando la lluvia intranual es mayor, el NDVI tiende a ser menor; lo cual se relaciona con la fenología de la vegetación; sin embargo, se requiere más estudio para confirmar los impactos ecológicos.

INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático (CC) y la Variabilidad Climática (VC) se reconocen hoy, como un reto para las sociedades humanas en el siglo XXI (Vincent, 2007); su relación con el recurso hídrico es visible por los cambios que induce sobre el ciclo hidrológico, al alterar la precipitación y la intensidad de eventos extremos, entre otros (García et al., 2007). El anterior contexto, unido a la denominada “crisis del agua”, que se expresa principalmente por problemas en la gestión del agua para todos sus usos, ocasionan la escasez y el deterioro del recurso; lo cual ante la incertidumbre en la dinámica del clima futuro, plantean importantes retos para la producción agropecuaria, la sostenibilidad ambiental y la calidad de vida, especialmente en las poblaciones más pobres de países en desarrollo que son las más vulnerables a los impactos y las menos preparadas para adaptarse.

El contexto actual de acelerado desarrollo mundial en la producción de bienes y servicios, asociado a la globalización económica, plantea a las sociedades locales nuevos retos que tienen que ver, no solo con la inserción de los productos ambientales (como los del sector agropecuario) a gran escala en los mercados mundiales, sino también con la armonización de su desarrollo en un marco de sostenibilidad socioeconómica y ambiental, que garantice calidad de vida al ser humano.

El desconocimiento específico de los efectos y de las amenazas físicas de la VC y el CC, así como su relación con la disponibilidad hídrica, y la vinculación con los factores productivos que dan sustento al desarrollo; son consecuencia de la falta de consideración de indicadores ambientales en la planificación de la producción y en los lineamientos normativos, que aumentan la incertidumbre y el riesgo de la toma de decisión sin una valoración óptima en la política pública relacionada con la gestión integral de los recursos naturales.

Estas deficiencias en la generación de información para la toma de decisiones, basados en el uso de recursos naturales (como el agua), así como de adaptaciones tecnológicas en los sectores económicos y sociales amenazados, incrementan la vulnerabilidad y la probabilidad de mayores impactos económicos y sociales desde lo

local, en la medida que la política pública actúa con información parcial sobre la dinámica de los fenómenos que condicionan el equilibrio del recurso hídrico en una cuenca hidrográfica.

En este contexto, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC y la Universidad del Valle, desarrollaron el “Estudio de Variación Climática en la Cuenca del Río Cauca” mediante el convenio interadministrativo No. 110 de 2007, con el propósito de evaluar los efectos de la VC y el CC en variables climáticas y su relación con usos del suelo, la oferta hídrica y factores socioeconómicos en dos cuenca del río Cauca: Tuluá y Amaime.

Este documento, presenta el desarrollo metodológico y resultados obtenidos en la ejecución del proyecto, que permitió alcanzar los siguientes objetivos: análisis de (i) tendencias en series climáticas de la cuenca del río Cauca, (ii) factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica de acuerdo al escenario de variabilidad climática al año 2020 en las cuencas Tuluá y Amaime, y (iii) relaciones de variabilidad en la precipitación y en la vegetación permanente de la cuenca Amaime.

De esta forma, el documento se ha organizado en seis secciones, de la siguiente manera:

- Inicialmente el capítulo 1, muestra el marco de referencia que incluye los conceptos básicos y el contexto del estudio, que son la variabilidad y el cambio climático en la gestión del agua; así como los factores sociales y económicos que intervienen en la demanda hídrica.
- En el capítulo 2, se realiza la descripción de la zona de estudio, siendo esta la cuenca del río Cauca, y se hace énfasis en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá. Las cuales fueron seleccionadas por presentar tendencias significativas de variabilidad y cambio climático, así como representatividad socioeconómica en la región y mayor disponibilidad de información ambiental y del sector agropecuario.
- El capítulo 3, presenta la metodología empleada para los tres análisis básicos que se desarrollaron en marco del proyecto, que fueron: (i) tendencias en series climáticas, (ii) factores socioeconómicos que determinan la oferta hídrica considerando un escenario de variabilidad climática al 2020 y (iii) efectos de la variabilidad climática en la vegetación permanente de la cuenca Amaime.
- El capítulo 4 comprende los resultados de las tendencias en la precipitación mensual, la temperatura media del aire y los días de lluvia por mes, en la cuenca del río Cauca (Tramo Salvajina- Anacaro) entre los años 1975 y 2006. Este análisis

se propuso como la línea base, para luego determinar las cuencas que fueron Tuluá y Amaime, donde se estudiaron los factores socioeconómicos que intervienen en la oferta hídrica ante el escenario de variabilidad climática.

- En el capítulo 5, se presentan para las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime los resultados del escenario actual (como línea base) y la proyección (al año 2020) del área sembrada y el rendimiento de cultivos más relevantes, la evolución de la población y el inventario bovino en cada cuenca. Con estos datos, se realizó posteriormente, un análisis integrado de oferta-demanda hídrica considerando un escenario de variabilidad climática en la cuenca.
- El capítulo 6 muestra el análisis de los efectos de la variabilidad en la vegetación permanente asociada a la precipitación de la cuenca del río Amaime, el cual se llevó a cabo relacionando variables obtenidas a partir de la precipitación diaria con el índice de vegetación normalizado sobre zonas de bosque natural en la cuenca.
- Las demás secciones muestran respectivamente las conclusiones, recomendaciones y futuras líneas de investigación obtenidas para cada análisis realizado en el proyecto; así mismo se presentan las referencias bibliográficas y los anexos.

Capítulo 1. MARCO DE REFERENCIA: Variabilidad climática y cambio global en la gestión del agua

Como marco de referencia, a continuación se presentan los conceptos básicos utilizados en el desarrollo del proyecto, la relación entre el cambio climático, los recursos hídricos y los factores socioeconómicos que inciden en la disponibilidad hídrica.

1.1. Conceptos básicos

- **Cambio climático:** se define como todo cambio producido en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana (IPCC, 2001). Por su parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático CMNUCC (1992), lo define como: “un cambio de 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”.
- **Variabilidad climática:** se refiere a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas y los fenómenos extremos, entre otros) en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. La variabilidad puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa) (IPCC, 2007).
- **Escenarios de cambio climático:** son las combinaciones de las condiciones (modelos de circulación del clima global y emisiones de gases de efecto invernadero) que pueden representar posibles situaciones futuras. Se utilizan a menudo para evaluar las consecuencias de posibles condiciones futuras, la respuesta hipotética de organizaciones o individuos, y la manera en que ellos podrían estar mejor preparados para enfrentar tales condiciones. Los escenarios varían desde aquellos que son ideados y basados en el juicio del experto

(arbitrarios) y aquellos basados en el clima pasado (análogos), hasta los escenarios que se basan en la producción de un modelo climático (UNFCC, 2007).

- **Cambio global:** se aplica al conjunto de cambios ambientales, afectados por las actividades humanas, con especial énfasis en aquellos cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema tierra; la interacción entre los sistemas biofísicos y los sistemas sociales, permiten amplificar o atenuar sus efectos (Duarte et al., 2006).
- **Vulnerabilidad:** es entendida como 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 de origen natural, socio natural o antrópica y representa también las condiciones que imposibilitan o dificultan la recuperación autónoma posterior (Lavell et al., 2004).
- **Amenaza:** evento físico latente de origen natural, socio-natural, tecnológico o antrópico, que al presentarse con una cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido, puede producir severos niveles de daño y pérdidas en y para la sociedad (Quintero-Ángel, 2007).
- **Riesgo:** es la probabilidad de que se produzcan consecuencias perjudiciales, o eventuales pérdidas de vidas, heridos, destrucción de propiedades y medios de vida, trastornos de la actividad económica (o daños al medio ambiente), como resultado de la interacción entre las amenazas naturales o provocadas por las actividades humanas y las condiciones de vulnerabilidad (EIRD, 2002).
- **Sensibilidad:** es el grado por el que está afectado o podría afectarse un sistema, en sentido perjudicial o benéfico; en este caso debido a estímulos relacionados con el clima (IPCC, 2001). Para PNUMA y UNFCCC (2007) los sistemas ecológicos y socioeconómicos más vulnerables son los que tienen mayor sensibilidad al cambio climático y menos capacidad de adaptación.
- **Adaptación a la VC y al CC:** es el proceso de ajuste de sistemas humanos en respuesta a estímulos climáticos o a sus efectos, que mitiga los daños o explota oportunidades (IPCC, 2001); es vista como un instrumento para reducir la vulnerabilidad de la sociedad y aumentar su resiliencia (ONU, 2005). La adaptación particularmente hace énfasis en la reducción de la vulnerabilidad, que es la

variable en la que se puede actuar para disminuir el riesgo, ya que sobre el componente natural (amenaza) no es posible (Carabias & Landa, 2005).

- **Técnicas de procesamiento geoestadístico:** la geoestadística, como su nombre lo indica, es una rama de la estadística cuyo objeto es estimar, predecir y simular la ocurrencia de fenómenos espaciales. Su aplicación permite simular la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, a partir de datos puntuales, adaptando las técnicas clásicas de regresión (Isaaks & Srivastava, 1989). La implementación de métodos geoestadísticos para el estudio de fenómenos con correlación espacial surgió en la década de los sesenta, inicialmente con el fin de predecir valores de variables en sitios no muestreados.

En la actualidad, son muchos los ejemplos de aplicaciones de las herramientas geoestadísticas, sobre todo en estudios ambientales, predicción y análisis de la distribución de diferentes variables relacionadas (Salas & Chuvieco 1993; Giraldo et al., 2002; Sommer et al., 2000; Moral-García, 2004). Para el caso de Colombia, aparecen zonas con un número suficiente de estaciones, mientras otras adolecen por completo de sitios de recolección y por tanto de representatividad en los datos. Según Lennon y Turner (1995), la mayoría de los mapas de variabilidad de las variables climáticas han sido realizados utilizando isolíneas –isoyetas, isotermas, isobaras, que son realizadas manualmente o sin considerar la varianza espacial entre los datos; se trata, en muchos casos, de interpolaciones que tienen alta subjetividad y empirismo. Posteriormente se utilizó la técnica de polígonos de Thiessen para mostrar el área de influencia de una estación, técnica que tampoco ha sido aceptada, por cuanto los fenómenos climáticos no tienen un comportamiento similar a un polígono regular.

Hoy día, son muchos los métodos de interpolación existentes, deterministas o geoestadísticos, con casi infinitas posibilidades de combinación de criterios. Cabe esperarse, además, que varíen en su comportamiento, dependiendo de la variable climática que se desee interpolar, de la distribución de las estaciones, de las características del área de estudio y de la resolución espacial y temporal deseada. Por este motivo, según Bustamante (2003) existe una cierta controversia acerca de cuál es el mejor método para producir una superficie climática interpolada, partiendo de un conjunto limitado de estaciones meteorológicas.

En todo caso, en lo que concierne a este trabajo se considerarán los errores cuadráticos medios y la expresión cartográfica de la interpolación, como los

criterios que permitirán definir cuál método de interpolación es más idóneo para representar las variables precipitación, temperatura y días de lluvias en la cuenca del río Cauca.

1.2. Variabilidad y cambio climático en la gestión del agua

En los últimos años, múltiples evidencias demuestran que el clima en el planeta está cambiando. Los años transcurridos desde 1995 hasta el 2006, particularmente el 2005 (OMM, 2006), se encuentran entre los más cálidos de la historia. Así mismo, en el último siglo, la temperatura media global aumentó en cerca de 0,6 °C (IPCC, 2007).

Como consecuencia de estos cambios, se está presentando el deshielo de los polos, los nevados están en retroceso, los niveles de océanos y mares se han elevado de 10 a 20 cm (PNUMA & UNFCCC, 2004), se están calentando lagos y ríos, están cambiando los patrones de precipitación e incrementándose la frecuencia, duración y severidad de fenómenos como El Niño Oscilación del Sur (ENOS), inundaciones, sequías (Bergkamp et al., 2003), ciclones y huracanes, entre otros (CMNUCC, 2005).

La escasez de agua, los cambios en la intensidad de la precipitación y la variabilidad de eventos extremos están cobrando una importancia significativa. La VC y el CC afectan los procesos y regímenes hidrológicos, incrementando la competencia por el agua dulce (García et al., 2007).

Paralelo a esto, se evidencia un incremento de los daños y costos socioeconómicos asociados a la VC y el CC, debido entre otros, a que más personas están viviendo en condiciones vulnerables frente a las amenazas climáticas (Venton & Hansford, 2006) aumentando también, el deterioro de infraestructura y medios de subsistencia, que al interactuar con factores financieros, políticos y ambientales, acrecientan dicha vulnerabilidad y aplazan las inversiones sociales para desarrollo de los países, particularmente en sectores como el hídrico, agrícola, salud, entre otros.

En este contexto, se reconoce que la adaptación a la VC y el CC cumple un papel muy importante para la reducción del riesgo y consecuentemente de los impactos en las personas, en los ecosistemas, en el comercio y la sociedad en general (Moench & Dixit, 2004). Dado que el CC amplifica la denominada "crisis del agua", que a su vez están

inmersos en un contexto social, político y económico; se infiere entonces, la inminente necesidad de integrar las acciones de adaptación al CC a los programas en gestión de recursos.

1.3. Factores sociales y económicos en la demanda de agua

Las alarmas acerca de las restricciones que impone el agua disponible para los distintos usos antrópicos han venido siendo objeto de tratamientos en múltiples foros y cumbres internacionales, por ejemplo: conferencia de Mar del Plata en 1.977, conferencia internacional sobre el agua y el medio ambiente de Dublín, en 1.992, conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) de 1.992, el segundo foro mundial del agua de la Haya en el año 2.000, la conferencia internacional sobre el agua dulce de Bonn en el 2.001, el tercer foro mundial del agua (Japón) 2003, entre otros (ONU, 2003).

En estos eventos, se reconoce el frágil equilibrio entre la demanda y oferta del recurso y la necesidad de definir políticas públicas asertivas que envíen señales adecuadas para un uso que esté, sustentado en el cambio de racionalidad de los agentes sociales (GWP, 2000). De esta forma, se reconoce que la adaptación en los usos del agua sobre el impacto que producirá la VC y el CC, demanda de los decisores, la comprensión de cómo las actividades antrópicas ejercen presión sobre la disponibilidad del recurso hídrico en sus múltiples usos.

Como objeto central del análisis, este estudio pone en relevancia que los principales factores sociales y económicos que determinan el uso del agua, se refieren a: la distribución e incremento poblacional; la evolución y el desarrollo de la agricultura; el sustento de actividad ganadera; y el uso consuntivo a nivel industrial.

En cuanto a la población y el uso del recurso hídrico, las cifras a nivel mundial son preocupantes, dado que se reconoce que en los últimos 70 años la población ha pasado de 2.000 a 6.100 millones y que el consumo de agua se ha multiplicado por lo menos unas seis veces (PNUD, 2001). Al respecto, se reconoce que la población demanda calidad y cantidad de agua para consumo humano y otros usos derivados según el nivel de vida alcanzado. De esta forma, en las zonas urbanas el crecimiento

de la demanda y presión sobre la calidad de este recurso es sustancialmente mayor que en las zonas rurales, por tanto, el análisis diferenciado de las proyecciones de población rural y urbana, son una aproximación adecuada a la estimación de la demanda y presión por este tipo de uso.

En lo que se refiere a la agricultura, a nivel mundial se reconoce que del agua disponible, el 75% se dedica a este uso (PNUD, 2001), su influencia sobre el equilibrio de los recursos hídricos es importante ya que requiere para sustentar la producción, grandes volúmenes de agua, que en los países en desarrollo se usan, principalmente con tecnologías de riego ineficientes. Por lo tanto, las proyecciones de las actividades agrícolas son una buena aproximación a la estimación de la demanda, considerando factores biofísicos (suelos, desarrollo fenológico del cultivo, climáticos e hidrológicos, entre otros) y tecnológicos.

De igual manera, el consumo pecuario e industrial es importante, en la medida que el aumento del nivel de vida de los ciudadanos, es símbolo de mayor consumo de energía y presión sobre los recursos naturales como el agua; sus proyecciones permiten conocer el crecimiento de la demanda futura del recurso hídrico.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO CUENCA DEL RÍO CAUCA

La zona de estudio seleccionada fue la cuenca del río Cauca en jurisdicción de los departamentos del Valle del Cauca y Cauca; en esta región se realizó el análisis de tendencias en las series climáticas; luego, se procedió a elegir las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá, por presentar indicios de cambios en el clima en las últimas tres décadas, y por contar con mayor disponibilidad de información y representatividad (ambiental, social y económica) en la zona, para realizar el estudio de los efectos de la variabilidad climática en factores sociales y económicos relacionados con la oferta y la demanda hídrica. También, en la cuenca del río Amaime, se realizó el análisis de relación de la variabilidad en el clima y en la vegetación permanente.

De acuerdo a lo anterior, a continuación se presenta una descripción básica de localización y clima de la cuenca del río Cauca, así como de las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.

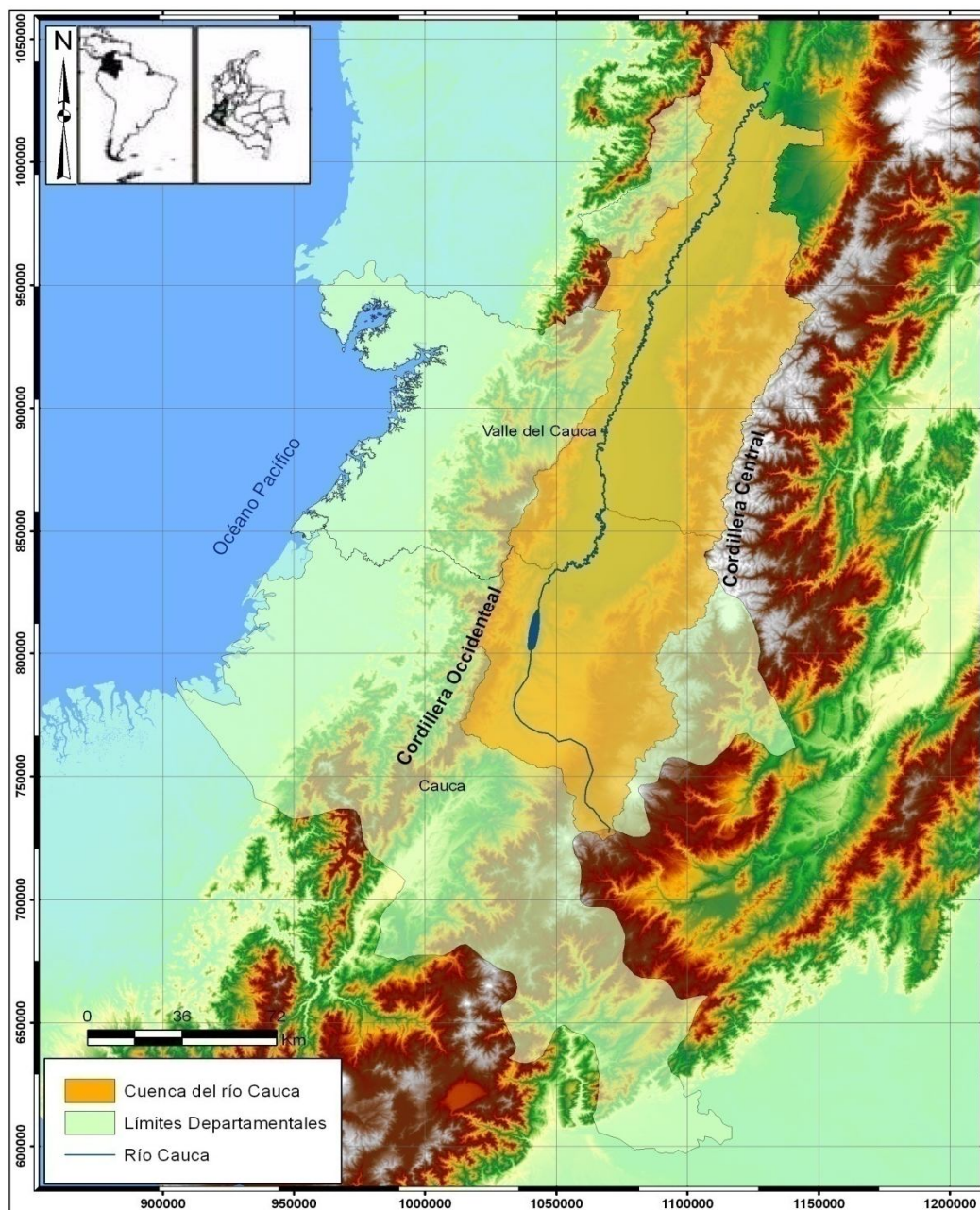
2.1. Localización y clima de la cuenca del río Cauca

El río Cauca es uno de los principales ríos del país, con una longitud de 1.204 Km. y una cuenca hidrográfica de aproximadamente 59.074 km². Nace al sur del país, en el Páramo de Sotará en el Macizo Colombiano, departamento del Cauca, y desemboca en el Brazo de Loba en el río Magdalena, en el departamento de Bolívar, al Norte del país. Recorre los departamentos del Cauca, Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, Caldas, Antioquia, Córdoba, Sucre y Bolívar. En su cuenca se encuentran asentados cerca de 183 municipios de estos departamentos.

Según se presenta en la figura 2.1, el área de estudio seleccionada es la denominada Zona del Alto Cauca y el Valle de la cuenca del río Cauca. La zona del alto Cauca comprende desde su nacimiento en el Macizo Colombiano hasta el sitio de la Balsa; tiene una longitud aproximada de 153 km. Y un descenso de niveles de 4.000 a 1.000 metros sobre el nivel del mar. De otro lado, el valle alto del río Cauca se localiza en un

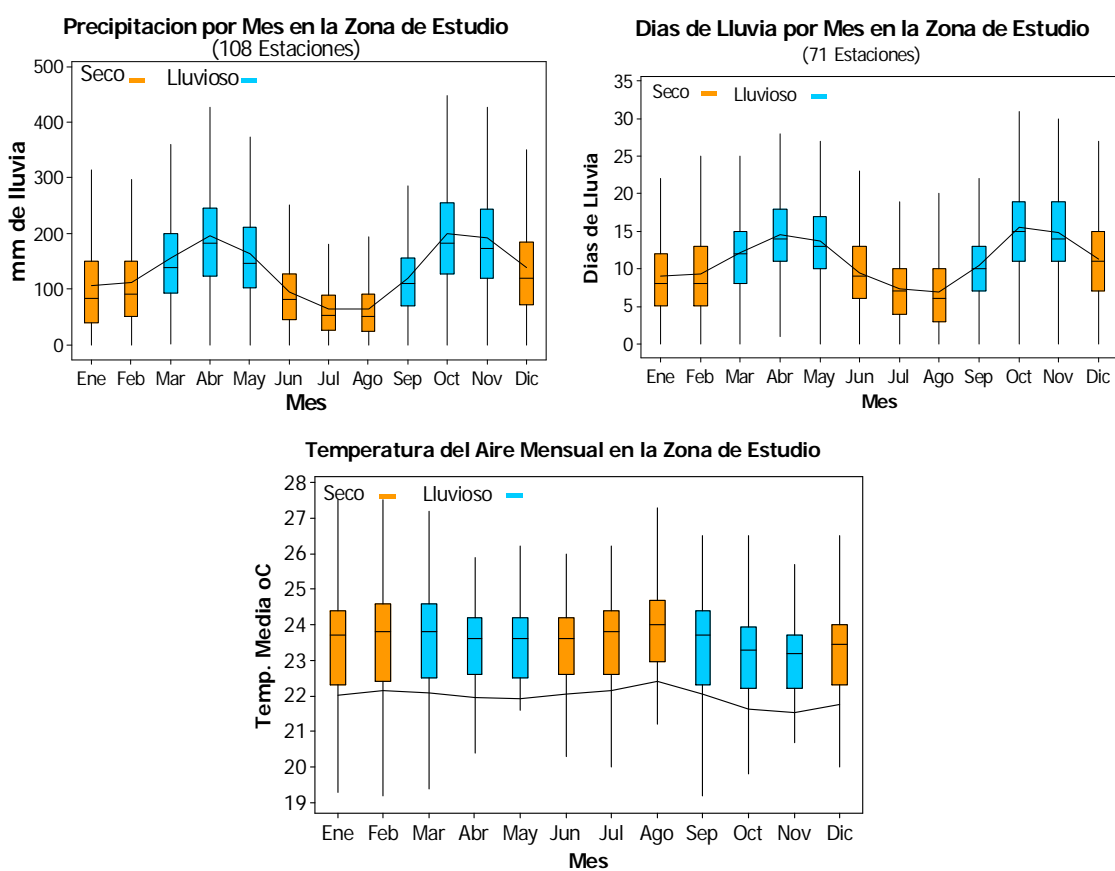
valle interandino de suelos fértiles, sobre una extensión cercana a 214 km de longitud y 20 km de ancho, con un área que abarca 440.000 ha, plano y nivelado; se sitúa entre los 900 y los 1000 msnm, en un piso térmico cálido-seco, con una vegetación de bosque subandino, temperaturas superiores a los 24°C y un promedio de lluvias de 1.300 mm. al año (CVC-UNIVALLE, 2007a).

Figura 2.1. Localización de la zona de estudio: Cuenca del río Cauca



En la cuenca del río Cauca, los factores generales de la circulación global y del cambio en la posición del sol durante el año, así como la topografía, la convección profunda, la cercanía a las costas y la vegetación, son los factores principales que gobiernan el clima local. Según el estudio realizado, se presentaron valores promedio de precipitación anual en 1.613 mm (con desviación estándar de 481 mm) y mensuales de 11 días de lluvia y 22 °C de temperatura del aire en la zona; según lo muestra la figura 2.2 se presenta un régimen hidrológico bimodal con dos periodos lluviosos: Marzo-Abril-Mayo (MAM) y Septiembre-Octubre-Noviembre (SON), mientras que Diciembre-Enero-Febrero (DEF) y Junio-Julio-Agosto (JJA) son de menor pluviosidad.

Figura 2.2. Distribución de mensual de la precipitación y la temperatura del aire entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca



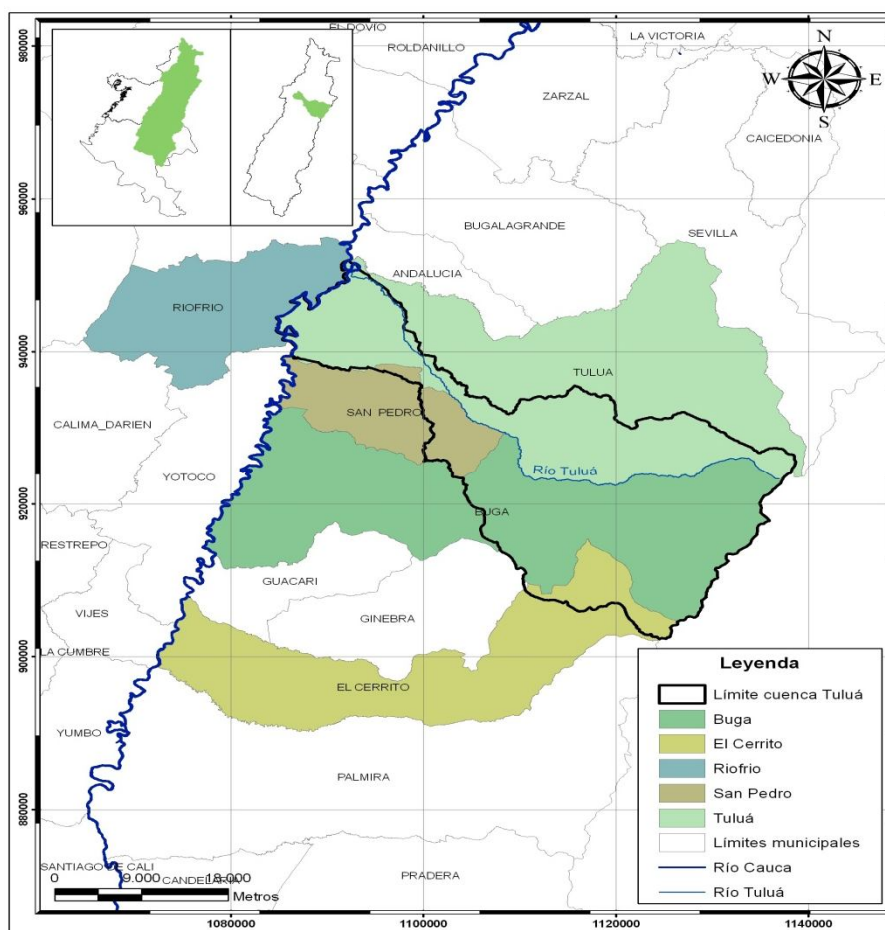
La estación seca de mayor duración ocurre en los meses de verano en el hemisferio norte, siendo fundamental la influencia de los vientos alisios y la migración de la ZCIT (Mesa et al., 1997; Panarello & Dapeña, 2009). Así mismo, se sabe que la variabilidad interanual del clima está influenciada por El Niño Oscilación Sur (ENOS) (Carvajal,

2004; Puertas & Carvajal, 2008). La humedad relativa oscila entre los 70 y 75% en el valle andino, presentando poca variabilidad anual. Los vientos son débiles principalmente en dirección este noroeste, con velocidades de 1 m/s.

2.2. Aspectos generales de la cuenca del río Tuluá

La cuenca del río Tuluá se localiza en la región central del valle geográfico del río Cauca, departamento del Valle del Cauca, entre la vertiente occidental de la cordillera central y la margen derecha de dicho río, con coordenadas geográficas 902.500 – 954.700 N y 1.091.600 – 1.138.600 E. La cuenca tiene un área de 913,6 Km² y está en jurisdicción de los municipios Tuluá (41,2%), Buga (45,2%), San Pedro (6,7%) y El Cerrito (6,8%) (Ver figura 2.3).

Figura 2.3. Localización y división política de la cuenca del río Tuluá



El río Tuluá nace en el Parque Nacional Natural de Las Hermosas, a una altura de 4.100 msnm en el límite entre los Municipios de Tuluá y Buga, y confluye sobre la margen derecha del Río Cauca en el corregimiento de Bocas de Tuluá. El cauce principal presenta una longitud total de 73 Km., su caudal medio anual multianual es de 15.6 m³/s (estación limnigráfica Mateguadua), el sentido de su recorrido es de Este a Oeste y sus principales afluentes son los Ríos Cofre, Loro y San Marcos, Quebradas Nogales y San Antonio. Esta cuenca, limita por el norte con las cuencas de los ríos Morales y Bugalagrande; por el sur y el oriente con las cuencas de la Quebrada San Pedro y los ríos Guadalajara, Amaime, Guabas; por el occidente con el río Cauca y las cuencas de los ríos Piedras y Frío.

El uso de las aguas del río Tuluá se encuentra reglamentado por parte de la C.V.C., mediante Resolución Reglamentaria No. SGA.006 del 17 de Enero de 2.003, existiendo un total de tres derivaciones por donde se distribuyen las aguas de este río: Derivación 1- Acequia Planta El Rumor, Derivación 2- Acequia Grande, Derivación 3- Acequia La Rafaela (CVC, 2007a).

La cuenca del río Tuluá abarca un porcentaje del área rural de los municipios de Buga 45,2%, San Pedro 6,7% y El Cerrito 6,8%. El municipio de Tuluá representa el 41,2% del área de la cuenca y aporta el 50% de la población. En la cuenca, un análisis de sus actividades productivas, se realiza principalmente con la información del municipio de Tuluá y también de Buga, dado que el aporte de población de este último (en la cuenca) es del 30% y participa de manera significativa en la producción pecuaria (CVC & Universidad del Valle, 2004).

2.2.1. Uso del suelo en la cuenca

La figura 2.4 presenta la distribución del uso del suelo en la cuenca del río Tuluá para los años 1.996 y 2.006, se observan diferentes clases de usos en sus suelos, el más generalizado es la explotación con ganadería de libre pastoreo (extensiva) (perteneciente a la categoría de pasto natural y rastrojo en la figura 2.4), en especial hacia la parte media-alta y en la parte baja (piedemonte) en el casco urbano de Tuluá. La ganadería se ha extendido a zonas no aptas, desde el punto de vista biofísico y legal, como es el caso del páramo, que pertenece al Parque Nacional Natural de Las Hermosas.

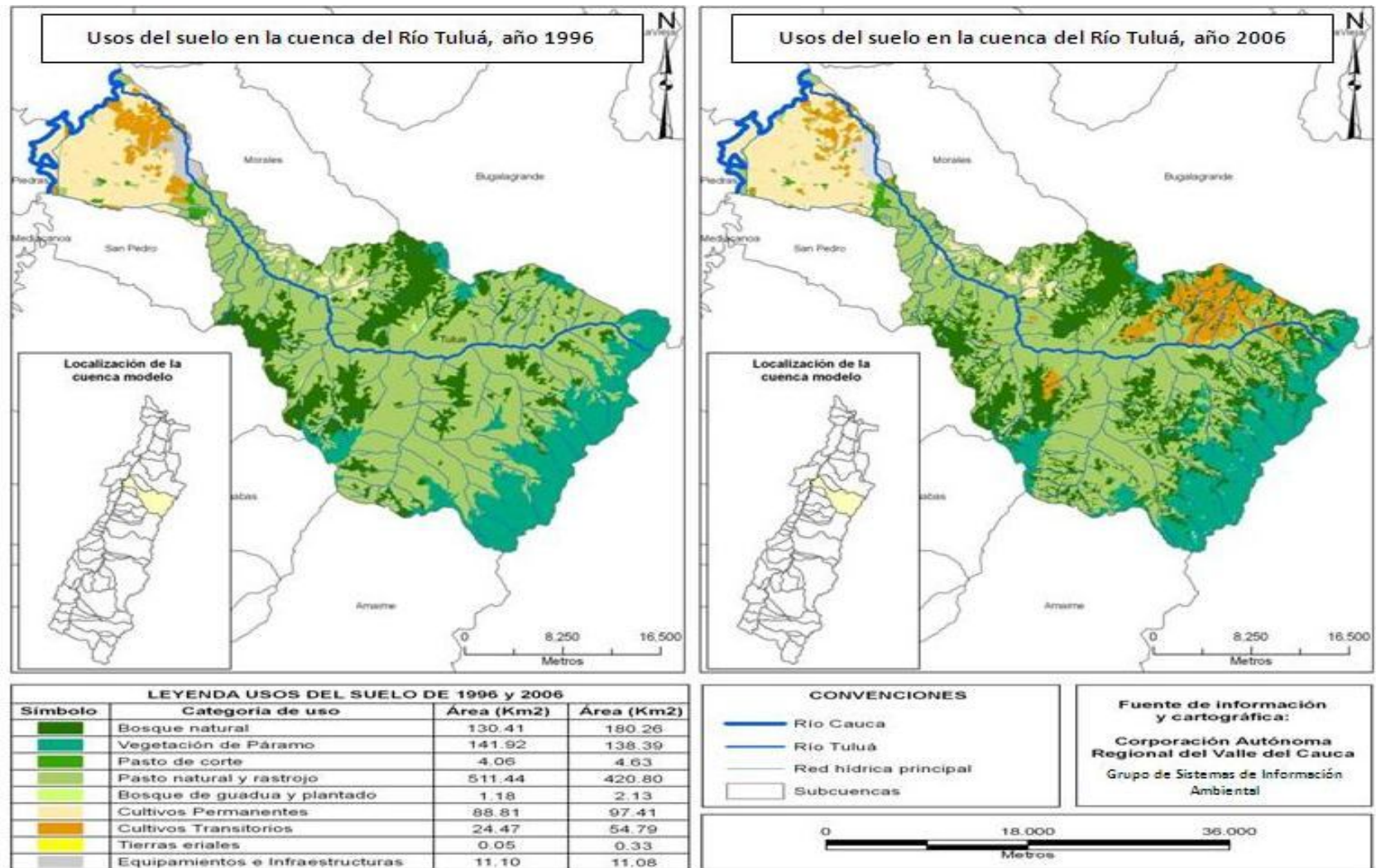
Las áreas de rastrojo se encuentran ubicadas especialmente a todo lo largo del cauce del río Tuluá. El bosque natural en el año 2006, se localiza especialmente en pequeñas franjas repartidas en toda la cuenca (ver figura 2.4).

2.2.2. Cambios en el uso del suelo entre los años 1996 y 2006

El Anexo 1 presenta el análisis de cambios en el uso del suelo a partir de la cartografía obtenida de la CVC para los años 1.996 y 2.006; de acuerdo con la figura 2.4 entre los años 1.996 y 2.006 los cultivos transitorios incrementaron en un 80% el área dentro de la cuenca, ocupada principalmente por el cultivo de la papa; no obstante, se observó deferencias significativas en el área sembrada según las fuentes de información consultadas, dado que a partir de los registros censales obtenidos de la URPA y la UMATA se calculó un área de 173 Ha dedicadas a este cultivo en la cuenca, mientras que la cartografía registra 4.159 Ha. Adicionalmente, la cobertura de bosque natural presentó una expansión (entre 1996 al 2006) de 90 Ha lo que significa un crecimiento del 50%, esto se dio principalmente (en un 80%) por cambio de pasto natural y rastrojo a esta cobertura; lo anterior puede asociarse a los procesos de reforestación y de recuperación de suelos en zonas de ladera que se ha llevado a cabo en la cuenca, lo cual también se manifiesta con un crecimiento del 74% en la cobertura de bosque de guadua y plantado.

Sin embargo, lo anterior debe analizarse en detalle, dado que la pérdida de 24 Km² de vegetación de páramo entre 1.996 y 2.006, cambió en un 56% y un 39% (equivalente a 13 Km² y 9 Km²) a coberturas de bosque natural y de pasto natural respectivamente; lo cual hace visible la situación de transformación y deterioro de ecosistemas paramunos (que ocupan alrededor del 15% del área total en la cuenca y al 2.006 ocupaban 138Km²), debidos en gran medida por las actividades humanas ligadas a sistemas intensivos o extensivos de producción agrícola, ganadera o minera. La disminución de periodos de descanso de la tierra después del cultivo, aumento de la frecuencia de las quemas y el sobre pastoreo, son algunos de los factores que conducen a una degradación de sus condiciones originales y a la introducción de formaciones secundarias, presentándose cambios en los patrones de las poblaciones y comunidades (IDEAM, 2002). Adicionalmente, se destaca que la vegetación de páramo es uno de los biomas más sensibles a las variaciones del clima y las fluctuaciones del tiempo atmosférico, de las cuales ante los efectos del cambio climático global, se prevén con mayor frecuencia e intensidad (Folland et al., 2001, Bergkamp et al., 2003).

Figura 2.4. Uso del suelo en la cuenca del río Tuluá de los años 1996 y 2006



Respecto al uso agrícola en la cuenca del río Tuluá (se realiza mayor énfasis en la sección de metodología, 3.2.3. Proyección de área sembrada), entre 1.996 y 2.006 en el área de cultivos permanentes se observó un incremento de 20 Km² (equivalente al 21%), dedicada principalmente a la siembra de caña de azúcar, sorgo, soya, maíz y café, los cuales se siembran en gran medida sobre la parte baja de la cuenca en el valle geográfico del río Cauca. En el periodo de estudio, el cultivo del maíz presentó la mayor ganancia del 80% en el área sembrada con 745 Ha al 2006, esto se dio principalmente (en un 43%) por la pérdida de 261Ha en sorgo. También, se analiza que la caña de azúcar cubre en promedio el 80% del área dedicada a cultivos permanentes en la cuenca, al 2006 tenía una extensión de 8.591 Ha. El cultivo de soya fue el que presentó mayor pérdida de 489 Ha equivalente el 88% del total, el cambio se dio principalmente a la extensión de los cultivos de la caña de azúcar (36%) y el maíz (35%) (Ver anexo 1, cartografía de cambios en el uso del suelo agrícola en la cuenca entre los años 1.996 y 2.006).

2.3. Aspectos generales de la cuenca del río Amaime

El río Amaime se encuentra en la vertiente occidental de la cordillera central, sobre la margen derecha del río Cauca; nace en la laguna La Negra en el páramo de La Estrella a una altura aproximada de 4.100 msnm y desciende a 1.100 msnm en la carretera Tablones-Palmira. La longitud del cauce principal es de 44,34 Km, cuyo principal tributario es el río Nima.

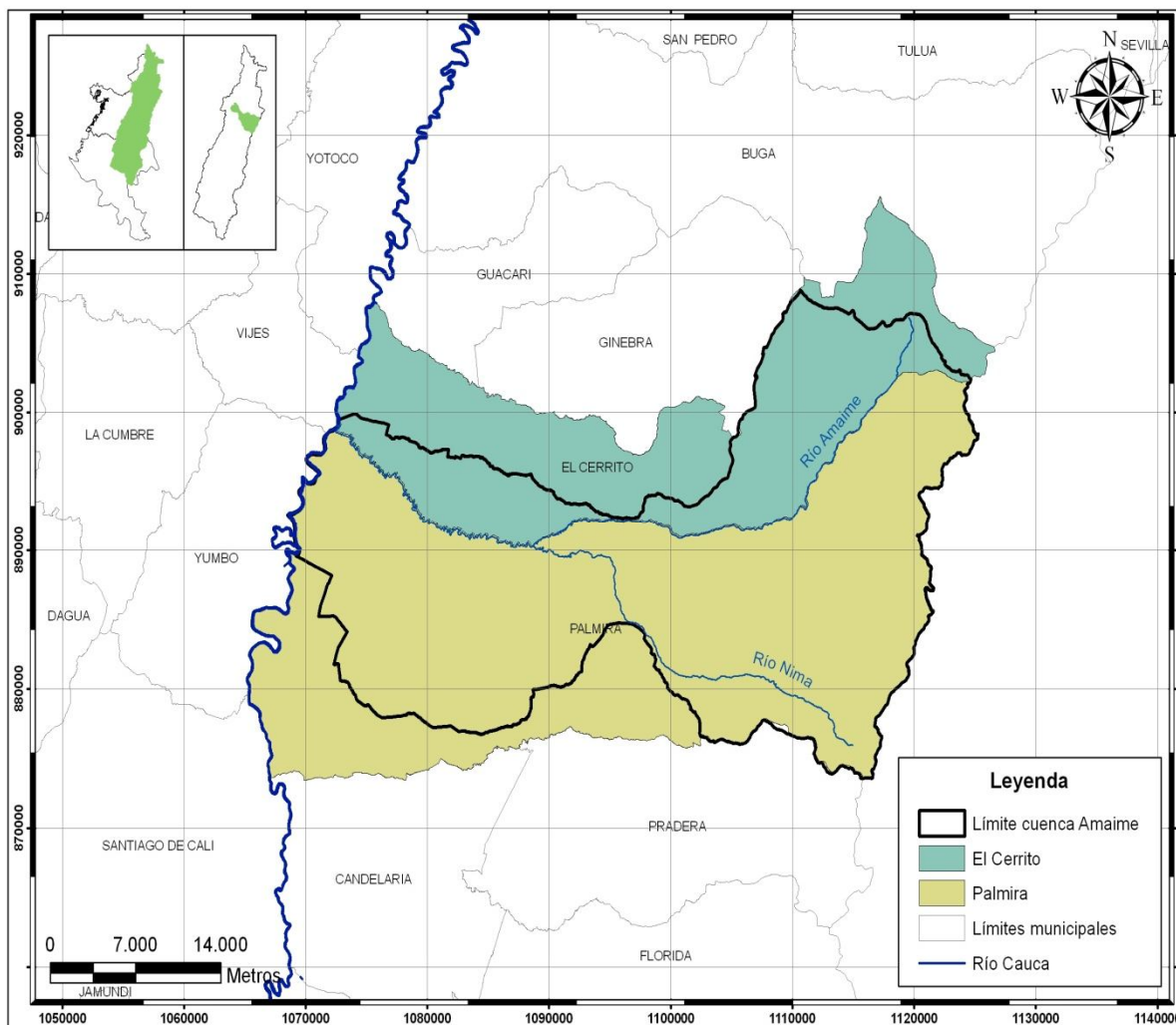
Los caudales promedio anuales multianuales de los ríos Amaime y Nima son de 8,05 m³/s hasta la estación Los Ceibos y de 2,05 m³/s en la estación Los Tambos, respectivamente.

Geográficamente la cuenca del río Amaime está ubicada entre las coordenadas 873.579 – 908.837N y 1'068.513- 1'125.271 E , tiene un área de 1.042,26 Km² y se localiza en jurisdicción de los municipios Palmira y El Cerrito (Ver Figura 2.5); limita al norte con las cuencas de los ríos El Cerrito, Sabaletas, Guabas y Tuluá, al sur con la cuenca del río El Guachal, al oriente con el departamento del Tolima y al occidente con el río Cauca y la cuenca de la quebrada Mulaló.

El uso de las aguas del río Amaime, se encuentra reglamentado por la resolución SGA 290 del 12 de Diciembre de 2.001. Las aguas son distribuidas por una red de canales conformada por 8 derivaciones principales y captaciones directas por bombeo del cauce.

El río Nima, está reglamentado por la resolución DG 185 del 9 de mayo de 2000 y su caudal se distribuye por medio de 4 derivaciones y 4 captaciones directas del cauce (CVC, 2007b).

Figura 2.5. Localización y división política de la cuenca del río Amaime



2.3.1. Uso del suelo en la cuenca

A partir de la información suministrada por el Grupo de Sistemas de Información Ambiental de la CVC, se obtuvo la cartografía de cobertura y uso del suelo para los años 1.998 y 2.003, según se muestra en la figura 2.6. Se observa que hacia la parte alta de la cuenca se presenta la cobertura de vegetación de páramo con una extensión promedio de 96,8 Km² que representa el 9% del área total de la cuenca. En la cuenca del río Amaime, las coberturas de pasto natural y bosque natural son las más representativas, en lo referente al porcentaje de área que cubren en 2.003 abarcaron el 16% y 25% respectivamente. También, el cultivo de la caña de azúcar como cultivo permanente es significativo dado que en ese año representó el 32% del área total de la cuenca.

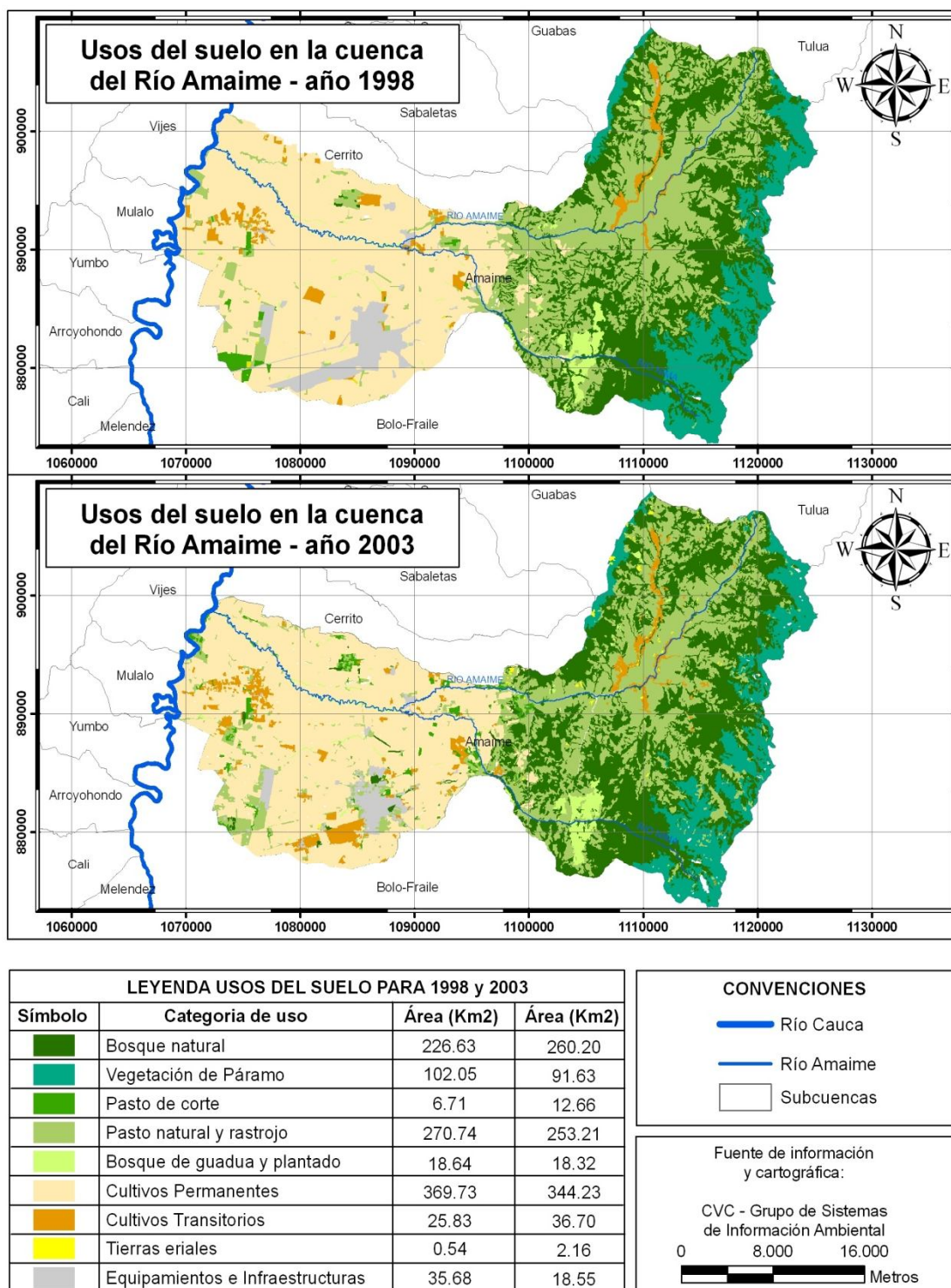
2.3.2. Cambios en el uso del suelo entre 1996 y 2006

También en la cuenca, la superficie de bosque natural para los años 1998 y 2003 se calculó de 226 Km² y de 260 Km² respectivamente, lo cual representa una ganancia del 34% y fue la cobertura que mayor área incrementó (en 89 Km²) durante este periodo (Ver anexo 2: cartografía de cambios en el uso del suelo en la cuenca); este cambio, se dio principalmente (en un 77%) por la pérdida de 69 Km² de vegetación de pasto natural y rastrojo, que puede asociarse a procesos de desplazamiento de la producción bovina como principal actividad pecuaria que se realiza en este tipo de cobertura. Adicionalmente, 13 Km² de vegetación de páramo cambiaron a bosque natural, lo cual se relaciona principalmente por modificaciones en el medio natural que pueden atribuirse entre otras, a variaciones climáticas y al comportamiento hidrológico en esta zona de la cuenca. Lo anterior, motivó a realizar el análisis de los efectos de la variabilidad climática en la vegetación de alta montaña en la cuenca del río Amaime, el cual se llevo a cabo relacionando variables climáticas con el índice de vegetación normalizado (NDVI) sobre zonas en bosque natural y cuyos resultados se presentan en el capítulo 6 de este documento.

Adicionalmente, en la cuenca del río Amaime, entre 1.998 y 2.003 la mayor ganancia porcentual del 80% se dio en la cobertura de pasto de corte que en 2.003 ocupó 12,6 Km², según lo muestran los anexos 2 (cartografía de cambios en el uso del suelo en la cuenca) este cambio (ganancia de cobertura) se dio principalmente en la parte media de la cuenca, lo cual representa un ascenso de la actividad pecuaria, siendo el pasto

de corte un sustento para el sector agropecuario dado que se utiliza como alimento para bovinos, equinos, entre otros.

Figura 2.6. Uso del suelo en la cuenca de los ríos Amaime de los años 1998 y 2003



Respecto al uso agrícola (se realiza mayor énfasis en la sección 3.2.2.3 de proyección del área sembrada), en la cuenca del río Amaime esta actividad se desarrolla principalmente sobre la parte baja en el valle geográfico del río Cauca. Los cultivos que ocupan más del 90% de esta cobertura son: caña de azúcar, maíz, árboles frutales, sorgo, café y hortalizas; siendo la caña de azúcar, el de mayor cubrimiento con 33.570 Ha en el año 2003 lo cual representa más del 80% del área agrícola.

Según la cartografía recopilada, en el año 1998 el área agrícola fue de 395 Km² representando el 37% del total y en 2003 ocupó 381 Km². Lo anterior, significó reducciones en las áreas de los cultivos transitorios de hortalizas (840 Ha) y del café (365 Ha), y en menor proporción en los cultivos permanentes de los cuales la mayor reducción (porcentual) se dio en el cultivo de sorgo con una pérdida de 285 Ha. De otro lado, durante el periodo de estudio, el cultivo del maíz presentó la mayor dinámica de crecimiento con una ganancia neta de 285 Ha, que desplazó principalmente a los cultivos de sorgo y soya en la cuenca.

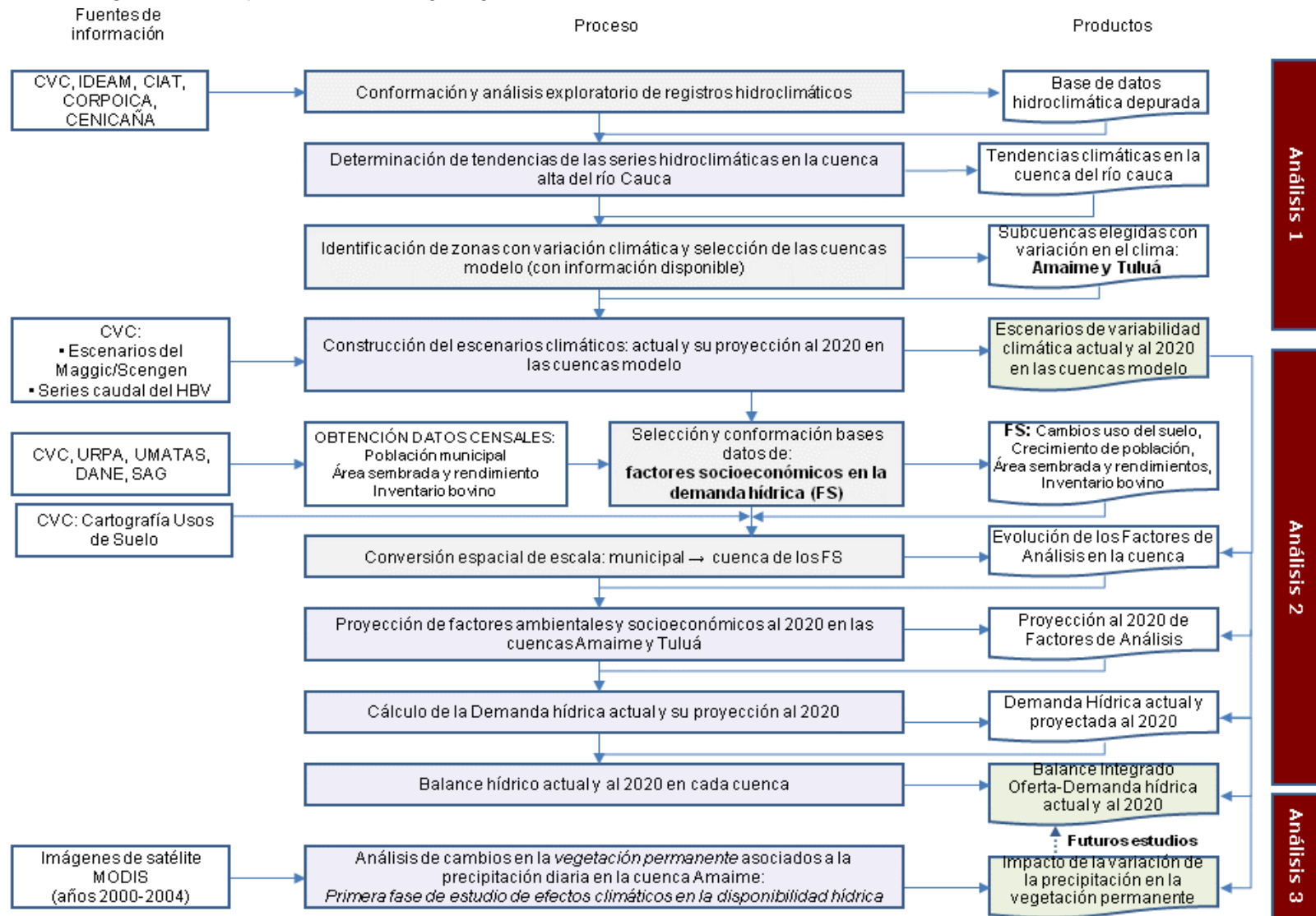
Capítulo 3. METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico (ver la figura 3.1), tuvo como propósito el estudio de los efectos de la variabilidad y el cambio climático en la cuenca del río Cauca, en jurisdicción de los departamentos de Cauca y Valle del Cauca, y su relación con factores socioeconómicos en dos cuencas: Tuluá y Amaime. La figura 3.1 muestra que el modelo metodológico desarrollado incluye tres análisis, de los cuales el primero (análisis 1), se realizó en toda la cuenca del río Cauca y comprende el análisis de tendencias en series climáticas; adicionalmente, se establecieron unos escenarios de variabilidad y cambio climático (actual y su proyección al año 2.020) en dos cuencas que fueron las de los ríos Tuluá y Amaime, por presentar cambios en el clima y mayor disponibilidad de información ambiental.

El análisis 2 comprende el estudio de oferta hídrica en las cuencas (Tuluá y Amaime), considerando los escenarios climáticos (del análisis 1) y Factores Socioeconómicos (ver en la figura 3.1: los FS) que inciden en la demanda hídrica, los cuales fueron analizados en dos cortes temporales: actual y su proyección al 2.020. Finalmente el análisis 3, se desarrolló como una primera fase del estudio del impacto de la variabilidad climática en ecosistemas de alta montaña, los cuales inciden de manera preponderante en la oferta hídrica superficial; por lo tanto, este análisis logra determinar el impacto asociado con la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Amaime, a fin de que en estudios futuros pueda relacionarse directamente con la disponibilidad hídrica en las cuencas hidrográficas.

Es importante mencionar que el modelo metodológico desarrollado (figura 3.1) para el estudio de variación climática en la cuenca del río Cauca, permitió el fortalecimiento de alianzas inter-institucionales, lo cual logró la conformación de un grupo interdisciplinario de investigadores, que consiguieron abordar integralmente desde las ópticas ambiental y socioeconómica, los impactos del cambio climático en los recursos hídricos. Así mismo, se destaca el flujo de información que consideró el aporte de diferentes instituciones regionales entre las que se destaca: La CVC, IDEAM, UMATA'S, La URPA, etc.; La metodología empleada en cada uno de los tres análisis desarrollados, se describe a continuación.

Figura 3.1. Esquema metodológico general del estudio de variación climática en la cuenca del río Cauca



3.1. Análisis de tendencias en series climáticas

El análisis de tendencias en series climáticas tuvo como propósito estudiar cambios que pueden asociarse a la variabilidad y/o al cambio climático en la cuenca del río Cauca y relacionarlos posteriormente con variables socioeconómicas y ambientales en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.

En la cuenca del río Cauca, el análisis de tendencias en las series climáticas se realizó con el propósito de estudiar cambios en el clima que estuvieran asociados a variabilidad y cambio climático durante las últimas tres décadas, así como establecer la línea base que permitiera determinar las zonas (cuencas) con efectos de variabilidad y cambio climático; en este sentido, las variables de estudio analizadas fueron: precipitación mensual acumulada, días de lluvia y temperatura media del aire mensual. El periodo de estudio fue entre 1.975 y 2.006.

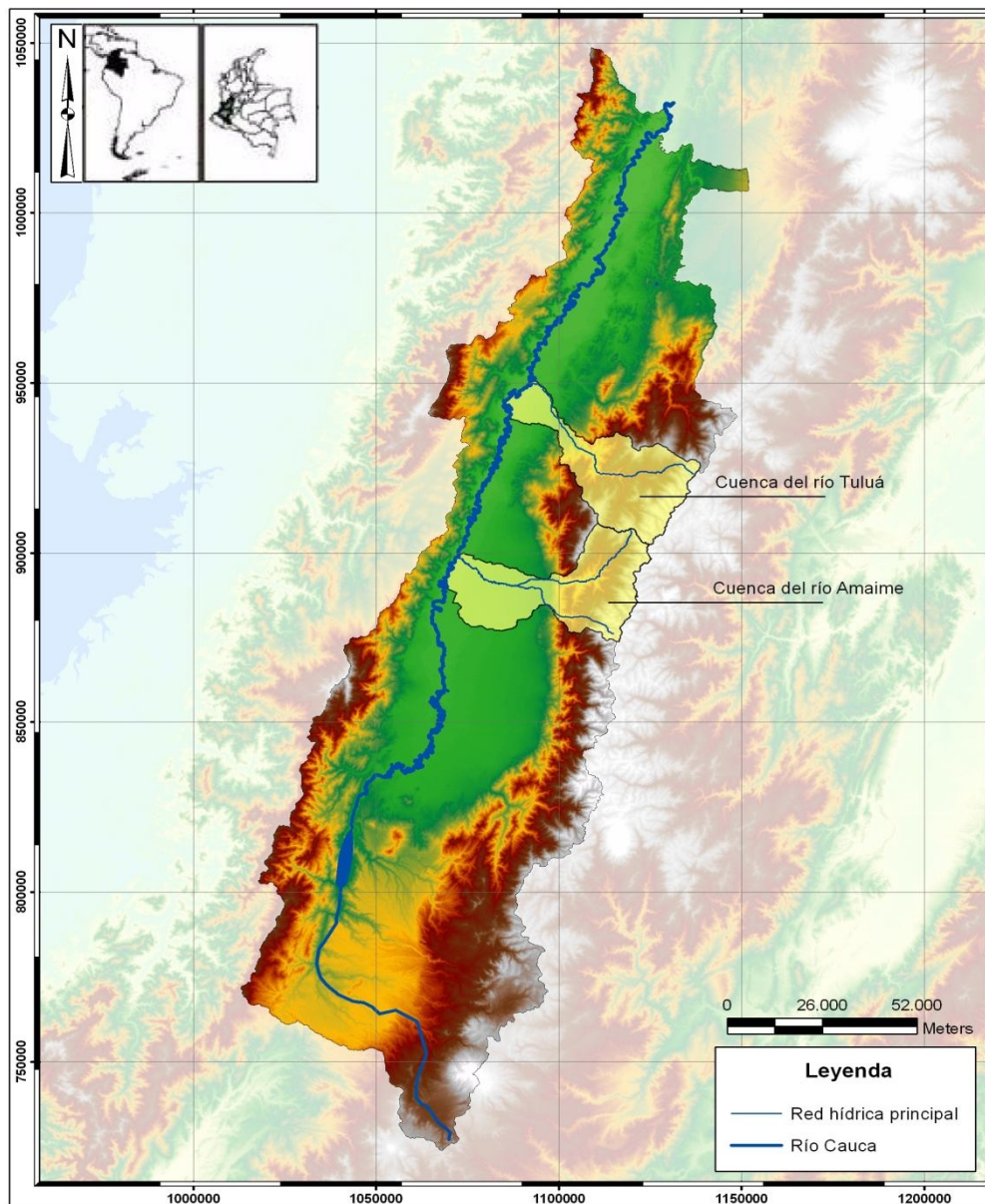
Adicionalmente, en el caso del estudio en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, con el propósito de realizar el balance oferta-demanda hídrica, también se requirió de estudio de las variables de evaporación total y el caudal medio a escala mensual, con lo cual se obtuvo los valores promedio actuales y su proyección al año 2020.

3.1.1. Selección de las cuencas de estudio para el balance oferta-demanda de agua ante escenarios climáticos actual y su proyección al 2.020

A partir del estudio de tendencias climáticas en la cuenca del río Cauca, se seleccionaron las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá (ver figura 3.2), por presentar indicios de cambios en el clima en las últimas tres décadas; también, cuentan con mayor disponibilidad de información y representatividad (ambiental, social y económica) en la zona; para realizar posteriormente, el estudio de los efectos de la variabilidad climática en factores sociales y económicos relacionados con la oferta y la demanda hídrica.

De acuerdo a lo anterior, el análisis de tendencias en las cuencas Amaime y Tuluá fue insumo para desarrollar dos escenarios climáticos: el actual y su proyección al año 2.020, el cual se relacionó con variables sociales y económicas que determinan la disponibilidad hídrica actual y futura (en el análisis 2). Para esto, las variables climáticas de estudio fueron: precipitación mensual acumulada, temperatura media del aire mensual y evaporación total mensual.

Figura 3.2. Localización de las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime seleccionadas como casos modelo de estudio en el análisis de oferta hídrica ante escenarios climáticos



Fuente: CVC- Grupo de Sistemas de Información Ambiental

Para llevar a cabo el análisis de tendencias en cada variable climática, se construyeron las bases de datos, luego se realizó el análisis exploratorio de los datos a escalas temporal y espacial; posteriormente, se determinaron las tendencias en cada serie y finalmente se construyeron los escenarios climáticos en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime. Este procedimiento, se detalla en los siguientes numerales.

3.1.2. Recolección de información y construcción de bases de datos climáticas

Se recopiló la información de las estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas en la cuenca del río Cauca, con jurisdicción en los departamentos del Cauca y Valle del Cauca; las fuentes de información consultadas fueron: CVC, IDEAM, Cenicaña, Corpoica y Ciat. Luego, se conformaron las bases de datos de las variables climáticas para la cuenca del río Cauca y las cuencas Amaime y Tuluá, según se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Descripción de las bases de datos para el análisis de tendencias climáticas en la cuenca del río Cauca y las cuencas Amaime y Tuluá

Zona de estudio	Variables climáticas de estudio a escala mensual											
	Precipitación total			Días de lluvia			Temperatura media			Evaporación total		
	No.	Per. I	Per.F	No.	Per. I	Per.F	No.	Per. I	Per.F	No.	Per. I	Per.F
Cuenca del río Cauca	108	1975	2006	71	1975	2006	24	1975	2006			
Cuenca Amaime	16	1978	2006				3	1970	1977	7	1980	2000
							3	1993	2006	1	1990	2006
							7	1979	2001			
Total No.	16						13			8		
Cuenca Tuluá	2	1971	2006				9	1983	2003	3	1972	2000
	1	1975	2003				1	1989	2006			
	11	1975	2006									
	1	1976	1997									
Total No.	15						10			3		

No. No. de estaciones pluviométricas, pluviográficas o climatológicas de estudio

Per. I Año de inicio del periodo de estudio común entre las estaciones de medición

Per. F Año de finalización del periodo de estudio común entre las estaciones de medición

Fuente: Elaboración Propia

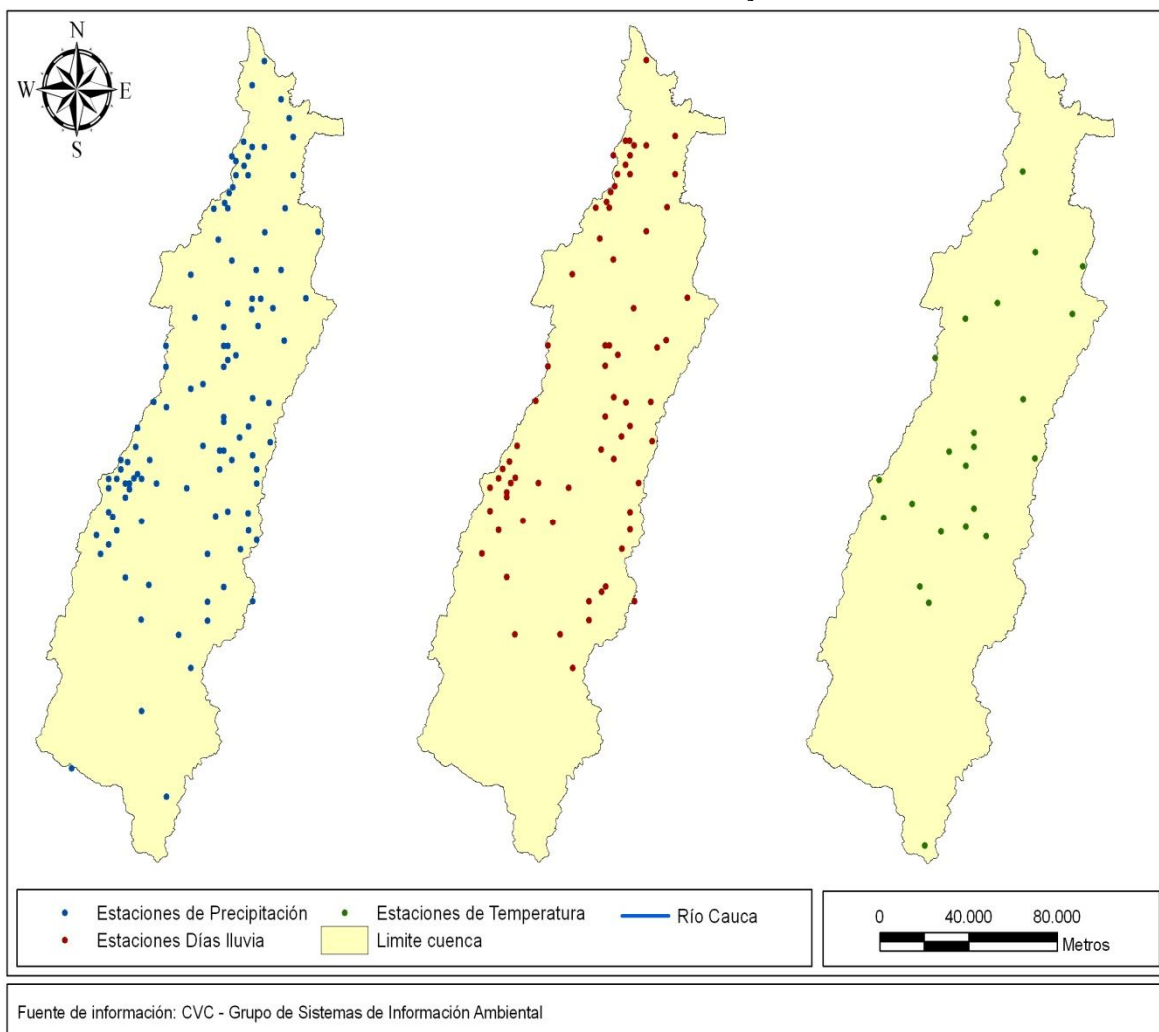
Según se observa en la tabla 3.1 en la cuenca del río Cauca, el periodo de estudio fue entre los años 1.975 y 2.006, el cual se seleccionó considerando una relación óptima de mayor número de estaciones y tiempo de registro.

Particularmente, las 71 estaciones pluviométricas utilizadas en la variable de días lluvia, coincidieron con las de la base de datos conformada de manera preliminar mediante el estudio "Aplicación de técnicas estadísticas de punta en las series históricas climatológicas mensuales de precipitación y evaporación, con el fin de corregir, complementar y verificar la calidad de la información existente en dichas series; así como su correspondiente aplicación en las series medias mensuales de brillo solar y temperatura" (CVC & GAICOL, 2005). Adicionalmente, para el caso de la precipitación total mensual, se complementó con información de fuentes CIAT, IDEAM y CENICAÑA, a fin de cubrir en mayor proporción el área de estudio, con lo cual se logró aumentar 37 estaciones.

En el caso de la cuenca Amaime y Tuluá, dado que existe menor disponibilidad de la información climatológica; se consideró incluir en las bases de datos el mayor número de estaciones posible, que tuvieran por lo menos 15 años de registros continuos, por esto, a diferencia de la base de datos en la cuenca del río Cauca, no se eligió un periodo de estudio común en todas las variables de estudio (ver tabla 3.1). Así mismo, para complementar la información climática, también se consideraron estaciones de las zonas aledañas que tienen influencia en la cuenca de estudio.

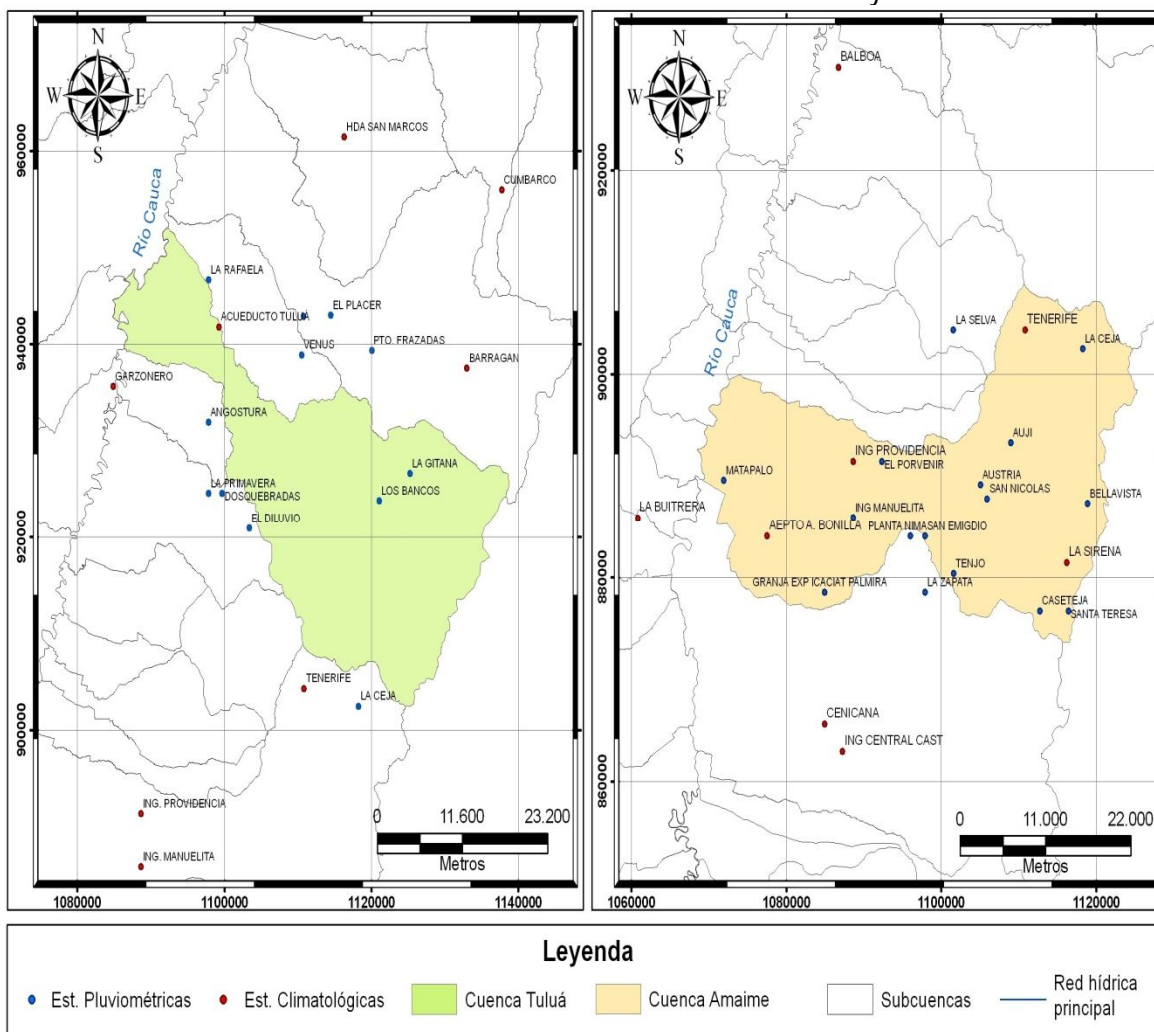
Las figura 3.3 muestra la distribución de las estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas que fueron en total 71, 108 y 24 de las variables días de lluvia, precipitación total y temperatura media del aire, respectivamente, en el estudio de la cuenca del río Cauca. También, la figura 3.4 muestra la localización de estaciones que hicieron parte del estudio en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime. El anexo 3, presenta los estadísticos descriptivos de las estaciones de medición utilizadas en este estudio.

Figura 3.3 Localización de estaciones pluviométricas, pluviográficas y climatológicas utilizadas en el estudio de tendencias climáticas entre los años 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca.



En el caso de estudio del río Tuluá se utilizaron 15, 10 y 3 estaciones de medición de precipitación mensual, temperatura del aire, y evaporación; en la de Amaime fueron en total 16, 13 y 8 respectivamente. Las estaciones de medición, se distribuyeron dentro de las cuencas y en zonas aledañas, con el fin de completar el número mínimo de 10 estaciones (puntos de muestreo) y minimizar errores de frontera requeridos para realizar la interpolación (espacial) de las variables hidrométricas que se llevo a cabo posteriormente.

Figura 3.4 Localización de estaciones pluviométricas y climatológicas del estudio de tendencias climáticas en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime



Fuente: CVC- Grupo de Sistemas de Información Ambiental

3.1.3. Análisis temporal -exploratorio de los datos

Se realizó el Análisis Exploratorio de Datos (AED) a las series hidroclimáticas, que consiste en el estudio de los datos empleando una variedad de técnicas para incrementar el entendimiento sobre ellos y visualizar las relaciones existentes entre las variables analizadas.

El AED permite examinar los datos previamente a la aplicación de cualquier técnica estadística y proporciona métodos para organizar y preparar los datos, hacer tratamiento y evaluación de datos ausentes, identificación de valores atípicos y

comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas estadísticas (Lobo et al., 2007).

Las pruebas utilizadas del AED se describen a continuación.

3.1.3.1. Manejo de datos faltantes

Inicialmente para el caso de estudio de la cuenca del río Cauca a fin de garantizar las estaciones con el mayor número de datos posible, se seleccionaron aquellas que contaban con menos del 10% de datos faltantes.

Luego, se efectuó la identificación y cálculo de datos faltantes utilizando el *método racional deductivo* que permite llenar hasta un máximo de once datos faltantes apoyándose en la información que brindan los años completos; el método considera que los meses desconocidos tendrán igual porcentaje del promedio mensual respecto al total anual acumulado (Guevara, 2003).

Para utilizar el método racional deductivo, inicialmente se encuentra el porcentaje promedio mensual (% X_i), asumiendo que el total anual acumulado representa el 100%. Luego, se suman los datos mensuales existentes para el año "j" (X_j) en que se estima el dato faltante (X_{ij}) y se calcula el porcentaje de la variable climática en los meses con datos en el año "j" (% X_j), para posteriormente aplicarse un regla simple de tres, así:

$$X_{ij} = \frac{\%X_i - \sum X_j}{\%X_j} \quad \text{Ec. 3.1}$$

3.1.3.2. Identificación de datos atípicos

A las series de días lluvia y de temperatura media del aire en la cuenca del río Cauca; así como a las de precipitación, temperatura media y evaporación en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá, se realizó la identificación de casos atípicos siguiendo la metodología de Tukey (1977), para ello se elaboraron diagramas de caja (box plot) que muestran los rangos intercuartil mensuales en cada estación; luego, se establecieron como datos atípicos los que se encontraron por fuera de los cuartiles superior e inferior ($Q_3 = 75\%$ y $Q_1 = 25\%$), seguidamente, se hace el proceso de manera iterativa hasta que el procedimiento no muestre más atípicos.

Adicionalmente, para las series de días con lluvia mensual y de temperatura media del aire en la cuenca del río Cauca; como análisis confirmatorio a los datos atípicos identificados en los box-plot, se conformaron grupos de estaciones con régimen climático similar y se compararon los datos anómalos dentro de cada conjunto de estaciones.

El agrupamiento se llevó a cabo mediante el análisis de cluster jerárquico, utilizando el método de Ward con la distancia euclídea, el cual es un método multivariado que permite reducir información de estaciones hidrométricas en grupos o clusters, donde las series del mismo poseen características similares (Lin & Chen, 2006) y los clasifica de tal forma que cada serie es muy parecida a los que hay dentro del cluster y difieren en mayor proporción a los otros grupos conformados (Rao & Srinivas, 2006).

Luego, con los cluster conformados se seleccionó como dato atípico el que fuera único en su grupo y en la misma fecha (mes-año); lo cual significa que cuando se presentaron más de un dato anómalo al mismo tiempo, se asociaron a un evento extremo hidroclicmático en la zona homogénea y por lo tanto se consideraron dentro de la base de datos; en caso contrario, fueron descartados dado que con mayor probabilidad pueden ser asociados a errores en la medición del dato.

Particularmente, para la serie de precipitación mensual en la cuenca del río Cauca, la identificación de casos atípicos se realizó según el método propuesto por Guerrero (2003), mediante el estudio de los residuales de un modelo Autoregresivo Integrado de Medias Móviles-ARIMA, de la siguiente forma:

- (i) Se estabilizó en varianza y en nivel cada serie
- (ii) Se identificaron los posibles modelos generadores para series estacionales, los cuales se postulan por medio de la Función de Autocorrelación (FAC).
- (iii) Luego, se elige el que mejor desempeño muestre en la etapa de la validación cuyos supuestos son: errores con media cero, varianza constante, errores independientes, errores con distribución normal, ausencia de atípicos, modelo parsimonioso y admisible
- (iv) Con el modelo óptimo, se procede a evaluar los residuales en el tiempo, para así detectar aquellos que se salen del intervalo ± 3 veces la desviación estándar.

3.1.3.3. Análisis de estacionariedad

Con el propósito de realizar un estudio preliminar del carácter estacionario (u homogeneidad, o sea que no existe tendencia) de las series, se estudió la estabilidad en la media para cada una de las variables climáticas; para ello se determinaron estadísticos descriptivos, pruebas gráficas y estadísticas no paramétricas, así:

Los estadísticos descriptivos calculados fueron el promedio y la desviación estándar.

Las pruebas gráficas que se consideraron son los diagramas de caja o box-plot por mes, los cuales son útiles para estudiar el régimen interanual de las series climáticas; también, se obtuvo los histogramas de frecuencias dividiendo la serie en dos grupos, para analizar los cambios en la media y la desviación estándar; adicionalmente, se realizaron los gráficos de la distribución de medias móviles con periodo de 5 años para cada variable climática, a fin de conocer los cambios de la media en el tiempo.

Por último, se aplicaron pruebas no paramétricas que indican cambios en el nivel (en la media) de una serie de tiempo; el uso de técnicas no paramétricas se debe a que estas, no exigen el supuesto de normalidad en los datos, lo cual sucede frecuentemente con las variables climáticas; las pruebas utilizadas fueron:

- Prueba U Mann – Whitney: la prueba contrasta si dos poblaciones muestreadas son equivalentes en su posición. Las observaciones de ambos grupos se combinan y clasifican, asignándose el rango promedio en caso de producirse empates.

Si la posición de las poblaciones es idéntica, los rangos deberían mezclarse aleatoriamente entre las dos muestras. Para un grado de significancia $p > 0.1$ se aceptó la hipótesis nula de no existencia de diferencias significativas entre los valores promedio de las muestras (Maidment, 1993).

- Prueba de Kruskal-Wallis: es la alternativa no paramétrica de la prueba F para comparar k muestras independientes. La hipótesis nula es: las k muestras vienen de la misma población y por lo tanto tienen medias iguales (Sheskin, 1997).
- Test de Medianas: Es una alternativa del test de Mann Whitney, la hipótesis nula supone que las medianas de las muestras de la prueba son iguales.

Si la hipótesis nula es verdadera entonces las proporciones de datos menores que la mediana y mayores que la mediana deberían ser similares en las muestras (Kottegoda & Rosso, 1997).

3.1.4. Análisis espacial de los datos climáticos

Este análisis consiste en la representación de la información climática, georeferenciada, con el fin de describir y explicar la variabilidad espacial de las variables climáticas (mediante mapas continuos), aplicando técnicas geoestadísticas. Particularmente, en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá, se realizó la interpolación de la precipitación anual y la temperatura media del aire, aplicando los mejores métodos determinados en el análisis espacial de estas variables climáticas en la cuenca del río Cauca. La cartografía obtenida, se requirió para plantear los escenarios climáticos, como parte del estudio de oferta-demanda hídrica actual y su proyección al 2.020 considerando la evolución de factores socioeconómicos en las dos cuencas.

En esencia, los objetivos principales del análisis espacial de variables climáticas, fueron:

- (i) analizar y comparar distintos métodos de interpolación geoestadística de las variables precipitación, temperatura del aire y días de lluvia, aplicados a una región con amplia diversidad topográfica como es el caso de la cuenca del río Cauca, a fin de seleccionar el más adecuado para la representación cartográfica de dichas variables
- (ii) analizar el comportamiento espacial de las variables climáticas en la cuenca del río Cauca, medidas en estaciones climáticas y pluviométricas entre los años 1.975 a 2.006 y
- (iii) utilizar los mejores métodos de interpolación seleccionados en la cuenca del río Cauca para realizar la distribución espacial de las variables de precipitación anual acumulada y temperatura media del aire en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá

La metodología de este análisis consistió inicialmente en la selección de la técnica geoestadística más idónea para la representación espacial de las variables climáticas, según se describe en los siguientes numerales.

3.1.4.1. Procesamiento a la base de datos climáticos

Para el estudio de la variabilidad espacial de la precipitación, los días de lluvia y la temperatura media del aire, se tomaron los registros de las estaciones pluviométricas y climáticas, entre los años 1.975 y 2.006, ubicadas en la cuenca del río Cauca, los cuales fueron sometidos preliminarmente al análisis exploratorio temporal (ver sección 3.1.3).

Una vez organizados y depurados los registros hidroclimáticos, se obtuvieron las variables en las siguientes escalas temporales: (1) el promedio del anual acumulado, considerando todo el período analizado y (2) el promedio trimestral que se seleccionó conforme al comportamiento bimodal característico de la precipitación en la región de estudio: diciembre, enero y febrero -DEF-, marzo, abril y mayo -MAM-, junio, julio y agosto -JJA- y septiembre, octubre y noviembre -SON-.

Varios estudios han concluido que las variables topográficas tienen influencia en las variables climáticas (Portales et al., 2008). Por lo tanto, al tomar en consideración las topográficas, en el proceso de interpolación, se esperan mejores resultados que considerando solo lo climático. En nuestro caso, se consideró la altitud (ALT) y la orientación de ladera (ORI) como variables secundarias, las que se obtuvieron del Modelo Digital de Elevación a 30 metros de resolución, proporcionado por la CVC.

Como parte del tratamiento estadístico en el proceso de espacialización de las variables climáticas, se evaluó si cumplían el criterio de normalidad en la distribución, y se analizaron otras medidas de variabilidad y correlación, como aspectos importantes para establecer el cumplimiento de ciertos supuestos necesarios para la aplicación de la teoría geoestadística, así como para definir qué procedimiento de predicción es el más conveniente. Para establecer la normalidad en los datos, se aplicaron los tests coeficientes de asimetría y Kurtosis; y para conocer la tendencia de las variables de precipitación se observó el semivariograma gráfico en direcciones Norte-Sur y Este-Oeste.

3.1.4.2. Análisis estructural

Se calculó el semivariograma empíricamente para el análisis de la continuidad espacial y conocer la variabilidad de los datos con respecto a la distancia, pudiendo así determinar el rezago (LAG) con relación a la meseta donde se estabiliza la gráfica que

representa la función de semivarianza (ver figura 3.5). Este procedimiento se realizó con todas las variables climáticas donde se consideraron la distancia entre pares de estaciones y la semivarianza, así:

Para conocer la diferencia de distancia entre pares de estaciones, se realizó una matriz de distancias utilizando la ecuación 3.2, donde "x" y "y" son las coordenadas en metros, oeste y norte respectivamente, de la primera estación y "x_i" y "y_i" las coordenadas de la otra estación:

$$r_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} \quad \text{Ec. 3.2}$$

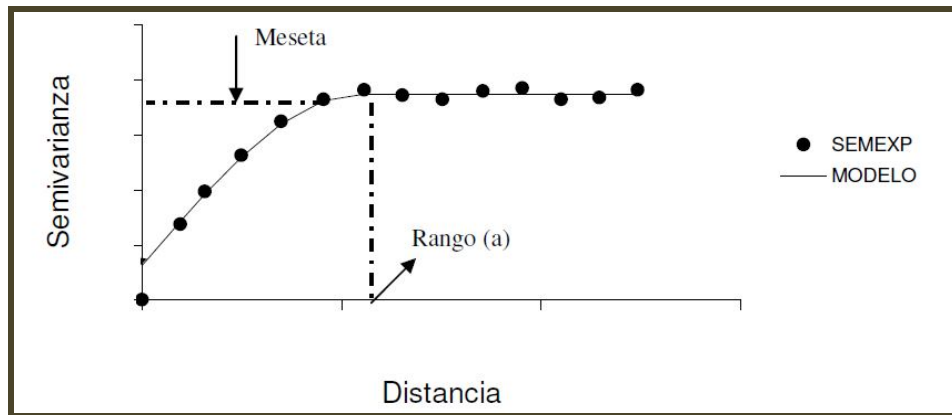
La obtención de la semivarianza de las variables climáticas, entre pares de estaciones, se obtuvo aplicando la ecuación 3.3. La función de semivarianza no se trabajó con agrupación de datos por distancias como se suele trabajar en la covarianza, sino con los datos individuales; esto por cuanto no se tienen estudios antecedentes en la región que puedan orientar la organización de los datos.

$$SV = 0.5N \sum (Z(x+h) - Z(x))^2 \quad \text{Ec. 3.3}$$

Siendo "SV" la semivarianza, "Z(x)" es el valor en una primera estación y "Z(x+h)" es el valor en la segunda estación, la que está separada por un distancia h, y N corresponde al número de estaciones relacionadas.

Después de obtener la semivarianza y la distancia de cada estación se procedió a hacer un análisis en un gráfico de dispersión para mirar el nivel de varianza de los datos y comprobar si no hay una dependencia de la distancia en su variabilidad; y también mirar la meseta que es la parte de la gráfica donde los datos se estabilizan en la línea de tendencia, según se muestra en la figura 3.5), el valor de la meseta en distancia es el LAG empírico que se utiliza en la aplicación de los métodos de interpolación.

Figura 3.5 Ejemplo de gráfica de semivarianza en función de la distancia



3.1.4.3. Interpolación espacial de los datos climáticos

En los métodos de interpolación geostatísticos se asume que la variación espacial de una variable climática es demasiado irregular para ser modelado por una función matemática, y su variación espacial podría ser predicha por una superficie probabilística con mejores resultados. Algunos autores como Moral (2003), llaman variable regionalizada a las que muestren este tipo de comportamiento, que consiste en un componente de flujo y un componente arbitrario pero espacialmente correlacionado.

La metodología responde al intento de abordar la comparación de un conjunto de técnicas de interpolación, sobre el mismo conjunto de estaciones climáticas y para el mismo periodo temporal. La selección del método más adecuado se realizó considerando los errores mínimos, obtenidos a través de una prueba de validación cruzada que se explica posteriormente.

Inicialmente, se probó con el método de kriging el cual se basa en el principio de que, en aquellas variables que cambian de manera continua en el espacio, los puntos espacialmente próximos tienden a tener valores más similares que los que están más alejados (Bustamante, 2003). Alguna literatura hace evidencia de las principales características que hacen del kriging un método de estimación muy superior a los tradicionales, como el inverso ponderado de la distancia, la triangulación, etc.; Por ejemplo, mientras que los métodos tradicionales utilizan el concepto euclidiano de la distancia para el cálculo de los pesos que se aplicarán a cada dato muestral, el kriging considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras. Otra

característica importante es que mediante el kriging se minimiza la varianza del error esperado (Giraldo et al., 2000). Como el valor real en un punto no muestral es desconocido, el kriging emplea un modelo conceptual con una función aleatoria asociada a los valores reales.

Luego, se utilizó el método de interpolación cokringing el cual tiene la capacidad de incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal; en este caso, junto a las variables climáticas se utilizaron la altitud y la orientación de las laderas o vertientes. Sin embargo, a medida que el número de variables secundarias aumenta el modelo de cokriging se hace más complejo y necesita de una capacidad de computación mayor (Portales et al., 2008).

Seguidamente, se realizó la selección del método más adecuado de interpolación, considerando los errores mínimos, obtenidos a través de una prueba de validación cruzada (Portales et al., 2008). Por último, los métodos de mejor ajuste de la precipitación anual y la temperatura media del aire, se utilizaron para la construcción de la cartografía de escenarios climáticos en el caso de estudio de las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá.

3.1.5. Determinación de tendencias en las series climáticas

La determinación de tendencias, se llevó a cabo tras el análisis temporal y espacial a las series climáticas. La prueba utilizada para detectar la existencia de cambios en la media de las variables, fue el test Mann-Kendall. Adicionalmente, para hallar la magnitud del cambio temporal en la serie, se utilizó el test de la pendiente de Theil-Sen.

El test estadístico no paramétrico Mann-Kendall, ha sido utilizado frecuentemente para calcular la significancia de tendencias en las series de tiempo hidrometeorológicas (Steele et al., 1974; Yu et al., 1993; Zhan et al., 2000; Sahoo & Smith, 2009, entre otros); la principal razón de su uso, comparado con los test paramétricos, es por ser más indicado para distribuciones que no presentan normalidad estadística, como frecuentemente sucede en las series de tiempo climatológicas (Yue et al., 2002). La prueba propuesta por Mann (1945) y Kendall (1962) se plantea la hipótesis nula: no hay tendencia en la serie observada; posee dos parámetros que son el p-valor, el cual indica si existe o no una tendencia significativa a diferentes niveles de significancia y el

signo (+/ -) de la tendencia encontrada. La dirección de la pendiente se calcula por medio del estadístico "S" que se calcula:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{signo}(y_j - y_i); \quad \text{signo}(y_j - y_i) = \begin{cases} 1 & \text{si } (y_j - y_i) > 0 \\ 0 & \text{si } (y_j - y_i) = 0 \\ -1 & \text{si } (y_j - y_i) < 0 \end{cases} \quad \text{Ec. 3.4}$$

Donde: "y" son los valores de las serie climática en el tiempo "i" o "j" y "n" es el total de observaciones con las que se cuenta.

Para obtener el p-valor se trabaja bajo la hipótesis nula de que los "y_i" son independientes por lo que la pendiente "S" se distribuye normal con media cero y varianza igual a:

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{Ec. 3.5}$$

Luego, se obtiene la raíz cuadrada del "σ" y se obtiene el estadístico estandarizado "z" mediante:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S-1}{\sigma} & \text{si } S < 0 \end{cases} \quad \text{Para finalmente obtener el P-Valor} = 2[1 - \Phi(Z_s)] \quad \text{Ec. 3.6}$$

Donde $\Phi(Z_s)$ es la función de distribución acumulativa de la normal estándar y finalmente con el p-valor < 0.1 se determinó que se rechazaba la hipótesis nula y por lo tanto existe tendencia significativa en la serie con un nivel de confianza del 90%.

Luego, para conocer el incremento o la disminución por unidad de tiempo de la serie, se utilizó el test de la pendiente propuesto por Theil (1950) & Sen (1968) la cual es una pendiente robusta y no paramétrica de la tendencia lineal:

$$\beta = \text{Mediana} \left[\frac{X_j - X_i}{j - i} \right] \quad \text{Para todo valor de } i < j \quad \text{Ec. 3.7}$$

Este estudio utilizó el test Mann-Kendall para estimar tendencias en las series climáticas, en las siguientes zonas, variables y escalas de estudio:

- *Cuenca del río Cauca*: se implementó en la precipitación total, los días de lluvia totales y la temperatura media del aire, a escalas mensual-multianual e interanual-trimestral según el régimen bimodal típico de la zona de estudio (Diciembre-Enero-Febrero, Marzo-Abril-Mayo, Junio-Julio-Agosto, Septiembre-Octubre-Noviembre). El periodo de estudio fue entre 1.975 y 2.006.
- *Cuencas Tuluá y Amaime*: se calculó en la series de precipitación total, temperatura media del aire y evaporación total, a cada variable se le determinó las tendencias mes a mes. Este análisis se realizó con el propósito de realizar un escenario climático al 2.020, con proyecciones lineales.

3.1.6. Definición de escenarios de variabilidad y cambio climático

El análisis de escenarios de variabilidad y cambio climático se llevó a cabo en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá, con los registros climatológicos de precipitación, temperatura media del aire y evaporación a escalas mensual-multianual que fueron sometidos preliminarmente al Análisis Exploratorio de Datos (esta metodología se describió en el numeral 3.1.3).

El desarrollo del escenario actual, se llevó a cabo calculando el valor promedio mensual de dichas series climáticas. Adicionalmente, los registros de evaporación mensual, fueron utilizados para construir el escenario de la evapotranspiración potencial, dado que esta variable es la que se utiliza en el cálculo de las demanda hídrica de los cultivos y se estimó en el escenario actual, como el producto entre el valor promedio mensual de la evaporación y el coeficiente del tanque ($K_c = 0,75$).

Particularmente, a los valores actuales y la proyección al año 2020 de la precipitación total anual y la temperatura media del aire, se les realizó el análisis espacial (siguiendo la metodología descrita en el numeral 3.1.4); la cartografía se requirió como insumo en la proyección del área sembrada en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime (ver la descripción metodológica en el numeral 3.2).

A las series hidroclimáticas, se les realizó las proyecciones empleando tres métodos que son complementarios con el propósito de reducir al máximo la incertidumbre del escenario climático planteado al 2.020. Estas, se realizaron a escala mensual y calculando el promedio de los tres métodos que se describen a continuación:

3.1.6.1. Proyección lineal

La proyección lineal, se realizó a partir de los resultados del análisis de tendencias a escala mensual que se efectuó en estas cuencas, donde se implementaron los test de Mann-Kendall y de la pendiente Theil-Sen (el desarrollo metodológico se explicó en el numeral 3.1.5).

A través de los resultados de la pendiente Theil-Sen se determina una tasa de cambio anual para cada mes de las variables climáticas. Luego, cuando el test Mann-Kendall indicaba que los cambios eran significativos estadísticamente, con un nivel de confianza del 90%, entonces se asignaba el valor del cambio que indicaba la pendiente Theil-Sen en cada una las estaciones pluviométricas y climatológicas de estudio.

Dado que la pendiente Theil-Sen indica el cambio (lineal) anual en la media de cada serie, esta tasa se multiplicó por el número de años correspondiente entre la finalización del registro y el 2.020; de esta manera cada promedio mensual de los registros climáticos que se tuvo, se afectó por este valor (en cada mes) para obtener la proyección de cada serie al 2.020.

La aplicación de los test Mann-Kendall y Theil-Sen a escala temporal por mes (y no mensual-multianual), se realizó con el propósito de minimizar el impacto de la variación interanual característica de la dinámica del clima en la zona de estudio y así ajustar con menor incertidumbre la proyección de las variables climáticas al 2.020.

3.1.6.2. Proyección con el modelo autoregresivo estacional: ARIMAE

El modelo Autoregresivo Integrado de Medias Móviles Estacional- ARIMAE permite describir un valor como una función lineal de datos anteriores y errores debidos al azar, pudiendo incluir componentes cíclica y estacional (Guerrero, 2003), características de las series hidroclimáticas; este modelo se obtuvo para cada una de

las series, de la siguiente forma: (i) se estabilizó en varianza y en nivel la serie (ii) se identificaron los posibles modelos generadores para series estacionales, los cuales se postulan por medio de la Función de Autocorrelación (FAC), (iii) se eligió el que mejor desempeño mostró en la etapa de la validación cuyos supuestos fueron: errores con media cero, varianza constante, errores independientes, errores con distribución normal, ausencia de atípicos, modelo parsimonioso y admisible.

La aplicación de los modelos ARIMA, se realizó a fin de considerar la estacionalidad interanual que ocurre en las variables hidroclimáticas; dado que estos modelos, a diferencia del test de la pendiente lineal de Theil-Sen, pueden denotar el comportamiento bimodal del clima característico de la zona de estudio. No obstante, dado el amplio periodo de proyección (al menos 15 años) al año 2020, en relación con la cantidad de registros de que se tenían, limitó la precisión de estos modelos y se consideró amplia incertidumbre en los resultados obtenidos.

3.1.6.3. Proyección utilizando escenarios del Magicc/Scengen

Se utilizaron los resultados de los cambios proyectados al 2020 en la precipitación y la temperatura media del aire, obtenidos de los modelos contenidos en el software Magicc/Scengen corridos por el Grupo de Recursos Hídricos de la CVC (2008), que consideran escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y modelos de circulación climática global.

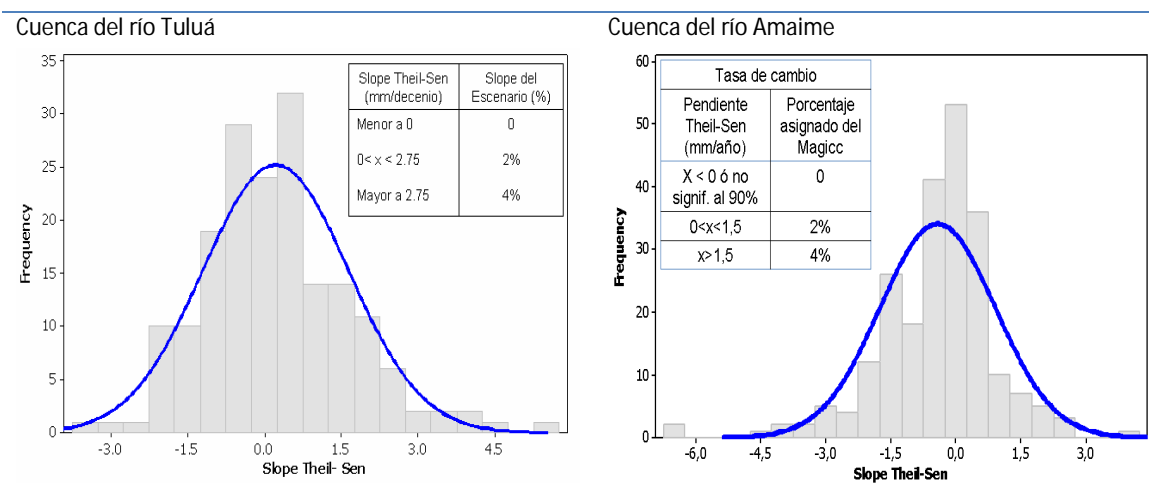
Es fundamental tener presente que los escenarios no son predicciones sobre los cambios climáticos futuros, sino herramientas para comunicar lo que podría suceder como resultado del cambio climático inducido por el hombre y para facilitar la comprensión acerca de cómo diferentes sistemas podrían ser afectados (UNFCC, 2007). Particularmente, el Magicc es un modelo sencillo unidimensional del clima global, que permite al usuario escoger los escenarios de la emisión, la sensibilidad del clima, la escala temporal y otros factores (Wigley & Raper, 2002); Lo anterior, implica que las características de los modelos de circulación global, así como los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, guardan en su naturaleza amplia incertidumbre; una forma recomendada de utilizar los resultados de ellos, consiste en considerar combinaciones con los registros climatológicos locales a fin de agregar certeza a los datos.

Teniendo en cuenta lo anterior, los resultados obtenidos con el modelo Magicc se presentaron para todo el sur occidente colombiano, lo cual requirió de adaptaciones a la escala local, considerando los cambios en cada estación de medición en las cuencas Amaime y Tuluá. Esto se llevo a cabo utilizando los resultados del test de la pendiente Theil-Sen.

En este sentido, se determinó un porcentaje de cambio en cada estación de medición y variable climática, relacionando los resultados del Magicc (entendido las tendencias climáticas a escala regional) y de la pendiente Theil-Sen (visto como los cambios a escala local), de la siguiente manera:

(i) *En la precipitación mensual:* según el estudio realizado por el Grupo de Recursos Hídricos de la CVC (2008), con el modelo Magicc se previó un incremento en la precipitación media en un rango entre 0% al 4% al año 2.020. Luego, para asignar un valor dentro del rango de cambio estimado por el Magicc, se utilizó la distribución de frecuencias de las tasas de cambio (o slope) halladas en la proyección lineal Theil-Sen (ver figura 3.6).

Figura 3.6. Distribución de frecuencias de los cambios en la precipitación mensual según test Theil-Sen y rangos asignados para proyecciones de los escenarios climáticos globales al año 2020 en las cuencas Tuluá y Amaime



Fuente: Elaboración Propia

En la cuenca Tuluá, a partir de la distribución de los slope según lo muestra la figura 3.6, se encontraron tres rangos para la asignación del porcentaje de cambio de los escenarios del Magicc: cuando la pendiente de Theil-Sen daba menor a cero se asumió

que no habían cambios (0%), luego si el Theil-Sen era mayor a 2,75 mm/decenio entonces se asignaba el máximo cambio proyectado en el Magicc del 4%. Finalmente cuando el cambio de Theil-Sen estaba entre cero y 2,75 mm/decenio se colocaba un 2%.

En la cuenca Amaime, cuando el valor de la pendiente Theil-Sen fue negativo o no significativo al 90% del nivel de confianza estadístico según el test Mann-Kendall (ver descripción del test en numeral 3.1.5 determinación de tendencias en las series climáticas), se asignó 0% de lo proyectado en el Magicc; luego si era mayor a 1,5 mm/año, fue de 4%, finalmente, entre cero y 1,5 mm/año se asignó el 2%.

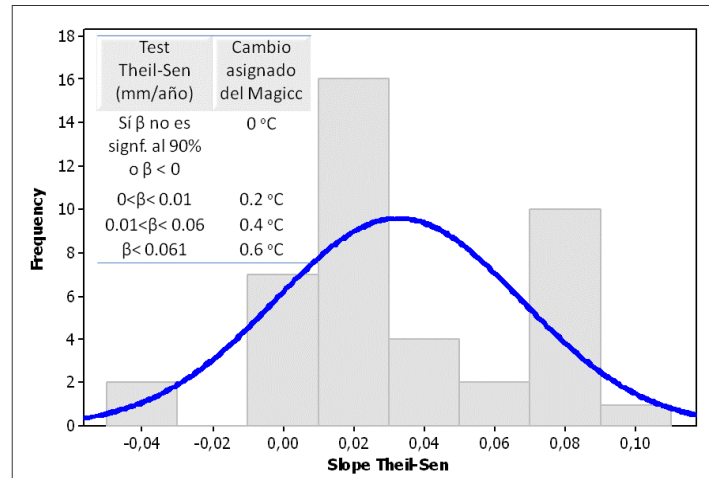
Los porcentajes de cambio estimados al 2.020, con la combinación de los resultados del modelo Magicc y de la pendiente Theil-Sen, se aplicaron a los promedios mensuales de la precipitación obtenidos con los registros de cada estación pluviométrica de estudio.

(ii) *En la serie de temperatura media del aire:* los resultados del Magicc/Scengen según el estudio realizado por el Grupo de Recursos Hídricos de CVC, indicaron al 2.020 un incremento en esta variable de 0,2 a 0,6 °C. Luego, en el caso de la cuenca del río Tuluá estos cambios coincidieron con los hallados en las proyecciones del test Theil-Sen y de los modelos ARIMAE, por tanto, se utilizó el incremento de +0,4°C como el valor promedio estimado en el modelo.

En contraste, para el caso de la cuenca del río Amaime, los resultados del test Theil-Sen, indicaron cambios significativos (con nivel de confianza del 90% según el test Mann-Kendall) en la temperatura media del aire con un rango de -0,04 a 0,09 °C/ año; luego, dado que existieron diferencias con el Magicc en el signo y la magnitud de las tendencias halladas; se decidió entonces, utilizar la distribución de frecuencias de las tasas de cambio del Theil-Sen (slope o beta “ β ” en la figura 3.7), para hallar su correspondencia con tres valores considerados dentro del rango del Magicc, que fueron: 0, 0.2, 0.4 o 0.6 °C al año 2.020; según lo muestra la figura 3.7.

Finalmente, los valores estimados de cambio en la temperatura media del aire al 2020, a partir de los resultados del Magicc y su combinación con los del test de la pendiente Theil-Sen, se utilizaron para afectar los promedios mensuales de los registros que se tenían de cada estación climatológica.

Figura 3.7. Distribución de frecuencia de cambios en la temperatura media mensual según test Theil-Sen y rangos asignados para la proyecciones en 2.020 de los escenarios climáticos globales en la cuenca Amaime



Fuente: Elaboración propia

(iii) *En la evapotranspiración mensual:* dado que el Magicc/Scengen sólo muestra los cambios estimados en la precipitación y la temperatura media del aire; se utilizaron tres métodos mediante los cuales se puede estimar la evapotranspiración mensual, en función de estas dos variables climáticas: el método de Thornthwaite (1948), la formula de Turc (1954), y el método de Coutagne (1949) & Ouadah (1998), los cuales se describen en el anexo 4.

Para la aplicación de las fórmulas del cálculo de la evapotranspiración al año 2020, Se utilizaron los valores de precipitación y temperatura media del aire, mensuales proyectados al 2020 que fueron los obtenidos a partir de los resultados del Magicc y su combinación con los del test de la pendiente Theil-Sen.

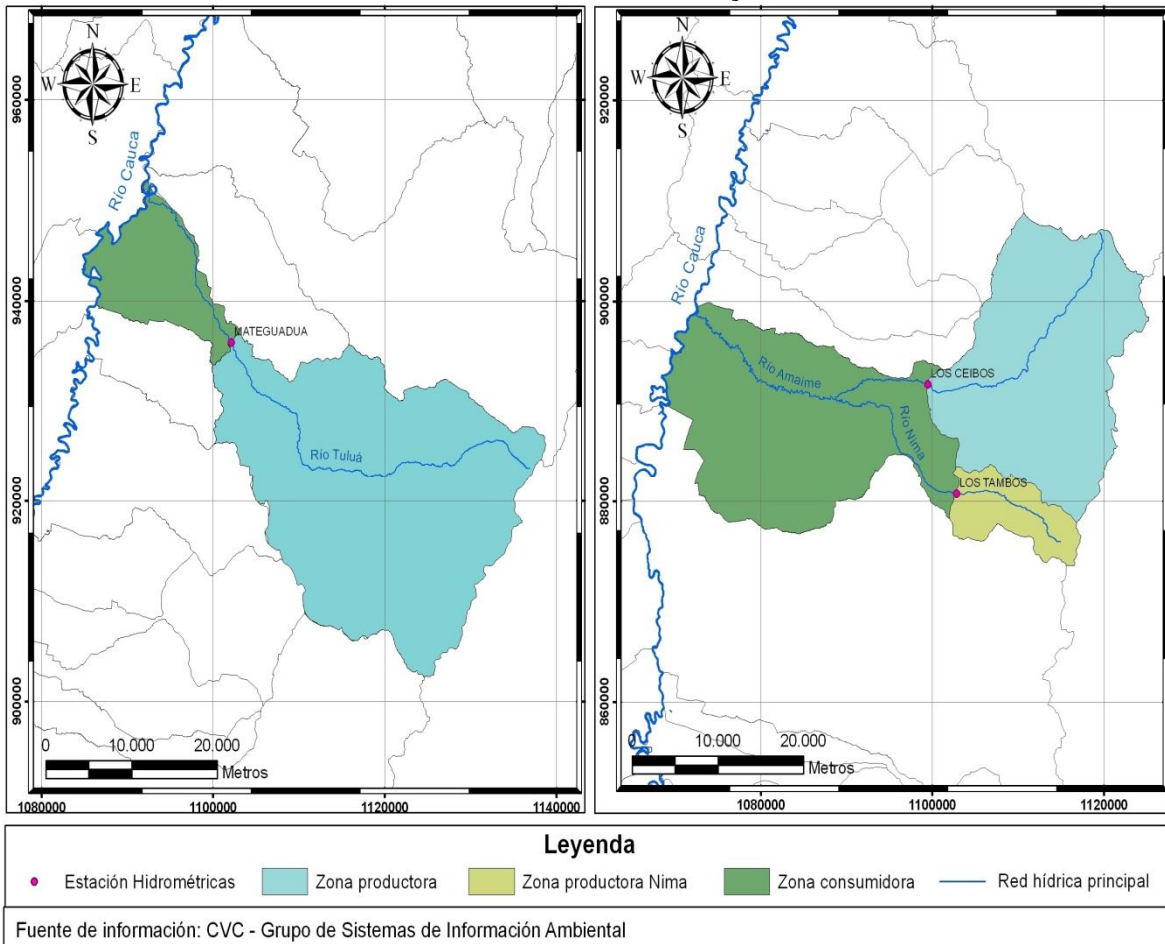
Finalmente, se estimó el valor promedio de los tres métodos empleados, el cual que fue determinado como el escenario Magicc/Scengen de la evapotranspiración mensual.

3.1.6.4. El escenario de la oferta hídrica superficial

El estudio de la oferta hídrica superficial, se llevó a cabo teniendo como referencia básica el desarrollo metodológico del Grupo de Recursos Hídricos de la CVC (2002) referente a la realización del balance oferta-demanda hídrica en las cuencas del río

Cauca; para esto la cuenca se analiza dividiendo en dos zonas, la de producción y la de consumo según lo muestra la figura 3.8.

Figura 3.8. Zonas de producción y consumo hídrico y las estaciones hidrométricas de estudio en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime



De acuerdo a lo anterior, la proyección de la oferta hídrica superficial se realizó con los registros del promedio diario de las estaciones hidrométricas en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, que fueron: Mateguadua (río Tuluá), Los Ceibos (río Amaime) y Los Tambos (río Nima). En acuerdo con el Comité Técnico del proyecto CVC-Universidad del Valle, los datos de los ríos Tuluá y Nima se obtuvieron a partir de las series generadas por el Grupo de Recursos Hídricos de CVC (2008), con el modelo lluvia escorrentía (modelo Conceptual de Cuencas Hidrográficas) HBV (OMM, 1999) y los del río Amaime, se obtuvieron de los registros entre 1993 y 2006 en la estación Los Ceibos.

El escenario actual de la oferta hídrica, se planteó a partir de los valores mensuales promedio calculados de los caudales obtenidos.

En los ríos Tuluá y Nima, para generar las series por el modelo HBV (CVC, 2008) se requirió de ingresar los datos de precipitación de las estaciones con influencia en la conformación del caudal.

Respecto a la proyección al año 2020, en el caso de la cuenca del río Tuluá, se obtuvieron los registros diarios de caudal entre los años 1973 al 2006 de la estación Mateguadua, con los cuales se calcularon los valores promedios mensuales y luego se realizaron proyecciones lineales utilizando del test estadístico Theil-Sen (según se describió en el numeral anterior 3.1.6.1 escenario de variabilidad y cambio climático); Adicionalmente, se tomó la serie de caudal generada por CVC (2008), la cual se obtuvo considerando un incremento al año 2020, del 2% en la precipitación registrada en las estaciones con influencia en la cuenca (este porcentaje fue determinado como el valor promedio de cambio en la lluvia obtenido por el modelo Magicc/Scengen en la cuenca, ver el numeral anterior). Luego, se analizaron los resultados de los dos métodos y se calculó el promedio ponderado de los caudales medios mensuales.

La proyección mensual del caudal del río Nima (Los tambos) al año 2020, se realizó con las series generadas por el Grupo de Recursos Hídricos de la CVC con el modelo HBV, considerando al 2020 cambios promedios de la precipitación del 2,7%. Adicionalmente, a partir de los registros históricos, se realizó la proyección lineal mediante el test Theil-Sen y se calculó el valor promedio de los dos métodos empleados.

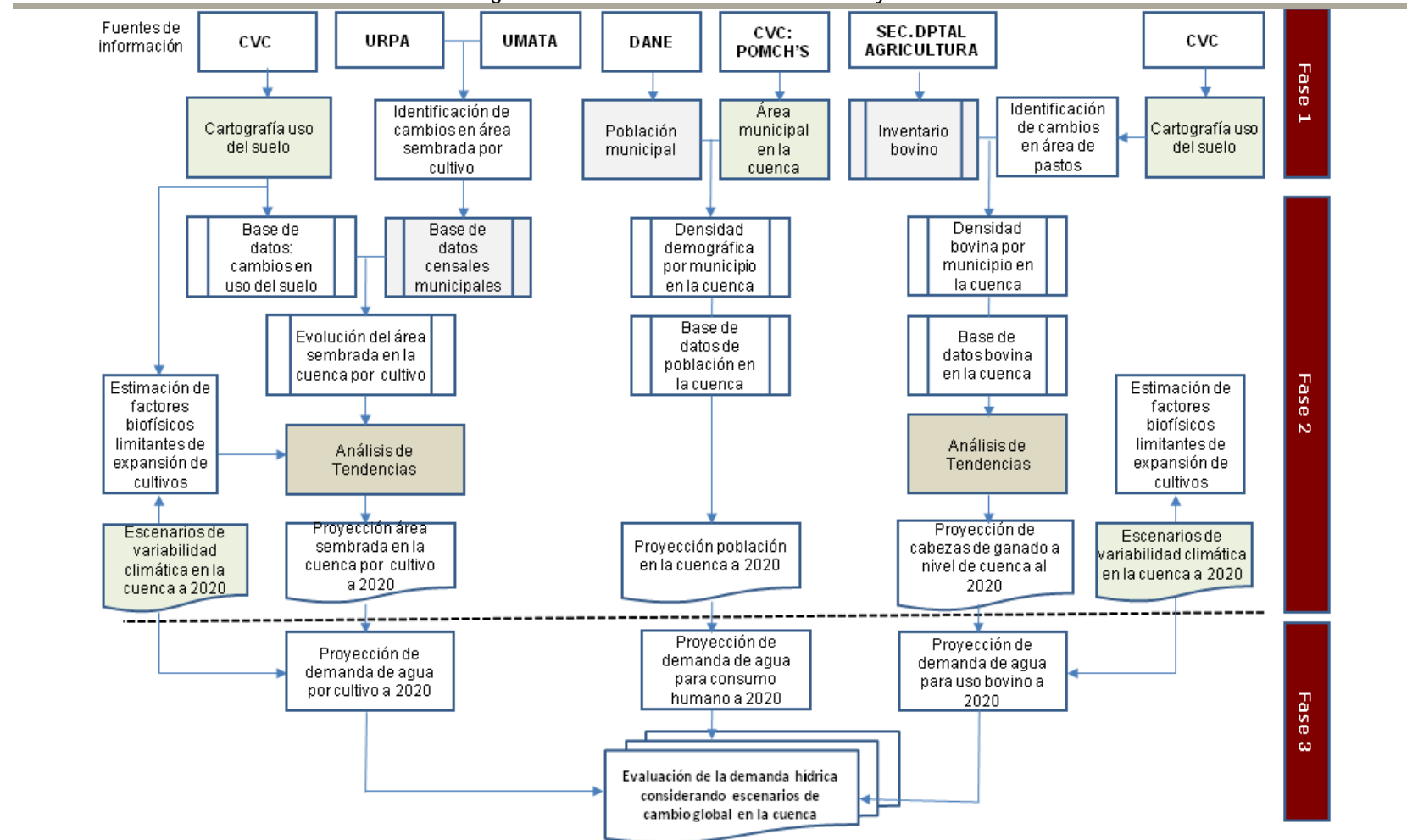
Particularmente, dado que se presentó una diferencia en el caudal de 38% entre la serie generada mediante el HBV en la estación Los Ceibos, con valor promedio de 21,3 m³/s y en los registros históricos medidos de 8,1 m³/s; se tomó entonces la decisión, de utilizar los porcentajes de cambio promedio de cada mes proyectados mediante este modelo HBV y se aplicaron a la serie de los caudales medidos por la estación hidrométrica. Luego, se efectuó la proyección lineal, con los registros reales de la estación y se calculó el valor promedio mensual entre los dos métodos, siguiendo el mismo procedimiento empleado en los caudales de las corrientes de Tuluá y Nima.

3.2. Análisis de factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica ante escenarios climáticos actuales y su proyección al año 2020

Con el objetivo de evaluar los determinantes socioeconómicos que generan presión sobre la oferta del recurso hídrico ante un escenario de cambio climático proyectado al 2020 en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá, de la cuenca del río Cauca; se realizó el análisis de evolución y proyección del uso del suelo, asociado a las actividades agrícolas, pecuarias e industriales, y se estudió la evolución de la población en las cuencas estudiadas. Para esto, en este estudio se construyó un proceso metodológico que se describe gráficamente en el diagrama presentado en la figura 3.9, donde se dispuso de un flujo de información de diferentes fuentes oficiales, que permitieron analizar cómo los cambios en el uso del suelo y el crecimiento de la población, considerando un escenario de cambio climático, determinan la demanda de agua.

Son tres las fases de la metodología empleada para el análisis de los elementos que inciden en la demanda hídrica (ver figura 3.9): En las primeras dos etapas, se conforman las bases de datos y se pasa de información censal (o municipal) a escala de cuenca hidrográfica; en la última fase, se realizan las proyecciones de las variables al año 2.020. Luego, se realiza el análisis para determinar el consumo hídrico neto, y se relaciona con la oferta hídrica, ante escenarios actuales y su proyección al año 2.020 en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime. En los siguientes numerales, se detalla este procedimiento.

Figura 3.9. Esquema metodológico del flujo de información para el análisis de factores socioeconómicos que determinan la demanda de agua en las cuencas de los ríos Tuluá y Amalme



* El cálculo de demanda de agua para uso industrial se ha estimado como un porcentaje de la demanda de uso agrícola.

Fuente: elaboración propia

3.2.1. Recolección de Información y construcción de bases de datos

La fase 1 de este análisis comprende el diagnóstico y recolección de la información básica disponible en la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y otras instituciones ambientales y territoriales, que fueron la Unidad Regional de Planeación Agropecuaria (URPA), la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), Secretaría Departamental de Agricultura, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Una vez acopiada la información básica, en su mayoría a nivel de municipio, se organizó con el objeto de obtener tres bases de datos socioeconómicas temporales: (i) área sembrada¹ y rendimientos de cultivos, (ii) población e (iii) Inventario bovino. La tabla 3.2, presenta la información recopilada y la descripción básica de estas bases de datos en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.

Tabla 3.2. Descripción de bases de datos conformadas para el análisis de factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica en las cuencas Tuluá y Amaime

Información recopilada	Descripción de las base de datos conformadas por cuencas	
	Tuluá	Amaime
Cartografía de usos de suelo	<ul style="list-style-type: none"> -Cambios en el uso del suelo en 1996 y 2006 -Principales cultivos, según el área agrícola total en la cuenca: <i>café, caña de azúcar, maíz, sorgo, soya y papa</i> 	<ul style="list-style-type: none"> -Cambios en el uso del suelo en 1998 y 2003 -Principales cultivos, según la cobertura agrícola en la cuenca: <i>caña de azúcar, maíz, sorgo, hortalizas, café, frutales-plátano</i>
Cartografía de límites de cuenca y de los municipios	<ul style="list-style-type: none"> -Áreas de los municipios Tuluá, San Pedro, Buga y El Cerrito, dentro de la cuenca Tuluá -Área rural de cada municipio dentro de la cuenca 	<ul style="list-style-type: none"> -Áreas de los municipios Palmira y El Cerrito, dentro de la cuenca Amaime -Área rural de Palmira y El Cerrito, dentro de la cuenca

¹ El cálculo de demanda de agua para uso industrial se estima como el 8% de la demanda agrícola (CVC, 2002), por tanto a partir de la base de datos de área sembrada se obtuvo la demanda agrícola y a partir de esta, la industrial.

Información recopilada	Descripción de las base de datos conformadas por cuencas	
	Tuluá	Amaime
Cartografía de tipos de suelo y altitud	Áreas máximas de expansión de los cultivos, según factores limitantes ambientales en 2006 y el 2020	Áreas máximas de expansión de los cultivos, según factores limitantes ambientales en 2003 y el 2020
Registros censales de área sembrada y rendimientos en los municipios de las cuencas	-Áreas sembradas y rendimientos entre 1988 y 2007, de los principales cultivos en los municipios con área en cada cuenca -Área en pastos de corte y pradera entre 1996 y 2006 para estimar el consumo de agua bovino en la cuenca	
Inventario bovino censal	Inventario bovino por tipo de producción (ceba, lechería y doble propósito) en los municipios de cada cuenca entre 1996 y 2006	
Cifras de censos de población de 1985, 1993 y 2005 en los municipios	-Población rural y urbana en los municipios de cada cuenca entre 1985 y 2005. -Población rural en cada cuenca proyectada entre 1985 y 2020. Cabe mencionar no se toma la población urbana dado que la mayor parte de la cuenca es zona rural.	

3.2.2. Proyecciones de factores socioeconómicos y ambientales al año 2020

En esta fase se plantean proyecciones al año 2020 de los factores socioeconómicos y ambientales que determinan la demanda hídrica. En este marco, se utilizaron los escenarios climáticos definidos y se relacionaron con las bases de datos de área sembrada, de población y de consumo de agua bovino en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime.

La proyección al año 2020 de cada una de las bases de datos socioeconómicas construidas en las etapas anteriores, se llevó a cabo siguiendo el proceso metodológico que se detalla a continuación.

3.2.2.1. Proyección del área sembrada en la cuenca

La proyección del área sembrada fue el insumo para determinar la demanda de agua para consumo agrícola en el balance hídrico al año 2.020, de la cual a su vez, se estima la demanda industrial calculada de acuerdo con CVC (2002) como el 8% del consumo de agua agrícola.

Para la proyección del área sembrada, inicialmente, se seleccionaron los cultivos representativos en cada cuenca, luego, se realizaron las proyecciones de las bases de datos área sembrada censales (que se encuentran con registros anuales entre 1.988 y 2.006 a escala municipal), luego se convirtieron a escala de cuenca y se relacionaron con las áreas máximas de expansión obtenidas a partir del análisis de factores limitantes ambientales. A continuación se describe en detalle las etapas de este procedimiento:

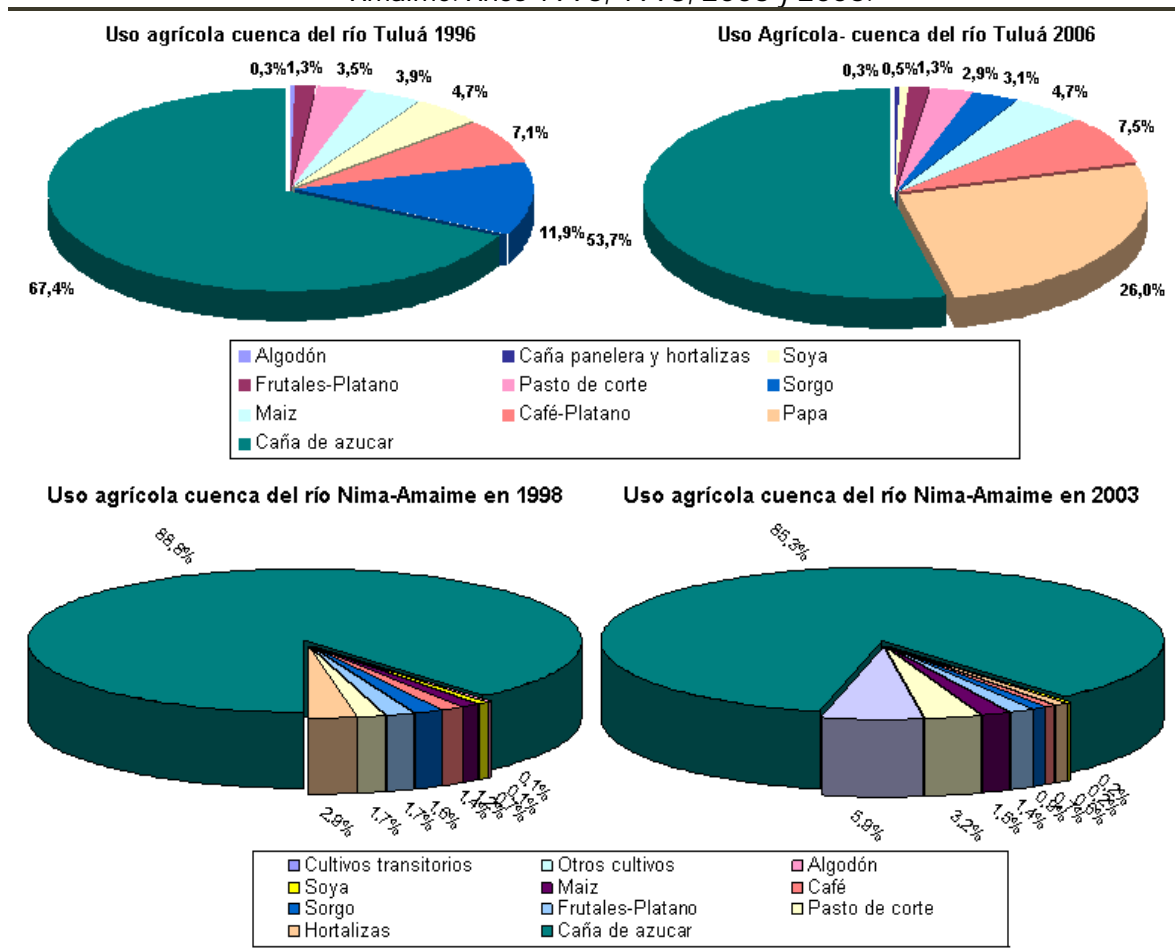
- **Selección de cultivos representativos**

La selección de los cultivos más representativos de estudio, se determinaron según el cubrimiento del área agrícola. La figura 3.10, muestra la distribución porcentual de los cultivos en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, lo cual permitió elegir los productos agrícolas que cubrieran al menos el 90% del área agrícola

En la cuenca del río Tuluá entre 1996 y 2006, el área agrícola representó el 13% y el 17% del total del área de la cuenca respectivamente, los seleccionados fueron: caña, papa, maíz, sorgo, café y soya, que representan el 99% y 98% del área agrícola en 1.996 y 2.006 respectivamente.

En la cuenca del río Amaime la cartografía de usos de suelo corresponde a los años 1998 y 2003; en estos años el área agrícola cubrió el 38,0% y el 36,5% del total de la cuenca. Los cultivos seleccionados representan el 99% y el 94% del área agrícola en 1.998 y 2.003 respectivamente, estos fueron: caña de azúcar, pasto de corte, maíz, frutales-plátano, sorgo, café y hortalizas.

Figura 3.10. Distribución porcentual del uso agrícola en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime. Años 1996, 1998, 2003 y 2006.



- Proyección de áreas al 2020 a partir de registros censales entre 1988-2007**

Según los cultivos seleccionados en la cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, se procedió a realizar la proyección de los datos censales de área sembrada de los cultivos seleccionados en los municipios que tienen participación en la cuenca Tuluá, cuyos registros se recopilaban de la UMATA y la URPA a escala municipal y con series anuales entre 1.988 y 2.007.

En la cuenca del río Amaime, según los registros censales disponibles en los municipios de Palmira y El Cerrito, que hacen parte de la cuenca, se consideraron las siguientes hortalizas: ají, arveja, cebolla larga, cilantro, habichuela, lechuga, pepino,

pimentón, tomate, repollo y zapallo. También, los frutales fueron: aguacate, banano, brevas, cítricos, guanábana, guayaba, lulo, maracuyá, mora, piña, tomate de árbol y plátano.

Las series se proyectaron realizando un modelo de regresión lineal y regresión robusta, la cual pondera los puntos atípicos en los registros. Luego, los registros censales (municipales) se pasaron a escala de cuenca, utilizando la cartografía de usos del suelo de los años 1.996 y 2.006 en la cuenca del río Tuluá y de 1.998 y 2.003 en Amaime. El procedimiento realizado fue el siguiente:

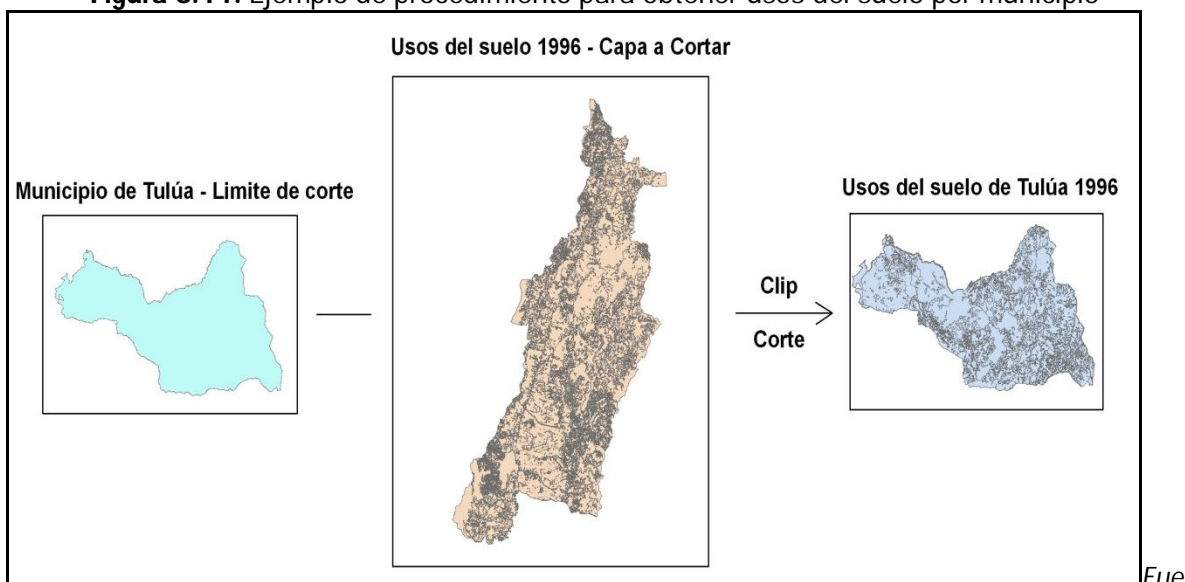
(i) Cálculo del área total de los cultivos en cada municipio que hace parte de la jurisdicción de la cuenca:

El primer paso fue obtener los usos del suelo de cada municipio en la cuencas de los ríos Tuluá (Tuluá, Buga, El Cerrito y San Pedro) y Amaime (Palmira y El Cerrito). Para lograr esta etapa se hizo un clip o corte de la capa de usos del suelo de la cuenca del río Cauca, teniendo como límite de corte cada municipio (Ver figura 3.11). Después de obtenidos los usos del suelo, se procede al cálculo de las áreas, que se obtienen con la herramienta "Calculate Áreas" que brinda el software ArcGis 9.0. Los resultados se obtienen en metros cuadrados (m²), lo que implicó una conversión a hectáreas.

(ii) Cálculo del área censal del cultivo dentro de la cuenca:

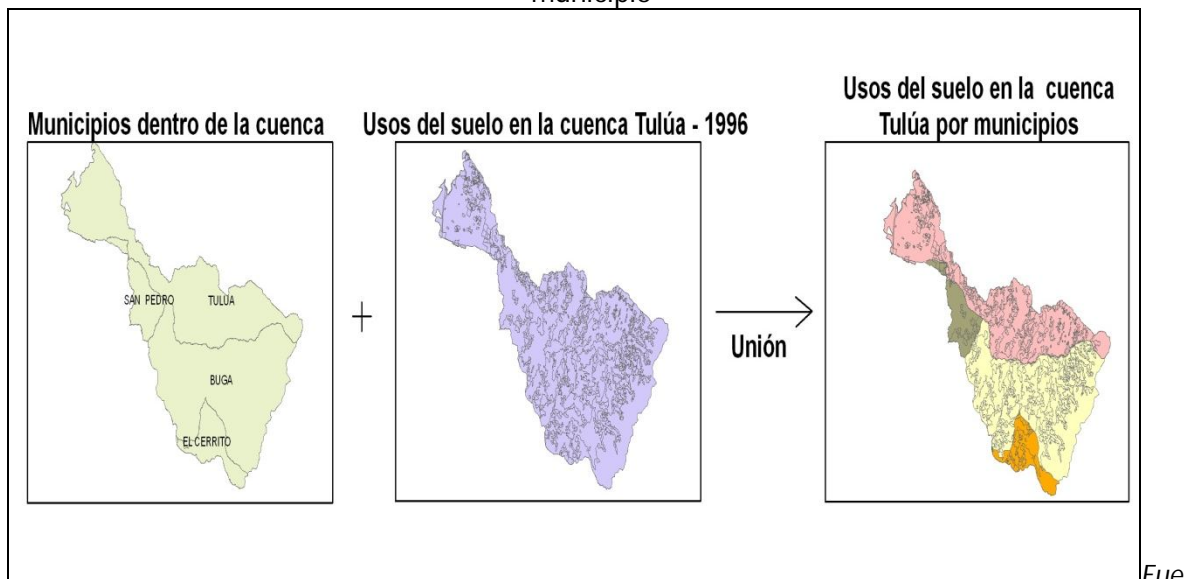
Con el propósito de obtener el porcentaje del área censal (o sea en el municipio) de cada cultivo dentro de la cuenca, se realizó la unión entre la capa de usos del suelo, con la capa de los municipios dentro de la cuenca según se muestra un ejemplo en la figura 3.12.

Figura 3.11. Ejemplo de procedimiento para obtener usos del suelo por municipio



nte: Elaboración propia

Figura 3.12. Ejemplo de procedimiento para obtener usos del suelo en la cuenca por municipio



nte: Elaboración propia

Luego, al obtener estos dos valores, se calcula el porcentaje que se aplicó a los datos censales para cada cultivo, que corresponde a la siguiente fórmula:

$$\%Dcc_i = Acc_{ij} / Atm_{ij} * 100 \quad \text{Ec. 3.8}$$

Donde:

- % Dcc_i = Porcentaje a aplicar al dato censal del cultivo _i en la cuenca
Atm_{ij} = Área total del cultivo _i en el municipio _j
Acc_{ij} = Área del cultivo _i en la cuenca por municipio _j

La figura 3.13 muestra el ejemplo del cálculo del porcentaje del área de caña de azúcar de los municipios El Cerrito y Palmira dentro de la cuenca del río Amaime en el año 1998, indicando que el 67% del área del cultivo en Palmira hace parte de la cuenca. Este mismo procedimiento se realizó para cada cultivo y para los dos registros de cartografía de usos de suelo en las cuencas Tuluá y Amaime.

(iii) Cálculo de la tasa de expansión anual del cultivo dentro de la cuenca

En la cuenca del río Tuluá, con los porcentajes de área censal de cada cultivo dentro de la cuenca (%Dc_{ij}), hallados según la cartografía de usos de suelo en los años 1.996 y 2.006, se determinó una tasa de expansión anual comparando estos dos registros:

$$Te = (\%Dc_{2006} - \%Dc_{1996})/t \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde: Te = Tasa de expansión anual del cultivo en la cuenca

%Dc= Porcentaje del área censal del cultivo en la cuenca para 1996 y 2006

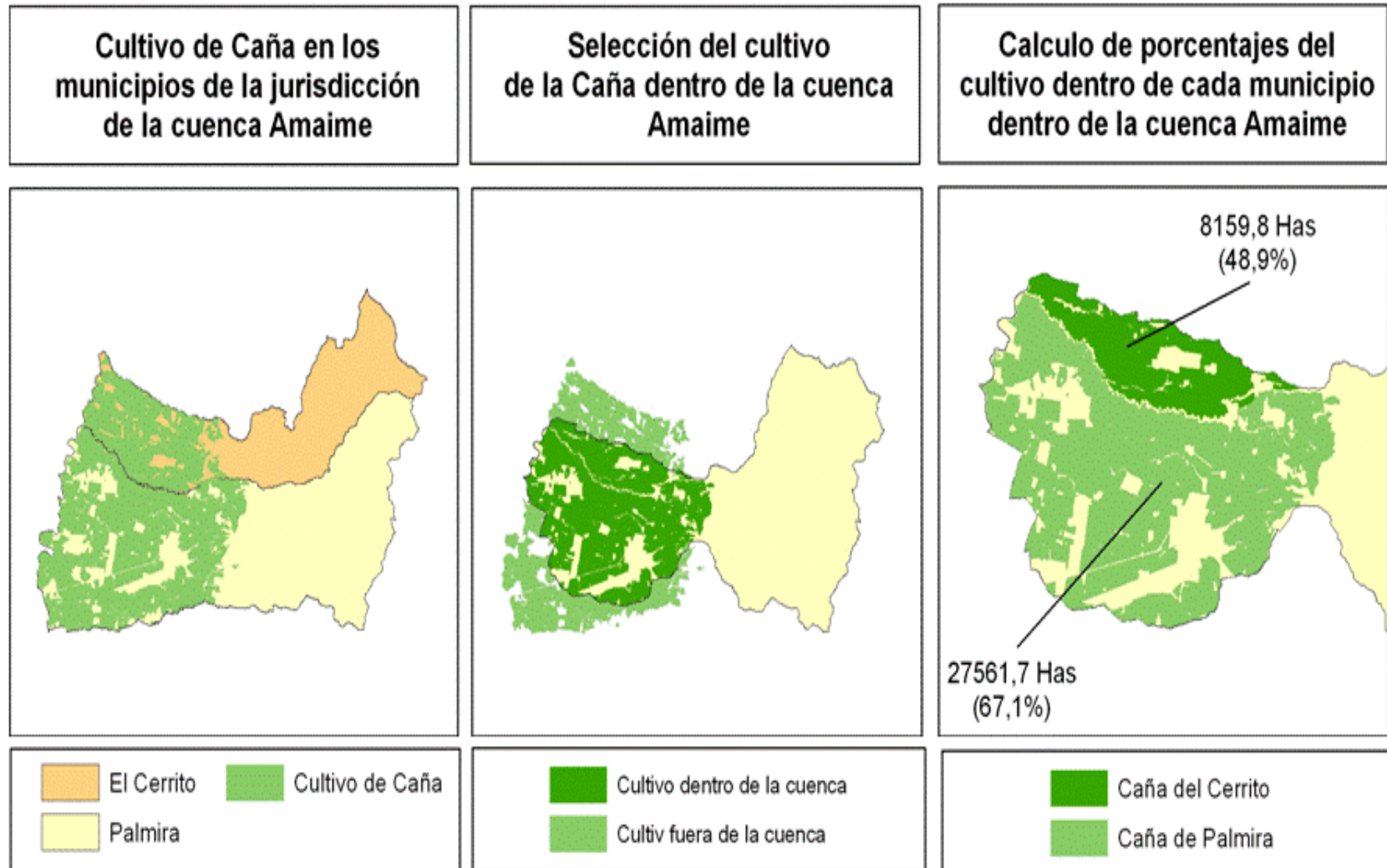
t = 10 años que existen entre 1996 y 2006

Luego, la tasa de expansión anual (Te), se utilizó para hallar el porcentaje del área censal del cultivo dentro de la cuenca al 2020 (%Dc₂₀₂₀), a partir de este mismo en 2006 (%Dc₂₀₀₆), así:

$$\%Dc_{2020} = \%Dc_{2006} * Te * (2020-2006) \quad \text{Ec. 3.10}$$

En la cuenca del río Tuluá, por último, el porcentaje del área censal del cultivo en la cuenca al 2020 (%Dc₂₀₂₀), se multiplica con el área censal proyectada a partir de los registros anuales entre 1.988 y 2.007, y así se logra hallar el área censal de cada cultivo en la cuenca para el año 2020; la sumatoria de estas áreas, se estima como el área sembrada en la cuenca Tuluá en 2020.

Figura 3.13. Ejemplo de procedimiento para calcular los porcentajes del cultivo en cada municipio dentro de la cuenca



En el caso de la cuenca del río Amaime, a fin obtener la proyección de área sembrada de manera continua entre los años 1.988 al 2.020, se realizó el cálculo del porcentaje del área censal de cada cultivo dentro de la cuenca para los años 1.998 y 2.003 (según lo plantea la ecuación 3.7) en los cuales se disponía de cartografía de usos de suelo en la cuenca; luego, se calculó el promedio de estos dos valores y se consideró constante para los demás años de registro (entre 1.988 y 2.020). Finalmente, el porcentaje promedio de expansión de cada cultivo en los municipios dentro de la cuenca, se multiplica con el valor del área censal y así se obtuvieron los registros anuales entre 1.988 y 2.020 del área sembrada dentro de los municipios Palmira y El Cerrito en la cuenca del río Amaime.

- **Áreas máximas de expansión según factores limitantes ambientales**

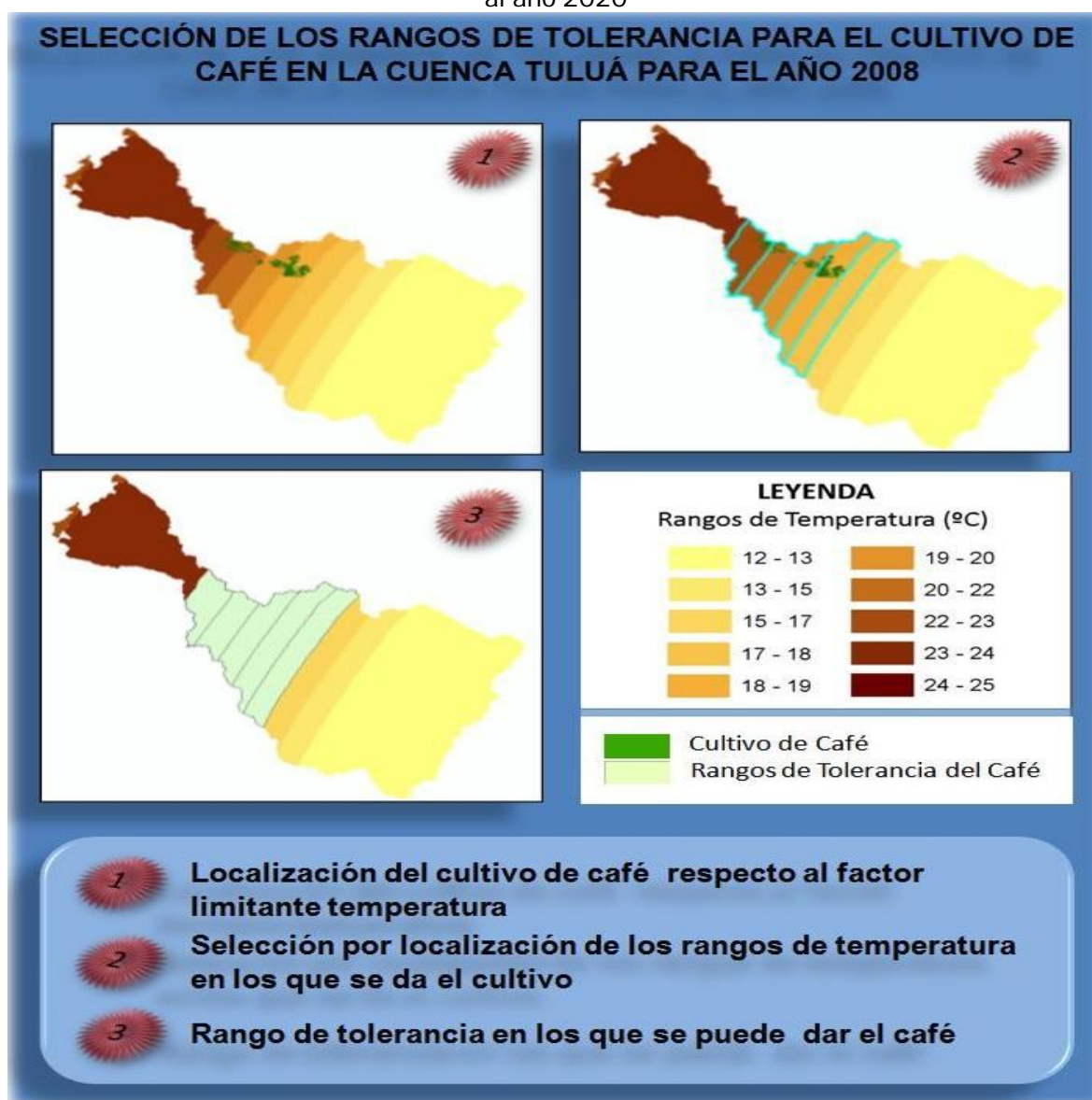
Dado que se pudo disponer de registros de áreas censales sólo entre 1.988 y 2.007 (19 años) y la proyección a 2.020 implica la modelación de 13 periodos, el intervalo de confianza, así como la incertidumbre de los datos modelados fueron amplios. Por lo tanto, se consideró estimar un área máxima de expansión de los cultivos, según se explica a continuación. La Ley de Factores Limitantes como una modificación de la Ley del Mínimo (Dent & Yonug, 1981), indica que la distribución espacial de un determinado cultivo estará controlada por los factores ambientales para los que el propio cultivo tiene un rango de adaptabilidad o control más estrecho, dada una tecnología. De acuerdo a esto, considerando la disponibilidad de información cartográfica y su contribución a la expansión de los cultivos, los factores ambientales considerados fueron: tipo de suelos, altitud, temperatura media del aire y precipitación.

La cartografía empleada para este análisis se refiere a las capas de: (i) *usos del suelo*, (ii) *isolíneas de altitud*, (iii) *tipos de suelo* (iv) *isoyetas de precipitación anual acumulada* y (v) *temperatura media del aire*, en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime. Cabe mencionar que las capas de las variables climáticas, se obtuvieron siguiendo el procedimiento de interpolación de los registros climáticos en las cuencas, según se explicó en el numeral 3.1.4 de *análisis espacial de los datos climáticos*. Las otras capas se obtuvieron de cartografía proporcionada por la CVC.

Luego, para la selección de las áreas máximas de expansión por cultivo, se inicia con la cartografía del año 2.003 y 2.006 para la cuencas de los río Amaime y Tuluá respectivamente, de acuerdo con la ubicación de cada cultivo, se hace una selección

por localización de los rangos de las variables ambientales para la cual el cultivo se desarrolla dentro de la cuenca. Como ejemplo de este proceso metodológico, en la figura 3.14 se presenta el cultivo de café en la cuenca del río Tuluá, donde se indicó que en la cuenca, el café con respecto a la temperatura se localiza entre las categorías de 18 a 23 °C, valores que representan el rango de tolerancia en el que se puede dar el café, y constituyen el área del factor limitante (“Temperatura”) para la producción de Café.

Figura 3.14. Ejemplo de procedimiento para estimar los rangos de tolerancia como factores limitantes ambientales que determinaron las áreas máximas de siembra actual y su proyección al año 2020



Fuente: elaboración propia

El anexo 5 presenta los rangos de tolerancia para cada cultivo en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, según la cartografía de 2.006 y 2.003 respectivamente.²

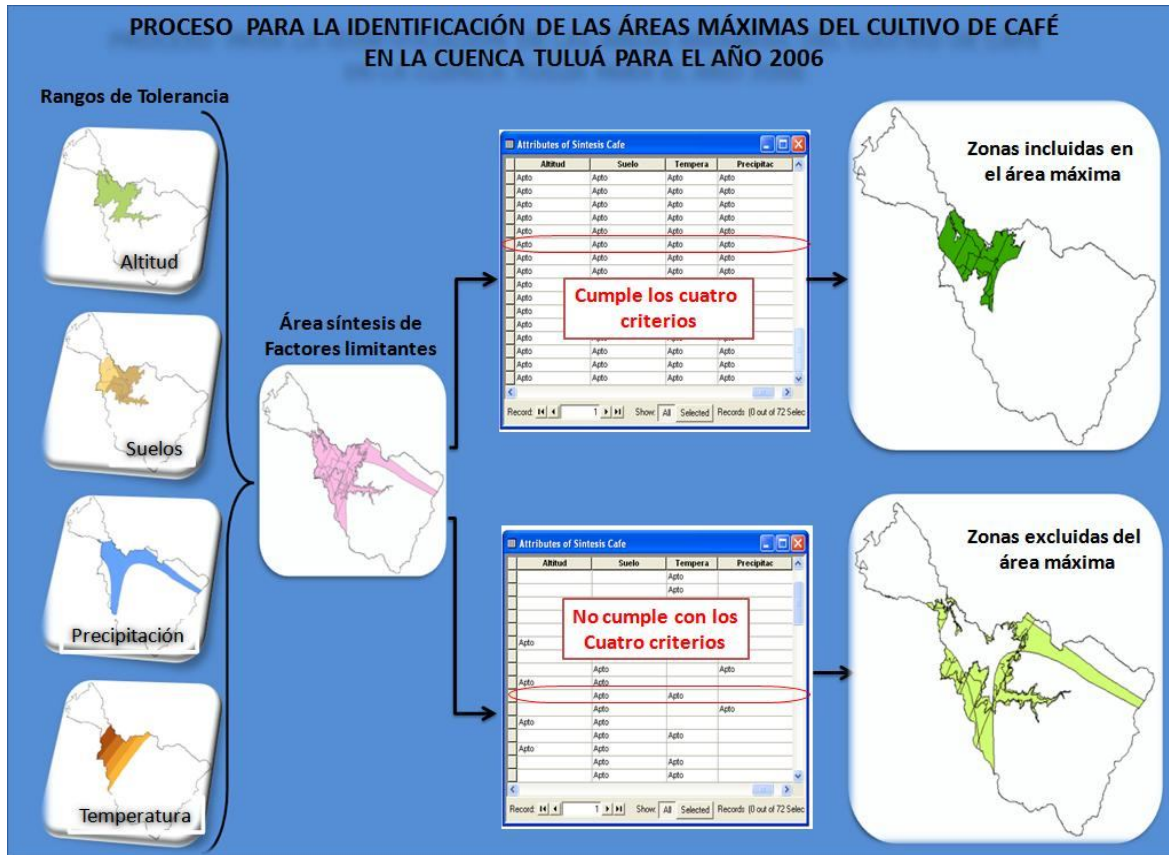
Posteriormente, la identificación de áreas máximas se realizó con la intersección de capas de los factores limitantes (rangos de tolerancia) en cada cultivo; indicando esto, que la falta de al menos una característica se convierte en el criterio para excluir una área del cultivo que se evaluó. La figura 3.15, presenta en el ejemplo del procedimiento realizado para el cultivo del café en la cuenca del río Tuluá con los registros de cartografía del año 2.006. Luego, con las áreas obtenidas según los rangos de tolerancia de los factores ambientales determinados en 2.006; se realizó la proyección de estas áreas al 2.020, utilizando como variables que cambian: la precipitación anual acumulada y la temperatura media del aire; estas capas fueron obtenidas a través de la interpolación (según se explicó en el numeral 3.1.4) de los registros calculados en los escenarios de variabilidad y cambio climático (según se presentó en el numeral 3.1.6).

- **Cálculo de las áreas sembradas en 2020**

Finalmente, se cruzaron los registros de proyección de las áreas censales y las áreas máximas de expansión según factores limitantes ambientales. Se analizó que donde el área proyectada por los registros censales fuera mayor al área estimada por los factores limitantes, se consideraba como área en 2.020 esta última (o sea el área máxima según factores limitantes ambientales).

² El anexo 4, muestra los rangos de tolerancia establecidos para cada cultivo en la cuenca Tuluá y Amaime. Los resultados muestran que en el caso de la cuenca Tuluá, estos factores se encuentran en diferentes intensidades, interactuando entre ellos bajo diferentes condiciones ambientales que limitan o propician el desarrollo de los cultivos.

Figura 3.15. Ejemplo del procedimiento para identificar las áreas máximas de desarrollo de los cultivos



Fuente: elaboración propia

3.2.2.2. La proyección de población a 2020

La proyección de la población en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, fueron el insumo para calcular la demanda de agua doméstica. El proceso metodológico realizado fue el siguiente:

(i) *Construcción de la base de datos censal y proyección de la población*

Se realiza a partir de los censos de 1.985, 1.993 y 2.005 provistos por el DANE, para la población de cabecera y rural en cada uno de los cinco (5) municipios con territorio en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, según se muestra en la tabla 3.3. Con los registros censales recopilados, se modela la población municipal a fin obtener la base

de datos anual para el periodo entre 1.986 y 2.020. Para esto, primero se calcula la tasa intercensal 1.985-1.993, usando la metodología propuesta por CVC (1995), así:

$$r_i = \frac{\ln(P_f) - \ln(P_i)}{t} \quad \text{Ec. 3.11}$$

Donde: r_i : Tasa intercensal de crecimiento del área municipal
 P_f : Población final en área urbana o rural del municipio i
 P_i : Población inicial en área urbana o rural del municipio i
 t : Periodo
 i : municipio: Buga, El Cerrito, San Pedro, Tuluá y Palmira

El periodo de tiempo se calcula en escala de años siguiendo la expresión:

$$t = (C_f - C_i) / 365$$

Donde: C_f : Fecha con día, mes y año del censo final
 C_i : Fecha con día, mes y año del censo inicial

Tabla 3.3. Cifras de censos de población rural y urbana en los municipios de las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime (valores en No. de Habitantes)

MUNICIPIOS	1985		1993		2005	
	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL	URBANO	RURAL
BUGA	83.027	11.726	99.879	12.634	99.893	17.000
EL CERRITO	23.590	16.598	28.455	18.008	33.302	21.296
SAN PEDRO	3.431	8.014	4.820	10.006	5.982	9.802
TULUA	99.746	21.744	115.617	22.804	160.922	26.353
PALMIRA	175.161	39.234	196.213	37.953	228.122	56.348

Fuente: Censos DANE, 1985, 1993 y 2005

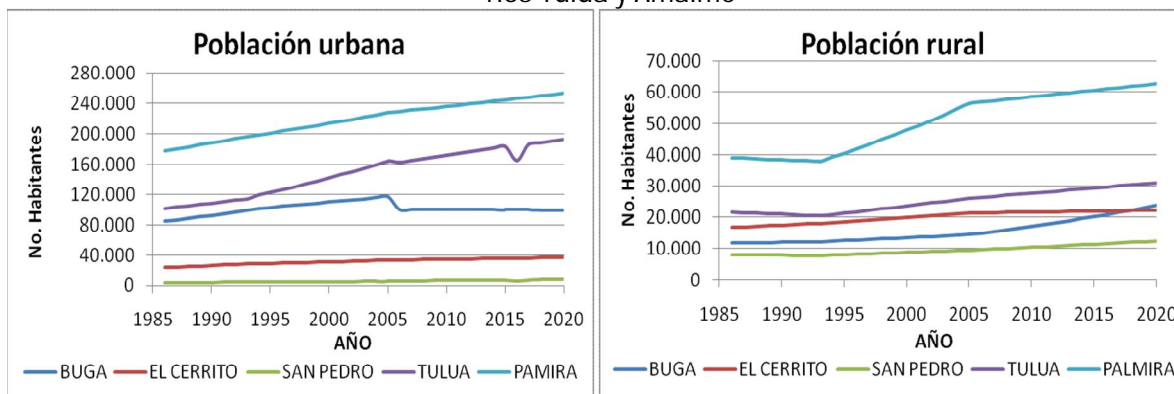
Una vez calculada la tasa intercensal, se procede a proyectar anualmente la población municipal, según el modelo matemático exponencial propuesto por CVC (1995):

$$P_f = P_i \times e^{rt} \quad \text{Ec. 3.12}$$

Donde P_i : Población inicial en área urbana del municipio i
 P_f : Población urbana del año que se quiere proyectar
 r : Tasa de crecimiento intercensal
 t : tiempo de proyección en años

Si siguiendo los cálculos anteriores se obtienen las tasas intercensales y luego, la población urbana y rural para los periodos 1985-1993, 1993-2005 y 2005-2020 en cada uno de los municipios, según se muestra en la figura 3.16, los datos se presentan en el anexo 6.

Figura 3.16. Población urbana y rural en los municipios que pertenecen a las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime



Fuente: Elaboración propia

(ii) Cálculo de la población en la cuenca

Se realizó la transformación de la información municipal a escala de cuenca; para ello, a partir de los Planes de Ordenamiento Territorial de los municipios de Tuluá y Amaime se obtiene la extensión territorial de cada municipio y la densidad demográfica (que equivale al número de habitantes por unidad de área), la cual se supone homogénea dentro del municipio, la ecuación utilizada fue:

$$D_{ij} = P_{ij}/A_i \quad \text{Ec. 3.13}$$

Donde: D_{ij} : Densidad demográfica del municipio i
 P_{ij} : Población del municipio i
 A_i : Área del municipio en hectáreas
 j : 1986, 1987,.....,2020.

Dado que en la cuenca del río Tuluá los municipios Buga, San Pedro y El Cerrito sólo tienen población rural, la densidad demográfica se calculó con la población y el área rural. Para el caso de la cuenca del río Amaime sucede igual con El Cerrito. Luego, se procede al cálculo de las áreas de cada municipio en las cuencas de estudio, que se obtienen de la información cartográfica de los límites de municipales y de la cuenca,

con la herramienta "Calculate Áreas" que brinda el software ArcGis 9.0. Finalmente, despejando la ecuación de densidad demográfica se pudo obtener la población municipal en la cuenca, así:

$$PC_{ij} = DC_{ij} \times AC_i \quad \text{Ec. 3.14}$$

Donde: PC_{ij} : Población en la cuenca del municipio i, en el año j
 AC_i : Área del municipio i en la cuenca
 DC_{ij} : Densidad demográfica (rural) del municipio i en el año j
j : 1986, 1987,.....2020

De esta forma se calcula la población de cada municipio dentro de la cuenca y posteriormente al agregarlos, se obtiene la base de datos de la población en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime entre 1.986 y 2.020.

3.2.2.3. La proyección del consumo de agua bovino

Dada la significativa presencia de la ganadería extensiva como principal actividad pecuaria de las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, a continuación se describe la metodología empleada para estimar el consumo de agua bovino en estas cuencas: Inicialmente, con la información recopilada en las evaluaciones pecuarias de la UMATA, Gremios del Sector y Secretaria de Agricultura y Fomento, se realizó el inventario bovino para los municipios con área en las cuencas Tuluá y Amaime, durante el periodo 1996-2006, según lo muestra la tabla 3.4:

Tabla 3.4. Inventario bovino de los municipios que pertenecen a las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime entre 1996 y 2007.

AÑOS	BUGA	EL CERRITO	SAN PEDRO	TULUÁ	PALMIRA
	No. RESES	No. RESES	No. RESES	No. RESES	No. RESES
1996	21.536	12.479	6.026	34.189	7.805
1997	20.484	11.444	6.542	37.946	17.510
1998	27.582	11.910	8.934	32.223	21.717
1999	27.582	12.148	8.934	35.123	23.454
2000	23.007	11.910	8.813	30.263	20.679
2001	23.780	12.700	8.091	30.566	17.274
2002	19.438	11.910	6.404	33.215	22.231
2003	21.881	11.910	7.588	33.215	22.663
2004	23.607	10.526	10.632	33.769	20.505
2005	25.341	11.103	8.941	34.620	21.862

AÑOS	BUGA No. RESES	EL CERRITO No. RESES	SAN PEDRO No. RESES	TULUÁ No. RESES	PALMIRA No. RESES
2006	23.132	13.626	9.641	35.499	20.794
2007	-	13.626	-	-	23.830

Fuente: *Evaluaciones Pecuarias UMATA, Gremios del Sector y Secretaria de Agricultura y Fomento.*

Luego, con el propósito de determinar el número de reses en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, respectivamente; se analizó el crecimiento del pasto natural y de pradera mejorada (dedicado a tal actividad) en los municipios con área dentro de estas cuencas, así:

En la cuenca del río Tuluá, se partió del estudio de distribución de superficie en pastos con utilización ganadera en Buga, San Pedro y Tuluá realizado por la Secretaria de Agricultura del Valle del Cauca para los años 1.996 y 1.998. Luego, para obtener una serie continua entre 1.996 y 2.006, se calculó la tasa de crecimiento del pasto natural en cada municipio usando la expresión:

$$r_i = \frac{\ln(H_f) - \ln(H_i)}{A_f - A_i} \quad \text{Ec. 3.15}$$

Donde: r_i : Tasa de crecimiento municipal del área de pasto natural
 H_f : Hectáreas de pasto natural en el municipio i en 1.998
 H_i : Hectáreas de pasto natural en el municipio i en 1.996
 A_f : Año final
 A_i : Año inicial
 i : Buga, San Pedro y Tuluá

Luego, se estimó el área de pasto natural para cada año desde 1.997 hasta 2.006, empleando la ecuación:

$$H_f = H_i \times e^{rt} \quad \text{Ec. 3.16}$$

Donde: H_f : Área en pasto natural del año que se quiere proyectar
 H_i : Área en pasto natural del año inicial, es decir, 1996
 t : 1, 2, 3,.....10

De esta forma, se obtiene la estimación del crecimiento anual del pasto natural en cada municipio durante el periodo 1996-2006, según se muestra en la tabla 3.5.

Para el caso de la cuenca del río Amaime, a partir de las evaluaciones agropecuarias de la Secretaria de Agricultura del Valle del Cauca, se obtuvo para los municipios de El Cerrito y Palmira, los datos de extensión de pasto natural y de pradera mejorada entre 1996 y 2004 los cuales se agregaron y se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Área de pasto natural en los municipios que hacen parte de las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime (En Hectáreas)

AÑOS	BUGA	EL CERRITO	SAN PEDRO	TULUÁ	PALMIRA
1996	50.232	13.487	11.001	51.416	-
1997	52.774	-	11.025	53.105	4.309
1998	55.446	21.000	11.050	54.850	10.986
1999	58.252	21.000	11.074	56.652	10.986
2000	61.201	11.800	11.099	58.513	10.968
2001	64.299	12.300	11.124	60.435	10.970
2002	67.553	12.300	11.148	62.421	11.000
2003	70.973	12.300	11.173	64.472	11.000
2004	74.565	14.400	11.198	66.590	11.000
2005	78.340	-	11.223	68.778	-
2006	82.305	-	11.248	71.037	-

Fuente: Elaboración propia

Luego, se calculó la densidad bovina municipal, mediante la siguiente ecuación:

$$DB_i = R_{ij}/H_{ij} \quad \text{Ec. 3.17}$$

Donde: DB_i : Densidad Bovina del municipio i

R_{ij} : Numero de reses en el municipio i en el año j

H_{ij} : Hectáreas de pasto natural en el municipio i en el año j

j: 1996, 1997,2006

Seguidamente, se estimó el área de pasto natural en las cuencas de estudio. En el caso de la cuenca del río Tuluá, se utilizó el área de pasto natural en 1.996 y 2.006 en la cuenca (que se obtuvo siguiendo el procedimiento explicado en la sección de proyección del área sembrada en la cuenca) y se estimó el crecimiento anual en la cuenca, de esta manera:

$$HC_f = HC_i \times e^{rt} \quad \text{Ec. 3.18}$$

Donde: HC_f : Área en pasto natural en la cuenca del año que se quiere proyectar

HC_i : Área en pasto natural en la cuenca del año inicial, es decir, 1.996

t: 1, 2, 3,.....10

Con estos cálculos se obtuvieron las series de área en pasto natural en cada municipio dentro de la cuenca del río Tuluá, según se muestra en la tabla 3.6.

En el caso de la cuenca del río Amaime, se obtuvo el porcentaje promedio entre 1.998 y 2.003, del área de pasto natural en El Cerrito y Palmira dentro de la cuenca (siguiendo el procedimiento explicado en la sección de proyección de área sembrada); el cual se utilizó para obtener la extensión de esta cobertura en la cuenca, los resultados se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Áreas de pasto natural estimadas entre 1.996 y 2.006, en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime (En Hectáreas)

AÑOS	CUENCA TULUÁ				CUENCA AMAIME	
	BUGA	EL CERRITO	SAN PEDRO	TULUÁ	EL CERRITO	PALMIRA
1996	15.941	2.909	3.970	14.197	6.685	-
1997	16.748	3.616	3.979	14.663	-	3.342
1998	17.596	4.493	3.987	15.145	11.347	8.933
1999	18.487	5.584	3.996	15.642	10.409	8.367
2000	19.423	6.939	4.005	16.156	5.849	8.322
2001	20.406	8.624	4.014	16.687	6.097	8.324
2002	21.439	10.717	4.023	17.235	6.097	8.342
2003	22.524	13.318	4.032	17.802	5.548	7.745
2004	23.664	16.551	4.041	18.386	7.138	8.357
2005	24.862	20.568	4.050	18.991	-	-
2006	26.120	25.560	4.059	19.615	-	-

Fuente: Elaboración propia

Luego, para estimar la cantidad de bovinos dentro de la cuenca, se utilizan los datos obtenidos anteriormente, en la siguiente ecuación:

$$RC_{ij} = DB_{ij} \times HC_{ij} \quad \text{Ec. 3.19}$$

Donde: RC_{ij} : Reses del municipio i dentro de la cuenca
 DB_{ij} : Densidad Bovina del municipio i en el año j
 HC_{ij} : Área en pasto natural en la cuenca en el municipio i en el año j
 i : Buga, El Cerrito, San Pedro, Tuluá y Palmira
 j : 1996, 1997,.....2006

De esta forma, se obtiene el inventario bovino a nivel de cuenca. En el caso de la cuenca del río Amaime, las bases de datos de cabezas de ganado y de pasto natural a escala censal, se proyectaron hasta el 2.020 siguiendo la metodología explicada en la

sección de proyección de área sembrada; con estos cálculos, se aplicaron las ecuaciones 3.18 y 3.19, y se pudo obtener el inventario bovino anual entre 1.996 al 2.020 en la cuenca.

Luego, se procede a calcular el consumo bovino de agua en la cuenca: inicialmente se discriminan las reses por tipo de producción: ganado de ceba, lechería especializada o de doble propósito; para ello, se utilizaron los porcentajes obtenidos de la Secretaría de Agricultura y Pesca del Valle para el periodo 1.996- 2.006 (las bases de datos se presentan y se analizan en el capítulo 5).

Luego, se calculó el consumo bovino según el tipo de producción, siguiendo la metodología propuesta por Universidad del Valle-CRC (2007), empleando la siguiente ecuación:

$$DAB = \sum (V_{ij} * F_i) \quad \text{Ec. 3.20}$$

Donde: DAB_i = Demanda de agua para uso bovino
 V_{ij} = Reses por tipo de explotación en el municipio i en el año j
 F_i = Factor de consumo según tipo de explotación animal
 j = 1996, 1997, ..., 2006

El factor de consumo, se estimó según lo propuesto por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (2004) el cual considera la temperatura media de la zona (ver tabla 3.7).

Con los datos reportados por las estaciones climatológicas, se calculó que la temperatura media del aire en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime son de 19°C y 17°C, respectivamente; a partir de estos valores, se asignaron los factores de consumo al ganado por tipo de explotación. Posteriormente, se agregó el consumo por tipo de producción bovino y de cada municipio en la cuenca y se realizó la proyección al 2020 empleando un modelo de regresión robusta.

Tabla 3.7: Consumo aproximado de agua diaria en bovinos (en l/día)

Etapa de producción	Temperatura en °C						
	Rango de peso en Kg.	4.4	10	14.4	21.1	26.6	32.2
Crecimiento	182-364	19	21	25	29	33	47
Vaca lechera	600-1000	28	30	34	40	46	66
Vaca preñada	900-1000	24	26	30	35	-	-

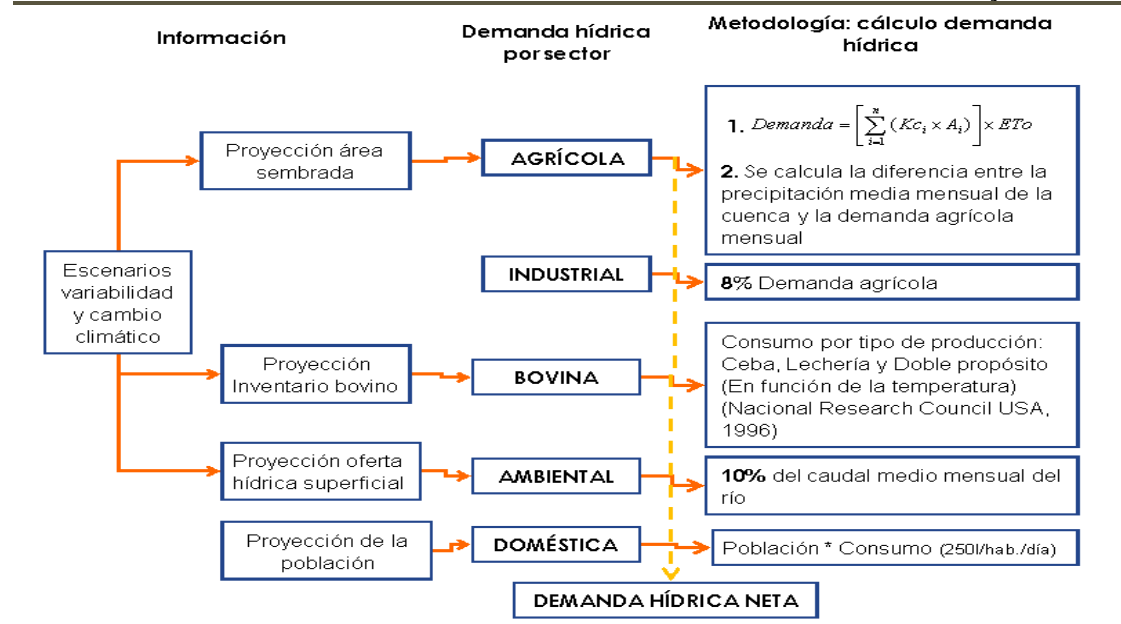
Etapa de producción	Rango de peso en Kg.	Temperatura en °C					
		4.4	10	14.4	21.1	26.6	32.2
Vaca lactando	900	43	48	55	64	68	61
Toro adulto	1400-1600	32	34	39	46	53	75

Fuente: Nacional Research Council. USA 1996 citado en (Univalle & CRC, 2007)

3.2.3. Proyección demanda hídrica en 2020

Esta etapa emplea la información obtenida de los escenarios climáticos, las proyecciones de área sembrada en la cuenca por tipo de cultivo, de población en la cuenca, y el consumo bovino para estimar la demanda de agua correspondiente a los usos: agrícola, doméstico y bovino respectivamente (ver figura 3.17). Adicionalmente, se considera la proyección de la oferta hídrica, para estimar la demanda ambiental, la cual se calcula como el 10% del caudal medio mensual.

Figura 3.17. Flujo de la información para el cálculo de la demanda hídrica proyectada al año 2020 ante el escenario de cambio climático en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime



El flujo de la información obtenida en las anteriores etapas a fin de obtener la proyección de la demanda hídrica en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá, se presentó en la figura 3.16; el procedimiento empleado para los cálculos de las

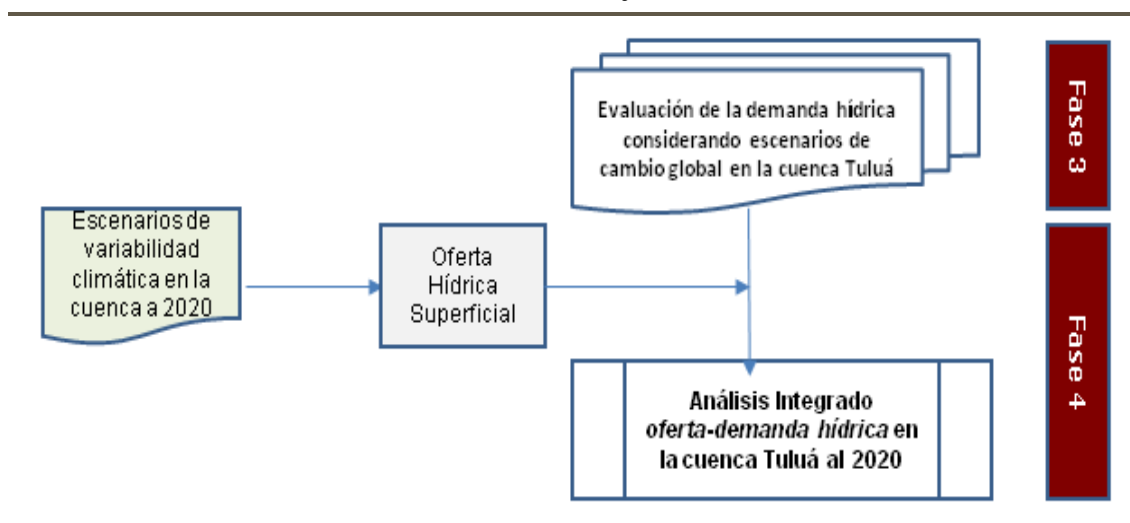
demandas se siguió según la metodología de la CVC (2002) el cual se detalla en la sección de resultados y análisis; de acuerdo a esto, cabe mencionar que los requerimientos en el sector industrial se estimaron como el 8% del uso agrícola y los ambientales se valoran como el 10% del caudal medio mensual multianual.

Con el propósito de obtener una línea base de comparación con las proyecciones al 2.020 de los factores ambientales y socioeconómicos, se realizó el cálculo de la demanda hídrica en las cuencas con los registros más actuales que se obtuvieron para cada base de datos: los registros climáticos, oferta hídrica superficial, consumo de agua bovino y área sembrada en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, se obtuvieron para el año 2.006 y la población se utilizó la estimada en el año 2.008. Este análisis se determinó como el escenario actual.

3.2.4. Balance oferta-demanda hídrica en 2020

Según lo muestra la figura 3.18, en esta fase se considera la evaluación de la demanda hídrica obtenida a partir del escenario climático y socioeconómico de las proyecciones al 2.020 que se desarrollaron preliminarmente. Estos resultados se integran al análisis de oferta hídrica a fin de obtener el balance entre la oferta y demanda de agua en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá.

Figura 3.18. Desarrollo metodológico del análisis integrado de oferta-demanda hídrica en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime al 2020



Fuente: elaboración propia

Adicionalmente, se realizó el análisis integrado oferta-demanda hídrica para el escenario actual (línea base), para relacionarlo con el escenario proyectado al 2.020, a fin de estudiar los factores ambientales y socioeconómicos que restringen la disponibilidad del agua, que son: la variabilidad y el cambio climático, así como el área sembrada, la población en la cuenca y la densidad bovina.

3.3. Análisis de cambios en la vegetación permanente asociada a la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Amaime

Este análisis tuvo como propósito, comprobar si cambios en variables obtenidas a partir de la precipitación diaria, pueden incidir con cambios en la vegetación de bosque natural en la cuenca del río Amaime. Para esto, se utilizaron imágenes de sensores remotos que constituyen una herramienta eficaz para la gestión y seguimiento de problemas ambientales, ya que permiten hacer mediciones directas e indirectas de variables necesarias para analizar ciertas realidades ambientales en un momento determinado, y para cuantificar cambios de dichas condiciones a través del tiempo.

El análisis de los cambios en la vegetación, se realizó sobre las zonas de vegetación permanente tipo bosque natural y vegetación de páramo, con el fin de eliminar causas antrópicas sobre estas alteraciones y así cumplir con el objetivo de explorar los cambios en coberturas permanentes asociadas principalmente a variaciones de la precipitación diaria, independiente de los factores antrópicos en la cuenca.

Los datos utilizados para estudiar los cambios en la vegetación permanente correspondieron al *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)*, el cual calcula la cantidad de vegetación presente en una superficie y se estima mediante la relación de la reflectancia medida en las bandas infrarrojas cercana y la banda roja del espectro electromagnético (Pompa, 2008) en imágenes de sensores remotos.

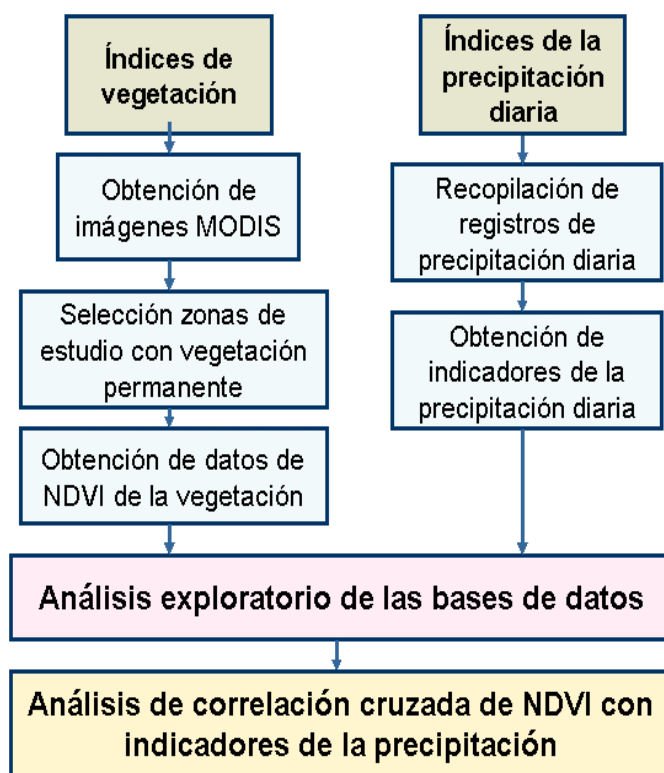
A pesar de la bondad que representa el uso del NDVI, debe aclararse que normalmente los estudios subestiman la superficie real deforestada, ya que no se incluyen la degradación ni la fragmentación, minimizando con ello el impacto humano en los bosques de montaña. Además, la imagen satelital está afectada por múltiples

factores, como la fenología de la especie, procesamiento, interpretación, condiciones ambientales, etcétera (Pompa, 2008).

Debido a las condiciones de nubosidad presentadas permanentemente en la parte alta de la cuenca del río Amaime, donde se realizó la parte de obtención y análisis de coberturas, se desarrolló una metodología para la obtención de coberturas de NDVI, necesarias para hacer la correlación estadística de la precipitación con la vegetación representada por este índice.

Este análisis comprende un proceso metodológico modelo (según se muestra en la figura 3.19), de conformación de las bases de datos de vegetación y climática, el análisis exploratorio de la mismas y finalmente la correlación cruzada de ambas. Esta metodología, se desarrolló con el objetivo que pueda ser replicada a otras cuencas donde sea necesario relacionar los cambios en la vegetación permanente con la variabilidad climática. A continuación se describe en detalle la metodología empleada.

Figura 3.19. Desarrollo metodológico para el análisis de cambios en la vegetación permanente asociados a la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Amaime



3.3.1. Obtención de imágenes de sensores remotos

Existen diversos tipos de imágenes capturados por sensores (Landsat ETM+, QuickBird, IKONOS, etc.), las cuales tienen características como cantidad y bandas espectrales que ofrecen diferentes resoluciones espacial y temporal, entre otros. El análisis de imágenes de satélite de alta resolución espacial para el caso de la cuenca del río Amaime presenta también limitaciones técnicas, ya que los productos Landsat presentan poca resolución temporal y en la mayoría de los casos con ruidos, lo que implica una pérdida de información considerable, esto debido a que el sensor del Landsat 5 con las baterías de energía y el Landsat 7 posee desperfectos.

Lo anterior, llevo a escoger los productos del sensor Moderate Resolution Imaging Spectro-Radiometer (MODIS) Terra y Aqua. Las imágenes MODIS tienen 36 bandas espectrales, la resolución espacial es de 250 m, 500 m y 1.000 m dependiendo de las bandas y se toma aproximadamente una imagen al día. Con base en las imágenes multiespectrales, se generan y ponen a la disposición del público productos temáticos dentro de los cuales destacan productos que describen los cambios de las coberturas del suelo (Zhan et al., 2000). Actualmente las imágenes MODIS juegan un papel importante en el desarrollo de sistemas de tierras, monitoreo de la deforestación, predicción en el cambio global entre otros, convirtiéndose en un gran aporte para asistir a proyectos ambientales.

Con respecto a los datos de vegetación, los Índices de Vegetación (IV) están diseñados para proveer una comparación permanente y consistente de los cambios temporales y espaciales de la vegetación al responder a la cantidad de radiación fotosintéticamente activa en determinado píxel, al contenido de clorofila, área foliar y a las características estructurales de las plantas (Barona et al., 2006).

El sistema de imágenes MODIS contiene dos tipos de IV: NDVI (normalized difference vegetation index) sensible a la clorofila y el EVI (enhanced vegetation index) enfocado a las variaciones estructurales de las plantas, como su fisonomía, tipo o área foliar. El NDVI es uno de los más usados para expresar la densidad de vegetación y para relacionar la vegetación, entre otras con la temperatura de superficie (Mas & Gutiérrez, 2003), por esta razón se utilizó el NDVI.

Inicialmente, se definió cubrir la mayor resolución temporal (frecuencia y longitud del periodo) y área de cubrimiento en la zona de estudio. Luego, se procede a la descarga

de las imágenes MODIS de un servidor FTP, se organizan y se procede a hacer un diagnóstico y tratamiento inicial de ellas, con el fin de comprobar su calidad.

Luego, se eliminan las que presentan mayores problemas de ruidos digitales o de pérdida de información de conversión. Después, se realiza el corte de la capa raster que corresponde a obtener sólo el área de estudio. Posteriormente se evalúa los problemas de nubosidad, para definir si trabajar con los datos en bruto o si hacer una clasificación supervisada para obtener los datos por cada cuerpo (vegetación, agua, suelo descubierto, etc.) según se requiera.

Siguiendo el proceso anterior, en este análisis se obtuvieron imágenes MODIS para todo el país y se hizo un corte para la cuenca del río Amaime. La ventaja de este sensor es que permitió obtener los datos de NDVI para un periodo de 5 años comprendidos entre el 2.000 al 2.004 y con una frecuencia de cada 16 días a una resolución de 500 metros cuadrados por píxel. El procesamiento de las imágenes MODIS se hizo con el software PCI 10.0.3 y los datos se organizaron con el sistema de información geográfica ArcGIS 9.1.

3.3.2. Selección del área de estudio de vegetación permanente en la cuenca

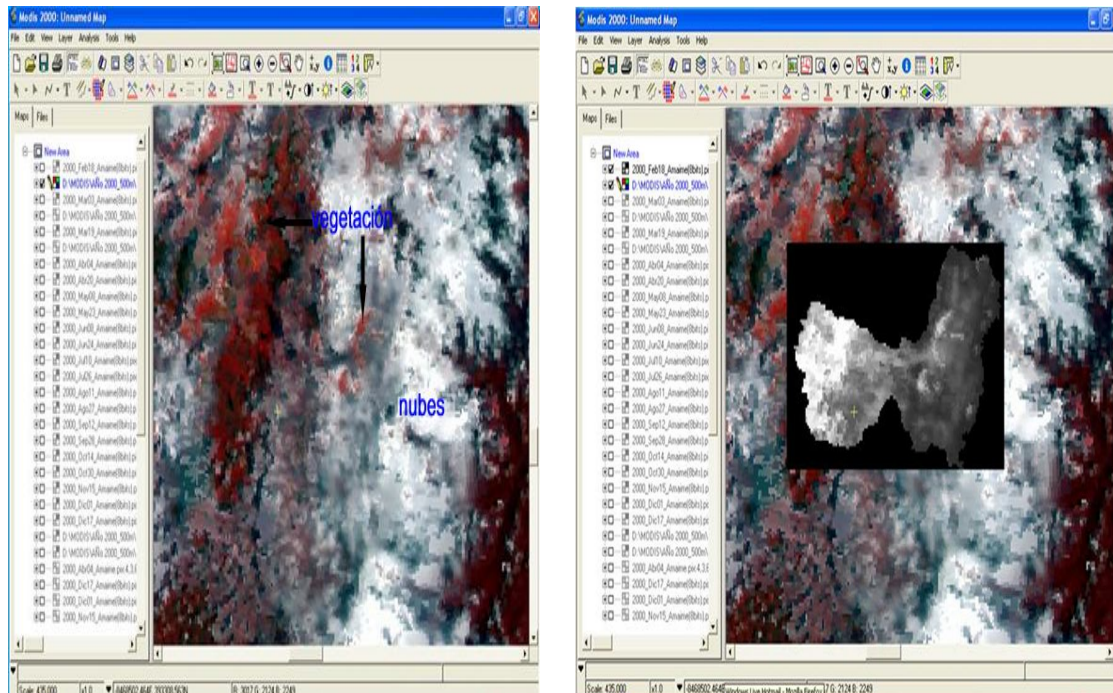
Inicialmente, se hicieron mascararas de corte de las coberturas raster de las imágenes MODIS para poder disponer solamente del área de la cuenca del río Amaime, véase figura 3.20. Luego se transformaron las imágenes de 16 bits (65536 datos) a 8 bits (255 datos) a través de la herramienta de corte y sobreposición del PCI. Los cortes de las imágenes se organizaron por las correspondientes fechas en que fueron tomadas cada imagen.

Como se explicó anteriormente, se pretenden obtener los datos de NDVI sólo de las coberturas de bosque natural y vegetación de páramo a lo largo del periodo de estudio, para ello la selección inicial de los píxeles de estudio, se realizó a partir de la identificación de las coberturas de este tipo, según la cartografía obtenida de la CVC de usos del suelo del año 2.003 (Ver sección 2.3. Aspectos generales de la cuenca del río Amaime, usos del suelo). Seguido a la identificación de las zonas con vegetación permanente, se realizaron los siguientes pasos:

- **Inspección de calidad de las imágenes**

Se realizó una valoración de la calidad de las imágenes MODIS recolectadas (2000-2004) que estuvo orientada a analizar limitaciones de nubosidad en la zona de estudio. El procedimiento consistió en realizar para cada imagen, una combinación de bandas espectrales (Infrarrojo Cercano + Rojo + Azul) que permitió estudiar los distintos cuerpos que se reflejan en el producto y así identificar visualmente si la zona presenta grandes nubosidades. La imagen que se toma del satélite MODIS permitió hacer esta combinación de bandas espectrales para mirar más notablemente ciertos cuerpos en el sensor, por ejemplo la vegetación se ve mejor en la banda infrarrojo cercano. Todo el procesamiento inicial de las imágenes se realizó con el PCI geomatics 10.0.3.

Figura 3.20. Ejemplo de la obtención y el corte de las imágenes MODIS en la cuenca del río Amaime



Paso 1: Obtención Imagen MODIS con combinación (NIR + Red + Blue) del 18 de febrero del 2000.

Paso 2: Corte de imagen MODIS de la cuenca Amaime con la banda NDVI sobrepuesta a la imagen MODIS con combinación (NIR + Red + Blue) del 18 de febrero del 2000.

Analizadas todas las imágenes, se concluyó que el año 2.000 estuvo demasiado afectado por las condiciones de nubosidad por lo que se decidió excluirlo. Según se lo muestra la figura 3.20 para el caso del 18 de febrero del 2.000 aplicando la combinación de bandas antes mencionada, las coberturas rojas indican coberturas vegetales, lo blanco son nubes y lo verde son áreas construidas; luego la imagen de correspondiente a la cuenca del río Amaime muestra el raster del NDVI (donde el color blanco indica mayor NDVI y el color negro significa menor NDVI).

3.3.3. Obtención de datos de NDVI considerando coberturas de vegetación permanentes

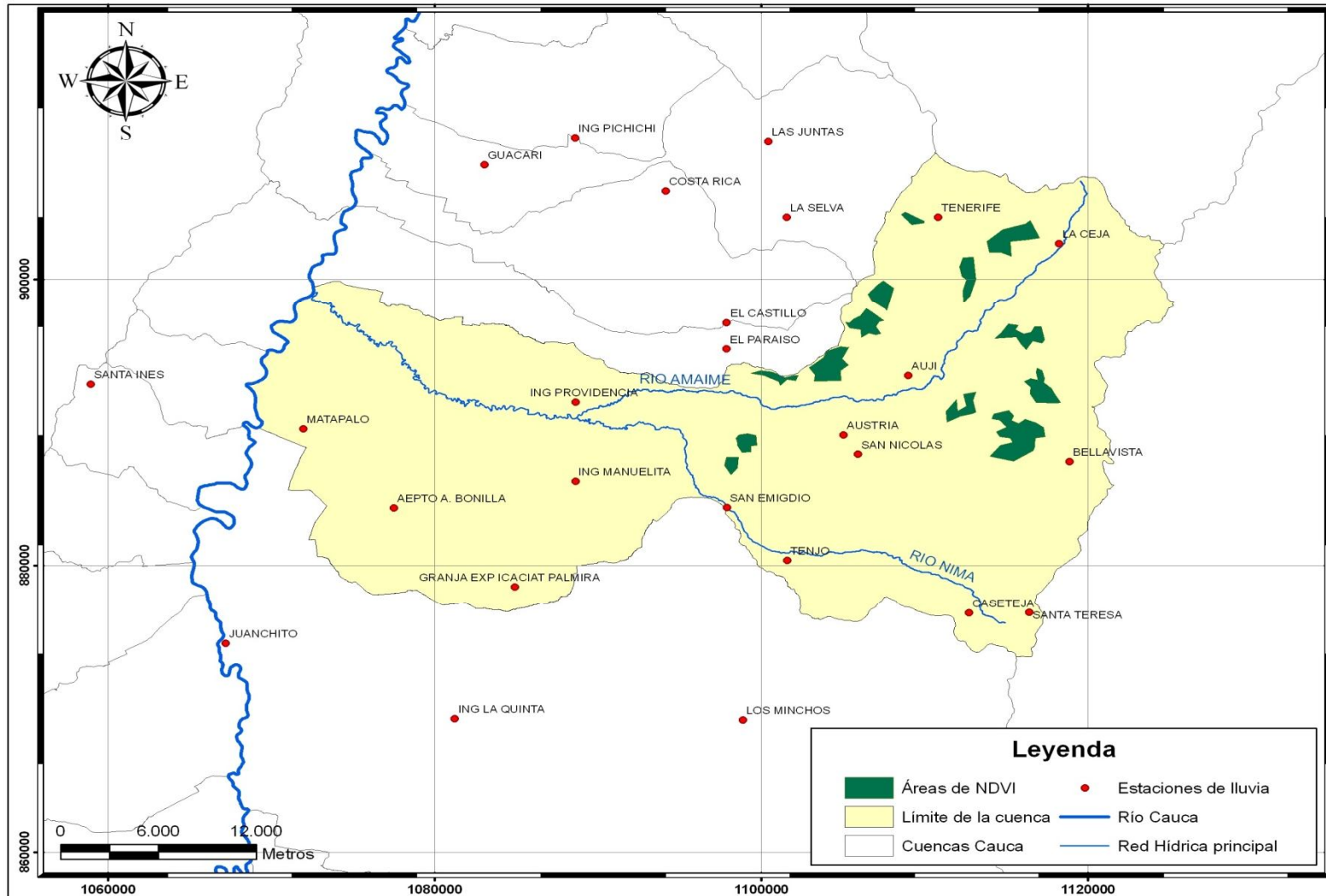
De acuerdo a lo anterior, se identificaron 13 zonas de uso del suelo bosque natural con menor afectación de nubosidad para las cuales se obtuvo los valores NDVI (ver figura 3.21); luego, de estas áreas se hizo una capa o shape de puntos que permitió obtener los datos de NDVI georeferenciados a través de la función *Statistical overlay* (sobreposición estadística) del software ArcGis 9.1.

Adicionalmente, se elaboró un proceso de geocodificación para cada píxel que corresponde a una combinación de 6 cifras: los primeros dos dígitos representan tipo de cobertura donde 01 es bosque natural y 02 la vegetación de páramo; los siguientes dos dígitos indican el código entre 01 a 13 designado para cada una de las 13 zonas de estudio que se muestran en la figura 3.19. Por último, los dos últimos dígitos representan el número para cada píxel por área (el anexo 7 presenta la localización de cada píxel de estudio). En total se obtuvo 153 píxeles de estudio que representan un área de 76.500 m².

- **Filtro de datos de NDVI correspondientes a vegetación**

La base de datos de NDVI mostró la existencia de valores que además de vegetación, indicaban también nubosidad y sombra. Por lo tanto, se desarrolló un procedimiento mediante el cual se determinaron los rangos de NDVI correspondientes a vegetación, nubosidad y sombra, respectivamente, así:

Figura 3.21. Localización de las zonas de NDVI georeferenciados en la cobertura de bosque natural y estaciones de lluvia de estudio en la cuenca del río Amaime

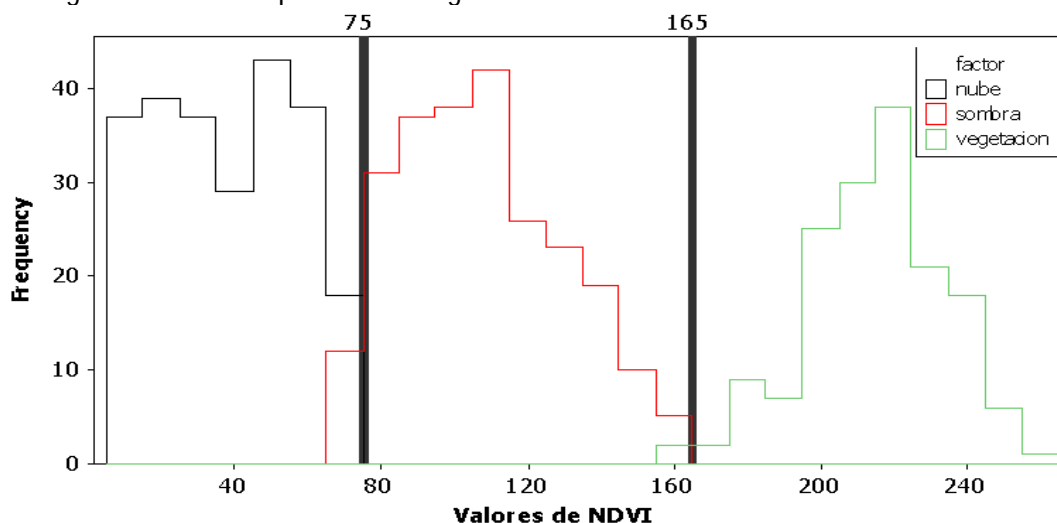


Fuente: CVC – Grupo de Sistemas de Información Ambiental

Inicialmente, se realizó un muestreo de conglomerados donde los datos de cada cuerpo lo que indica (1) *vegetación de bosque natural*, (2) *sombra de nube* o (3) *vegetación influenciada por sombras y nubes*; se obtuvieron de unas áreas identificadas visualmente con una combinación de bandas (NIR + Red + Blue) y después con una clasificación supervisada. De acuerdo a esto, se obtuvieron 10 datos de cada cuerpo para 24 fechas diferentes.

Luego, se implementó el análisis clúster (esta técnica se describe en la sección 3.1.3 de análisis exploratorio de datos) para la identificación de los rangos correspondiente a las zonas de (1) *vegetación de bosque natural*, (2) *sombra de nube* o (3) *vegetación influenciada por sombras y nubes*; según se muestra en la figura 3.22. Luego, a partir de esta clasificación, se determinó que los valores menores a 75 en el NDVI, correspondían a la medición de nube; luego, entre 75 a 165, pertenecen al cubrimiento de sombra y la vegetación corresponde a los NDVI mayores a 165; por lo tanto, para el propósito de este estudio, en analizar los cambios en la vegetación de bosque natural, se consideraron sólo los valores de NDVI mayores a 165.

Figura 3.22. Histograma de valores de NDVI clasificados por rangos de nube, sombra y vegetación del bosque natural según análisis cluster en la cuenca del río Amaime



Posteriormente, dado que el NDVI presenta una escala de valoración adimensional, para la evaluación de los cambios en la vegetación este caso de estudio, se determinó el rango intercuartil con los registros que pertenecen al análisis vegetación, los cuales son los valores mayores a 165, la clasificación obtenida, se muestra continuación en la tabla 3.8:

Tabla 3.8. Rangos de evaluación del NDVI en el estudio

NDVI	Descripción
< 75	Efecto de nube
75 - 165	Efecto de sombra
165- 197	Vegetación de bosque natural con presiones por estrés hídrico, susceptible a deforestación
197- 205	Vegetación de bosque natural con moderado nivel de conservación y desarrollo
>205	Vegetación de bosque natural en estado de alta conservación y desarrollo

3.3.4. Construcción de la base de datos de precipitación diaria

Se realizó la recopilación y conformación de la base de datos de precipitación diaria, para lo cual se utilizaron como fuentes de información como la CVC, el CIAT, Corpoica e IDEAM. Se seleccionó la precipitación dado que es la variable climática que se utiliza con mayor frecuencia para estudios del clima y es de la cual existía mayor información disponible en la cuenca del río Amaime. La frecuencia temporal diaria, fue seleccionada con el fin de obtener variables de la precipitación que se ajusten a la periodicidad de los NDVI la cual es de cada 16 días. De acuerdo a esto, se obtuvieron los datos de 28 estaciones pluviométricas con influencia en la cuenca del río Amaime y en las cuencas vecinas que pueden tener influencia sobre la zona de estudio, según se muestra su localización en la figura 3.21 y el anexo 3 presenta los estadísticos descriptivos de la precipitación diaria en cada estación.

- **Selección de índices de la precipitación diaria**

La selección de las variables de estudio a partir de la precipitación, se realizó siguiendo una revisión bibliográfica de estudios preliminares de incidencia de la precipitación en factores ambientales, entre los que se citan a: Castillo et al. (1998); Aburrea et al. (2004); Pascual et al. (2001); De Luis, *et al* (2001); Burns et al. (2007); Beaugrand (2008); Prato (2008), entre otros. De ahí, se obtuvieron los siguientes indicadores de frecuencia e intensidad pluviométrica:

- (i) Número de días en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95 (este índice identifica las lluvias torrenciales o eventos extremos de precipitación; los valores del percentil 95 se obtuvieron para los periodos interanual húmedos y secos).
- (ii) Total de lluvia en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95 (cuantifica la concentración de la lluvia durante los eventos extremos de precipitación. Se obtuvieron dos valores de P95, según los meses de húmedos y secos).
- (iii) Concentración porcentual de la precipitación: precipitación mensual/ total anual (es un indicador de agresividad climática, con mayor concentración porcentual indica lluvias torrenciales)
- (iv) Promedio mensual
- (v) Precipitación total mensual
- (vi) Máximo Número de días consecutivos con lluvia mensual
- (vii) Máximo Número de días consecutivos sin lluvia mensual

3.3.5. Análisis exploratorio a los índices de vegetación y pluviométricos

Después de tener construidas las bases de datos de los índices de vegetación y las variables pluviométricas, se procedió a realizar el análisis exploratorio (los conceptos de este análisis se explicaron en la sección 3.1.3 de análisis exploratorio de datos). Inicialmente, se realizó el completado de datos faltantes siguiendo el procedimiento que se explica a continuación:

- Se completo con el valor promedio de la precipitación diaria y del NDVI para la misma fecha; luego cuando la serie no tenía estos registros entre los años 2000-2004, entonces se realizó lo siguiente:
- Se conformaron grupos homogéneos en cada base de datos de NDVI por zonas de estudio y de las estaciones pluviométricas, respectivamente; para esto, se empleó el análisis clúster (el cual se explicó en la sección 3.1.3)
- En cada grupo homogéneo se imputó el valor promedio para la misma fecha de la precipitación diaria y del índice de vegetación respectivamente.

- Hubo casos donde para la misma fecha dentro de las series del grupo homogéneo no se tenían registros de precipitación y de NDVI respectivamente, entonces se procedió a utilizar la técnica de los K-vecinos más cercanos (Fix & Hodges, 1977), el cual es un método de clasificación no paramétrico, que estima el valor de la función de densidad de probabilidad $F(x / C_j)$ o directamente la probabilidad a posteriori de que un elemento x pertenezca a la clase C_j a partir de la información proporcionada por el conjunto de prototipos.

En el proceso de aprendizaje no se hace ninguna suposición acerca de la distribución de las variables predictoras. En el reconocimiento de patrones, se usó como método de clasificación de elementos (las series de precipitación) basado en un entrenamiento mediante ejemplos cercanos en el espacio de las series. Luego, según los elementos clasificados, se completan los datos faltantes, relacionando los valores ausentes con las series que tienen los datos completos.

Posteriormente, para el entendimiento básico de las base de datos, se estimaron estadísticos descriptivos y se realizaron gráficos de diagramas de caja e histogramas de frecuencias (estas pruebas se explicaron en la sección 3.1.3).

3.3.6. Análisis de correlación cruzada entre índices de vegetación y pluviométricos

El propósito de este análisis, fue establecer relaciones de los 7 índices de precipitación con los valores de NDVI obtenidos para las 13 zonas de bosque natural de las cuales se logró obtener esta información. A modo de resumir información, se realizó el análisis clúster, empleando el método de Ward con la distancia euclidiana, por medio del cual se obtuvieron dos grupos de precipitación de los cuales se determinaron los 7 índices mencionados anteriormente.

El siguiente paso, fue establecer si las series de los índices de precipitación se encontraban cointegradas con las series de vegetación de NDVI, sin embargo, se empleó el test de Dickey-Fuller (1979) el cual es la prueba estándar para analizar estacionariedad, a través de la existencia de raíces unitarias (r) en un proceso autoregresivo de primer orden (AR(1)), supone entonces la hipótesis nula que ($r=1$) la serie contiene una raíz unitaria y por lo tanto la variable no es estacionaria. Luego, por este medio, se probó que las variables de estudio son estacionarias. Seguidamente, de acuerdo con Asteriou (2002), se sugiere emplear métodos convencionales tales como

la regresión lineal, la cual se empleó con los 7 índices como variables explicativas con respecto a cada una de las series de NDVI. Este método se utiliza con el propósito de establecer correlaciones lineales entre la variable dependiente "y" de "x", mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r), el cual se calcula como la relación entre la covarianza (numerador) y la varianza (denominador), así:

$$r = \frac{\text{Cov}(x, y)}{S_x S_y} \quad \text{Ec. 3.21}$$

Dado que los resultados no fueron concluyentes para determinar las relaciones que se esperaban encontrar se hizo uso de la prueba extendida de causalidad de Granger (Muñoz & Vindas, 1995) cuya idea principal consiste en medir el poder predictivo de una variable "X" a una variable "Y" pero en términos de sus rezagos, es decir, si los valores presentes de "Y" se pueden predecir mejor con los valores rezagados de "X". En esta prueba se plantea el siguiente contraste de hipótesis (dado un rezago determinado): Nula: "X" no Causa a "Y" vs. Alternativa: "X" causa a "Y". Por lo tanto, en primera instancia mediante pruebas aleatorias se definió el rezago óptimo el cual corresponde a 3 meses teniendo en cuenta que se desea predecir el NDVI con respecto a cada uno de los índices. Luego, se empleó el test de Granger para todos los casos de estudio y se definió en cuál de ellos existía causalidad, es decir relación del índice de precipitación en los NDVI.

Capítulo 4. ANÁLISIS DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO CAUCA

Este análisis tuvo como objetivo estudiar cambios en los valores promedios de la precipitación y la temperatura media del aire (a escala mensual, entre 1.975 y 2.006) que pueden asociarse a la variabilidad y al cambio climático en la cuenca del río Cauca; los cuales fueron la base para la selección de las cuencas que fueron las de los ríos Tuluá y Amaime, en las cuales se definieron los escenarios climáticos de precipitación mensual, temperatura media del aire y evaporación, a fin de realizar posteriormente los análisis de efectos del clima y su incidencia en la disponibilidad hídrica.

Conforme al desarrollo metodológico empleado, los resultados del análisis de tendencias climáticas, se presentan en tres secciones: (i) Descripción de las series climáticas, el cual corresponde a los resultados del análisis exploratorio espacial y temporal en la cuenca, (ii) tendencias en la series precipitación, temperatura del aire y días lluvia a escalas mensual-multianual entre los años 1.975 y 2.006, (iii) se muestran los resultados de las tendencias a escala trimestral siguiendo el régimen hidrológico bimodal típico de la región y (iv) escenarios climáticos actual y su proyección al 2.020 en las cuencas de los ríos Amaime y Tuluá. Cada sección se describe a continuación.

4.1 Descripción de las series climáticas entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca

Los resultados del análisis exploratorio de datos que se presentan a continuación, se obtuvieron para las variables climáticas que fueron: precipitación mensual, días de lluvia por mes y temperatura media del aire. La tabla 4.1, muestra los estadísticos descriptivos de las series climáticas, se observa en general alta consistencia en los datos de lluvia dado que presentaron datos faltantes equivalentes el 2,5% y 3,1% en la serie de precipitación y de días lluvia respectivamente, en contraste las series de

temperatura media del aire que fue del 10.3% de datos faltantes. Adicionalmente, se observa alta dispersión en la precipitación de la cuenca del río Cauca dado que presentó un valor promedio mensual de 280,6 mm y una desviación estándar de 226,4 mm. El anexo 3, presenta la base de datos de las estaciones con los resultados del análisis exploratorio.

Tabla 4.1. Descripción de la base de datos de series climáticas entre los años 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca

Descripción	Serie Mensual-Multianual. Periodo: 1975-2006		
	Precipitación Mensual	Temperatura Media del Aire Mensual	Días de Lluvia Mensual
No. Estaciones de estudio	108	24	71
Datos Faltantes	1.066 2,57%	978 10,30%	867 3,18%
Datos Atípicos	228	223	246
Valor Promedio	280,67 mm	22°C	11
Desviación Estándar	226,44 mm	4,1°C	6

4.1.1 La precipitación media anual y estacional

El análisis exploratorio espacial de la serie de precipitación media mensual entre 1975 y 2006, permitió establecer que esta variable junto con las topográficas, no presentan normalidad en los datos; según lo muestra la figura 4.1 se utilizó el histograma de la precipitación media total anual como ejemplo para analizar la normalidad en la serie, luego, se observa que valores de coeficiente de asimetría son iguales a cero para una distribución normal y que la Kurtosis para una distribución normal estándar es de 3, de ahí que ambos valores fueron 1,15 y 4,3 respectivamente; por tanto se infiere sobre un comportamiento no normal en la serie de precipitación. Por esto, con el propósito de normalizar los datos, se procedió a aplicar en las series la transformación logarítmica para el proceso de interpolación.

De la figura 4.1 se observa que el valor promedio de la precipitación total anual en la cuenca es de 1.607,0 mm y la mayoría de los valores (con una frecuencia del 28%) están en el rango entre 1.364,5 mm y 160,6 mm; adicionalmente se identifica la alta variabilidad de las lluvias en la zona con valores desde 905 mm hasta 3.273 mm.

Luego, se procedió a analizar las gráficas para el análisis de tendencias de distribución espacial de la precipitación en la cuenca; según se muestra la figura 4.2 se identifica que la precipitación está representada por una función cuadrática y que aumenta en dirección norte-sur hacia el departamento del Cauca en la parte alta-alta de la cuenca, adicionalmente, en la parte central sobre el valle geográfico del río Cauca se observan los menores valores de las lluvias.

Figura 4.1. Histograma de frecuencia de la precipitación anual promedio entre 1.975 y 2.006 en la cuenca del río Cauca

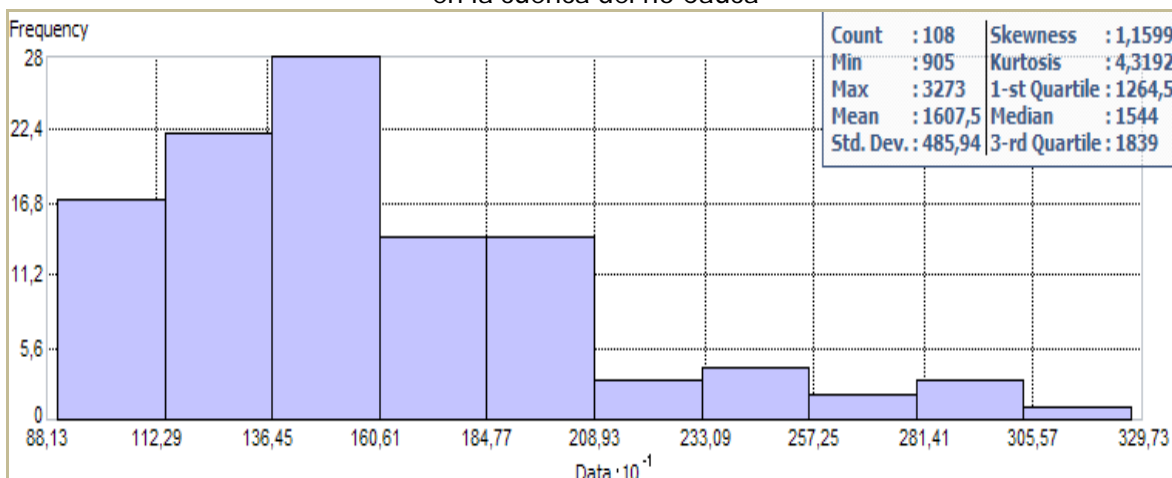
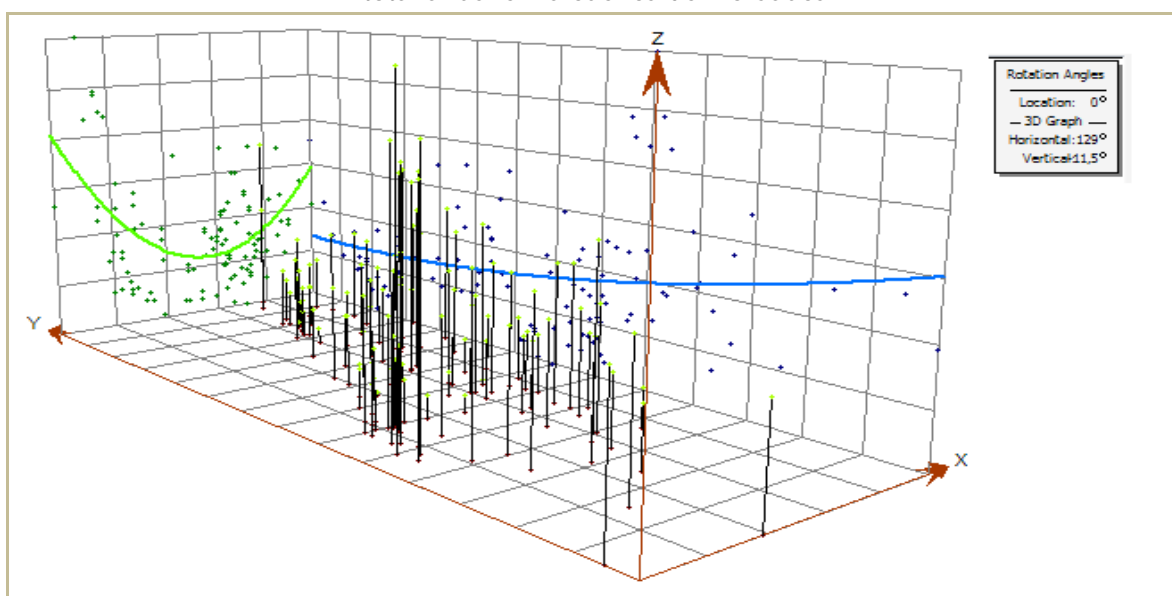


Figura 4.2. Gráfico para el análisis de tendencia de la distribución espacial de la precipitación total anual en la cuenca del río Cauca



El comportamiento espacial de la precipitación según se muestra en la figura 4.2, coloca en evidencia la relación de la precipitación con la altura, lo cual representa el carácter predominante convectivo de las lluvias tropicales (Hastenrath, 1991), explicando que las zonas bajas reciben menos lluvia porque se benefician menos del ascenso orográfico y porque están afectadas por evaporación de la lluvia que cae desde la base de las nubes. Por encima del óptimo pluviográfico, la disminución de la humedad del aire con la altura a escala global y de la cantidad de agua precipitable en las nubes convectivas a escala local son los dos factores que explica la disminución de la precipitación con la altura a las montañas más altas (Vélez et al., 2000); esto último justifica que en la cordillera occidental se presenten mayores lluvias (según se observa hacia el lado izquierdo en la figura 4.2) aunque la altitud promedio sea mayor en la cordillera central.

Posteriormente, se realizó la aplicación de técnicas de geoestadística para la espacialización de la precipitación anual y estacional; este último, según el régimen hidrológico bimodal típico de la región el cual se caracteriza porque en Diciembre-Enero-Febrero (DEF) y en Junio-Julio-Agosto (JJA) son trimestres de menor pluviosidad y lo contrario sucede en Marzo-Abril-Mayo (MAM) y en Septiembre-Octubre-Noviembre (SON) siendo estos periodos de alta pluviosidad intranual. Los métodos de interpolación utilizados fueron: Inverso de la Distancia Ponderada (IDP), Kriging Ordinario (KO), Kriging Esférico (KS), Kriging Universal (KU), Cokriging Ordinario (CKO), Cokriging Universal (CKU); de los cuales se eligió el mejor método empleando la técnica de validación cruzada que consideró el error medio, el error medio cuadrático y el error medio cuadrático estandarizado. De acuerdo a la evaluación de estos parámetros en cada interpolación (ver anexo 8), la figura 4.3 presenta la comparación de los métodos seleccionados con mayor y menor ajuste en la distribución espacial de la precipitación.

Según la validación cruzada de las interpolaciones (los estadísticos se presentan en el anexo 8), en la cuenca del río Cauca la precipitación se distribuye mejor empleando el método de CKU utilizando como variable secundaria a la altitud; lo contrario sucede con el KS y el CKO con orientación de ladera (como variable secundaria) que expresaron mayores errores en la validación; sin embargo, se reconoce que en este último método (CKO-ORI) hay mejoras significativas en los estadísticos, mostrando la relevancia de la inclusión del valor estimado por regresión como una variable secundaria. Adicionalmente, se observó que el IDP no arroja suficientes indicadores estadísticos para compararse de manera significativa con los demás métodos.

Según lo muestra la figura 4.3 a 4.7, se observa similitud en la distribución espacial de la precipitación representada por los dos métodos contrastes (mejor y peor) según la validación cruzada. Sólo se detallan diferencias hacia el sur, en la parte alta-alta de la cuenca, lo cual puede asociarse a la baja presencia de estaciones pluviométricas (ver figura 3.3) y el relieve abrupto (ver figura 2.1) en esta zona.

La figura 4.3 muestra que la precipitación anual es menor en hacia el valle geográfico del río Cauca y los mayores valores se observan hacia el sur en la cordillera occidental y en la parte alta-alta de la cuenca, este comportamiento coincide con los resultados presentados en la figura 4.2. En la escala estacional, se observa que el trimestre JJA presenta la menor pluviosidad intranual y lo contrario sucede en MAM como periodo de mayor precipitación. El ciclo anual de la hidroclimatología colombiana está dominado entre otros, por la migración de la Zona de Convergencia Intertropical lo cual justifica las dos temporadas secas y húmedas respectivamente, como resultado de su doble paso sobre el centro de Colombia (Mesa et al., 1997). Adicionalmente, la corriente de chorro del occidente de Colombia o chorro del Chocó (Poveda, 2002), transporta grandes cantidades de humedad desde el océano Pacífico hacia el interior del País e interactúa con la topografía de los Andes occidentales y con los vientos alisios del este para favorecer la convección profunda y contribuye en gran medida a la precipitación sobre el occidente del País (Poveda, 2004).

Figura 4.3. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca - I

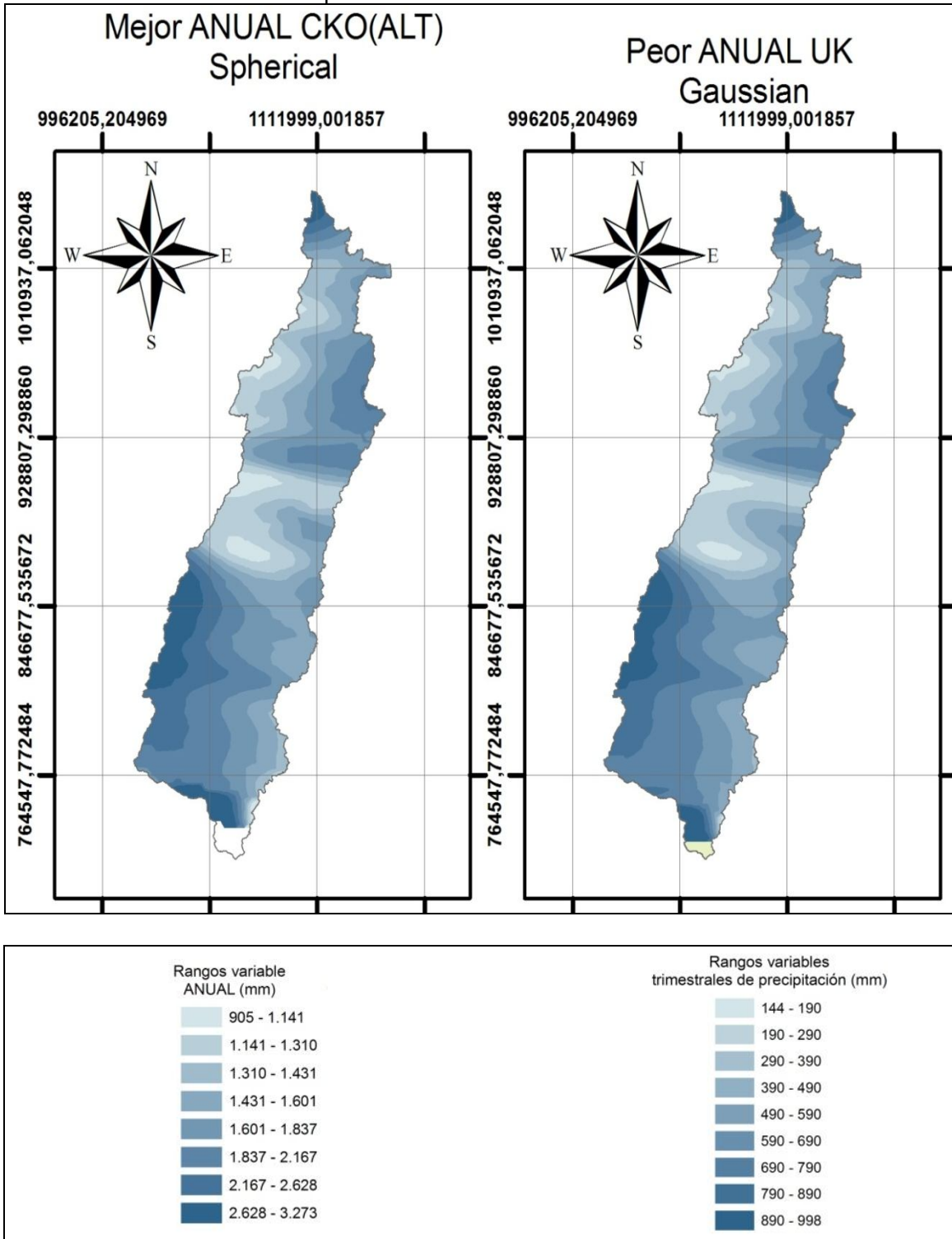


Figura 4.4. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando con dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca - II

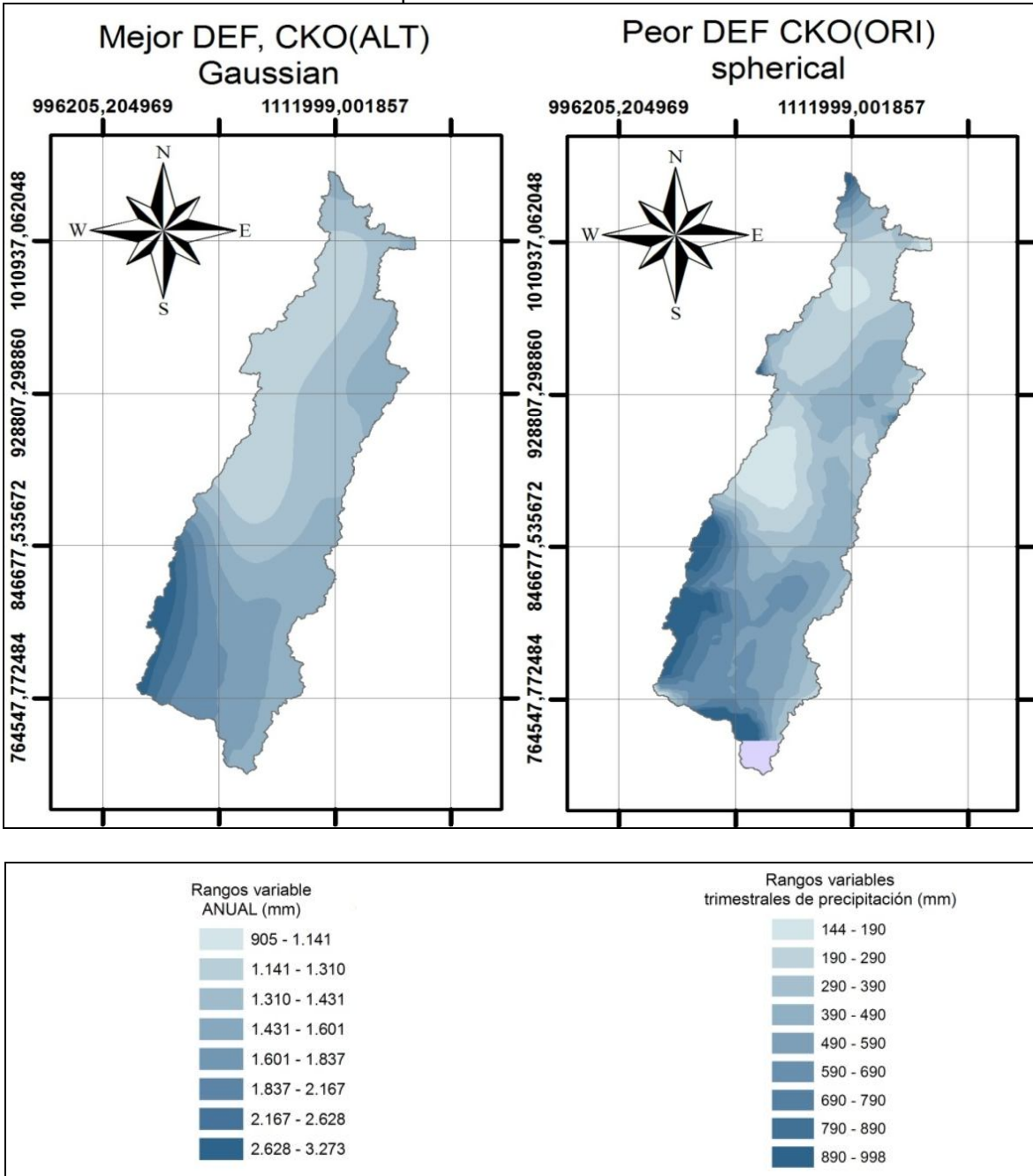
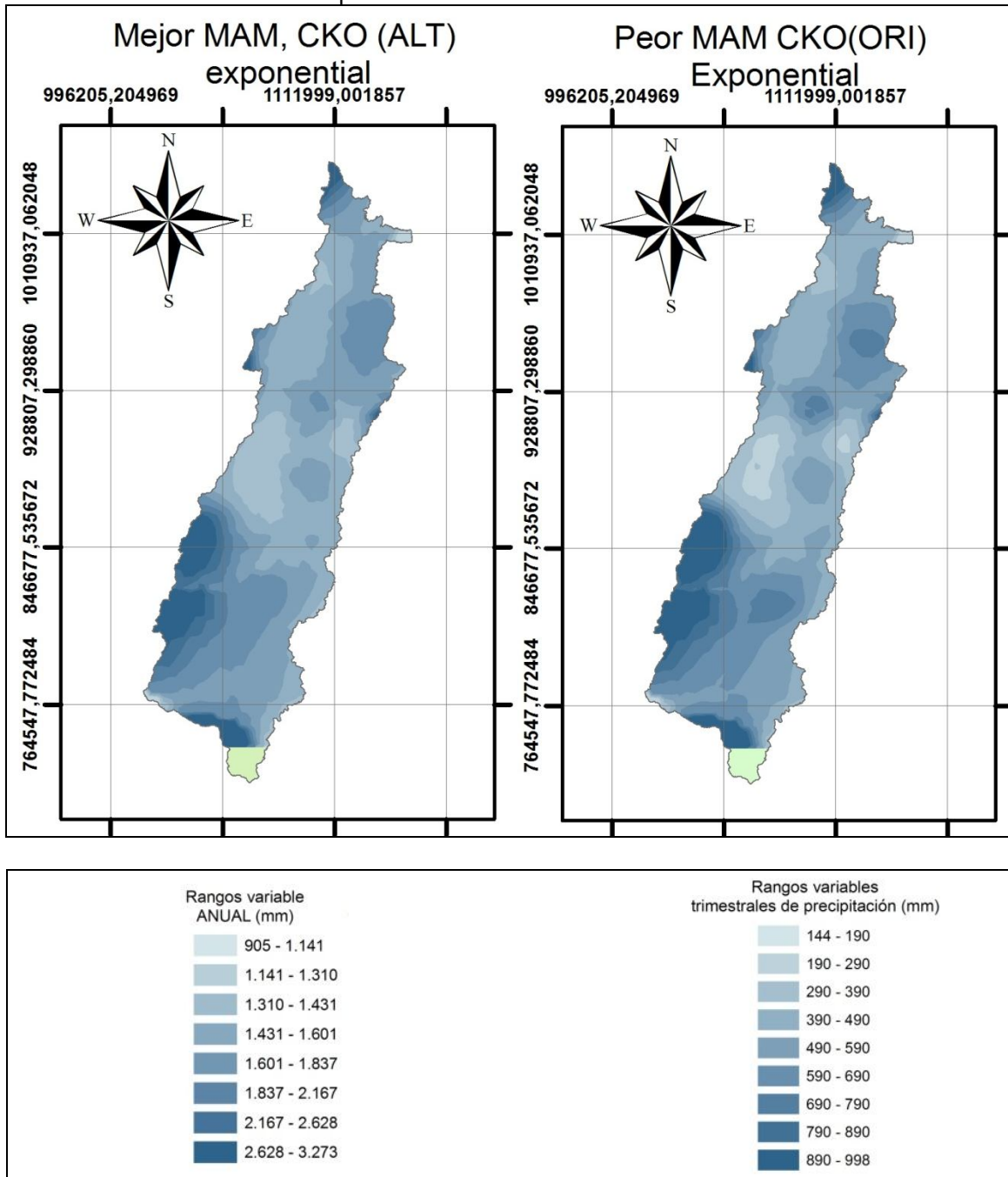
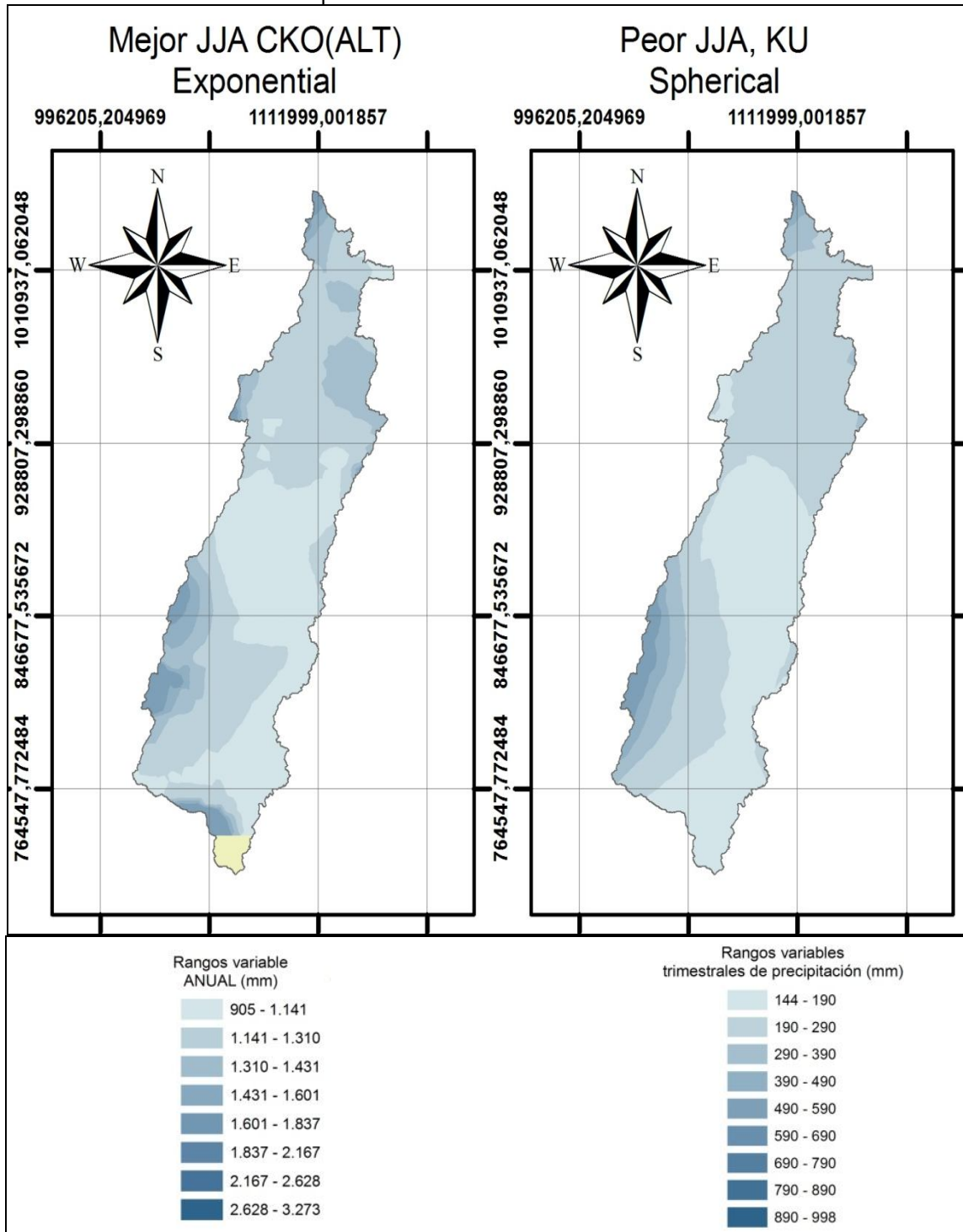


Figura 4.5. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando con dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca - III



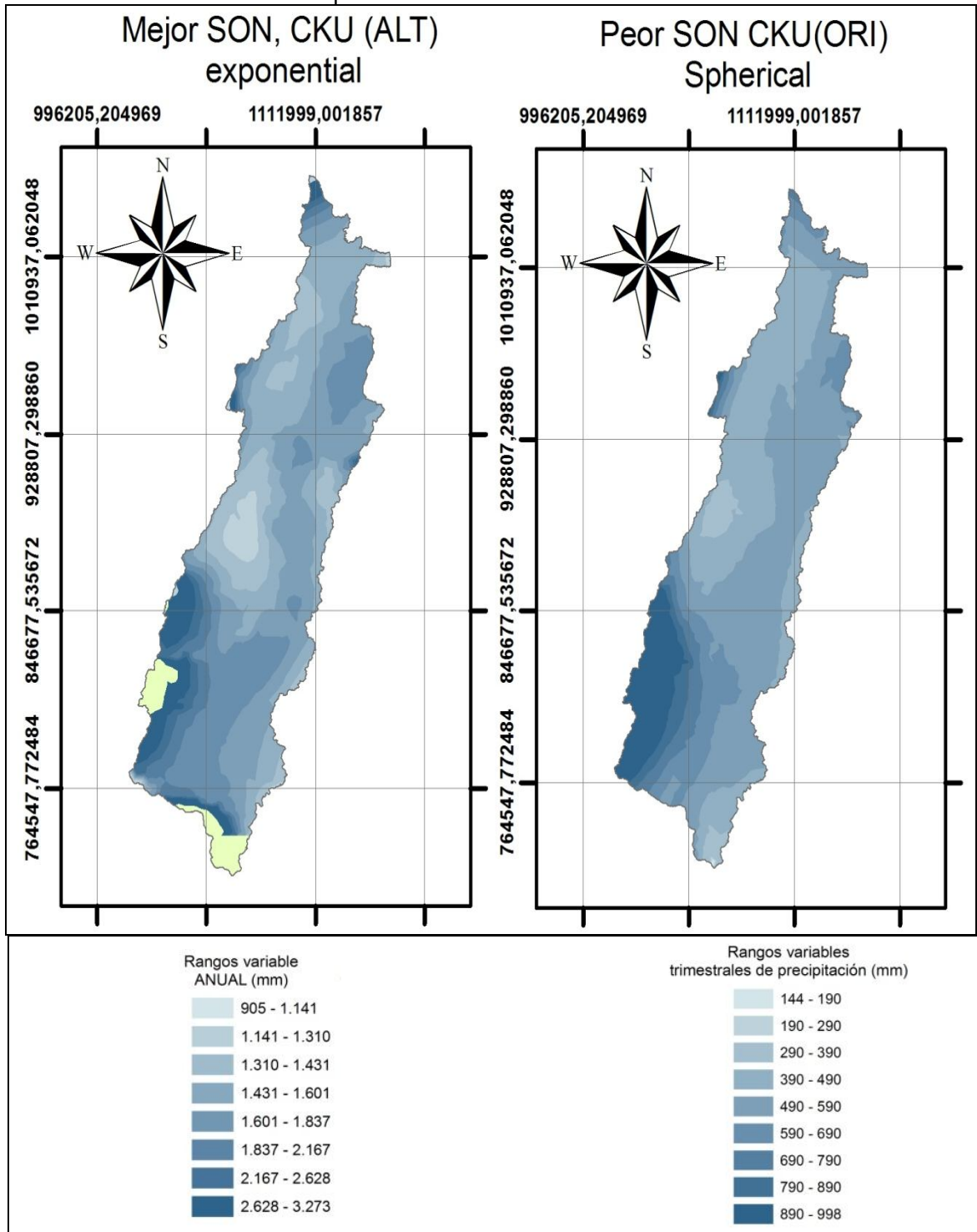
Donde MAM indica el periodo comprendido entre marzo, abril y mayo.

Figura 4.6. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando con dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca - IV



Donde JJA indica el periodo comprendido entre junio, julio y agosto

Figura 4.7. Distribución espacial de la precipitación anual y estacional, comparando con dos métodos de interpolación utilizados en la cuenca del río Cauca - V

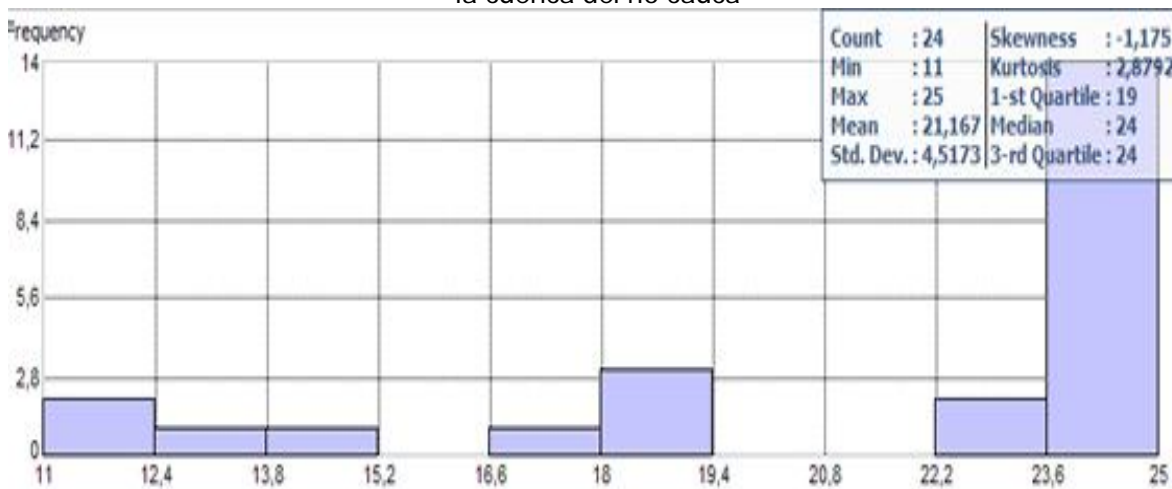


Donde SON indica el periodo comprendido entre septiembre, octubre y noviembre

4.1.2 Temperatura media del aire

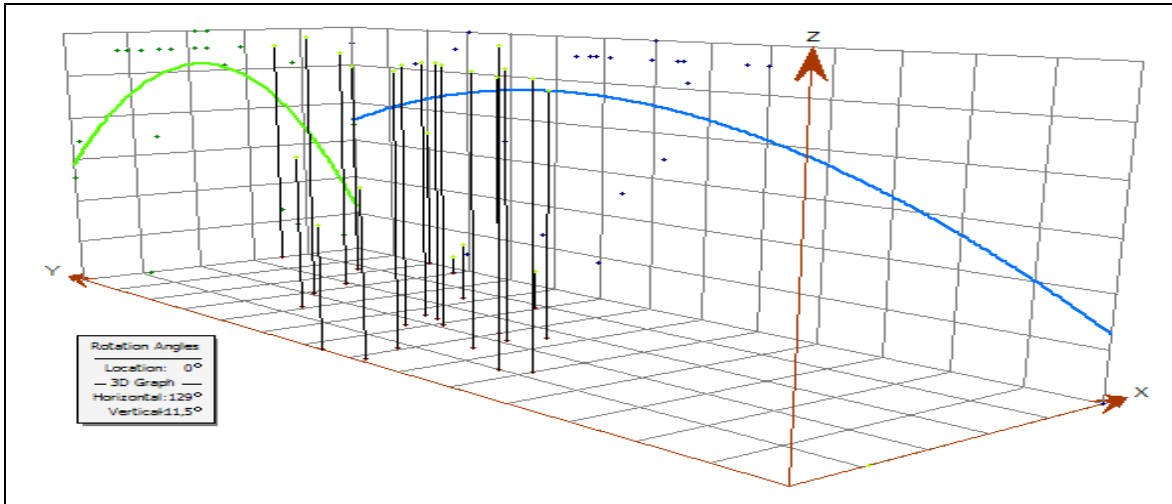
La figura 4.8 presenta el histograma de frecuencias de la temperatura media del aire en la cuenca del río Cauca, se observa que la serie no se distribuye normalmente, adicionalmente, el valor promedio es 21,1°C y la mayor cantidad de valores con frecuencia de 14% registran entre 23,6°C y 25,0°C.

Figura 4.8. Histograma de frecuencias de la temperatura media del aire entre 1975 y 2006 en la cuenca del río cauca



Posteriormente, se analizó la distribución de la tendencia de la temperatura del aire, según se observa en la figura 4.9, donde se analiza una relación cuadrática (de segundo orden) e inversa con la altura en la cuenca; por tanto, los mayores valores de temperatura se obtuvieron sobre el valle geográfico del río Cauca y disminuyen hacia las partes altas en la cuenca por las cordilleras occidental y central de los Andes colombianos, y en el Macizo colombiano sobre el nacimiento del río Cauca. En general, el régimen de la temperatura del aire en el país está determinado por su situación geográfica en el mundo y las particularidades fisiográficas del territorio; en la región andina, se presentan pisos térmicos en promedio por cada 100 m.s.n.m. disminuye la temperatura 0,63 °C (IDEAM, 2001).

Figura 4.9. Gráfico para el análisis de tendencia de la distribución espacial de la temperatura media del aire en la cuenca del río Cauca



El comportamiento descrito anteriormente, también se muestra en la figura 4.10 que presenta la distribución espacial de la temperatura a escalas mensual y trimestral en la cuenca, la cual fue determinada utilizando como técnica de interpolación el CKO, con altura como variable secundaria para todos los casos.

En la figura 4.10 a 4.12, se observa que en la cuenca del río Cauca, la temperatura a diferencia de la precipitación, tiende a comportarse bajo un régimen monomodal con un periodo de aumento de la temperatura entre MAM y JJA, seguido por un descenso entre SON y DEF. También se nota que en JJA se presentan los mayores valores de temperatura intranuales. Sin embargo, la limitada presencia y distribución homogénea de estaciones climatológicas, así como las consideraciones de relieve en la cuenca; restringen la interpretación de los resultados y la definición de un patrón determinado de la temperatura en la cuenca.

Figura 4.10. Distribución espacial de la temperatura media del aire intranual y mensual en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 - I

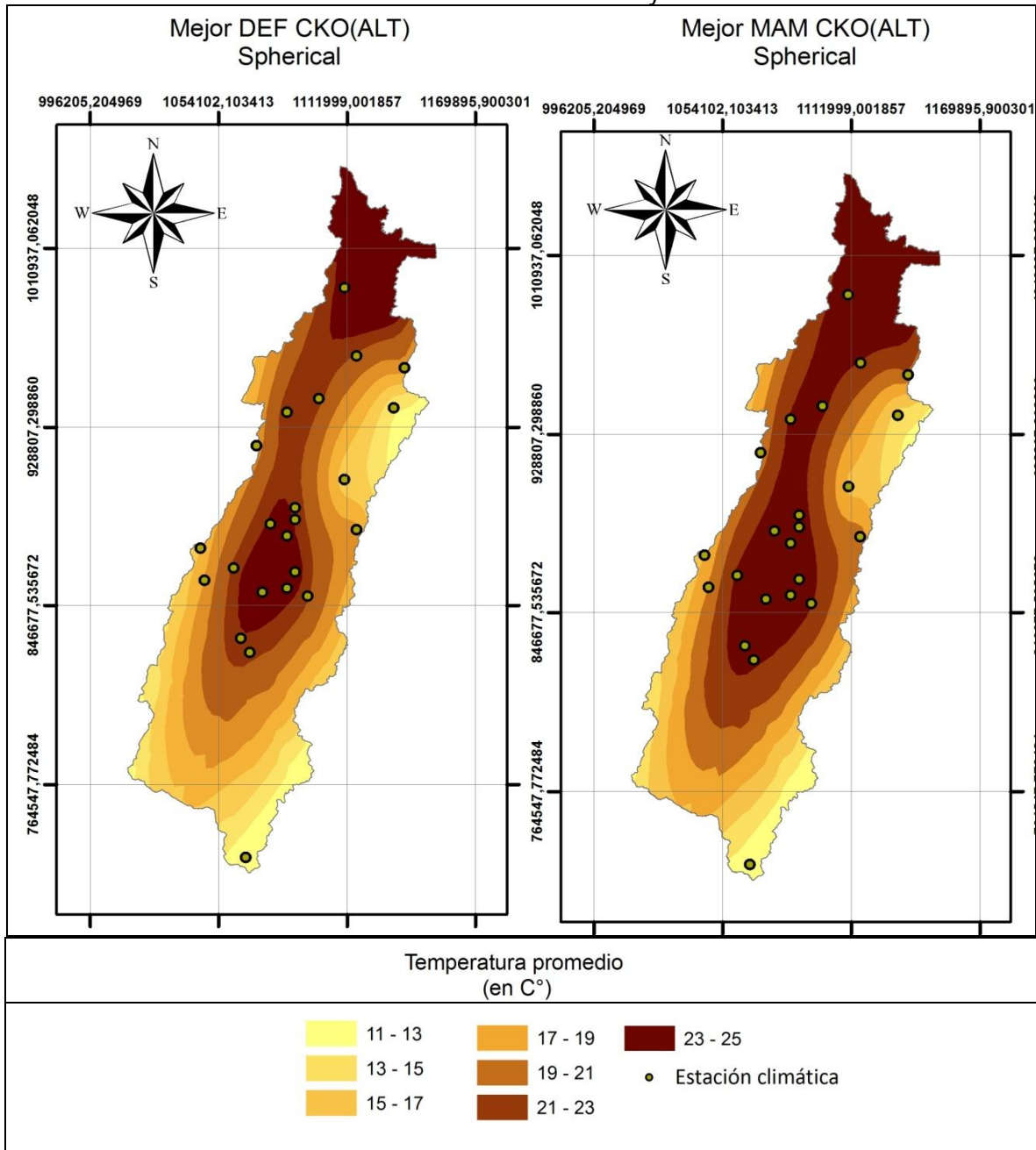
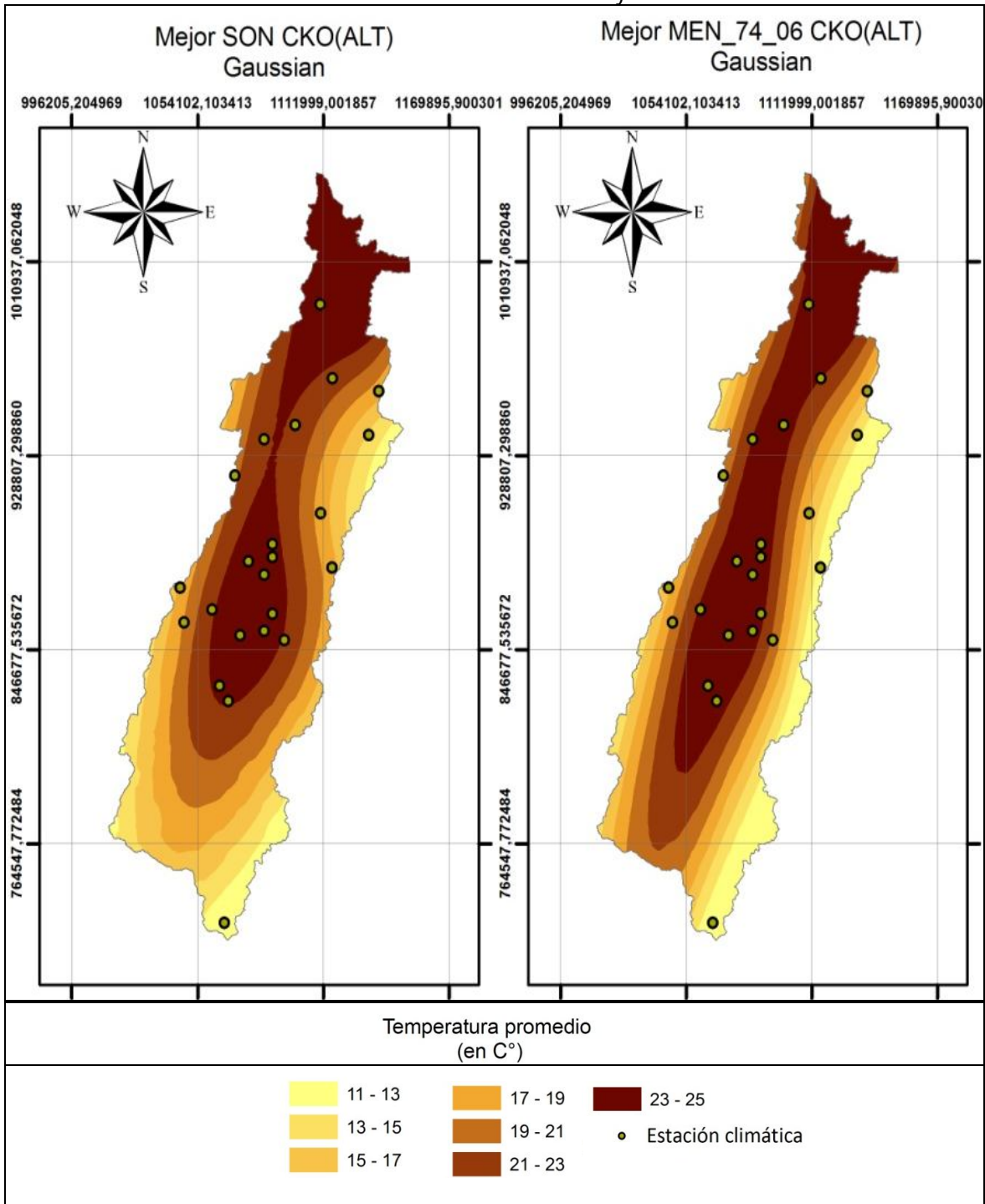
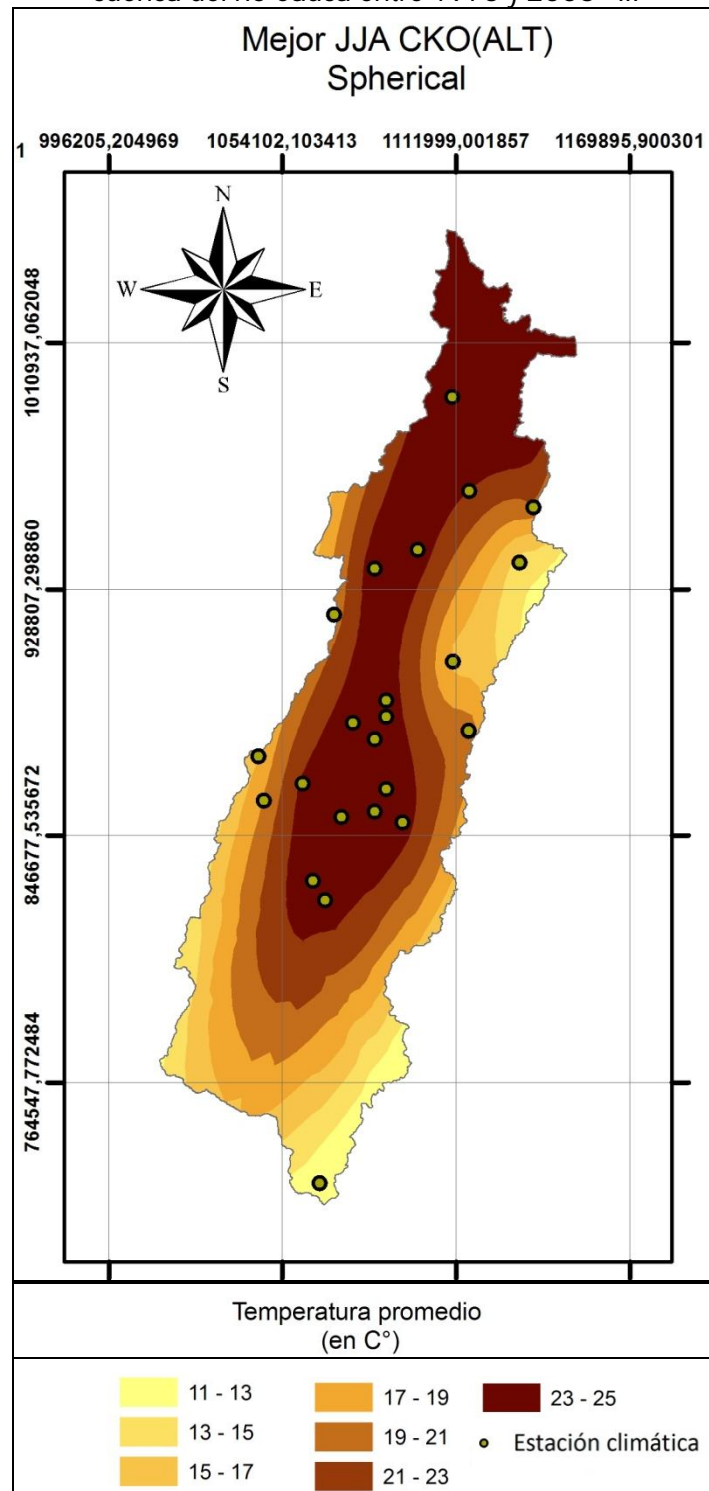


Figura 4.11. Distribución espacial de la temperatura media del aire intranual y mensual en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 - II



Donde SON indica el periodo comprendido entre septiembre, octubre y noviembre

Figura 4.12. Distribución espacial de la temperatura media del aire intranual y mensual en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 - III



Donde JJA indica el periodo comprendido entre junio, julio y agosto

4.1.3 Días de lluvia anual y estacional

La figura 4.13 presenta el histograma de frecuencias de los días de lluvia anual donde se calcularon los valores promedio y de desviación estándar equivalentes a 134 y 32 días respectivamente, se observa que la mayor frecuencia del 14%, presentó valores entre 103 y 149 días de lluvia. Adicionalmente, se analizó la tendencia de la distribución espacial de los días de lluvia en la cuenca, según se presenta en la figura 4.14, donde se observa una relación cuadrática en la dirección este-oeste y lineal en la norte-sur.

Figura 4.13. Histograma de frecuencias de los días de lluvia promedio anual entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca

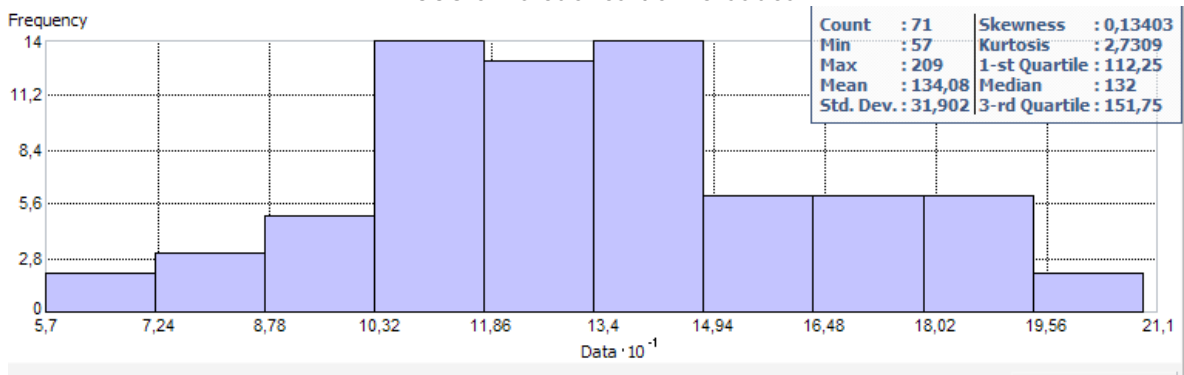
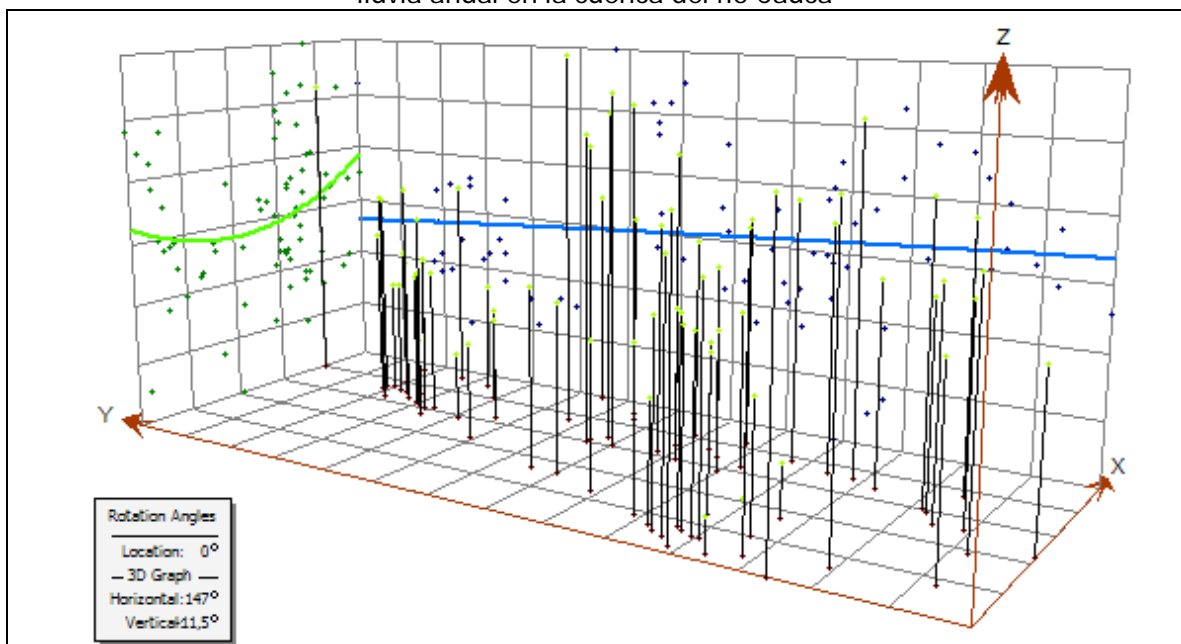


Figura 4.14. Gráfico para el análisis de tendencia de la distribución espacial de los días de lluvia anual en la cuenca del río Cauca

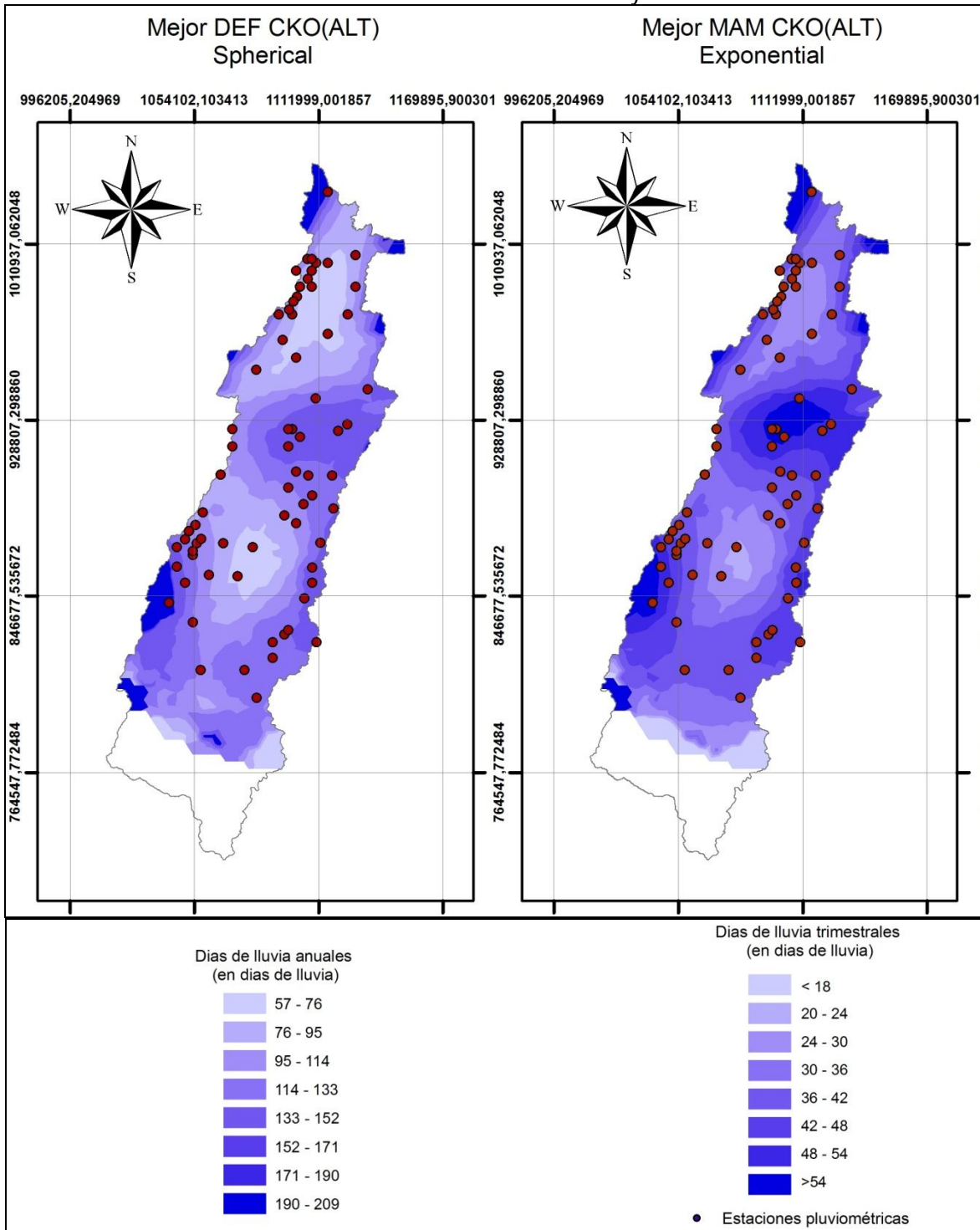


La figura 4.14 presenta un comportamiento en los días de lluvia similar al de la precipitación total anual, indicando que hacia las zonas de menor altura también se presenta menor número de días con lluvia; de esta manera, sobre el valle geográfico del río Cauca y hacia el norte de la cuenca se observa la tendencia al descenso; lo contrario, con mayores días de lluvia en el año, sucede en las cordilleras central y occidental de los Andes y sobre el macizo colombiano siendo la parte alta-alta de la cuenca (ver también la figura 4.15). Sin embargo, se nota que (en comparación con la figura 4.2) la tendencias en la distribución espacial de los días con precipitación, en dirección este-oeste, es mayor en la cordillera central; lo cual ocurre de manera contraria con la precipitación total anual; indicando entonces que aunque la frecuencia de la lluvia es mayor hacia los Andes centrales, en el occidente se presenta con mayor intensidad.

Luego, se realizó la interpolación de los días de lluvia a escalas anual y estacional que se muestra en la figura 4.15 a 4.17, la cual se obtuvo utilizando la técnica de CKO con la altura sobre el nivel del mar como variable secundaria. Se observa entonces en la figura 4.15, la distribución bimodal característica de la climatología en la zona de estudio, con menor número de días de lluvia durante los trimestres DEF y JJA; lo contrario (mayor número de días con lluvia) ocurre en MAM y SON. De acuerdo con los resultados de precipitación trimestral, se nota que JJA es el periodo intranual más seco con menor frecuencia e intensidad de las lluvias en la cuenca.

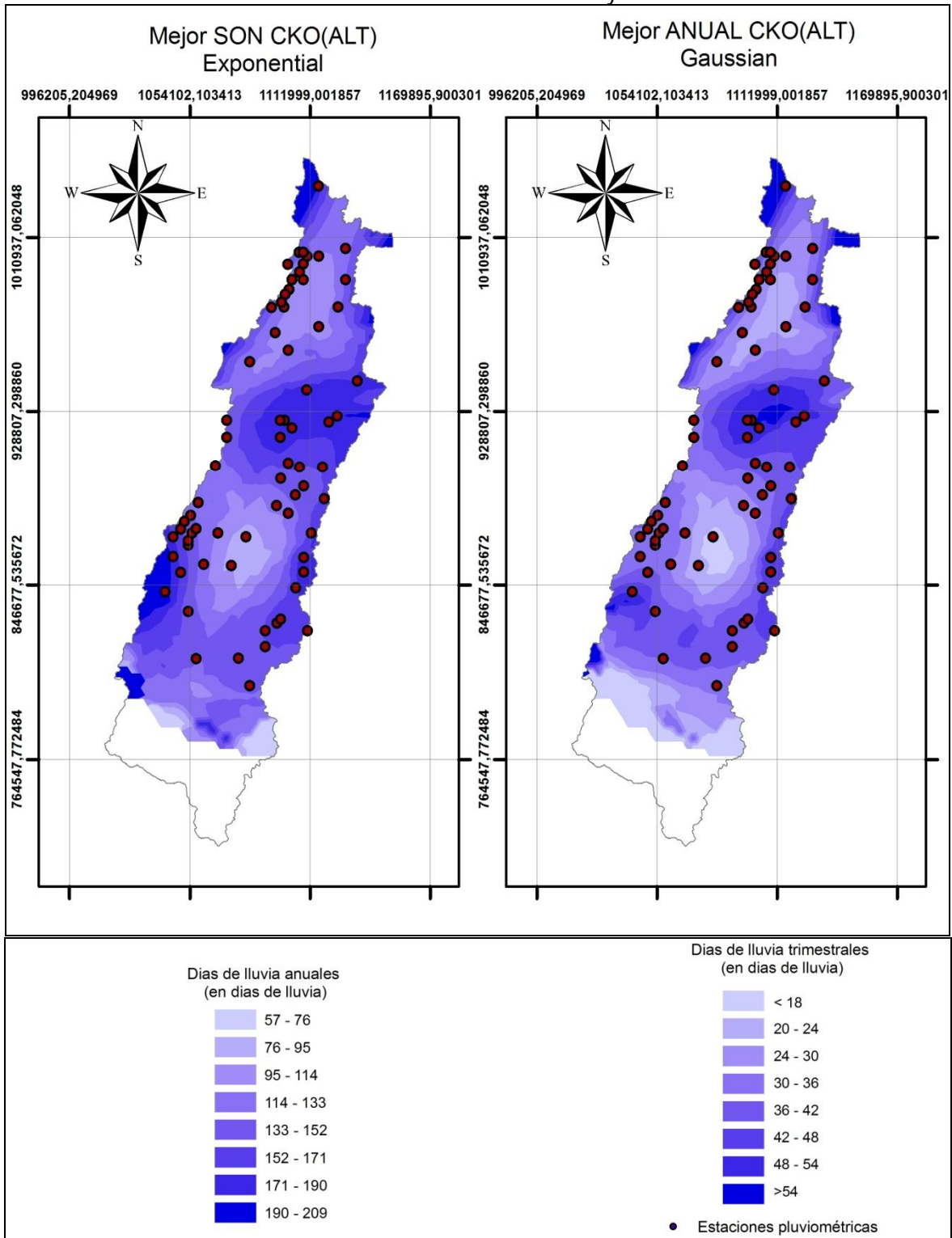
Particularmente, sobre la parte plana de la cuenca en el valle geográfico del río Cauca, en la figura 4.15 a 4.17, se observan microclimas: (i) sobre la zona centro-sur en el valle de las cuencas de los ríos Bolo-Fraile, Amaime y Sabaletas con características de bajo número de días de lluvia, por debajo de 18 durante el trimestre; (ii) hacia la zona centro-norte en la parte baja de las cuencas de los ríos San Pedro, Morales, Tuluá y Bugalagrande, se observa la mayor concentración, por encima de 54, de los días de lluvia por trimestre. Estas variaciones, pueden asociarse a fenómenos que afectan la hidroclimatología de Colombia a escala intranual, como son las oscilaciones de 30-60 días y las ondas tropicales del este (Poveda et al., 2002); así mismo, el periodo de insolación, la interacción suelo-atmósfera, los sistemas convectivos de meso-escala y la circulación de vientos locales de los valles interandinos, justifican la alta variabilidad espacial del ciclo diario (Poveda, 2004), la cual afecta entre otros, la frecuencia de la precipitación diaria. En área del departamento del Cauca dentro de la cuenca, para el periodo 1.975-2.006, por la baja presencia de estaciones pluviométricas no se logró consolidar la base de datos de días de lluvia, por tanto sobre esta región no se presenta interpolación.

Figura 4.15. Distribución espacial del número de días con lluvia a escalas anual y trimestral en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 - I



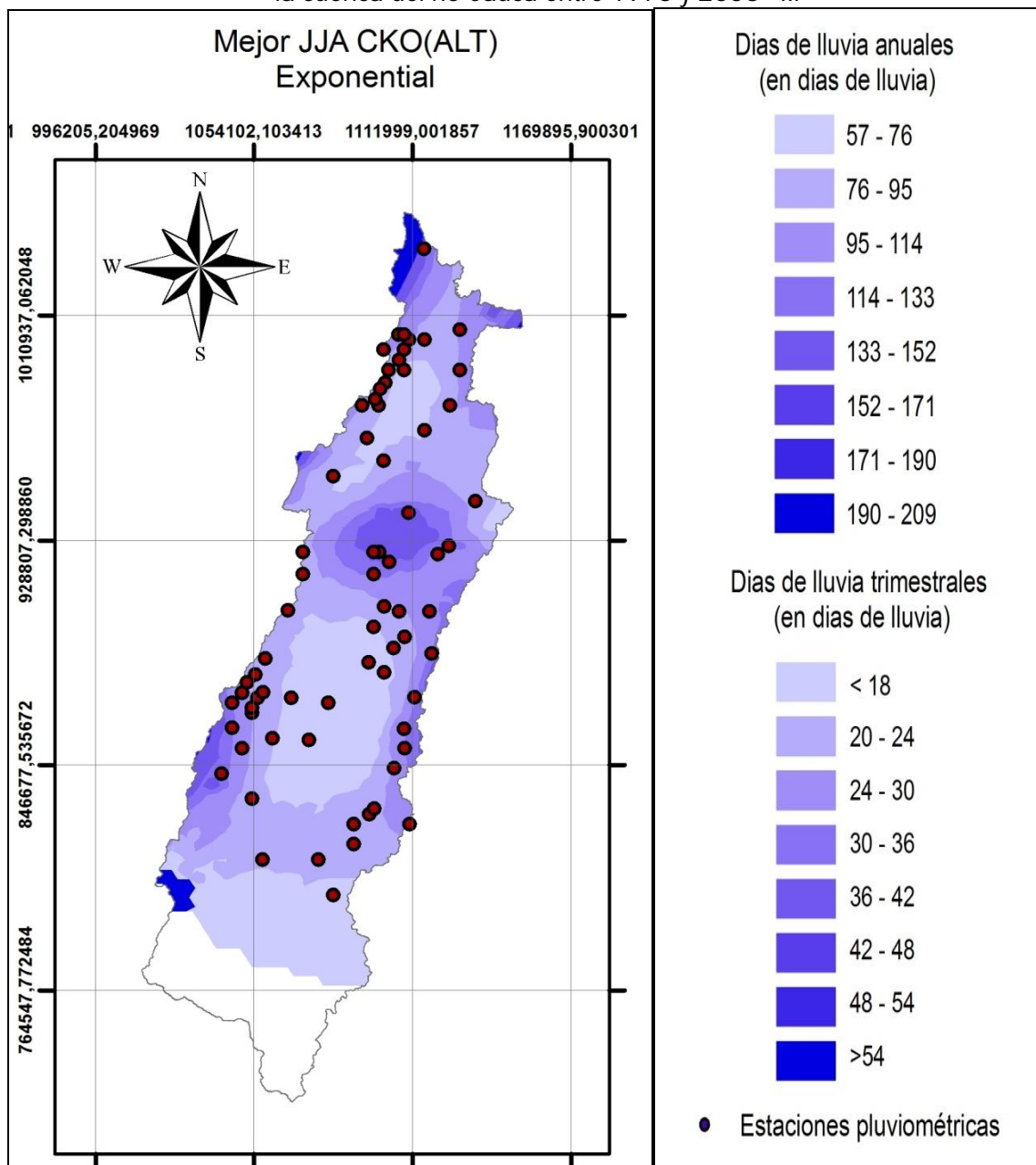
Donde DEF indica el periodo comprendido entre diciembre, enero y febrero.
MAM indica el periodo comprendido entre marzo, abril y mayo.

Figura 4.16. Distribución espacial del número de días con lluvia a escalas anual y trimestral en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 - II



Donde SON indica el periodo comprendido entre septiembre, octubre y noviembre.

Figura 4.17. Distribución espacial del número de días con lluvia a escalas anual y trimestral en la cuenca del río Cauca entre 1975 y 2006 - III



Donde JJA indica el periodo comprendido entre junio, julio y agosto.

4.2. Tendencias de las series climáticas en la cuenca del río Cauca

Las tendencias del clima en la cuenca del río Cauca, se analizaron con las series climáticas de precipitación mensual (lluvia total y días de lluvia) y de temperatura media del aire; el periodo de estudio fue desde 1.975 hasta 2.006 y las escalas de análisis temporal fueron: mensual-multianual y estacional-intranual.

4.2.1 Tendencias en las series climáticas a escala intranual

Inicialmente, se realizó el análisis de estacionaridad en las series, con el propósito de identificar cambios en los valores promedio; para esto se aplicaron los test estadísticos de U Mann Whithney, Kruskal-Walls y el test de medianas, los cuales con un nivel de confianza del 90% rechazan la hipótesis nula de no existencia de cambios en la media de las series; la tabla 4.2 presenta el número de estaciones de medición que para cada variable climática, indicaron tener cambios en su valor promedio y en el anexo 9, se presentan los resultados de las pruebas en cada estación.

Tabla 4.2. Estaciones de medición (número y porcentaje del total) con cambios en la media de las series climáticas en la cuenca del río Cauca, entre 1975 y 2006

Series climáticas a escala mensual-multianual	Estaciones con cambios en la media (N.C: 90%)							
	U Mann – Whitney		Kruskal-Walls		Test de Medianas		Total	
Precipitación total	24	22%	24	22%	24	22%	24	22%
Días de lluvia	34	48%	34	48%	32	45%	34	48%
Temperatura media del aire	20	83%	18	75%	20	83%	20	83%

Los resultados presentados en la tabla 4.2, indican que la temperatura del aire presenta el 83%, como el mayor porcentaje de casos con cambios significativos en la media; lo contrario sucede en la precipitación mensual, donde sólo el 22% de las estaciones pluviométricas presentaron alteraciones significativas sobre el valor promedio. También, la serie de días de lluvia mensual presentó prácticamente en igual proporción, los casos con media estable (52%) y con cambios (48%). Lo anterior muestra entonces, indicios de cambios significativos en la temperatura media del aire y de estabilidad en la precipitación mensual entre los años 1.975 al 2.006 en la cuenca del río Cauca.

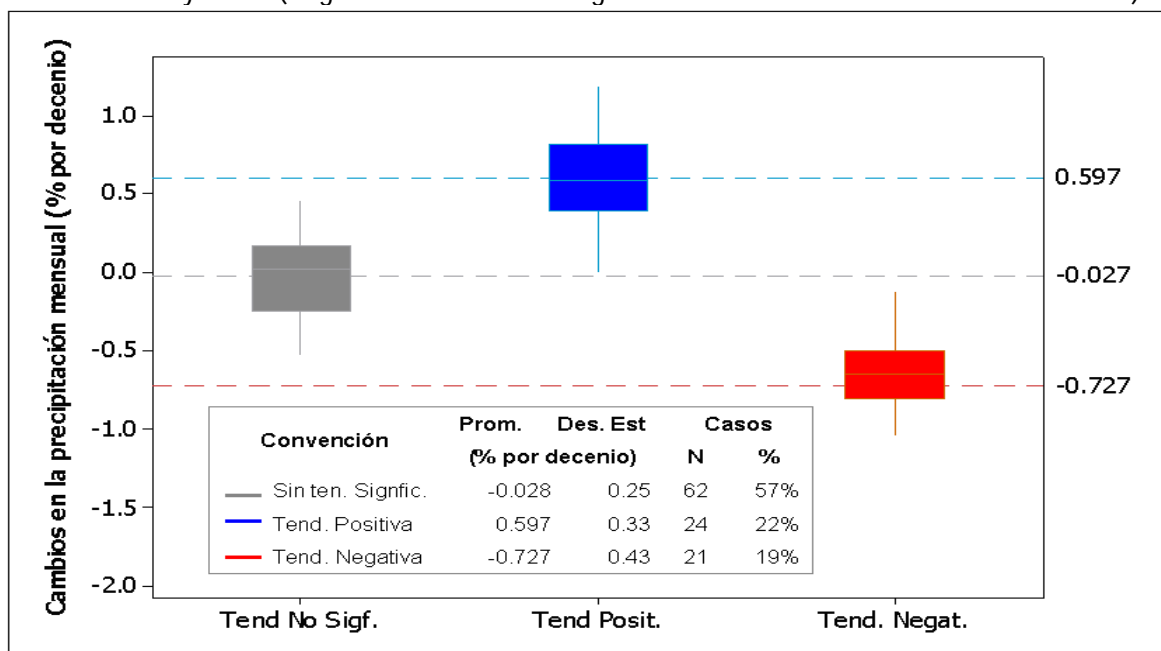
4.2.1.1. Tendencias en la precipitación mensual

El análisis de tendencias en la precipitación media mensual se llevó a cabo con el análisis de la lluvia total y los días de lluvia, los cuales, permiten analizar respectivamente los cambios en la intensidad y en la frecuencia de la pluviosidad promedio en la cuenca:

4.2.1.1.1. Cambios en la lluvia total mensual

La figura 4.18 muestra la distribución de las tendencias en la precipitación mensual entre 1.975 y 2.006, cuyos cambios significativos (para un Nivel Confianza - NC del 90%) se presentaron en el 43% de los casos analizados, según la aplicación del test Mann-Kendall. Adicionalmente, se obtuvo que el 22% de los casos significativos tienen tendencia al incremento de la precipitación y el 19% al descenso. En el anexo 9, se presentan los resultados de esta prueba en cada estación.

Figura 4.18. Distribución de magnitud de tendencias en la precipitación mensual entre los años 1975 y 2006 (Según clasificación de significancia a un Nivel de Confianza del 90%)



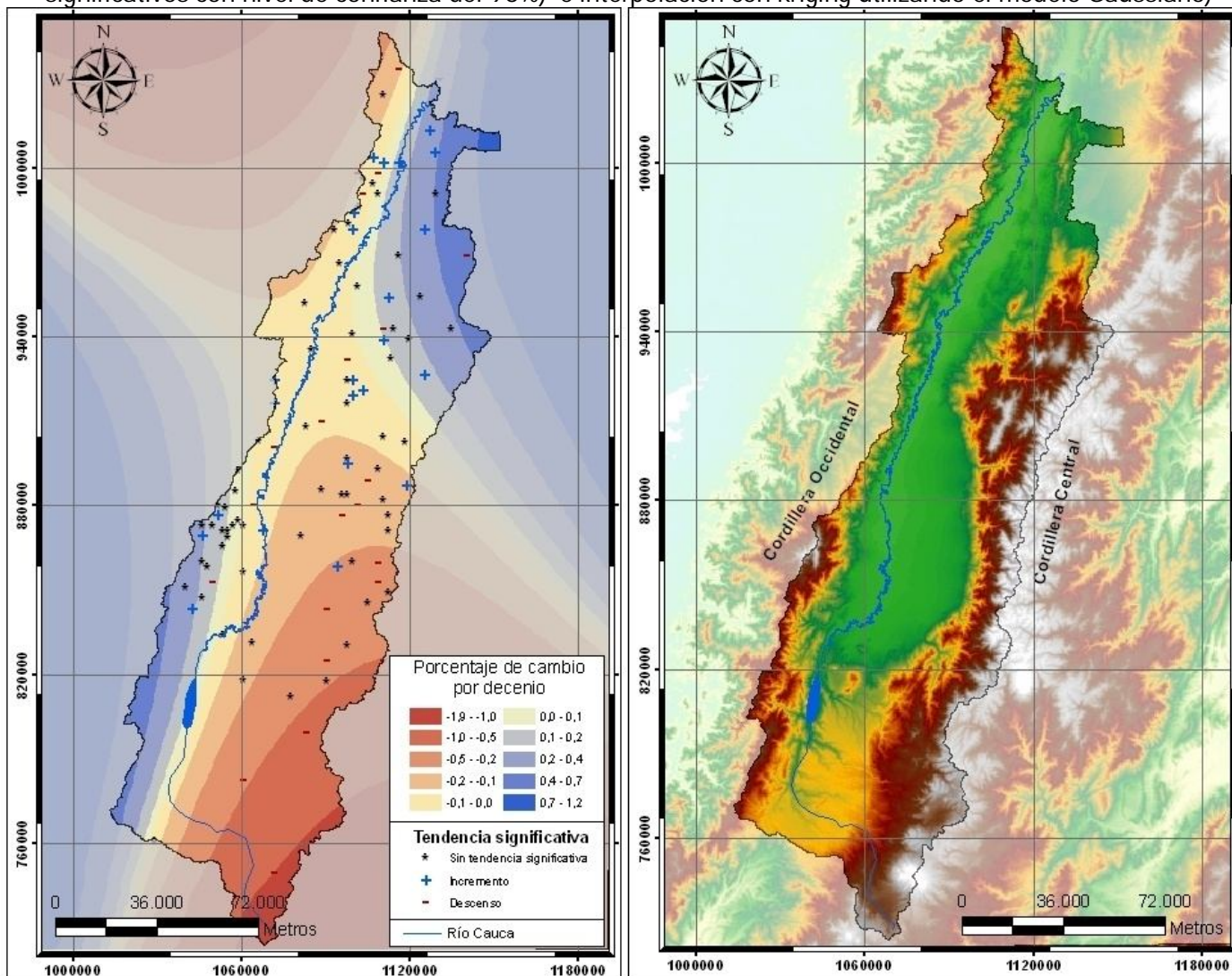
De acuerdo a los resultados que se muestran en la figura 4.18, la relación entre casos sin tendencia significativa (57%) y los significativos (43%) que presentaron tendencias al incremento (22%) y descenso (19%) de la precipitación, limitan expresar una tendencia definida en la precipitación mensual entre 1.975 y 2.006. Adicionalmente,

en lo referente a la magnitud de tendencias estimada por el test Theil-Sen, cuya distribución también se presenta en la figura 4.18; la precipitación mensual presentó un descenso promedio (considerando sólo los casos significativos a un NC del 90%) de -0,2% por decenio; las tendencias promedio al incremento (con 24 casos significativos) fue de 0,5% por decenio y al descenso de -0,7% por decenio (incluidos 21 casos); así mismo, en los cambios hacia la disminución de la lluvia, se observó la mayor dispersión de los cambios encontrados, con una desviación estándar de 0,43% por decenio y valores extremos de hasta -1,8 y -1,9% por decenio en las estaciones pluviométricas La Despensa y Jambaló, respectivamente. También, aunque en los casos sin tendencia significativa se observan los menores valores de desviación estándar (0,25% por decenio) y de tendencias (-0.028% por decenio), los demás resultados dejan evidencia de la alta variabilidad en los cambios estimados.

Respecto a la distribución espacial de las tendencias en la precipitación mensual, según lo muestra la figura 4.19, se observa que los casos de estudio bien sean sin tendencia significativa o de incremento y descenso en la lluvia (según se presentan los casos diferenciados en la figura 4.19), no presentan una regionalización clara, por lo tanto siendo la zona de estudio una cuenca interandina, se observa que factores orográficos (como altura y relieve) aunque determinan principalmente el clima local, no inciden sobre los cambios temporales de la precipitación. También, se evidencia que hacia las zonas noreste y suroeste de la cuenca, los cambios durante el periodo de estudio fueron hacia el incremento de la precipitación mensual hasta en 1,2% por decenio; lo contrario sucede principalmente hacia el sureste de la cuenca, con descensos en las lluvias hasta del -1,9% por decenio. La mezcla de tendencias encontradas, coinciden con estudios preliminares en Colombia, entre los que se citan: Pérez et al, (1998), Bernal (2001), IDEAM (2001) y Velasco & Díaz (2006).

Respecto a los efectos de las tendencias encontradas en la precipitación mensual, se observa que los menores cambios se ubican hacia las zonas centro y noroeste (ver figura 4.19) donde se localiza el valle interandino del río Cauca, el cual se caracteriza por recibir menos lluvia dentro de la zona de estudio (ver figura 4.15 y 4.3); en este sentido, el hecho de no determinarse cambios significativos en la precipitación intranual, pueden favorecer las adaptaciones tecnológicas de los sectores productivos, principalmente para la agricultura que se desarrolla activamente en esta región de la cuenca.

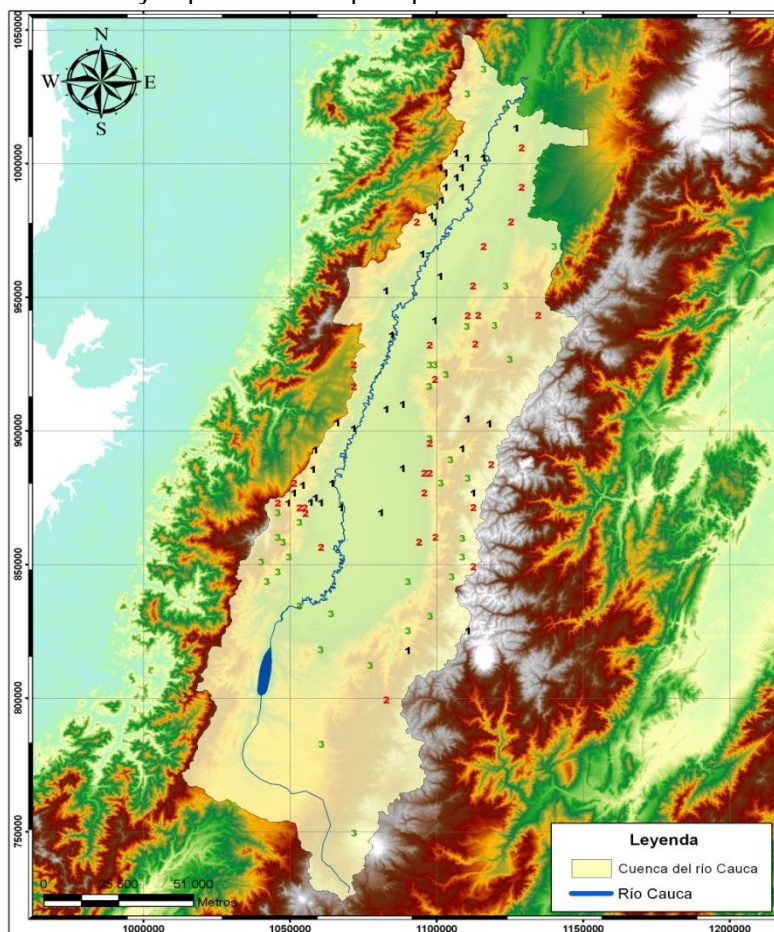
Figura 4.19. Distribución espacial de tendencias en la precipitación mensual entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca (casos significativos con nivel de confianza del 90%) e interpolación con kriging utilizando el modelo Gaussiano)



Sin embargo, los mayores impactos de incremento y descenso de la precipitación en las últimas tres décadas se observaron en los sistemas de media y alta montaña (ver en figura 4.19), las tendencias sobre la parte de límite de la cuenca hacia el este y el oeste), principalmente hacia la cordillera central de los Andes colombianos, siendo estos a su vez, los que desempeñan un papel fundamental en la conformación de la oferta hídrica de la cuenca; de esta manera, se observa la importancia de emprender acciones coordinadas sobre el territorio, dado que los cambios en las partes altas de las cuencas, afectarán también las actividades en zonas media y baja, así mismo en la población y los diferentes sectores productivos de la cuenca.

Adicionalmente, dadas las tendencias de signo contrario y con el propósito de explorar en mayor detalle estos resultados, se conformaron grupos homogéneos de estaciones pluviométricas, que se muestran en la figura 4.20 En el anexo 3, se presenta la clasificación por clúster de cada estación de estudio.

Figura 4.20. Estaciones pluviométricas clasificadas en grupos homogéneos según la tendencia y el promedio de precipitación mensual en la cuenca



La conformación de los grupos homogéneos se llevó a cabo con la aplicación de un análisis de clúster jerárquico (esta técnica estadística se explicó en el numeral 3.1.2.2 de identificación de datos atípicos); las variables consideradas para la formación de los clúster, fueron la magnitud de la tendencia estimada por el test de Theil-Sen y la precipitación media mensual. Según lo muestra la figura 4.20, los tres grupos homogéneos formados, carecen de una regionalización espacial bien determinada; sin embargo, las estaciones del clúster 2, tiene mayor presencia hacia la cordillera central de los Andes y las del clúster 3, se distribuyeron hacia las partes media y alta-alta de la cuenca.

Luego, los resultados de las tendencias de los test de Mann-Kendall y Theil-Sen, se presentan en la tabla 4.3; se observa que el mayor número de casos equivalente al 72%, mostraron tendencia al descenso de la precipitación con valor promedio de -0,06% por decenio. Adicionalmente, se estimó que el 30% de estaciones presentan tendencia al aumento de la precipitación con un promedio de 0,06% por decenio y se evidencia alta dispersión en las tendencias con una desviación estándar promedio de 0,53%.

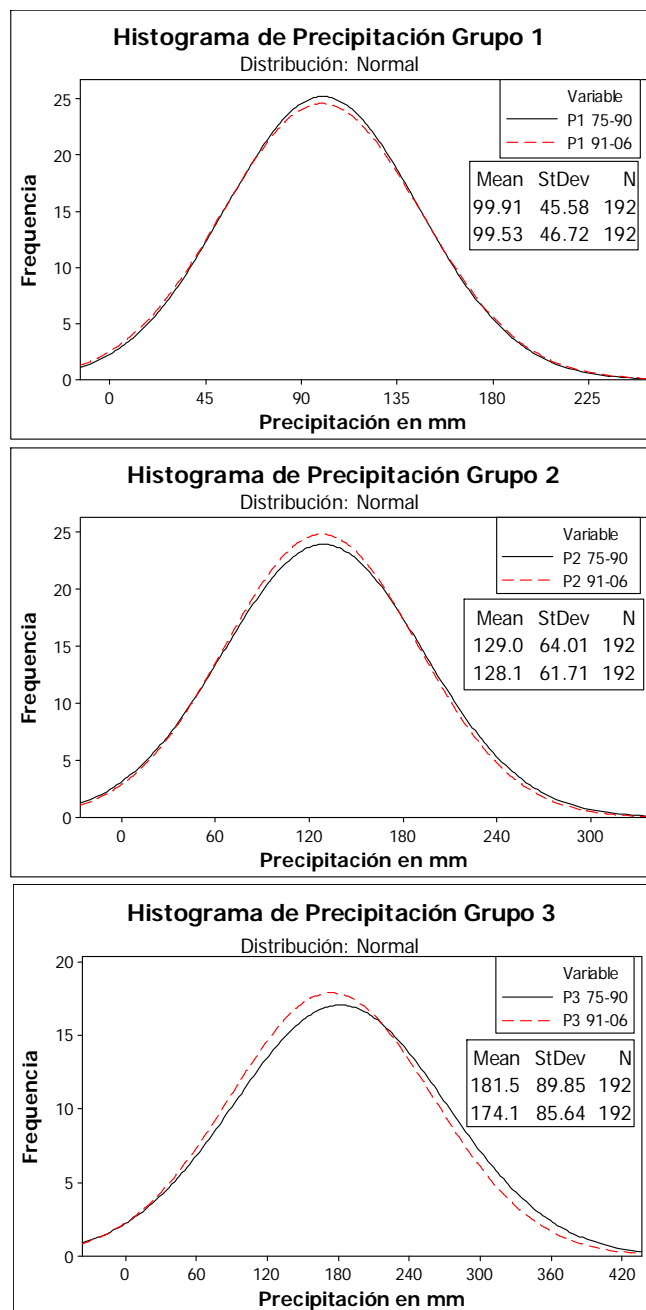
Tabla 4.3. Tendencias en grupos homogéneos de precipitación mensual- intranual

Grupo homogéneo	Precipitación media (mm)	No. Estaciones			Tendencia test Mann-Kendall	Test Theil-Sen	
		N	% del total	N Signif.		Promedio (en % por decenio)	Desv. Est.
Precipitación 1	99.7	41	38%	15	-	-0.03%	0.56%
Precipitación 2	128.5	30	28%	13	+	0.06%	0.59%
Precipitación 3	177.6	37	34%	17	-	-0.08%	0.44%

También, en el estudio de tendencias en los grupos homogéneos de precipitación mensual, la tabla 4.3 muestra que el cluster de Precipitación 3, presentó el mayor número de casos significativos (17) que representaron el 46% de las 37 estaciones en este grupo, así mismo, presentó el mayor valor de cambio equivalente a -0,08% por decenio y la menor dispersión de las tendencias encontradas (con desviación estándar de 0,44% por decenio), con esto, de este análisis se infiere que en los casos significativos, fue mayor la tendencia a la disminución de la precipitación mensual entre 1.975 y 2.006, así mismo, estos valores se localizan hacia las partes medias y altas de la cuencas sobre las cordilleras occidental y central de los Andes colombianos. Adicionalmente, las series de la precipitación media mensual de las estaciones pluviométricas que pertenecieron a cada cluster, se dividieron en dos periodos entre

1.975 a 1.990 y de 1.991 hasta 2.006, luego se analizó con la distribución normal de frecuencias, los cambios en la media y la varianza (ver figura 4.21).

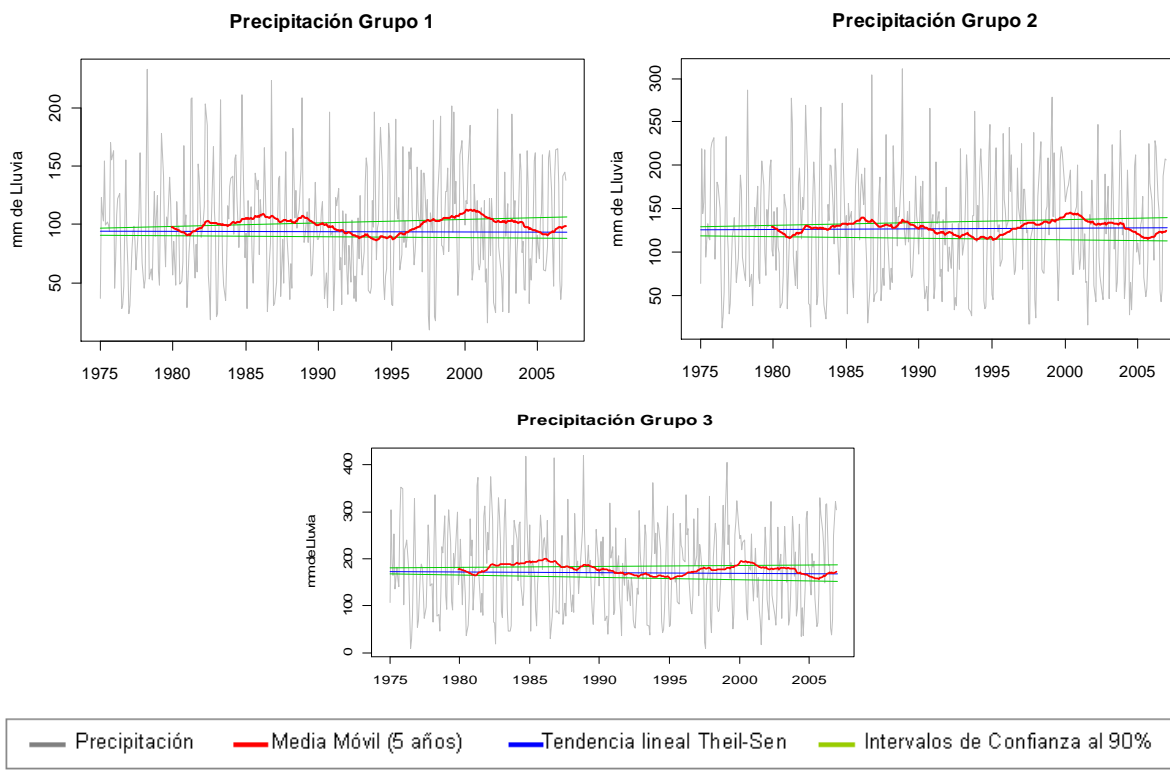
Figura 4.21. Histogramas de frecuencia* de grupos homogéneos de precipitación mensual entre 1975- 1990 y 1991-2006



* El histograma de frecuencia muestra aumento de la desviación estándar cuando es mayor el achatamiento de la campana, también se observa reducción del valor promedio, cuando la parte central de la campana se moviliza hacia el origen (cero en el eje x- horizontal)

De acuerdo con los resultados de la tabla 4.3, en la figura 4.21 se observa (según lo muestran la parte central de la campana que se movilizan hacia el origen y los valores promedio de las leyendas en los histogramas de frecuencia) entre los años 1.991 al 2.006 existió tendencia al descenso de la precipitación en promedio del 2%, respecto al periodo desde 1.975 a 1.990; los mayores cambios en la media se obtuvieron en el grupo 3, con descensos del 4%. También en el mismo tiempo, se presentaron cambios en la dispersión de la precipitación mensual según lo indica la desviación estándar: en el grupo 1 incrementó en promedio de 2,5%; por el contrario, en los grupos 2 y 3 descendió en promedio de 4,1%, con mayor intensidad (de 4,7% en promedio) se presentó último cluster. Conforme a esto, en la figura 4.22 en los grupos 2 y 3 se establecieron los mayores cambios en la pendiente de la tendencia lineal según el test Theil-Sen. Adicionalmente, (ver figura 4.22) entre 1.975 y 2.006 se presentaron cambios en la estacionalidad de la precipitación mensual según se evidencia en la media móvil (5 años), indicando un descenso general de las lluvias durante los primeros años de la década de los 90's; así mismo, se muestra una disminución en la precipitación intranual con mayor intensidad a partir del año 2.000.

Figura 4.22. Series de tiempo de los grupos homogéneos de precipitación mensual con la tendencia lineal Theil-Sen y la media móvil (con periodos de 5 años) desde 1.975 al 2.006 en la cuenca del río Cauca



4.2.1.1.2. Cambios en los días de lluvia mensual

La tabla 4.4 presenta la distribución de las tendencias encontradas, se observa cambios entre -2 a 2 días de lluvia/año, en el 70% de las estaciones pluviométricas no se registraron cambios en la serie, de los cuales el 60% presentaron significancia estadística en el test Mann-Kendall, es decir, en 30 casos se confirma que los días de lluvia por mes, se mantuvieron constantes entre 1975 a 2006 en la cuenca.

Tabla 4.4. Distribución de los cambios en los días de lluvia entre 1975 al 2006 en la cuenca

Tendencia Días lluvia/año	Casos totales		Casos significativos*	
	N	%	N	%
-2	9	13%	6	67%
-1	1	1%	1	100%
0	50	70%	30	60%
1	5	7%	3	60%
2	6	8%	5	83%
Total	71		45	

* Nivel de confianza: 90%

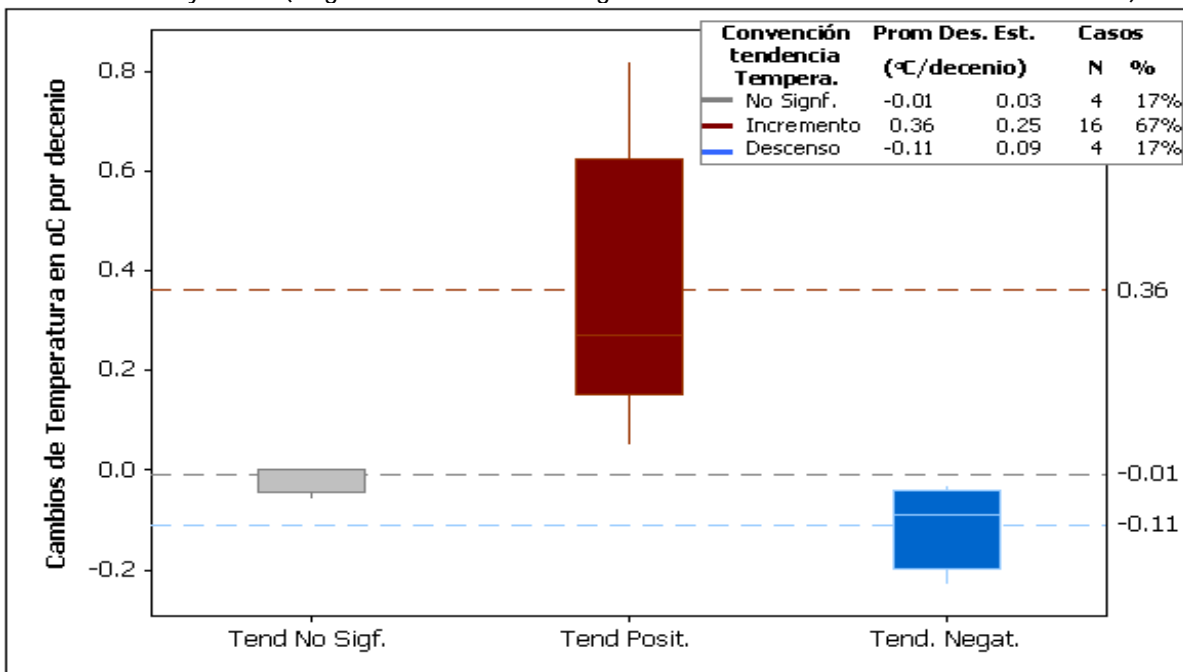
Adicionalmente, se observa en la tabla 4.4 que el mayor número de casos significativos con cambios (en 6 estaciones pluviométricas) fue de -2 días lluvia/año; aunque en general se observa prácticamente el mismo porcentaje del 10% del total (71 estaciones), con tendencias significativas al descenso y al incremento respectivamente, lo cual limita indicar un sólo signo (positivo o negativo) de modificación en los días de lluvia.

De acuerdo a lo anterior, en los días de lluvia mensual, la mezcla de las tendencias encontradas (11% positivas y 10% negativas), así como el mayor número de casos sin cambios en la serie (70% del total); coinciden con los resultados en la precipitación acumulada mensual, donde se obtuvo el 57% sin cambios significativos, así como 22% y 19% con tendencias al incremento y al descenso respectivamente (Ver figura 4.18); Estos resultados, limitan identificar un patrón de cambio en la precipitación mensual desde 1.975 al 2.006. Sin embargo, en los días lluvia el 42% del total de estaciones pluviométricas, mostraron estabilidad en la media (o sea con tendencia significativa igual a cero), mientras que en la precipitación acumulada sólo fueron el 12%; por lo tanto, coloca en evidencia que el régimen de la pluviosidad media mensual entre 1.975 y 2.006, presentó cambios en la intensidad de las lluvias (según los cambios en la lluvia acumulada) y la frecuencia de ellas se mantuvo constante (acorde con la estabilidad en los días de lluvia) en la cuenca.

4.2.1.2. Tendencias en la temperatura media del aire mensual

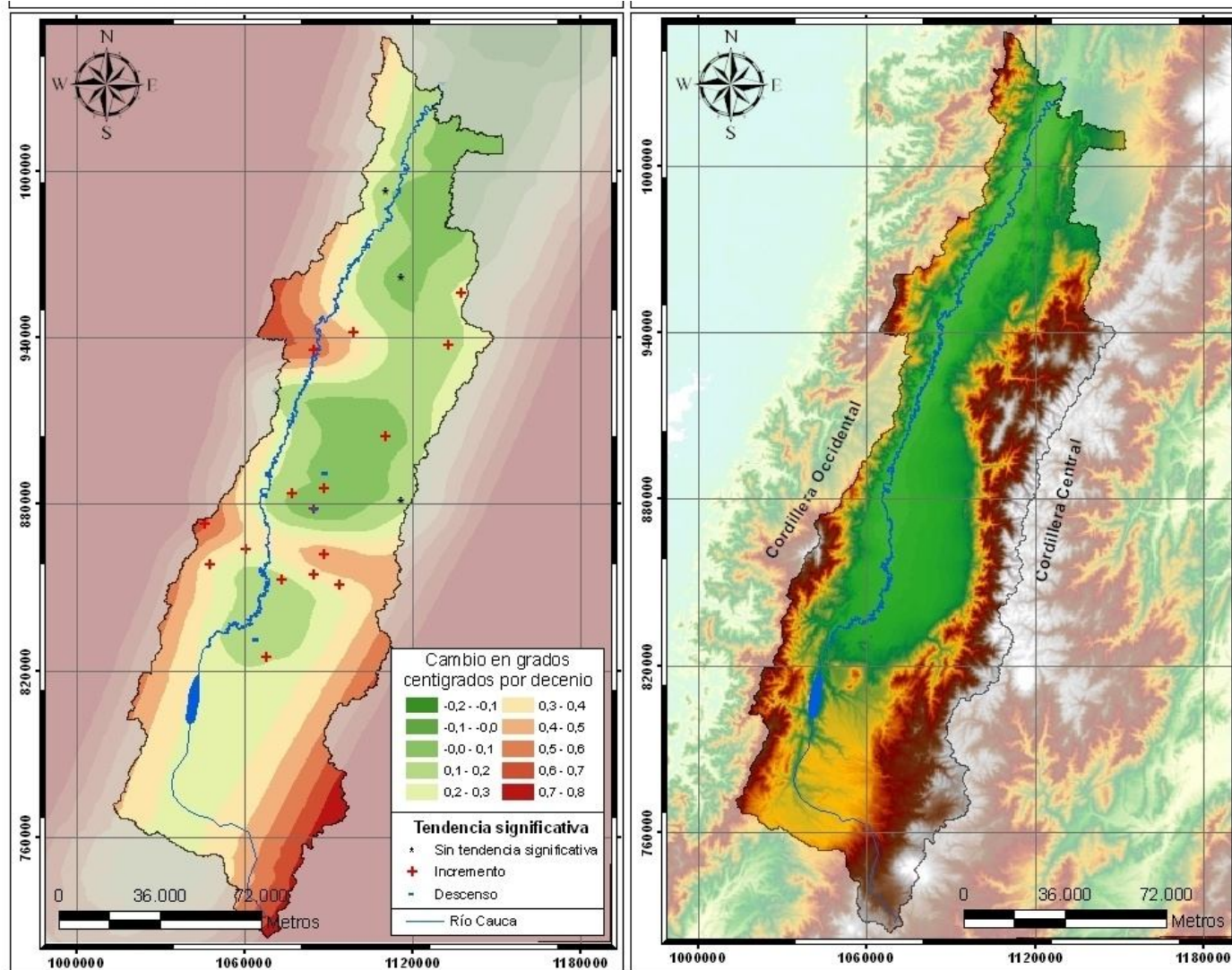
La figura 4.23 presenta los resultados de la distribución según el signo y el nivel de significancia al 90% de las tendencias en la temperatura media del aire; se determinó mayor tendencia al incremento con el 67% de casos significativos y un promedio de 0,36°C/decenio. También, se observó igual número de estaciones climatológicas (4 casos en cada uno) sin tendencias significativas y con tendencia al descenso de la temperatura, los cuales representaron el 33% del total, así mismo en estos casos, el promedio de las tendencias calculadas fue el menor con -0,06°C/decenio. El anexo 9, presenta los resultados de los cambios de la temperatura en cada estación climatológica.

Figura 4.23. Distribución de magnitud de tendencias en temperatura media del aire entre los años 1975 y 2006 (Según clasificación de significancia a un nivel de confianza del 90%)



Los resultados coinciden con los modelos climáticos los cuales estiman que la temperatura media del aire mundial ha de aumentar entre 1,4 y 5,8° C para el año 2100 (PNUMA & SEMARNAT, 2006); así mismo, en Colombia según la primera comunicación ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático los escenarios sugieren incrementos entre 1 a 2°C al 2050 (IDEAM, 2002). Adicionalmente en la figura 4.24 se presenta la distribución espacial de las tendencias en la temperatura del aire entre 1975 y 2006.

Figura 4.24 Distribución espacial de tendencias en la temperatura media del aire entre 1975 y 2006 en la cuenca del río Cauca (casos significativos con Nivel de Confianza del 90% e interpolación con kriging utilizando el modelo Gaussiano)



La distribución espacial de las tendencias que se presentó en la figura 4.24, muestra que la temperatura tiende al incremento hacia las partes alta de las cuencas sobre las cordilleras occidental y central, en mayor proporción hasta de 0,8 °C/decenio, en el oeste y sureste de la cuenca. Por el contrario, hacia el valle geográfico del río Cauca, se observó descenso en la temperatura. En general, las zonas media y baja de las cuencas presentaron los menores cambios. Adicionalmente, a escala espacial se observó relación entre el incremento de la temperatura del aire y el descenso en la precipitación (ver figura 4.19) sobre el noroeste y sureste de la cuenca; lo cual, se justifica dado que el aumento de la temperatura inhibe la saturación y el ascenso de las masas de vapor de agua, esto a su vez limita la formación de los núcleos de condensación y por consecuencia de la lluvia (Castañeda, 1995; Raj & Ramírez, 2004).

4.2.2. Tendencias en las series climáticas a escala intranual

Las tendencias en las series climáticas a escala intranual, se analizaron trimestralmente acorde con el régimen estacional bimodal típico en la cuenca, así: DEF y JJA son periodos de menor pluviosidad y MAM así como SON presentan altas lluvias.

4.2.2.1. Tendencias en la precipitación estacional

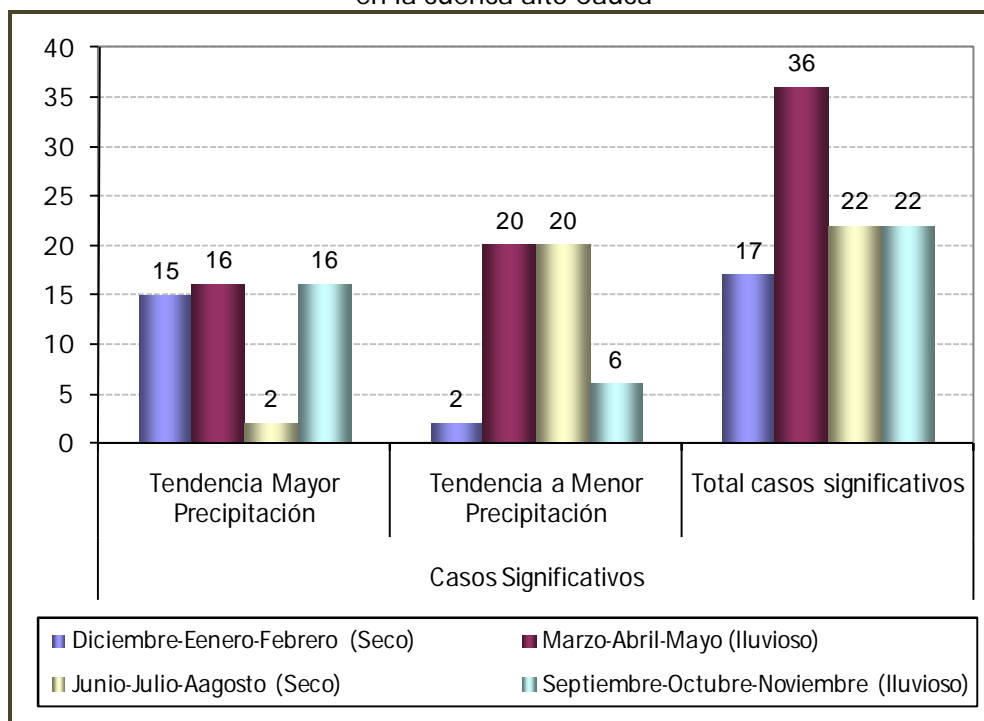
Siguiendo el régimen bimodal se analizaron cambios en la precipitación estacional con las variables de lluvia acumulada y de días de lluvia por trimestre:

4.2.2.1.1. Cambios en la lluvia acumulada por trimestre

Según lo muestra la figura 4.25, en DEF (de baja pluviosidad) y SON (de alta pluviosidad) el 88% y el 73% de los casos analizados mostraron tendencia significativa al incremento de la precipitación respectivamente. Lo contrario se observó en JJA, siendo un trimestre de menor lluvia, el 90% de las tendencias significativas mostraron disminución de la precipitación.

Particularmente, en MAM se encontraron mayor número de estaciones pluviométricas con tendencias significativas. No obstante solo supera en 11% el número de casos con incremento de la precipitación, lo cual limita mostrar una tendencia clara en la precipitación durante este trimestre.

Figura 4.25. Casos en la precipitación intranual con cambios significativos (Según Test Mann-Kendall con Nivel de Confianza del 90%) entre 1975 al 2006 en la cuenca alto Cauca



Los resultados de las tendencias en la precipitación intranual, reflejan alteraciones en la fase del ciclo semianual, dado que durante los dos primeros trimestres del año en DEF y MAM, se determinaron mayores casos significativos que mostraron cambios contrarios al régimen normal de las lluvias, así por ejemplo mientras DEF se caracteriza por ser de baja pluviosidad intranual, entre 1.975 y 2.006 presentó tendencias al incremento de las lluvias. Lo contrario, sucede en el segundo semestre del año, dado que se observa tendencia a la acentuación del periodo seco y lluvioso en JJA y SON, respectivamente. Lo anterior, se relaciona con cambios en la migración de la zona de convergencia intertropical así como de su interacción con las circulaciones de los océanos Pacífico, Atlántico y de la cuenca del Amazonas; como mecanismos preponderantes para explicar la variabilidad anual y semianual de la precipitación en Colombia (Vélez et al., 2000; Poveda & Salazar, 2004, Panarello & Dapeña, 2009).

Respecto a la magnitud de las tendencias estacionales, en la tabla 4.5, se confirma que entre 1.975 y 2.006, DEF es el periodo con mayor incremento en la precipitación del 11% por decenio. También, se observó alta dispersión en los cambios de la precipitación con una desviación estándar promedio de 11% y se evidencia que en JJA

se obtuvieron la mayor tendencia a la disminución de la precipitación en un -12% por decenio y la menor desviación estándar del 10% por decenio.

Según se evidencia en la figura 4.25 y la tabla 4.5, los mayores cambios obtenidos en la precipitación trimestral en DEF (hacia al incremento) y en JJA (al descenso), pueden ser una evidencia de mayor actividad del fenómeno El Niño Oscilación del Sur- ENOS en años recientes (Poveda et al., 2006; Guenni et al., 2008), dado que en esta región, según estudios preliminares de Carvajal (2004, 2007) y Puertas & Carvajal (2008) indicaron que en DEF y JJA el ENOS tiene un mayor efecto sobre la precipitación de la zona. Las anomalías climáticas durante ENOS, se explican dado que la costa Pacífica de Colombia presenta vientos superficiales del oeste con un marcado ciclo anual, los cuales durante los extremos de ENOS muestran una mayor intensificación de la corriente de chorro de bajo nivel del oeste durante la fase fría (La Niña) de ENOS (ocasionando entre otros, el aumento de la precipitación) y por otro lado se manifiestan como un debilitamiento durante El Niño (Fase Cálida) (Poveda, 2004).

Tabla 4.5. Tendencias en la precipitación acumulada a escala intranual entre 1.975 y 2.006 en la cuenca (NC del 90%)

Precipitación Trimestral	Precipitación media (mm)	No. de estaciones		Cambios en la precipitación trimestral	
		N Signif.	% del total	Promedio (% por decenio)	Desv. Est.
DEF-baja pluviosidad	351	17	16%	11%	11%
MAM-Lluvioso	520	36	33%	-2%	12%
JJA- baja pluviosidad	226	22	20%	- 12%	10%
SON-Lluvioso	510	22	20%	5%	11%
Valores Promedio	401	24	22%	1%	11%

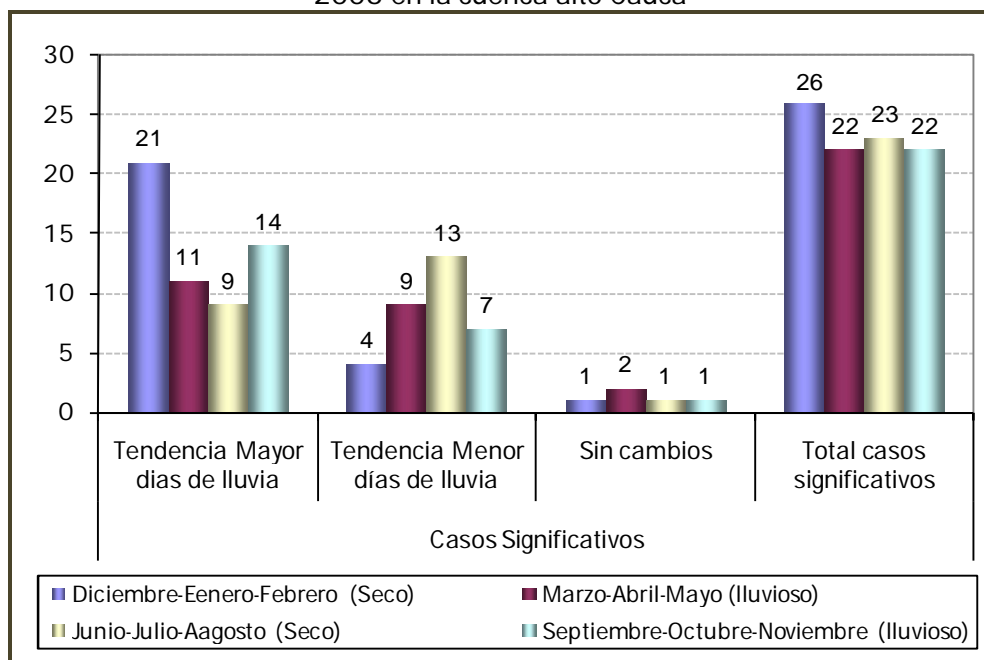
Adicionalmente, las tendencias encontradas coinciden con las amenazas asociadas al Cambio Climático, dado que estudios globales han estimado entre otras alteraciones en el sistema climático, cambios en la estacionalidad de la precipitación y un incremento en la intensidad de los periodos secos y lluviosos respectivamente (Cannarozzo et al., 2006; Da Silva, 2004; Pielke, 2005, entre otros) con fuertes repercusiones sobre el ciclo hidrológico (Burns et al, 2007).

4.2.2.1.2. Cambios en los días de lluvia por trimestre

La figura 4.26 presenta el número de estaciones pluviométricas que presentaron cambios significativos (de incremento o de descenso) en los días de lluvia promedio a

escala trimestral entre 1.975 al 2.006; se muestra que en DEF se presentó la mayor tendencia, en el 30% de total de casos, al incremento significativo del número de días de lluvia; por el contrario, en JJA se obtuvo superior número de casos (19%) con disminución significativa en los días de lluvia. Se observa también, que solo entre una y dos estaciones pluviométricas presentaron estabilidad significativa en el promedio de los días lluvia a escala intranual.

Figura 4.26. Casos con cambios significativos en los días de lluvia trimestral (según Test Mann-Kendall con un Nivel de Confianza del 90%) entre 1975 al 2006 en la cuenca alto Cauca



La figura 4.26 y la tabla 4.6, muestran que en promedio el 33% de los casos presentaron cambios significativos; también se observa alta dispersión en las tendencias de incremento y descenso, dado que en todos los periodos (excepto en DEF) la desviación estándar es mayor al valor promedio de los cambios en los días lluvia entre 1.975 y 2.006. En promedio para los días de lluvia intranual, se estimó un incremento de 1 día de lluvia por decenio (con desviación estándar de ± 3 días) y con mayor intensidad de 3 días (como valor promedio), en DEF.

Tabla 4.6. Tendencias en los días de lluvia a escala intranual entre 1.975 y 2.006 en la cuenca (Nivel de Confianza del 90%)

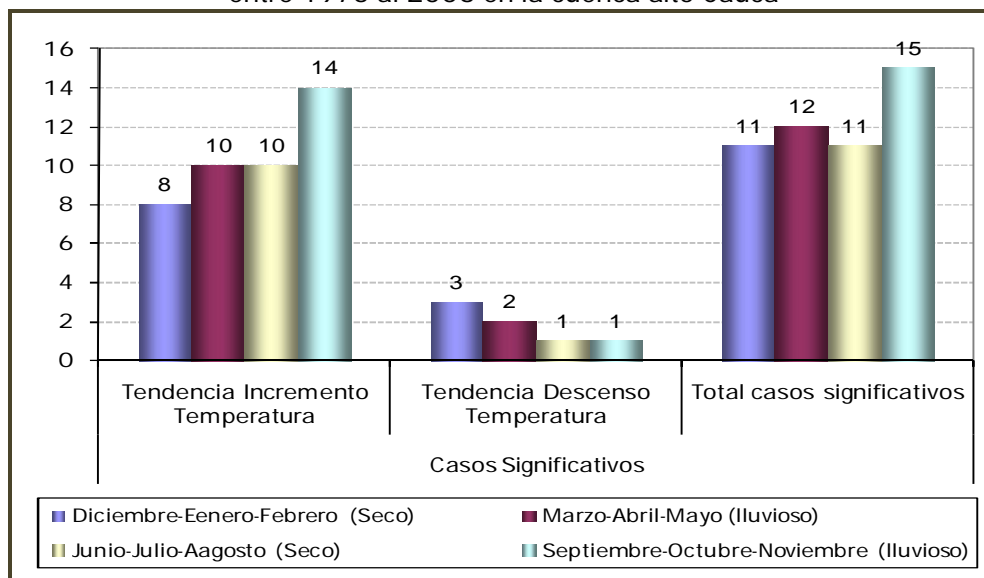
Periodo estacional de la precipitación intranual	Días de lluvia promedio	No. de estaciones		Cambios en los días lluvia por trimestre	
		N Signif.	% del total	Promedio (Días por decenio)	Desv. Est.
DEF-baja pluviosidad	29	26	37%	3	3
MAM-Lluvioso	41	22	31%	0	4
JJA- baja pluviosidad	23	23	32%	-1	3
SON-Lluvioso	40	22	31%	1	3
Valores Promedio	33	23	33%	1	3

Los resultados obtenidos en los días de lluvia, coinciden con los cambios de la precipitación acumulada por trimestre, los cuales reflejan mezcla de tendencias (incremento y descenso de la precipitación), así como una alteración en el ciclo semianual, dado que en los periodos de DEF y MAM se evidencia aumento y lo opuesto sucede en JJA y SON con disminución en la precipitación. Sin embargo, se notan mayores cambios significativos en la precipitación intranual, dado que mientras en esta escala el 43% y el 63% de las estaciones pluviométricas reportaron cambios en la precipitación acumulada y los días lluvia, respectivamente; a nivel intranual, estos mismos porcentajes fueron 22% y 33%, lo anterior representa una disminución promedio del 50% de los casos con cambios significativos en la precipitación.

4.2.2.2. Tendencias en temperatura media del aire estacional

La figura 4.27 muestra las estaciones climatológicas que según el test Mann-Kendall presentaron cambios en la temperatura media del aire trimestral entre 1975 al 2006 en la cuenca del río Cauca. Se observa, un incremento progresivo en el año, de los casos con tendencia al aumento de la temperatura, siendo entonces, SON con el 93% del total de los significativos, el periodo con mayores cambios.

Figura 4.27. Casos con cambios significativos en la temperatura media del aire trimestral (según Test Mann-Kendall con Nivel de Confianza del 90%) entre 1975 al 2006 en la cuenca alto Cauca



Adicionalmente, la figura 4.27 muestra que en todos los casos fueron menores los casos con descenso de la temperatura en relación con los de incremento; el promedio de cada caso significativo con tendencia fue de 85% y 15% de mayor y de menor temperatura respectivamente.

De acuerdo a los resultados en la figura 4.27, en la tabla 4.7 se observa incremento promedio de la temperatura en todos los trimestres con promedio de 0,26°C por decenio, con mayores incrementos de 0,31°C por decenio en JJA y SON, y menor durante DEF con 0,15°C por decenio; aunque el periodo SON presentó el mayor número casos con cambios significativos con 63% del total, en JJA fue el incremento más fuerte de la temperatura con 0,31°C por decenio. Adicionalmente, se observa amplia dispersión en los cambios de la temperatura según los muestra la desviación estándar promedio de 0,34°C por decenio, la cual es mayor al valor promedio.

Tabla 4.7. Tendencias en la temperatura media del aire trimestral entre 1975 y 2006 en la cuenca (Nivel de Confianza del 90%)

Periodo estacional de la temperatura del aire intranual	Temperatura media del aire (°C)	No. de estaciones		Cambios en la temperatura trimestral	
		N Signif.	% del total	Promedio (°C por decenio)	Desv. Est. (°C por decenio)
DEF-baja pluviosidad	21,1	11	46%	0,15	0,36

Periodo estacional de la temperatura del aire intranual	Temperatura media del aire (°C)	No. de estaciones		Cambios en la temperatura trimestral	
		N Signif.	% del total	Promedio (°C por decenio)	Desv. Est.
MAM-Lluvioso	21,2	12	50%	0,28	0,41
JJA- baja pluviosidad	21,3	11	46%	0,31	0,31
SON-Lluvioso	20,9	15	63%	0,30	0,29
Valores Promedio	21,1	12	51%	0,26	0,34

Adicionalmente, en la temperatura media del aire se observan mayores cambios a escala intranual, dado que se evidencia un incremento superior del 50%, en relación con el promedio a escala mensual que fue de 0,13°C por decenio (ver figura 4.23); sin embargo la significancia se redujo en 62%, dado que a escala mensual se presentaron el 83% de casos significativos, mientras en los trimestres fue de 51% el promedio.

El análisis de tendencias, muestra que los cambios en las series climáticas a escala intranual, están relacionados, dado que en la precipitación durante DEF y JJA se determinaron mayores incremento (del 11% por decenio) y descenso (-12% por decenio), lo cual, se asocia con las tendencias en la temperatura del aire que en DEF suceden los menores aumentos (de 0,15°C/ decenio) y en JJA se intensifican (a 0,31°C/decenio).

En este sentido, se coloca en evidencia que para el trimestre JJA la variación estacional de la precipitación se asocia principalmente por el incremento de la temperatura media del aire, mientras que en DEF se puede relacionar con variables macroclimáticas asociadas principalmente a fases extremas de ENOS que como consecuencia alteran el ciclo semianual del clima local.

4.3. Escenarios climáticos actual y su proyección al 2020 en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime

Los escenarios climáticos en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, se desarrollaron con las variables que intervienen en el balance oferta-demanda hídrica actual y su proyección al 2.020, las cuales son: la precipitación total, la temperatura media del

aire, la evaporación total y el caudal medio (que representa la oferta hídrica superficial en la cuenca), la escala de análisis de las series climáticas fue mensual y anual.

También, según se requiere para el balance de oferta-demanda hídrica, los escenarios de la precipitación, de la temperatura media del aire y de la evaporación, se realizaron para dos zonas denominadas de producción y de consumo hídrico en la cuenca (ver la figura 3.8).

4.3.1. Caso: Cuenca del río Tuluá

Las proyecciones a escala anual, realizadas a las series de precipitación total, temperatura media del aire, evapotranspiración total y caudal medio se muestran en la tabla 4.8, su análisis indica un aumento en las lluvias, la temperatura y el caudal con promedios del 1%; así como la disminución en 1,2% de la evapotranspiración en la cuenca Tuluá.

Tabla 4.8. Resultados de proyecciones de las variables climáticas al 2020 y la comparación con los valores medios actuales

Método de Proyección	Precipitación total anual (mm/año)	Temperatura media del aire (°C)	Evapotranspiración total anual (mm/año)	Caudal medio mensual (mm/año)
Lineal: Test Theil-Sen	1.606	18,7	786	254
Modelo ARIMAE	1.610	18,7	757	-
Modelo Magicc/Scengen	1.588	18,8	1.176	272
Promedio proyectado	1.586	18,7	1.009	263
Promedio actual	1.567	18,5	1.021	261
% de cambio	1,2%	1,1%	-1,2%	0,8%

Adicionalmente, se observa que los métodos de proyección presentaron concordancia en la tendencia de incrementos en la precipitación total y en la temperatura media; sin embargo, para el caso de la evaporación anual y del caudal medio, los cambios estimados en los modelos ARIMAE y el lineal, son diferentes a lo proyectado por el Magicc; se nota entonces, la necesidad de implementar otras técnicas que permitan

reducir la incertidumbre de los resultados, por ejemplo, la aplicación de técnicas estadísticas multivariadas o de inteligencia artificial que exploren los cambios no lineales en las series climáticas.

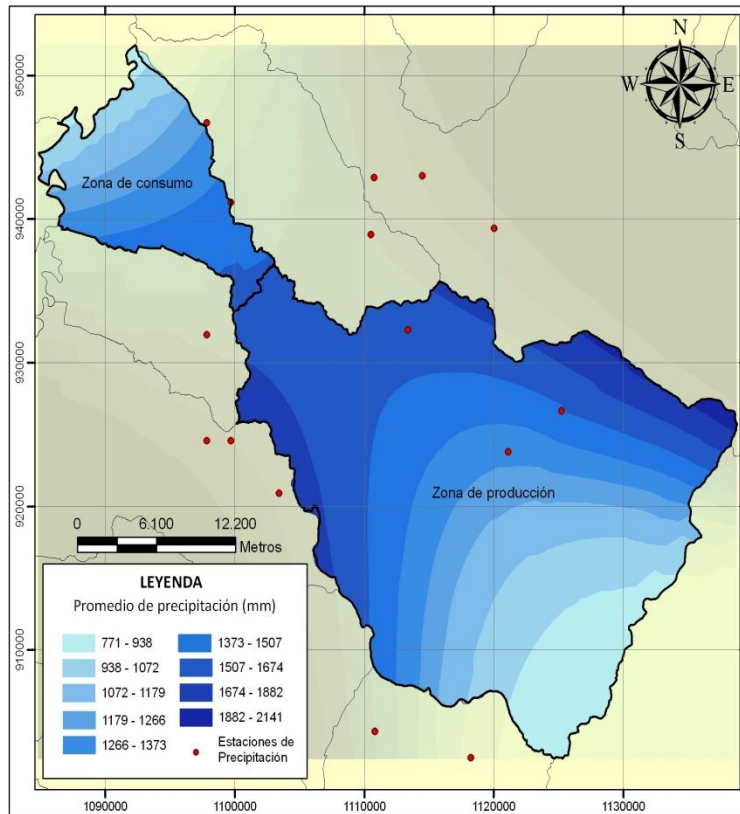
Adicionalmente, cabe anotar que para el estudio de la evapotranspiración se utilizaron los datos de evaporación de las estaciones climatológicas: Monteloro, Tenerife y Mateguadua; y para el caudal fue la estación Mateguadua, por tanto el porcentaje de cambio puede estar encubriendo cambios estacionales intranuales que se presentan en estas variables.

Respecto a los resultados, es necesario anotar que las consideraciones de disponibilidad de datos, así como las técnicas de análisis de la información, en este caso, limitan indicar el comportamiento estricto de las series climáticas entre 1.975 y 2.006, así como su proyección al 2.020; de ahí que estos análisis sólo son producto de los datos recopilados y por tanto, deben estudiarse con cuidado cuando se utilicen principalmente en los procesos de planificación ambiental y territorial. En el análisis, los cambios en el clima de la cuenca del río Tuluá, indican la tendencia al calentamiento en 0,2°C al año 2.020, lo cual es acorde con los resultados del estudio de toda la cuenca del río Cauca. La precipitación total anual, proyectó un incremento del 1,0% al 2.020 y consecuentemente se observa mayor oferta hídrica superficial en 0,8%. También, se estimó disminución en 1,2% de la evaporación total.

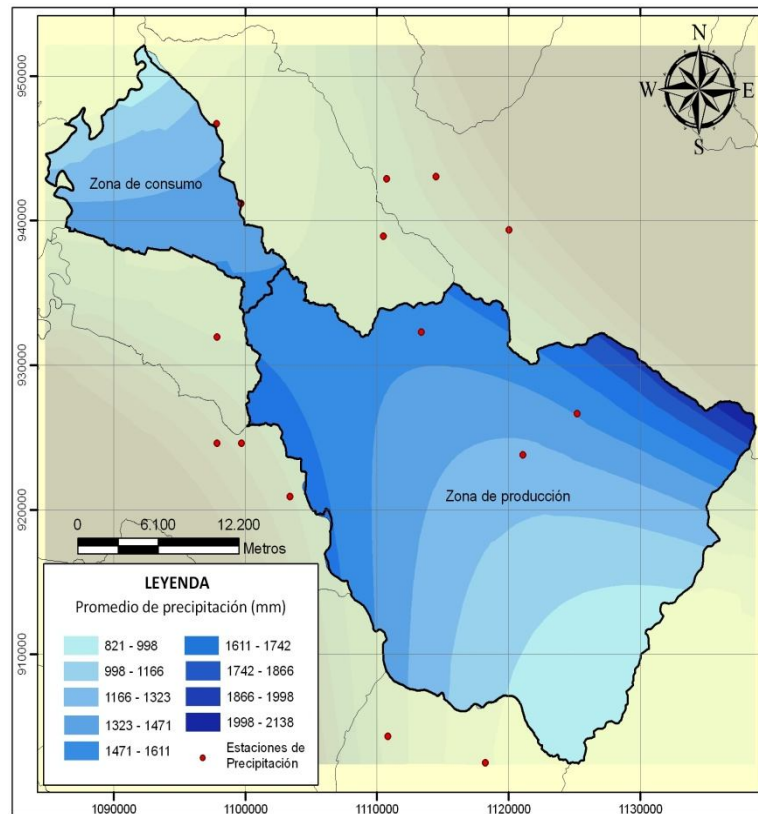
Las figuras 4.28 y 4.29, muestran la interpolación espacial de valores promedios anuales actual y su proyección al 2.020, de la precipitación total y la temperatura media del aire. Se observa, que los cambios en las variables climáticas se presentan principalmente hacia la zona media de la cuenca, indicando que las zonas de uso del suelo actual (año 2.006) dedicada los cultivos de café y papa, así como pasto y bosque principalmente, podrán ser los más afectados. Cabe mencionar, que los impactos ecológicos (bosques, páramo, fauna, entre otros) asociados a la variabilidad y al cambio climático, son un componente de especial importancia que aún requiere de investigación, principalmente por los efectos que pueda tener sobre la conservación y la preservación de los recursos naturales, en este contexto el capítulo 6, presenta un avance inicial, con el estudio de relaciones entre la variación de la precipitación y la vegetación de bosque natural en la cuenca del río Amaime, por presentar mayores alteraciones de las variables climáticas en comparación en la cuenca del río Tuluá.

Figura 4.28. Interpolación Espacial* de la precipitación anual acumulada y de la temperatura media del aire actual y sus proyecciones al 2.020 en la cuenca del río Tuluá

PRECIPITACIÓN ANUAL MEDIA ENTRE 1974 Y 2006 EN LA CUENCA DEL RÍO TULUÁ



PRECIPITACIÓN ANUAL DEL 2020 EN LA CUENCA DEL RÍO TULUÁ



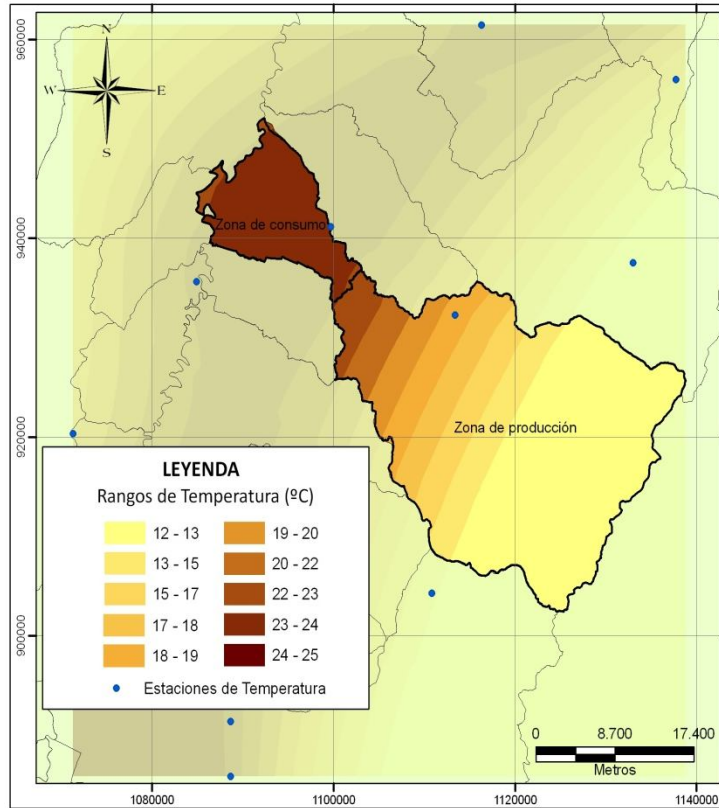
Elaborado por interpolación mediante el método Cokriging Ordinario, a partir de validación cruzada modelo Esférico y con la altura como variable secundaria.

Elaborado por interpolación mediante el método Cokriging Ordinario, a partir de validación cruzada modelo Gaussiano y con la altura como variable secundaria.

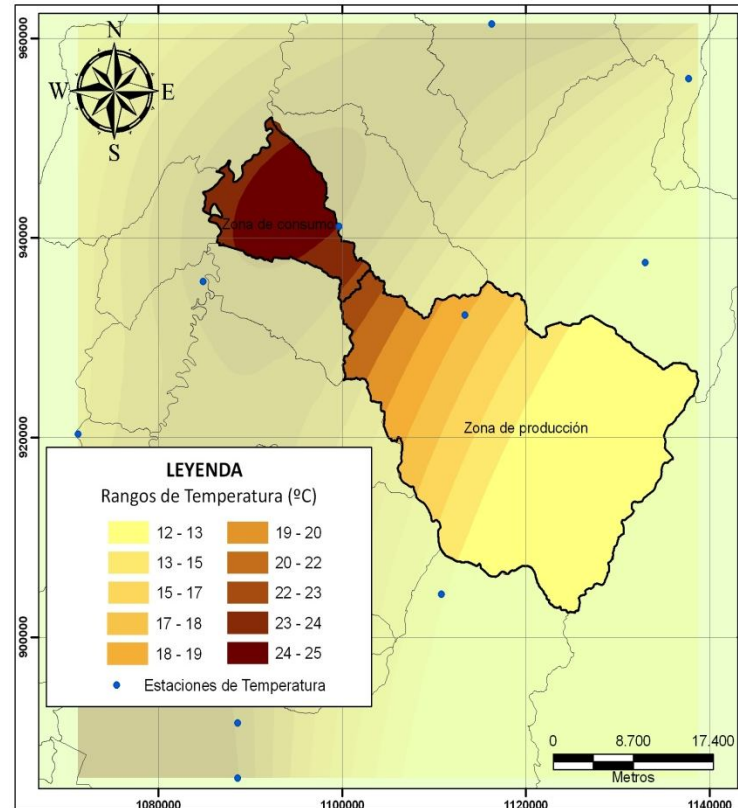
* Realizada mediante interpolación por el método de cokriging ordinario, modelo Gaussiano y con la altura como variable secundaria

Figura 4.29. Interpolación Espacial de la temperatura media del aire actual y su proyección al 2020 en la cuenca del río Tuluá

TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE ENTRE 1974 Y 2006 EN LA CUENCA DEL RÍO TULUÁ



TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE DE 2020 EN LA CUENCA DEL RÍO TULUÁ



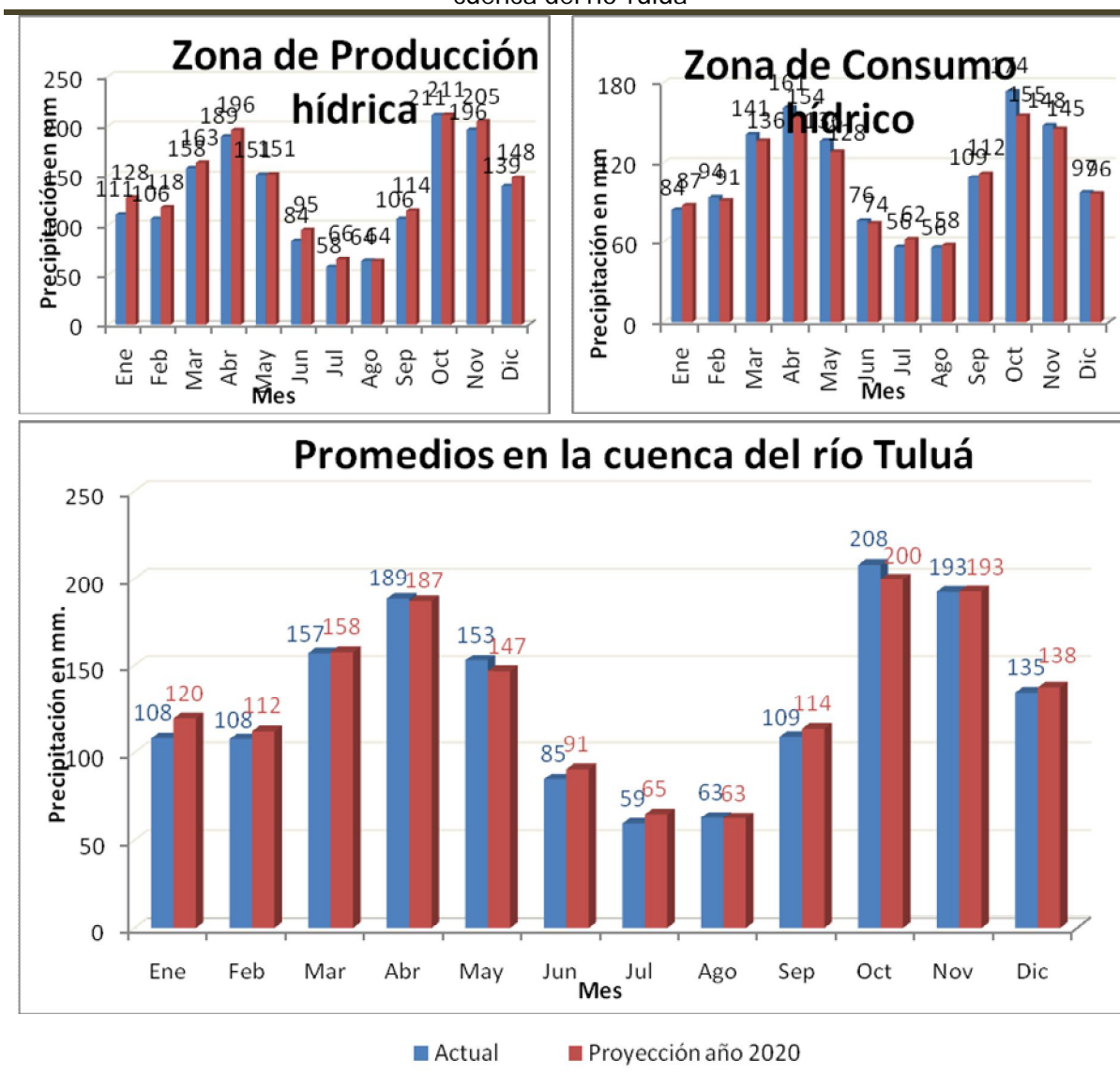
Elaborado por interpolación mediante el método Cokrigin Ordinario, a partir de validación cruzada modelo Esférico y con la altura como variable secundaria.

Elaborado por interpolación mediante el método Cokrigin Ordinario, a partir de validación cruzada modelo Gaussiano y con la altura como variable secundaria.

4.3.1.1. La precipitación total mensual

La figura 4.30 presenta el escenario actual y la proyección al 2.020 de la precipitación mensual en la cuenca del río Tuluá; en la zona productora, se espera incremento promedio del 6% en todos los meses del año, con mayor intensidad en los meses de junio y julio (13% y 14%, respectivamente), en enero también se estimó aumento del 11%. En contraposición, se observa que en mayo, agosto y octubre, existen tendencias a permanecer constantes las lluvias.

Figura 4.30. Escenarios de precipitación mensual actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Tuluá



Según estos resultados, se observa un cambio en la estacionalidad del clima intranual, dado que acorde al régimen bimodal, el periodo de JJA presenta la menor pluviosidad en el año (ver la figura 4.30); sin embargo al año 2.020 se estima una tendencia al incremento de la precipitación del 13% durante junio y julio; estos cambios coinciden con las tendencias intranuales estudiadas en toda la cuenca del río Cauca. Respecto a los efectos de estas modificaciones del clima, se hace evidente realizar estudios que permitan entender las alteraciones en el ciclo semianual, dado que este incremento de las lluvias en dos meses del año, contribuye a la mayor concentración de la precipitación y en consecuencia aumentan las lluvias torrenciales. Adicionalmente, dado que estos cambios se estiman en la zona de producción, logran afectar fuertemente la oferta hídrica y así los múltiples usos del agua en las distintas partes de la cuenca del río Tuluá.

Respecto a la agricultura, un sector productivo de importancia socioeconómica para la región, es necesario anotar que sobre la parte media y alta de la cuenca (que conforman la zona de producción hídrica) se desarrollan principalmente los cultivos de café y papa; así como sistemas productivos de pan coger, de acuerdo a esto, las acciones de planificación, se deben orientar hacia las adaptaciones que consideren la modificación del ciclo semianual del clima, enfáticamente en la variable precipitación, la cual afecta en mayor proporción las actividades llevadas a cabo durante el desarrollo y producción de los cultivos.

En la zona de consumo hídrico, se estima un descenso promedio del 2% en la precipitación mensual, con mayor intensidad en los meses de octubre (11%) y mayo (6%); en contraste, se esperan incrementos del 10% en el mes de julio. Según esto, en esta zona comparada con la de producción hídrica, los cambios son de mayor intensidad, dado que se observan las disminuciones más fuertes de la lluvia durante los meses de más pluviosidad intranual, lo opuesto sucede en el mes de julio.

Respecto a los cambios promedios de la precipitación en la cuenca (ver figura 4.30), se observa un desplazamiento del clima en ciclo semianual, dado que en los trimestres de mayor lluvia intranual (MAM y SON) existe tendencia a la disminución en 0,1%, mientras que en DEF y JJA (de menor pluviosidad intranual) se espera aumento promedio en 1%.

Los cambios en la estacionalidad del clima, según se evidencia en la alteración del régimen bimodal en la cuenca; implica riesgos en los ecosistemas y en sistemas productivos, así como en la población, de ahí la necesidad de orientar acciones

coordinadas por los distintos actores de la cuenca que promuevan la capacidad de adaptación entendida como la propiedad de un sistema para ajustar sus características o su comportamiento con el objetivo de mejorar, desarrollar o implementar estrategias para manejar o aprovechar las consecuencias de la variabilidad climática existente o de las condiciones climáticas futuras (Ebi et al., 2004). La capacidad de adaptación, representa la adaptación potencial más que la adaptación actual, es decir, un elevado nivel de capacidad de adaptación reduce la vulnerabilidad del sistema frente a amenazas del futuro, permitiéndole adaptarse anticipadamente (Brooks, 2003).

4.3.1.2. La temperatura media del aire

La figura 4.31 presenta los escenarios de la temperatura media del aire actual y la proyección al 2.020 en la cuenca del río Tuluá. En la zona de producción, se estima un incremento promedio de $0,1^{\circ}\text{C}$, sin embargo durante los meses de junio y agosto se proyectó una reducción de $-0,1^{\circ}\text{C}$, esto resultados se relacionados con el incremento de la precipitación en esta parte de la cuenca y con las tendencias climáticas intranuales en la cuenca del río Cauca, explicadas en la sección anterior. También, en esta zona el mayor incremento de $0,3^{\circ}\text{C}$, sucede en el mes de diciembre, lo cual se puede relacionar con la mayor actividad de la fase cálida de ENOS (El Niño).

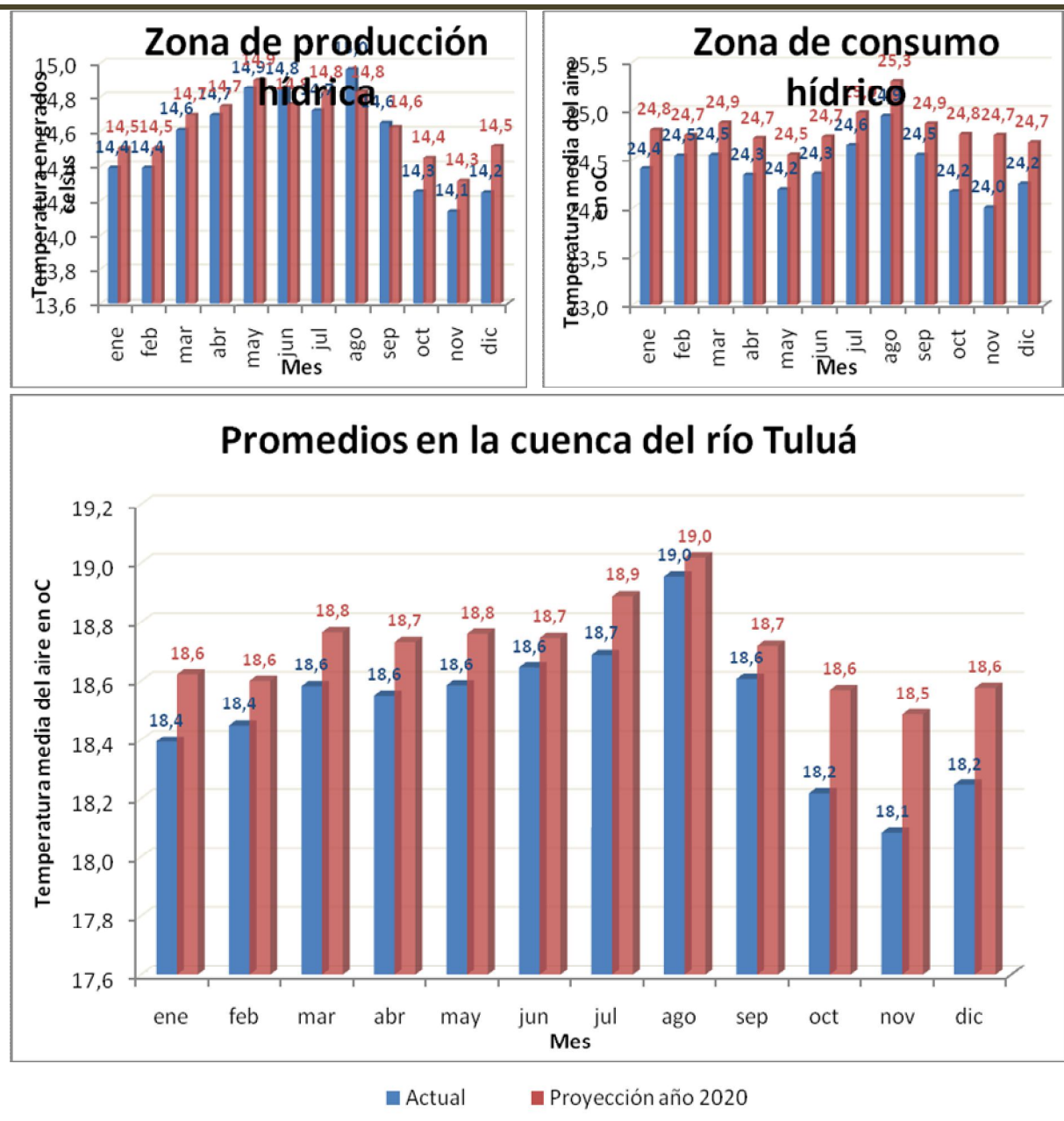
En la zona de consumo, se proyectaron al 2.020 los mayores incrementos de la temperatura con promedio de $0,2^{\circ}\text{C}$, este comportamiento se relaciona con el descenso de la precipitación en esta zona, según se explicó para el caso de la cuenca del río Cauca. En octubre se esperan mayor impacto con un aumento al 2.020 de $0,6^{\circ}\text{C}$.

Según lo muestra la figura 4.31, los cambios de temperatura media en la cuenca del río Tuluá presentan en promedio un incremento de $0,2^{\circ}\text{C}$, las mayores alteraciones se observan a partir de octubre con aumento de $0,4^{\circ}\text{C}$ en promedio. En general, estos resultados concuerdan con los de precipitación, dado que se estiman mayores incrementos de la temperatura, durante los trimestres que presentaron descenso de la pluviosidad que son SON y MAM.

Adicionalmente, los cambios en la temperatura media del aire, coinciden con la tendencia de calentamiento registrada en la cuenca del río Cauca, la cual, entre otros factores locales, se relaciona con la deforestación y la emisión de gases de efecto

invernadero asociados con la agricultura y la industria (Pérez et al., 1998). Estas variaciones ambientales, según el desarrollo de las actividades socioeconómicas en la cuenca del río Tuluá, se amplifican hacia el valle geográfico del río Cauca, que conforma la zona de consumo hídrico y lo cual puede incidir en los mayores aumentos de la temperatura que se presentan en esta parte de la cuenca.

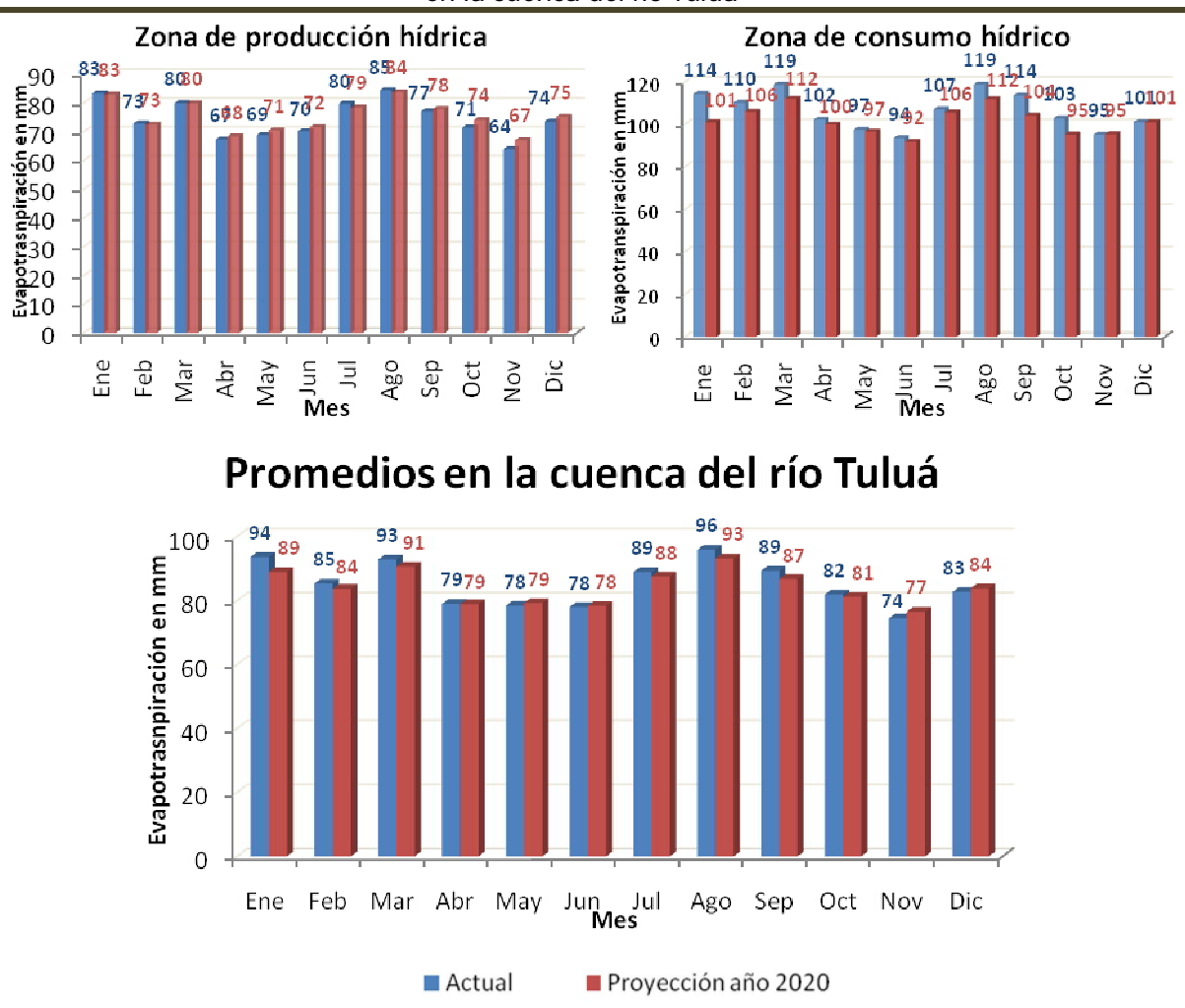
Figura 4.31. Escenario actual y su proyección al 2.020 de la temperatura media del aire mensual en la cuenca del río Tuluá



4.3.1.3. La evapotranspiración mensual

La figura 4.32 presenta el escenario actual y su proyección al año 2.020 de la evapotranspiración total mensual en la cuenca del río Tuluá. En la zona de producción hídrica, se estima un aumento promedio de 1%, lo cual se relaciona con las tendencias de incremento de las lluvias en esta parte de la cuenca; la mayor intensidad de la evapotranspiración con ampliación del 5%, se estima durante el mes de noviembre. Sin embargo, en esta zona, también existe tendencia a su descenso, en promedio del 2% durante los meses de julio y agosto, en los cuales se presentan alta evapotranspiración y se explica como resultado del descenso de la temperatura del aire.

Figura 4.32. Escenario actual y su proyección al 2.020 de la evapotranspiración total mensual en la cuenca del río Tuluá



En la zona de consumo hídrico (ver figura 4.32), se estimó reducción de la evapotranspiración en promedio de 4%, el mayor descenso de 12% se obtuvo durante el mes de enero; esta tendencia puede relacionarse con el comportamiento de los factores determinantes en la evaporación como son: la energía para el paso del líquido a gas, la capacidad de la atmósfera circundante para admitir el vapor de la superficie evaporante y la remoción permanente del vapor acumulado sobre la superficie (Raj & Ramírez, 2004). Según los resultados, en la precipitación se evidencia disminución en esta zona, luego se proyecta menor cantidad de agua que se pueda evaporar desde la superficie.

Según lo muestra la figura 4.32, los valores promedios en la cuenca del río Tuluá proyectan reducción del 1% en la evapotranspiración, también, se estimaron aumentos en los meses de mayo, noviembre y diciembre (2% en promedio), así mismo, se observa que en los meses de mayor evaporación intranual, como son enero, marzo y agosto, presentaron los descensos más acentuados (con promedios de 4% mensual). De acuerdo con estos resultados y las tendencias en las demás variables climatológicas, se confirma la modificación en la estacionalidad del clima semianual, mostrando tendencias contrarias (de incremento o descenso de cada variable) al comportamiento normal (promedio) según el régimen bimodal en la cuenca.

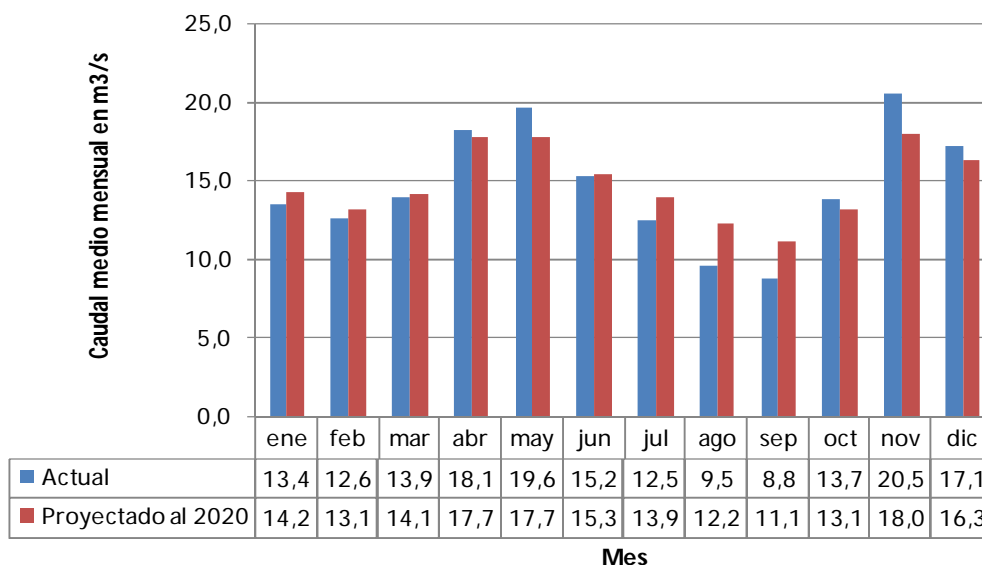
Sin embargo, en estos escenarios de evapotranspiración deben analizarse con cuidado, dado que se esperaría que el incremento de la temperatura del aire promueva a su vez mayor evaporación, debido a que se aumenta la capacidad de la masa de aire para almacenar vapor de agua (Castañeda, 1995); sin embargo, se observa un comportamiento diferente en los resultados obtenidos. Por tanto, las conclusiones alrededor de los escenarios climáticos planteados, también deberán considerar otras variables como son humedad relativa y radiación solar, entre otras, las cuales permitan el entendimiento del sistema climático y logre justificar las tendencias climáticas en la zona de estudio.

4.3.1.4. La oferta hídrica superficial

La figura 4.33 presenta el caudal medio mensual multianual actual y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá; se proyecta un incremento promedio del 1%. El mayor aumento, del 9%, se proyecta en los meses de agosto y septiembre, en los cuales se presentan los caudales más bajos en el año. Particularmente, en agosto se estimó el mayor aumento de 2,7m³/s.

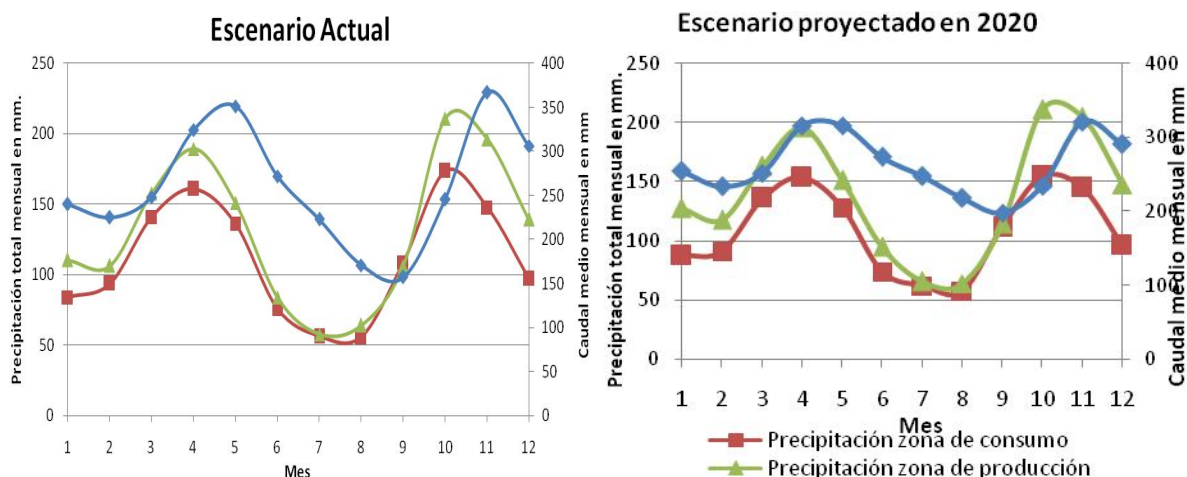
Figura 4.33. Escenario actual y su proyección al año 2.020 del caudal medio mensual en la cuenca del río Tuluá

Estación Mateguadua en el río Tuluá



A continuación, la figura 4.34 muestra la oferta hídrica superficial actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Tuluá:

Figura 4.34. Escenario actual y su proyección al año 2.020 de la oferta hídrica superficial mensual promedio en la cuenca Tuluá: la precipitación total en las zonas de producción y de consumo hídrico, y el caudal medio (en mm)



Adicionalmente, en los meses de mayo y noviembre con superior caudal intranual, se obtuvieron los mayores descensos del 10% y 12% respectivamente. En general, se

conserva la tendencia en la alteración de la estacionalidad de las variables hidroclimáticas a escala semianual.

Al integrar las proyecciones al 2.020 de la oferta hídrica superficial, se estimó que el mayor riesgo por disminución en la disponibilidad de agua, se puede presentar en los meses de mayo y noviembre, donde suceden conjuntamente reducciones en la precipitación y el caudal; en enero se observó lo contrario (ver figura 4.34).

Adicionalmente, en la figura 4.34 se observa que la variabilidad de la precipitación en la zona de producción hídrica es la que afecta en mayor proporción el caudal en la cuenca del río Tuluá, de acuerdo con esto, las proyecciones al año 2020 del incremento promedio del 4% en el caudal, se asocia principalmente con el aumento del 7% en la precipitación en dicha zona.

Según lo muestra la figura 4.34, las proyecciones del caudal presentan un rezago de un mes con respecto a las de precipitación, de ahí que en septiembre se presentó el menor caudal por la disminución de las lluvias en agosto; en contraparte como octubre se estimó de mayor pluviosidad intranual en noviembre se observó aumento del caudal. También, se observa tendencia a la menor acentuación de este rezago en el escenario del año 2.020.

De acuerdo con los resultados obtenidos al 2.020, los meses de reducción en la oferta hídrica son los de mayor pluviosidad intranual (ver figura 4.34), lo cual puede minimizar los impactos por escasez de agua; no obstante, los cambios en la estacionalidad del clima requieren de medidas de adaptación en diferentes sectores, principalmente en la agricultura que es altamente sensible dado que el manejo de cultivos y las actividades agrícolas dependen entre otros factores, del clima y principalmente de la precipitación.

En general en la cuenca del río Tuluá, se estimaron 14,6 y 14,7 m³/s (equivalente a 261 y 263 mm) de caudal medio mensual actual y su proyección al año 2.020, respectivamente. También, en el balance oferta-demanda de agua se considerará una oferta sub-superficial de 36 mm/mes (ver numeral 5.1.4) que corresponde a la extracción actual del aguas subterráneas en la cuenca (CVC, 2007a).

4.3.2. Caso: Cuenca del río Amaime

La tabla 4.9 presenta los resultados a escala anual de las proyecciones hidroclimáticas; se observa que al año 2.020 se esperan descensos de la precipitación total anual y del caudal medio mensual en 4% y 3% respectivamente. También, se estimaron aumentos de la temperatura media del aire en 0,1°C y de la evaporación total anual en 2%.

Tabla 4.9. Resultados de proyecciones de las variables climáticas al 2.020 y la comparación con los valores medios actuales en la cuenca del río Amaime

Método de Proyección	Precipitación total anual (mm/año)	Temperatura media del aire (°C)	Evapotranspiración anual (mm/año)	Caudal medio mensual (m ³ /s)
Lineal: Test Theil-Sen	1.337	20,6	1.002	8,2
Modelo ARIMA	1.281	20,8	988	-
Modelo Majicc/Scnagen	1.394	20,6	1.130	7,4
Promedio proyectado	1.449	20,5	1.006	7,8
Promedio actual	1.390	20,5	989	8,2
% de cambio	-4%	0,1	2%	-3%

4.3.2.1. La precipitación total mensual

La figura 4.35 presenta el escenario actual y su proyección al 2.020 de la precipitación mensual en la cuenca del río Amaime. En la zona de producción se estimaron 1.478 mm y 1.405 mm de precipitación total anual promedio actual y en el año 2.020, respectivamente; lo cual representa un descenso del 5%. También, en agosto, siendo el mes de menor pluviosidad intranual en esta zona, se proyectó la mayor reducción del 11% en la lluvia.

Adicionalmente, en la zona de producción hídrica (ver figura 4.35), se proyecta al año 2.020 el descenso generalizado de la precipitación mensual, con menor intensidad de -2%, durante el mes de diciembre. También, en marzo, abril, octubre y noviembre, como periodos de mayor pluviosidad intranual, se estimaron las menores reducciones de la lluvia con promedio de -4%. De acuerdo a esto, se observa entonces mayor impacto del escenario proyectado al 2.020 durante los meses de menor precipitación en el año, entre junio y septiembre, donde suceden también las mayores reducciones de la lluvia en magnitud promedio del 7%.

Figura 4.35 Distribución espacial de la precipitación total anual (en mm.) actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime

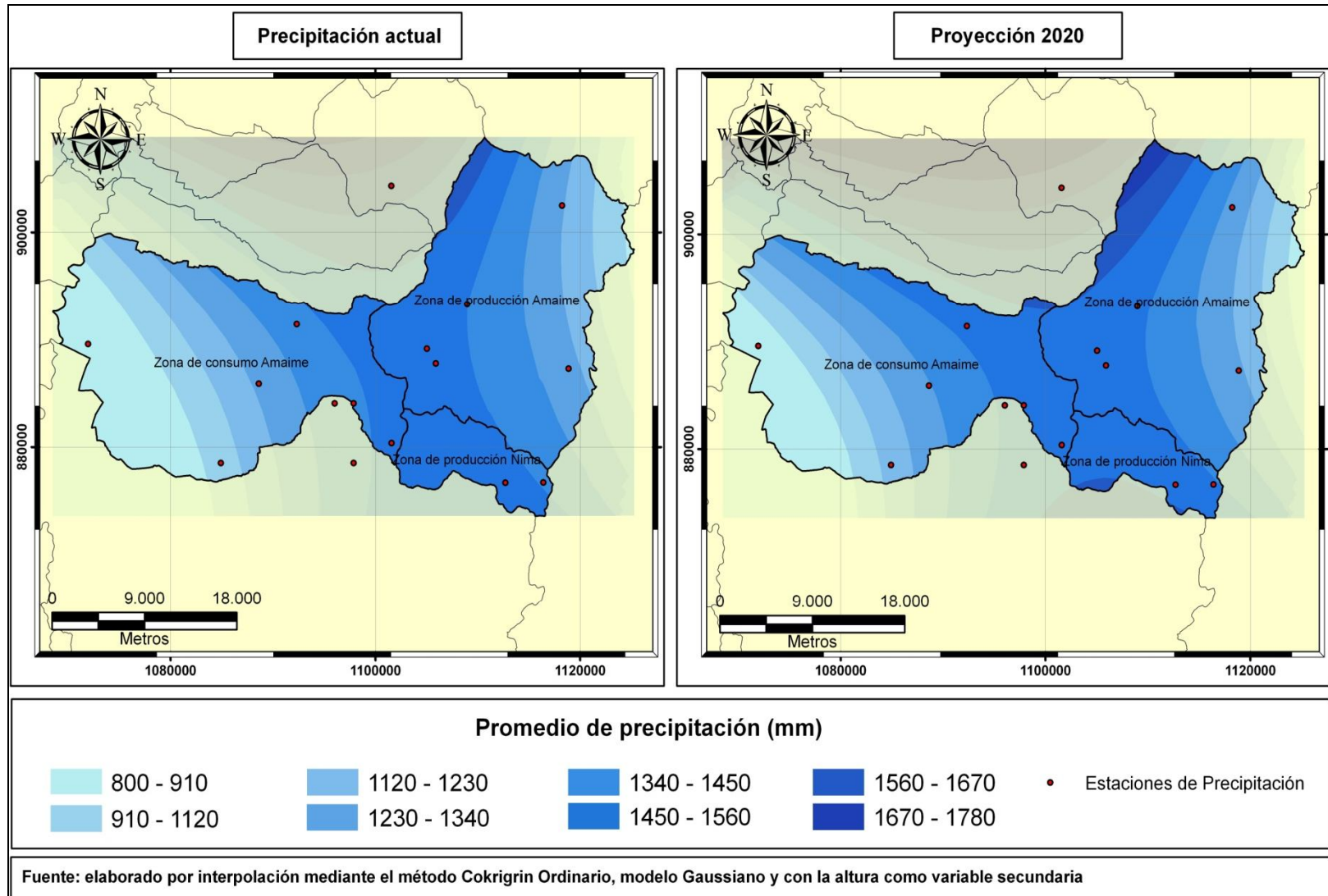
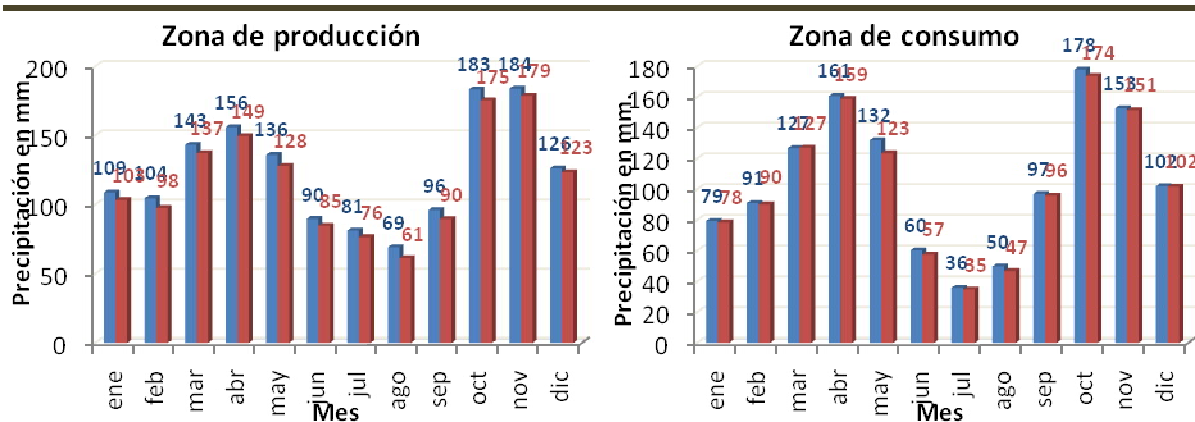
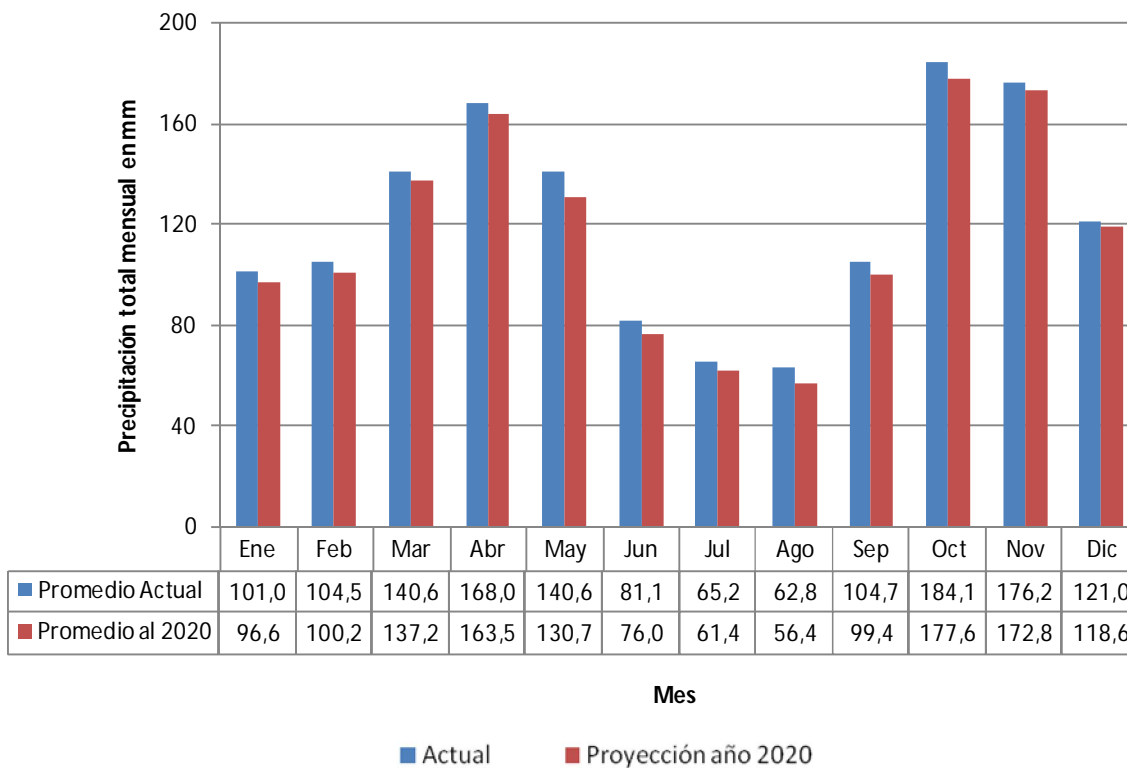


Figura 4.36. Escenarios de precipitación mensual actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime



Promedios en la cuenca del río Amaime



También, en la zona de consumo hídrico (ver figura 4.36), se estimó al 2.020 un descenso promedio de 2% en la precipitación mensual y se calcularon valores de 1.265 mm y 1.239 mm de lluvia total anual media actual y la proyectada al 2.020, respectivamente. Durante los meses de marzo y diciembre se observó que la

precipitación permanece constante; por el contrario, en mayo y agosto se proyectaron las mayores reducciones de la lluvia en 6%.

En la cuenca del río Amaime, respecto a los valores promedios de los escenarios de precipitación, se observa que los mayores descensos (de 7% y 10%) proyectados al 2.020 se esperan durante mayo y agosto, respectivamente. Adicionalmente, durante los meses junio y julio, los cuales presentan baja pluviosidad, se proyectaron también reducciones del 6% en la lluvia. Las menores variaciones, con reducciones en 2%, se estimaron en marzo, noviembre y diciembre.

En general en la cuenca del río Amaime, se estimó 1.449 mm y 1.390 mm de precipitación total anual actual y al año 2.020, representando una reducción neta del 4%. De acuerdo a esto, en la cuenca del río Amaime, se espera mayor reducción del 5% en la precipitación de la zona de producción, lo cual puede afectar en mayor proporción la oferta hídrica de la cuenca; adicionalmente, la variación de la precipitación en la zona de consumo, principalmente en los meses de mayo y agosto, evidencia la necesidad de promover opciones de adaptación desde los múltiples usos del agua (como son humano, agrícola, pecuario, etc.), principalmente para el consumo humano y las actividades agrícolas, el cual se desarrolla en mayor escala sobre esta zona, así mismo se identifica como un sector, de alta sensibilidad debido entre otros, a las alteraciones climáticas.

4.3.2.2. La temperatura media del aire

La figura 4.37 presenta el escenario de temperatura media del aire mensual actual y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Amaime. En la zona de producción, actualmente la temperatura media es de 11,4°C y se estimó un incremento promedio de 0,1°C; en contraste, durante el mes de junio se proyectó un descenso de -0,1°C; el resto de meses presentaron incrementos de 0,2°C.

Adicionalmente en la zona de consumo (ver figura 4.38), la temperatura media del aire actual es de 23,3°C y tiende a permanecer constante según el escenario proyectado al año 2.020, sin embargo, durante agosto y octubre se observaron las mayores variaciones de aumento en 0,1°C.

Figura 4.37. Distribución espacial de la temperatura media del aire (en °C) actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime

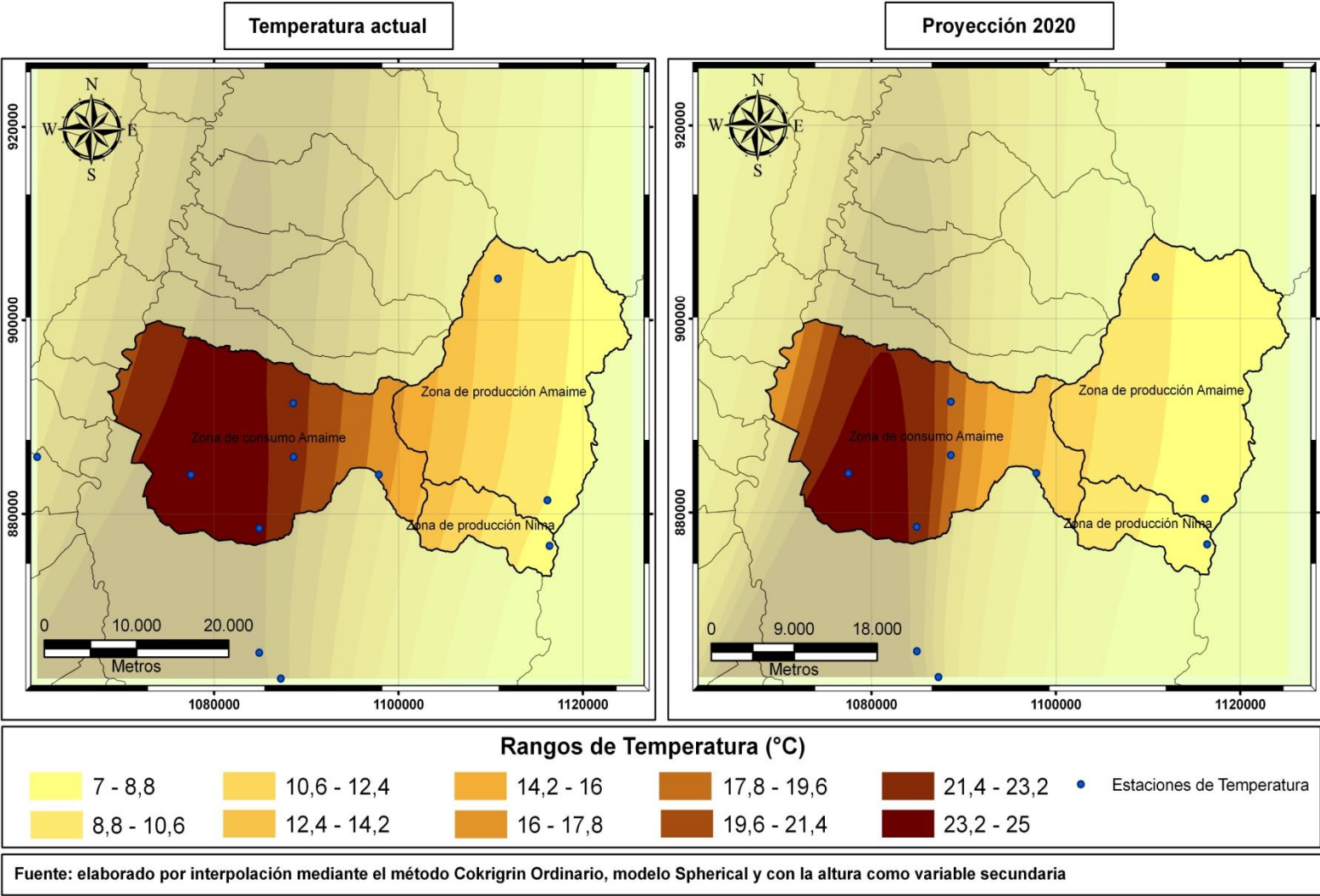
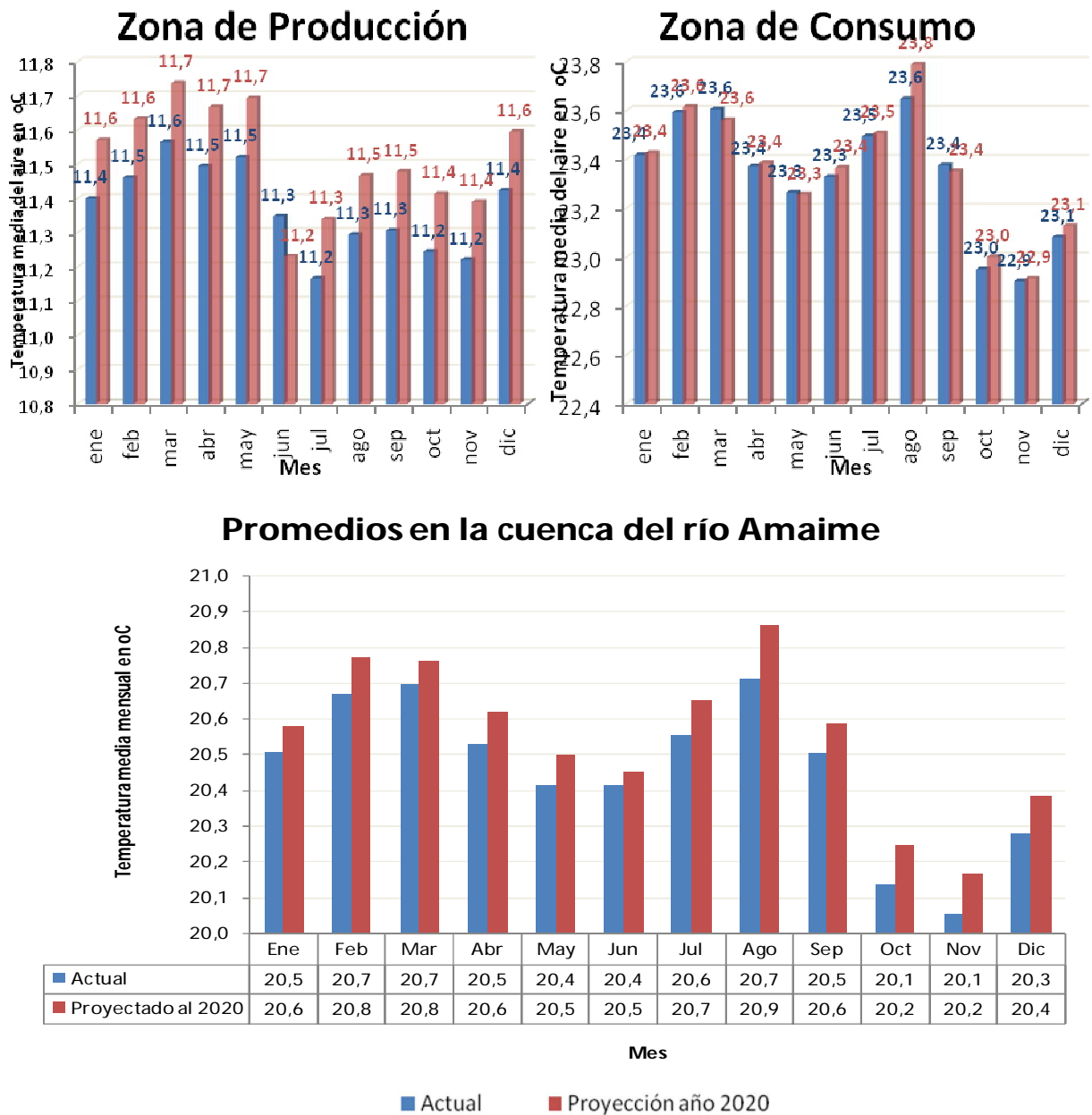


Figura 4.38. Escenarios de temperatura media del aire mensual actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime



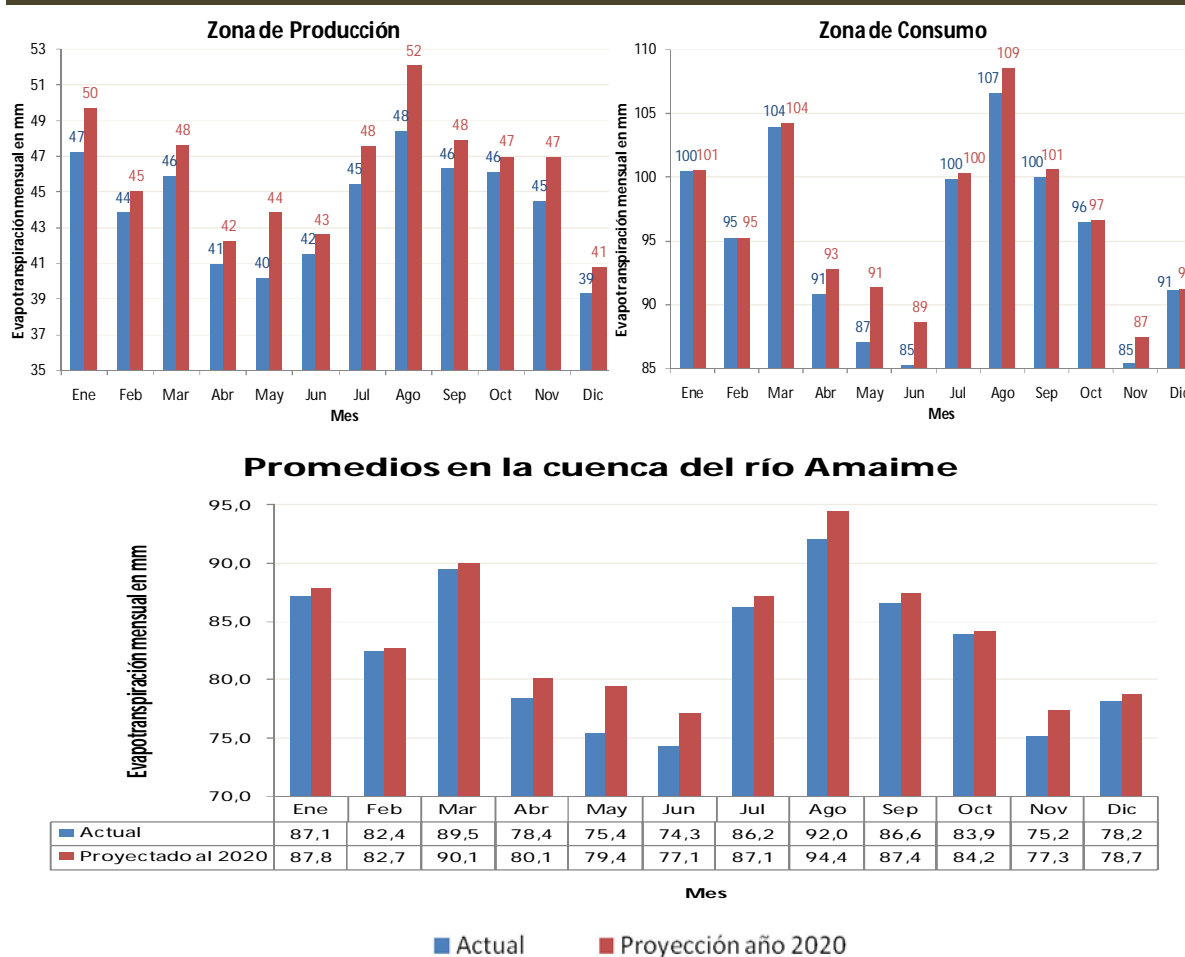
De acuerdo a los valores promedios en la cuenca del río Amaime (ver figura 4.37), la temperatura media del aire presenta tendencia generalizada al incremento en promedio de 0,1°C. El mayor cambio de 0,2°C, se estimó en el mes de agosto. Estos resultados, coinciden con los escenarios de precipitación en la cuenca; según la reducción en todos los meses (en 5%) de las lluvias y con mayor intensidad del 10% se

estimó para este mismo mes. Esta relación inversa entre la temperatura del aire y la precipitación, se explicó también en los resultados de las tendencias en la cuenca del río Cauca (ver sección 4.2.1.2).

4.3.2.3. La evapotranspiración mensual

La figura 4.39 presenta los escenarios de evapotranspiración total mensual actual y su proyección al 2020 en la cuenca del río Amaime. En la zona de producción hídrica, se estimaron 530 y 553 mm de valores totales anuales actual y al año 2.020, respectivamente; lo cual representa incremento de 4%. Los mayores cambios con aumentos de 9% y 8%, se estimaron en los meses de mayo y agosto, respectivamente.

Figura 4.39. Escenarios de evaporación total mensual (en mm.) actual y su proyección al 2.020 en la cuenca del río Amaime



En la zona de consumo (ver figura 4.39), también se estimaron incrementos de la evapotranspiración, aunque en menor proporción en relación con la zona de producción. Los valores promedios anuales estimados en orden para el escenario actual y en el año 2.020, fueron de 914 mm y 915 mm. Entre diciembre y marzo los resultados tienden a permanecer constantes; en contraste en mayo y junio se presentaron los mayores aumentos en 5% y 4% respectivamente.

Según los resultados promedios en la cuenca, se calcularon 989mm y 1.006 mm de evapotranspiración total anual actual y al año 2.020, indicando un incremento promedio de 2%. De acuerdo con los resultados en las zonas de producción y de consumo, en los meses de mayo y junio, donde sucede la menor evapotranspiración intranual, se observaron mayores aumentos, así en la actualidad el promedio fue de 75 mm y 74 mm en cada mes, y al 2.020 se estimaron 79 mm y 77mm, respectivamente.

En general, los resultados de los escenarios de las variables climáticas coinciden en sus tendencias estimadas, con el comportamiento del sistema climático a escala semianual, dado que se relaciona con el descenso de la precipitación con los incrementos en la temperatura y en consecuencia de la evaporación y la evapotranspiración, según se explicó en la sección de los resultados en la cuenca del río Tuluá (ver sección 4.3.1.3).

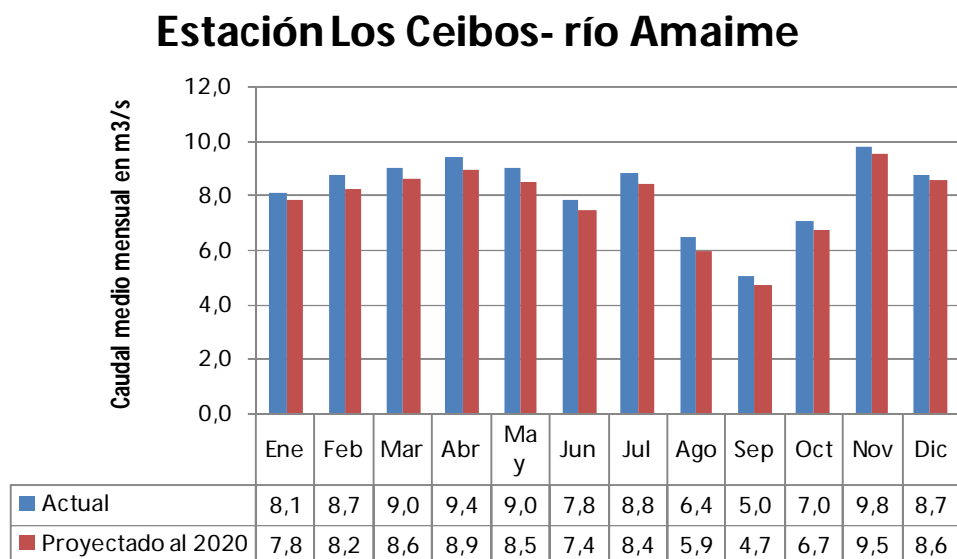
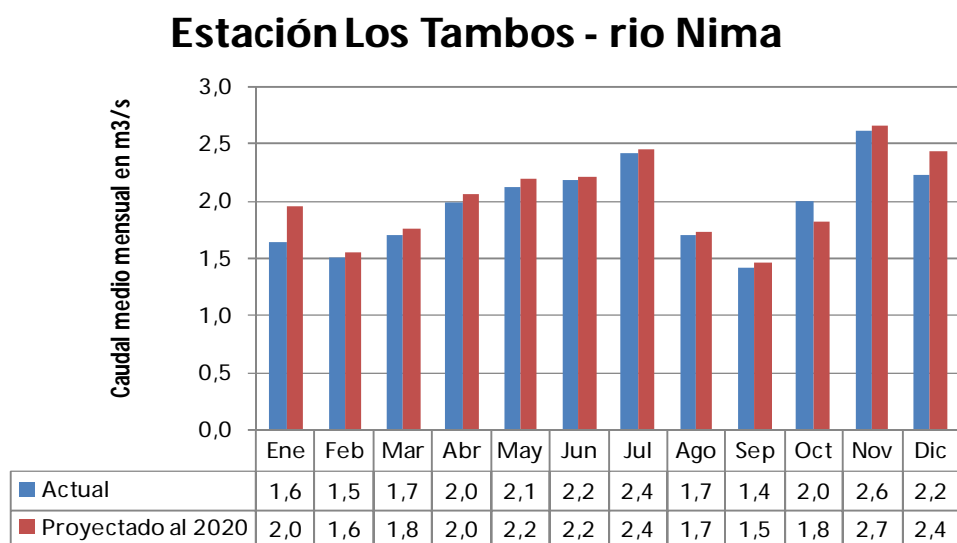
4.3.2.4. La oferta hídrica superficial

La figura 4.40 presenta el escenario actual y su proyección al año 2.020 del caudal medio mensual en los ríos Nima (estación Los Tambos) y Amaime (estación Los Ceibos), ambos caudales conforman la oferta hídrica superficial de la cuenca Amaime, cuyo principal tributario es el río Nima. Se observa la presencia del régimen bimodal hidrológico en los dos ríos y con mayor marcación de los dos periodos húmedos y secos en el río Amaime. En la estación Los Tambos (zona producción del río Nima), se calcularon 1.9 y 2,0 m³/s del caudal medio mensual actual y su proyección al 2.020, respectivamente; lo cual representa un aumento en 3%. El incremento de mayor intensidad del 20%, se estimó durante el mes de enero, el cual se caracteriza por presentar el menor caudal del año; en contraste, octubre presentó un descenso en 9%.

Adicionalmente, la estación Los Ceibos, sitio hasta el cual se define la zona productora del río Amaime, según lo muestra la figura 4.40, el descenso en el caudal medio

mensual, en promedio es de -5%. La mayor reducción del 8% se proyecta durante agosto, el cual a su vez es el mes de menor caudal. También, se observa que durante el primer trimestre del régimen de mayores caudales, entre marzo y junio, se estimaron disminuciones del caudal en promedio de 5%. El menor impacto con una variación de -2%, se proyectó en el mes de diciembre. En este punto, los valores de caudal mensual estimados en promedio actual y su proyección al 2020 fueron 8,2m³/s y 7,8 m³/s, respectivamente.

Figura 4.40. Escenario actual y su proyección al año 2.020 del caudal medio mensual en los ríos Nima (estación: Los Tambos) y Amaime (estación: Los Ceibos)

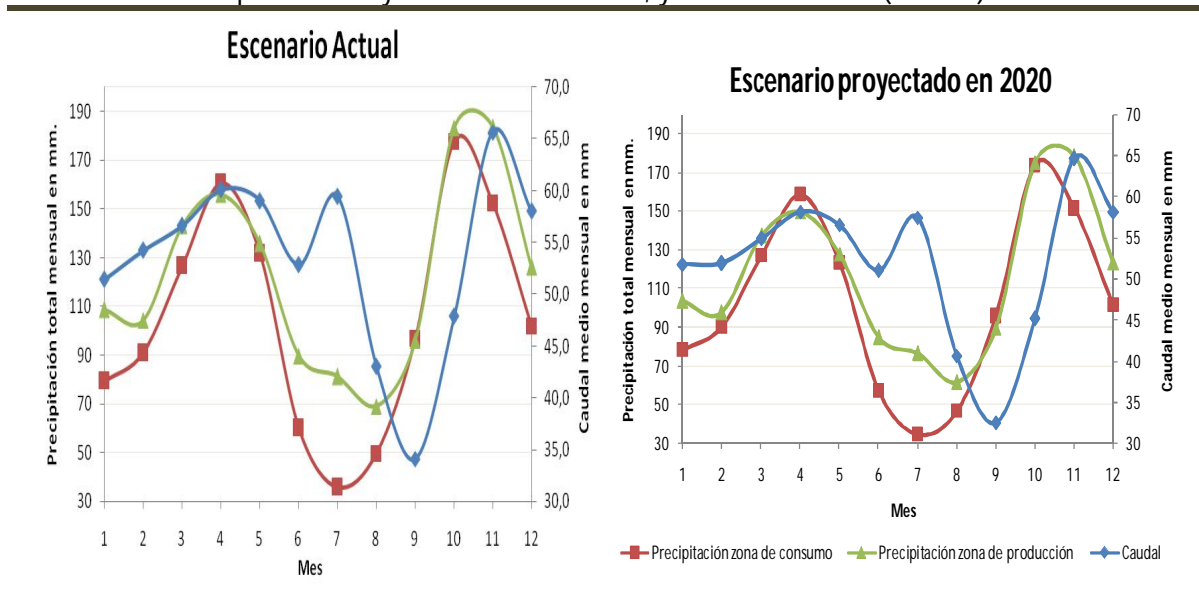


La figura 4.41 presenta los escenarios actual y el proyectado al año 2.020 de la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Amaime; se observa que el mayor periodo de caudales en el año, el cual sucede en noviembre y diciembre, se asocia a la mayor precipitación en la zona de producción hídrica en los meses de octubre y noviembre; lo cual además, muestra el rezago de un mes en el régimen bimodal del caudal respecto a la lluvia en la cuenca.

La reducción al año 2.020 en el caudal medio mensual en la cuenca del río Amaime, fue estimada en promedio de 3%. La mayor reducción del 6%, se proyectó en el mes de agosto; lo cual se relaciona principalmente con los descensos de la precipitación en la zona de producción, que para este mes fue del 11%.

En general, en la cuenca del río Amaime, según los escenarios de variabilidad climática obtenidos, se esperan mayores condiciones de estiaje en la zona de estudio, así mismo la acentuación del segundo periodo hidrológico seco en el año, entre junio y septiembre. Adicionalmente, se esperan los mayores riesgos, durante el mes de agosto el cual presenta descensos en el caudal en 6% y de la precipitación media en 11%; así como incrementos en la temperatura del aire de 0,1°C y en la evaporación total del 3%.

Figura 4.41. Escenario actual y su proyección al año 2.020 de la oferta Hídrica superficial mensual promedio en la cuenca del río Amaime: la precipitación total en las zonas de producción y de consumo hídrico, y el caudal medio (en mm)



Capítulo 5. ANÁLISIS DE FACTORES QUE DETERMINAN LA DEMANDA HÍDRICA ANTE EL ESCENARIO CLIMÁTICO ACTUAL Y SU PROYECCIÓN AL 2020

Este análisis se realizó en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime; tuvo como objetivo estudiar los factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica, los cuales fueron: cambios en el uso del suelo, crecimiento de la población, evolución del área sembrada y de los rendimientos de los cultivos, así como el desarrollo del sector bovino. Luego, en el desempeño y su proyección al año 2.020 de estos aspectos, fueron considerados los escenarios climáticos (definidos en el capítulo 4) de precipitación mensual, temperatura media del aire y evaporación, con el fin de explorar la incidencia de ellos en la disponibilidad hídrica actual y futura (proyectada al año 2.020).

Los factores socioeconómicos analizados, permitieron la determinación actual y su proyección al año 2.020, de las siguientes demandas hídricas: agrícola e industrial, así como consumo doméstico, requerimientos de agua en el sector bovino (con el propósito de representar la demanda pecuaria en la cuenca) y la demanda ambiental.

En los resultados, el producto final que analiza la disponibilidad hídrica ante escenarios climáticos, conduce a la presentación de los siguientes balances entre oferta y demanda de agua: (i) el actual basado en la información censal de área sembrada, (ii) el actual fundamentado en la información cartográfica de usos de suelo, y (iii) la proyección al año 2.020 construido a partir de la información censal y relacionado con cartografía a nivel de cuenca hidrográfica.

Conforme al desarrollo metodológico empleado, los resultados del análisis de factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica, se presentan en dos secciones para las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, en las cuales se muestran lo siguiente: (i) Descripción de las variables socioeconómicas, (ii) Proyección al año 2.020 de los factores socioeconómicos (iii) Demanda hídrica actual y su proyección al 2.020 en la cuenca y (iv) Balance integrado: oferta-demanda hídrica en la cuenca, actual y al año 2.020 ante escenarios climáticos.

5.1. Caso de estudio: Cuenca del río Tuluá

5.1.1. Descripción de factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica

A continuación se realiza la descripción y análisis de las bases de datos de área y rendimientos agrícolas, de evaluación de la población y del inventario bovino, a nivel de municipio, empleando datos censales, obtenidos de fuentes oficiales como el DANE, URPA, y Secretaría de Agricultura Departamental.

5.1.1.1. Áreas sembradas y rendimientos censales de cultivos a nivel municipal

Los cultivos seleccionados representaron más del 90% del área agrícola en la cuenca Tuluá, según la información cartográfica de CVC para los usos del suelo de 1.996 y 2.006 (ver numeral 3.2.2.1. en la sección: selección de cultivos representativos), a continuación se realiza el análisis por cultivo:

5.1.1.1.1. El cultivo del café

La tabla 5.1 indica el registro histórico de rendimiento y área sembrada para el cultivo de café en los municipios con territorio en la cuenca del río Tuluá.

Tabla 5.1. Área sembrada y rendimiento de café por municipios de la cuenca del río Tuluá

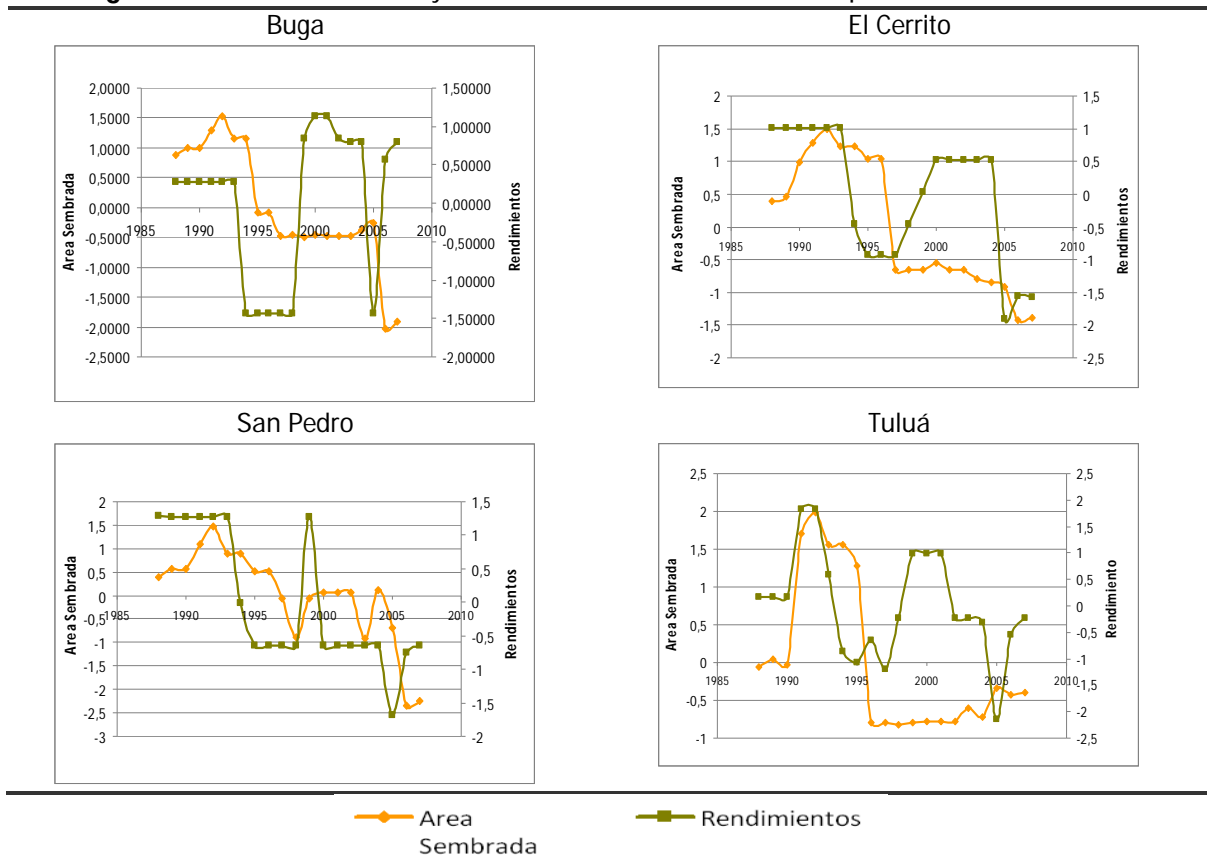
AÑOS	BUGA		EL CERRITO		SAN PEDRO		TULUÁ	
	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)
1988	1.259,00	1,10	318,00	1,10	650,00	1,10	4.583,00	1,10
1989	1.289,00	1,10	325,00	1,10	665,00	1,10	4.690,00	1,10
1990	1.289,00	1,10	374,00	1,10	666,00	1,10	4.605,00	1,10
1991	1.361,00	1,10	403,00	1,10	710,00	1,10	6.312,00	1,50
1992	1.418,00	1,10	423,00	1,10	741,00	1,10	6.586,00	1,50
1993	1.327,00	0,10	397,00	1,10	693,00	1,10	6.163,00	1,20
1994	1.327,00	0,80	397,00	0,80	693,00	0,90	6.163,00	0,85
1995	1.030,00	0,80	379,00	0,70	662,00	0,80	5.891,00	0,80
1996	1.030,00	0,80	379,00	0,70	662,00	0,80	3.862,00	0,90
1997	938,00	0,80	218,00	0,70	612,00	0,80	3.866,00	0,77
1998	940,00	0,80	218,80	0,80	543,00	0,80	3.837,10	1,00

AÑOS	BUGA		EL CERRITO		SAN PEDRO		TULUÁ	
	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)
1999	932,80	1,20	218,80	0,90	612,20	1,10	3.859,20	1,30
2000	941,00	1,25	228,00	1,00	624,20	0,80	3.880,00	1,30
2001	936,00	1,25	218,80	1,00	624,20	0,80	3.876,78	1,30
2002	936,00	1,20	218,80	1,00	622,50	0,80	3.869,24	1,00
2003	937,47	1,19	205,18	1,00	540,54	0,80	4.050,79	1,00
2004	960,07	1,19	199,18	1,00	627,50	0,80	3.932,79	0,98
2005	986,87	0,80	192,53	0,50	559,73	0,64	4.301,56	0,54
2006	562,76	1,15	146,06	0,57	419,09	0,78	4.220,35	0,93
2007	593,50	1,19	149,10	0,57	428,50	0,80	4.244,40	1,00

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la evolución del área sembrada y su rendimiento en el periodo de registro (1.988-2.007) se realiza observando las series tipificadas. De esta forma, en la figura 5.1 se observa las variaciones de cada área de cultivo y su rendimiento, con respecto a la desviación del valor promedio histórico.

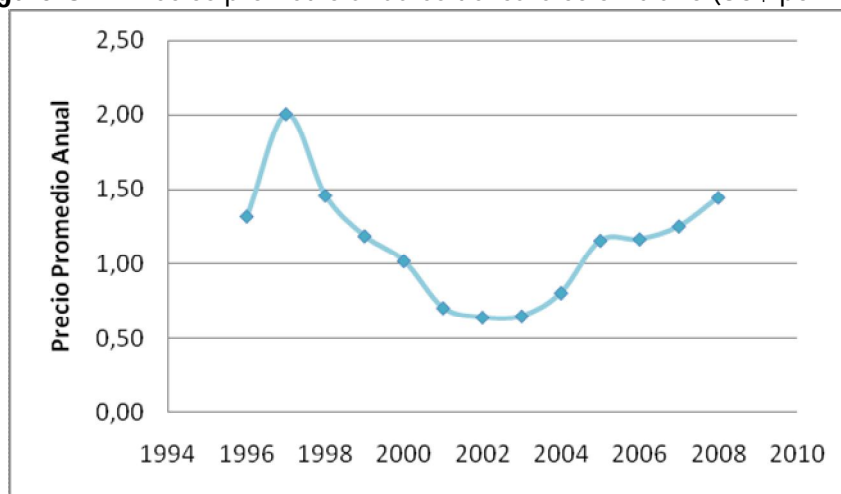
Figura 5.1. Área sembrada y rendimientos del café en municipios de la cuenca Tuluá



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has). Fuente: Elaboración propia

Se deduce del análisis integrado, que todos los gráficos de la figura 5.1 son concluyentes en el descenso del área sembrada y sus rendimientos, pero lo más característico es que la caída parece coincidir con un periodo especial del comportamiento de los precios del café entre mediados y finales de los años 90 (ver figura 5.2); que marca un hito en el mercado mundial del café con precios bajos, derivados de los cambios estructurales que ha sufrido el mercado de la caficultura a nivel mundial: (i) incremento de la oferta global del grano, (ii) el rompimiento del pacto de cuotas en 1.989, que implicó la entrada de nuevos países productores –como Vietnam- al mapa cafetero mundial, y (iii) Brasil aumentó sustancialmente la tecnificación de sus cultivos, disminuyendo los impactos de índole climática que afectaban su producción (DNP, 2004).

Figura 5.2. Precios promedio anuales del café colombiano (US\$ por libra)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Dane (2008)

Se observa un comportamiento regular de las series analizadas, toda vez que guardan una relación positiva entre ellas, lo cual indica que es de esperar, que el área sembrada aumente conforme aumentan los rendimientos, pero sobre todo, esta tendencia está determinada, de acuerdo al análisis del mercado internacional del café, por el comportamiento del precio interno y la tendencia del mismo en el mercado internacional. Los datos también indican que a partir del año 2.000 se ve una leve recuperación del área sembrada solo en el municipio de Tuluá, que parece estar ligado al comportamiento de los precios internacionales del grano colombiano (DNP, 2008), y a que la política de sustitución de cafetales no fue tan significativa en este municipio, como es posible que haya pasado en los otros tres municipios del área de análisis, de acuerdo a la política de la federación de cafeteros, que para el año 2.001 había sustituido 210 mil hectáreas en todo el país (DNP, 2001).

En la sección 5.1.1.2, cuando se haga el análisis integrado a nivel de la cuenca, se podrá observar la pérdida de este cultivo a través del tiempo, como insumo para la proyección al año 2.020.

5.1.1.1.2. El cultivo de la caña de azúcar

La evolución del área sembrada en el periodo de análisis (1.988-2.007) indica un crecimiento sostenido en todos los municipios, excepto en El Cerrito (ver tabla 5.2), que presenta una caída sustancial del área sembrada en el último quinquenio de la década del 90, y una leve recuperación a partir del año 2.000. A pesar de que el área sembrada se incrementa para este municipio, los datos también indican que el rendimiento por hectárea de este cultivo, cae considerablemente desde mediados de los 90. Igual comportamiento presenta la productividad en los otros municipios; sin embargo a partir del año 2.000 aumenta en ellos de manera sostenida, el rendimiento del cultivo de caña por hectárea (ver figura 5.3).

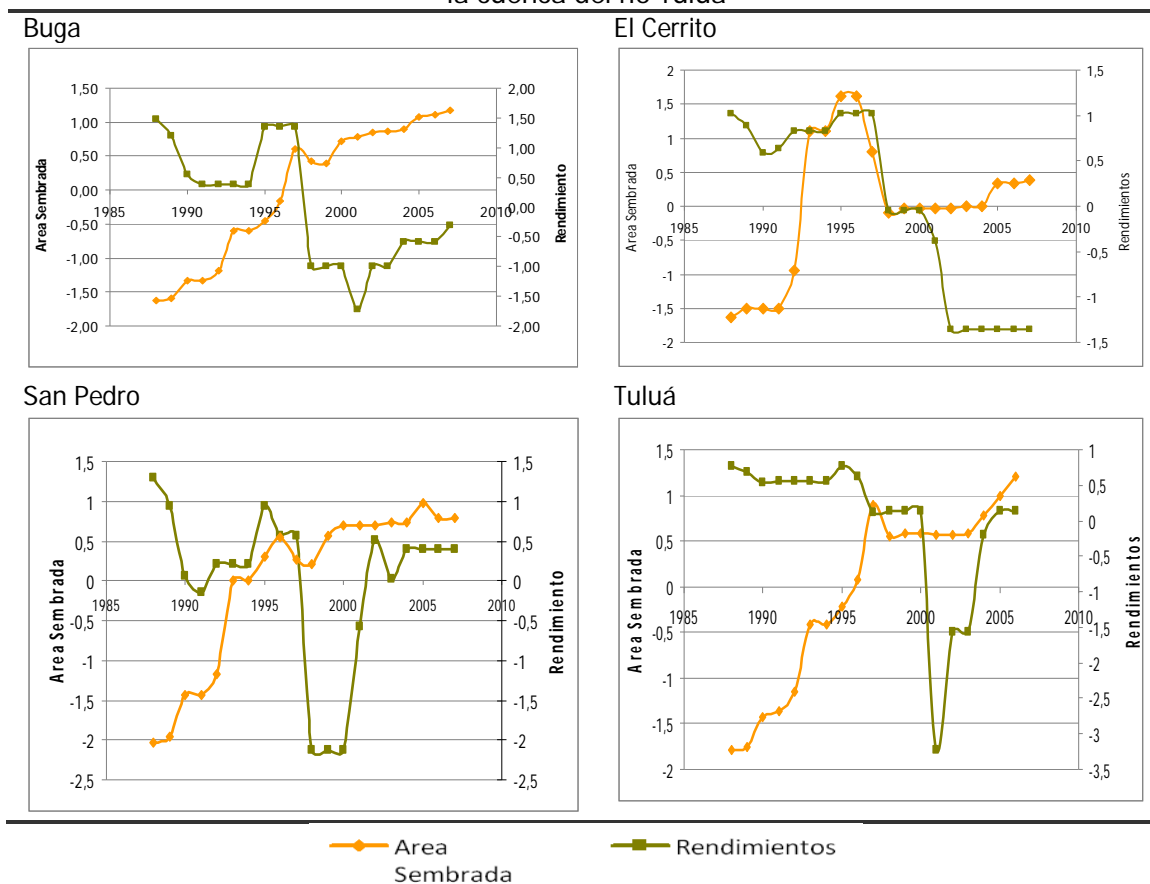
Tabla 5.2. Área sembrada y rendimiento de caña de azúcar por municipios de la cuenca Tuluá

AÑOS	BUGA		EL CERRITO		SAN PEDRO		TULUÁ	
	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)
1988	2.087,00	128,00	10.388,00	128,00	2.510,00	128,00	4.989,00	128,00
1989	2.139,00	126,00	10.645,00	126,00	2.572,00	126,00	5.113,00	126,00
1990	2.604,00	121,20	10.645,00	121,20	3.131,00	121,18	6.225,00	121,21
1991	2.604,00	120,00	10.645,00	122,00	3.131,00	120,00	6.490,00	122,00
1992	2.886,00	120,00	11.808,00	125,00	3.411,00	122,00	7.216,00	122,00
1993	3.910,00	120,00	16.049,00	125,00	4.640,00	122,00	9.814,00	122,00
1994	3.910,00	120,00	16.049,00	125,00	4.640,00	122,00	9.814,00	122,00
1995	4.172,00	127,00	17.123,00	128,00	4.951,00	126,00	10.471,00	128,00
1996	4.693,00	127,00	17.123,00	128,00	5.200,00	124,00	11.500,00	124,00
1997	6.034,00	127,00	15.412,00	128,00	4.901,00	124,00	14.408,00	109,00
1998	5.729,70	110,00	13.562,60	111,00	4.840,00	109,00	13.200,00	110,00
1999	5.658,60	110,00	13.698,70	111,00	5.213,50	109,00	13.325,80	110,00
2000	6.253,00	110,00	13.698,70	111,00	5.363,50	109,00	13.305,80	110,00
2001	6.371,00	104,71	13.698,77	105,66	5.363,50	117,65	13.255,00	11,42 ¹
2002	6.460,00	110,00	13.698,77	90,00	5.363,50	123,60	13.255,00	60,00
2003	6.491,00	110,00	13.764,50	90,00	5.389,20	121,00	13.318,60	60,00
2004	6.555,00	113,00	13.764,50	90,00	5.389,20	123,00	14.018,60	100,00
2005	6.882,75	113,00	14.452,73	90,00	5.658,66	123,00	14.719,53	110,00
2006	6.933,00	113,00	14.452,00	90,00	5.450,00	123,00	15.500,00	110,00
2007	7.050,00	115,00	14.552,00	90,00	5.450,00	123,00	15.200,00	110,00

Fuente: Elaboración propia

La tasa de cambio de uso de suelo en caña a partir del año 2.002 es consistente con los precios de los biocombustibles, que garantizan para la agroindustria de la caña una rentabilidad mayor por hectárea sembrada (Arango, 2008). Por ello, es de esperar, que al continuar esta tendencia, cultivos en zona plana como soya y sorgo se vean desplazados por la caña de azúcar en los cuatro municipios del área de estudio.

Figura 5.3. Áreas sembradas y rendimientos censales de caña de azúcar en los municipios de la cuenca del río Tuluá



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Ha) y área sembrada (Ha)
Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1.3. El cultivo de maíz

Los datos indican que los municipios en los que más se ha expandido la ocupación del uso del suelo en maíz, son Buga y Tuluá, que presentan incrementos de hasta 298% (1.126,7 Ha) y 358% (926,6 Ha) respectivamente, con referencia al área sembrada en

1988 (ver tabla 5.3). Aunque para el caso del municipio de Tuluá el área máxima sembrada se ha dado en los primeros seis años del presente siglo, con un área promedio de 3.054,4 hectáreas, es de esperar que en la zona plana se incremente este tipo de cultivos, dado los altos precios de referencia local e internacional del maíz (MINAGRICULTURA, 2007).

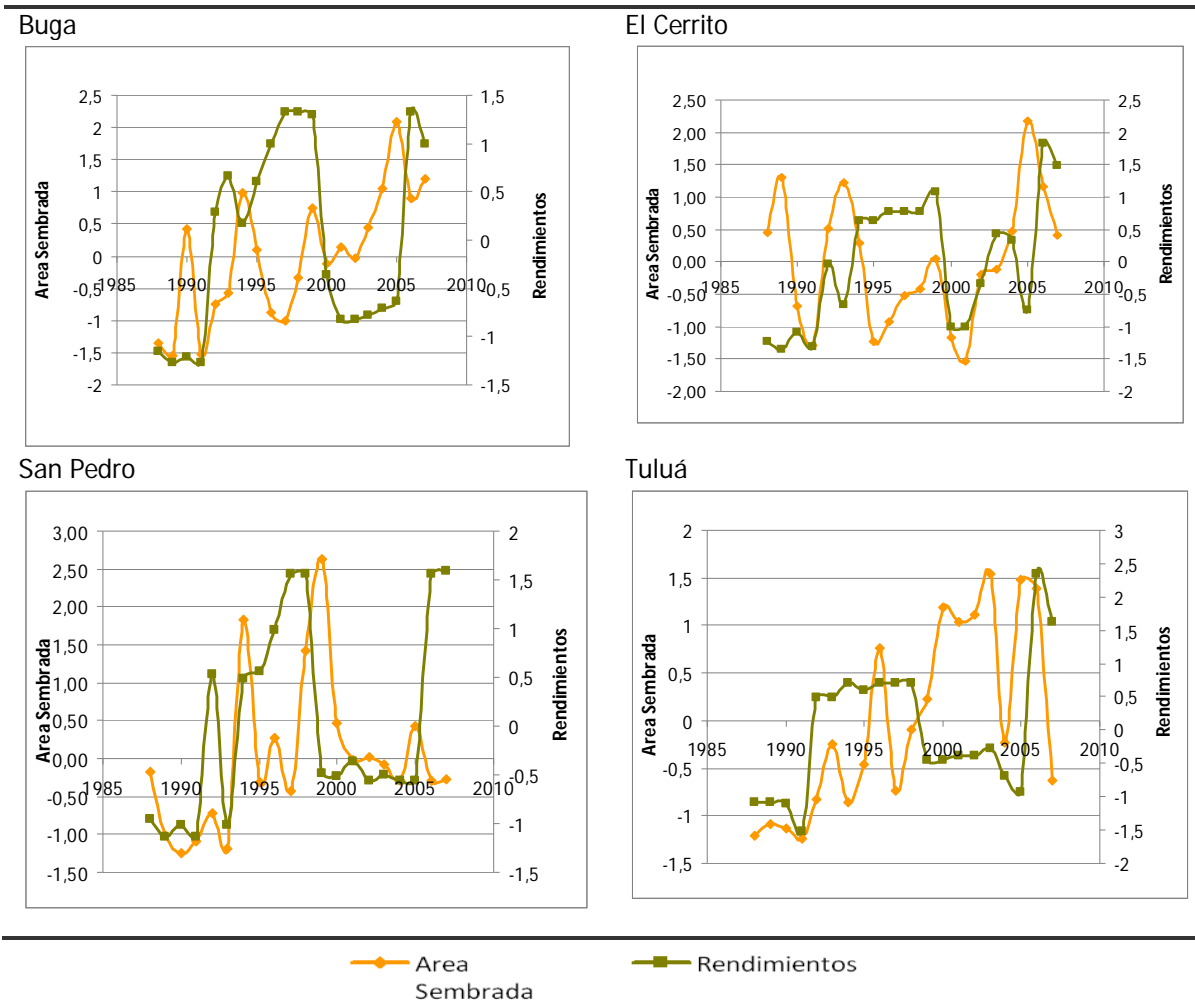
Tabla 5.3. Área sembrada y rendimiento de maíz por municipios de la cuenca Tuluá

AÑOS	BUGA		EL CERRITO		SAN PEDRO		TULUÁ	
	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)
1988	283.00	4.50	380.00	4.50	131.00	4.46	203.00	4.72
1989	220.00	4.14	508.00	4.25	48.00	4.00	352.00	4.72
1990	869.00	4.33	212.00	4.82	25.00	4.32	288.00	4.69
1991	229.00	4.13	120.00	4.33	39.00	4.00	167.00	3.93
1992	488.00	8.85	389.00	7.20	76.00	8.32	682.00	7.60
1993	544.00	10.00	495.00	5.80	31.00	4.30	1.398.00	7.60
1994	1.058.00	8.50	356.00	8.70	330.00	8.20	630.00	8.00
1995	765.00	9.80	131.00	8.70	118.00	8.40	1.134.00	7.80
1996	443.00	11.00	175.00	9.00	175.00	9.50	2.667.00	8.00
1997	400.00	12.00	235.00	9.00	106.00	11.00	800.00	8.00
1998	618.00	12.00	250.00	9.00	290.60	11.00	1.600.00	8.00
1999	975.60	11.90	321.10	9.70	410.10	5.70	2.000.00	5.90
2000	694.00	6.90	138.30	5.00	195.00	5.60	3.200.00	5.90
2001	775.91	5.50	84.79	5.00	147.08	6.00	3.007.35	6.00
2002	722.00	5.50	285.00	6.50	150.00	5.50	3.100.00	6.00
2003	876.56	5.65	297.23	8.25	140.96	5.65	3.642.56	6.20
2004	1.074.00	5.85	383.00	8.00	120.00	5.50	1.416.00	5.44
2005	1.418.00	6.05	637.00	5.60	190.10	5.50	3.570.60	5.00
2006	1.028.00	12.00	487.00	11.40	120.00	11.00	3.444.00	11.00
2007	1.126.70	11.00	373.30	10.60	121.90	11.10	929.60	9.70

Fuente: Elaboración propia

El balance para los municipios de El Cerrito y San Pedro no es tan significativo, en términos de cambios sustanciales en la ocupación del suelo por este tipo de cultivo. En lo que respecta a la productividad del cultivo, se puede observar que se presentan ganancias importantes en todos los municipios (ver figura 5.4), que puede ser el reflejo del desarrollo tecnológico de este cultivo en la zona plana (MMADVT, 2007).

Figura 5.4. Área sembrada y rendimientos censales del maíz en los municipios de la cuenca del río Tuluá



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has)
 Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1.4. El cultivo de sorgo

El cultivo del sorgo, en los municipios que hacen parte de la cuenca del río Tuluá presenta las perdidas mas considerables en la ocupación del suelo (ver figura 5.5); el área sembrada se ha reducido respecto a 1.988 en un 85% para el municipio de Buga (al pasar de 3.690 a 564 hectáreas), un 100% para el Cerrito (el cual no registra área sembrada desde 1999), un 91% en San Pedro (al pasar de 780 a 74 hectáreas), y 95% en Tuluá, al reducirse de 3.208 a 170 hectáreas (ver tabla 5.4). De lo anterior, se interpreta, que el área en sorgo, hoy es marginal en la región analizada. A pesar de que

a nivel internacional los precios del grano son atractivos, la política de importación, afecta sustancialmente la estabilidad y rentabilidad de este cultivo (MMADVT, 2007).

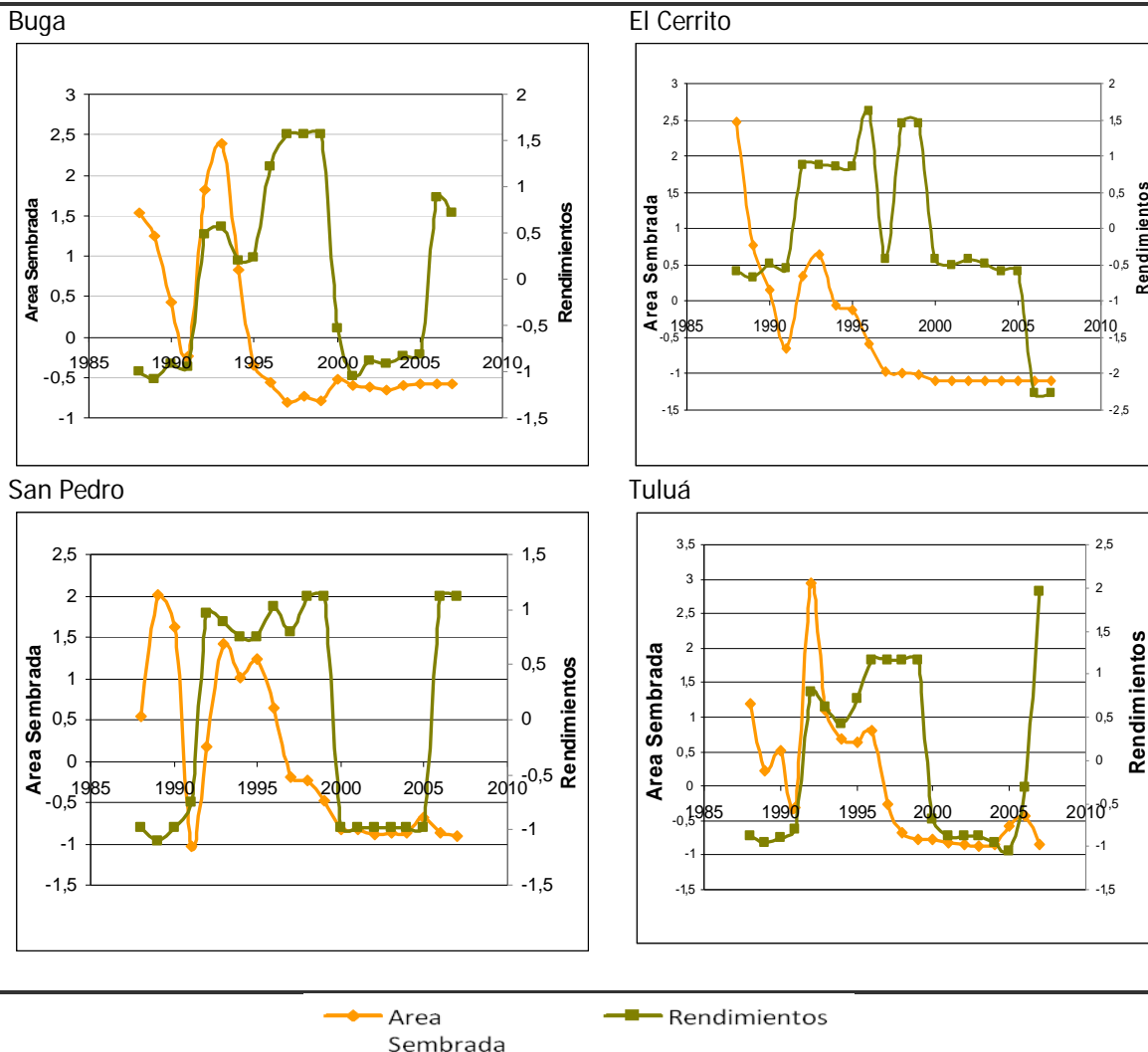
Tabla 5.4. Área sembrada y rendimiento de sorgo por municipios en la cuenca Tuluá

AÑOS	BUGA		EL CERRITO		SAN PEDRO		TULUÁ	
	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)
1988	3.690,00	4,50	2.450,00	4,50	780,00	4,50	3.208,00	4,50
1989	3.262,00	4,25	1.275,00	4,30	1.489,00	4,24	1.755,00	4,30
1990	2.041,00	4,73	860,00	4,80	1.300,00	4,51	2.199,00	4,45
1991	1.078,00	4,63	307,00	4,64	13,00	4,99	975,00	4,71
1992	4.091,00	8,84	986,00	8,50	602,00	8,65	5.795,00	9,00
1993	4.948,00	9,10	1.200,00	8,50	1207,00	8,50	3.052,00	8,50
1994	2.649,00	8,00	705,00	8,40	1.001,00	8,20	2.460,00	8,00
1995	896,00	8,10	671,00	8,40	1.111,00	8,20	2.376,00	8,80
1996	585,00	11,00	345,00	10,50	828,00	8,80	2.630,00	10,00
1997	242,00	12,00	82,00	5,00	418,00	8,30	1.037,00	10,00
1998	346,00	12,00	69,00	10,00	402,00	9,00	450,00	10,00
1999	262,80	12,00	56,70	10,00	284,50	9,00	274,70	10,00
2000	649,00	5,85		5,00	111,00	4,50	280,00	5,00
2001	540,54	4,35		4,75	110,53	4,50	206,59	4,50
2002	516,00	4,80		5,00	80,00	4,50	170,00	4,50
2003	455,79	4,75		4,80	87,30	4,50	141,33	4,50
2004	533,00	4,95		4,55	92,00	4,50	175,00	4,27
2005	574,50	5,00		4,50	178,70	4,50	578,80	4,00
2006	558,00	10,00		0,00	95,00	9,00	800,00	6,00
2007	564,00	9,50			74,00	9,00	170,00	12,10

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (2007), las previsiones a nivel nacional se enfocan en que el área sembrada en sorgo se mantenga constante, lo mismo que la producción y demanda interna. Este mismo informe indica que teniendo en cuenta el comportamiento previsto del precio internacional de maíz, el precio doméstico del sorgo tenderá a aumentar durante el primer semestre de 2.007 y los siguientes años, pero seguramente esto no se reflejará en una tendencia a aumentar el área sembrada.

Figura 5.5. Área sembrada y rendimientos censales de sorgo en municipios de la cuenca Tuluá



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has)

Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1.5. El cultivo de soya

Al igual que en el análisis del sorgo en el área de estudio, la soya ha perdido sustancialmente su cobertura en municipios como Buga, al pasar de 3.110 hectáreas en 1.988 a solo 303 en el 2.007 (una pérdida del 90%); y en San Pedro, los porcentajes de reducción del área sembrada son de 90% (ver tabla 5.5 y figura 5.6). En los municipios de Tuluá y El Cerrito, este cultivo fue desplazado totalmente, seguramente por el atractivo de la rentabilidad del cultivo de caña.

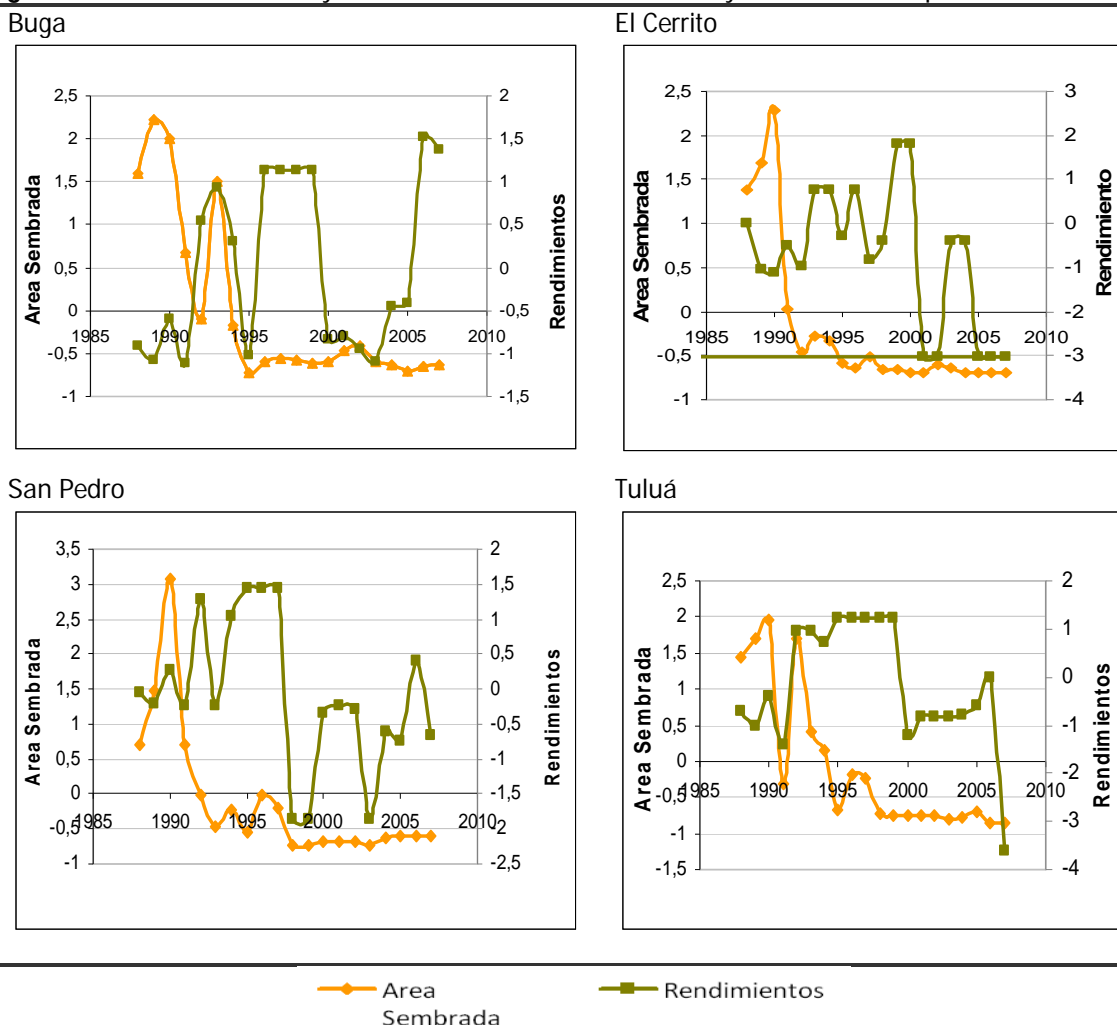
Tabla 5.5. Área sembrada y rendimiento de soya por municipios de la cuenca Tuluá

AÑOS	BUGA		EL CERRITO		SAN PEDRO		TULUÁ	
	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)
1988	3.110,00	2,36	1.850,00	2,25	456,00	2,39	3.110,00	2,40
1989	3.878,00	2,15	2.131,00	2,16	695,00	2,19	3.473,00	2,14
1990	3.611,00	2,76	2.665,00	2,85	1.200,00	2,81	3.826,00	2,66
1991	1.952,00	2,10	644,00	2,35	459,00	2,17	726,00	1,82
1992	978,00	4,23	201,00	4,30	228,00	4,17	3.459,00	3,80
1993	2.991,00	4,73	366,00	4,30	85,00	2,17	1.719,00	3,80
1994	891,00	3,93	321,00	3,10	158,00	3,87	1.386,00	3,60
1995	192,00	2,20	101,00	4,30	60,00	4,40	259,00	4,00
1996	339,00	5,00	47,00	2,50	227,00	4,40	927,00	4,00
1997	390,00	5,00	160,00	3,00	165,00	4,40	850,00	4,00
1998	367,00	5,00	32,00	5,50		0,00	200,00	4,00
1999	332,40	5,00	23,00	5,50		0,00	166,00	4,00
2000	348,00	2,45			18,00	2,00	140,00	2,00
2001	511,42	2,50			18,29	2,14	165,70	2,30
2002	572,00	2,30	72,50	3,00	17,00	2,10	133,50	2,30
2003	342,51	2,10	50,20	3,00			83,66	2,30
2004	306,00	2,95			36,00	1,65	131,00	2,33
2005	210,00	3,00			40,00	1,50	230,00	2,50
2006	282,00	5,50			45,00	3,00		3,00
2007	303,00	5,30			45,00	1,60		

Fuente: *Elaboración propia*

A diferencia del sorgo, las previsiones a nivel nacional indican que se aumentará el área sembrada en un 5%, y se auguran precios internacionales altos (MMADVT, 2007). Sin embargo, para el caso del Valle del Cauca estos escenarios no son muy claros, pues la alta rentabilidad que proporciona la siembra de caña con destino a la producción de biocombustibles permite entender que la tendencia a la desaparición de este tipo de cultivos, en la zona plana del área de estudio, tiende a agudizarse.

Figura 5.6. Área sembrada y rendimientos censales de la soya en los municipios de la cuenca



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has)
 Fuente: Elaboración propia

5.1.1.1.6. El cultivo de papa

En el área de estudio, el municipio de San Pedro no registra datos censales del uso del suelo dedicado a este cultivo. El Cerrito, presentaba en 1.988 una extensión de 290 hectáreas sembradas en papa, no obstante a partir de 2.004 no se registran áreas sembradas con este tubérculo (ver tabla 5.6).

En el municipio de Buga se observa una aparente regularidad en las áreas destinadas al cultivo de papa y en rendimiento por hectárea (ver figura 5.7). Finalmente, el

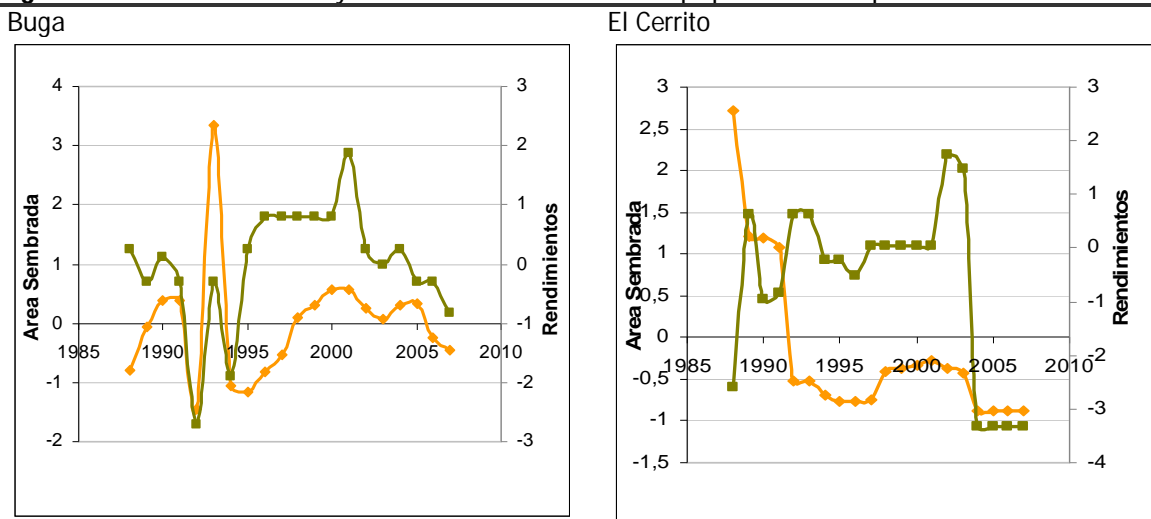
municipio con mayor participación de área sembrada en papa, Tuluá, ha pasado de 784 hectáreas en 1.988 a 250 en el 2.007, lo cual indica una pérdida sustancial del 68%.

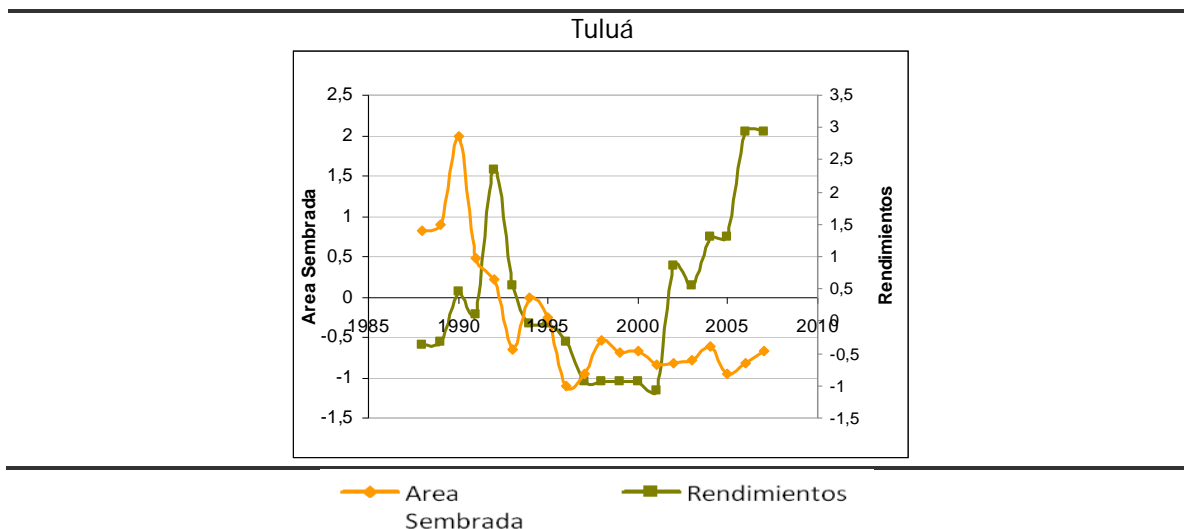
Tabla 5.6. Área sembrada y rendimiento de papa por municipios de la cuenca del río Tuluá

AÑOS	BUGA		EL CERRITO		TULUÁ	
	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)	Área Sembrada (Ha)	Rendimiento (ton/ha)
1988	33,00	15,00	290,00	2,65	784,00	13,80
1989	63,00	14,00	168,00	14,00	814,00	14,00
1990	81,00	14,78	166,00	8,43	1200,00	19,38
1991	81,00	14,00	157,00	8,79	661,00	17,00
1992	7,00	9,50	29,00	14,00	571,00	32,00
1993	200,00	14,00	29,00	14,00	257,00	20,00
1994	23,00	11,00	15,00	11,00	485,00	16,00
1995	19,00	15,00	8,00	11,00	400,00	16,00
1996	32,00	16,00	9,00	10,00	100,00	14,00
1997	44,00	16,00	10,00	12,00	150,00	10,00
1998	69,00	16,00	38,00	12,00	300,00	10,00
1999	77,20	16,00	40,20	12,00	243,60	10,00
2000	88,00	16,00	44,00	12,00	250,00	10,00
2001	88,00	18,00	48,00	12,00	190,00	9,00
2002	75,00	15,00	40,00	18,00	200,00	22,00
2003	68,00	14,50	36,30	17,00	210,00	20,00
2004	77,50	15,00			270,00	25,00
2005	79,00	14,00			150,00	25,00
2006	55,00	14,00			200,00	36,00
2007	47,00	13,00			250,00	36,00

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.7. Área sembrada y rendimientos censales de papa en municipios de la cuenca Tuluá





Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada Has
 Fuente: Elaboración propia

La pérdida de área sembrada en este tipo de cultivos ha dado como resultado un cambio importante hacia la ganadería o cultivo de pastos, tal como lo indica el análisis de usos del suelo 1996 y 2006.

5.1.1.2. Áreas sembradas de cultivos a nivel de cuenca

En esta sección se presenta la síntesis del área sembrada para cada tipo de cultivo en la cuenca del río Tuluá, con base en la metodología presentada en la sección 3.2.2.1.

Al observar los usos del suelo predominantes dentro de la cuenca en el periodo 1.996-2.006, se observa una caída sustancial del área sembrada en soya, con un 83,3% (al pasar de 461 hectáreas en 1.996 a 77 en el 2.006), y sorgo en un 59,70% (al pasar de 938 hectáreas en 1.996 a 378 en el 2.006). También se evidencia una caída del 26,77% del área sembrada en café, y de un 24,72% del área sembrada en caña de azúcar. Al parecer, la pérdida de área de los cultivos de zona plana (caña de azúcar, soya y sorgo) se ha sembrado en maíz, dado que los registros consolidados para la cuenca indican que este cultivo aumentó su cobertura en un 50,23%, al pasar de 1.742 hectáreas en 1.996 a 2617 en el 2.006 (ver tabla 5.7 y figura 5.8).

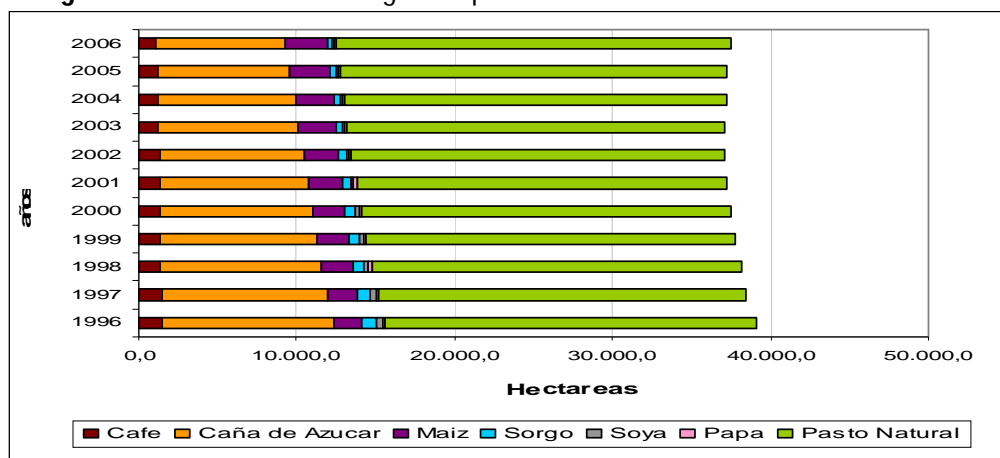
Tabla 5.7. Área de uso agrícola predominante en la cuenca del río Tuluá (hectáreas)

AÑOS	CAFÉ	CAÑA DE AZÚCAR	MAÍZ PLANA	SORGO	SOYA	PAPA	PASTO NATURAL
1996	1.483	10.884	1.742	938	461	87	23.493
1997	1.419	10.574	1.814	803	385	130	23.359
1998	1.347	10.274	1.890	727	322	260	23.319
1999	1.357	9.983	1.968	643	269	211	23.326
2000	1.337	9.702	2.050	617	225	217	23.383
2001	1.309	9.430	2.135	550	188	165	23.493
2002	1.284	9.166	2.224	500	157	173	23.657
2003	1.214	8.911	2.316	453	132	182	23.881
2004	1.244	8.663	2.412	427	110	234	24.166
2005	1.185	8.424	2.512	402	92	130	24.519
2006	1.086	8.193	2.617	378	77	173	24.944

Fuente: Elaboración propia

De otro lado, cultivos como la papa y el pasto tuvieron ganancias importantes en área sembrada, el primero con un 98,85% (al pasar de 87 hectáreas en 1.996 a 173 en el 2.006) y el segundo con un 6,18% (al pasar de 23.493 hectáreas a 24.944 en el 2.006), que parecerían estar ocupando la pérdida de área sembrada del café en la zona media de la cuenca del río Tuluá. El análisis de cambios en el uso agrícola, basado en la integración de datos censales a nivel de cuenca, en general (excepto para la caña de azúcar), es consistente con las tendencias de incremento o descenso en el área sembrada, obtenidas a partir de la información cartográfica de usos del suelo 1.996 y 2.006 de la CVC, las cuales se presentan en el anexo 1. La siguiente grafica presenta las áreas de los cultivos predominantes en la cuenca, para el periodo 1.996-2.006.

Figura 5.8. Usos del suelo agrícola predominantes en la cuenca del río Tuluá



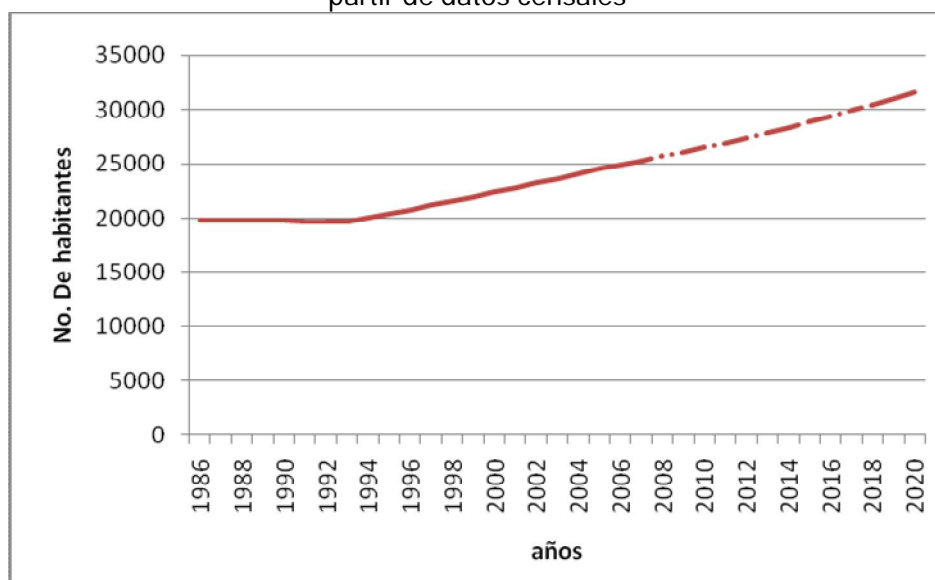
Fuente: Elaboración propia

5.1.1.3. Población en la cuenca

De acuerdo a la metodología presentada en la sección 3.2.2.2, en la figura 5.9 se presentan los resultados de las proyecciones de población, teniendo como base de referencia los censos de población 1.985, 1.993 y 2.005.

Nótese que la población rural de la cuenca Tuluá se mantiene durante la década de los 80 y posteriormente aumenta, esto se debe principalmente al crecimiento de la población rural en Buga y Tuluá, dado que la mayor parte del área de la cuenca la cubren estos dos municipios. Adicionalmente, el 44% de la población en la cuenca pertenece al municipio de Tuluá, el 32% a Buga, el 13% a San Pedro y el 11% a El Cerrito.

Figura 5.9. Población rural en la cuenca del río Tuluá desde 1986 y proyectados al 2020 a partir de datos censales



Fuente: Elaboración propia a partir de registros del DANE.

5.1.1.4. Inventario bovino en la cuenca

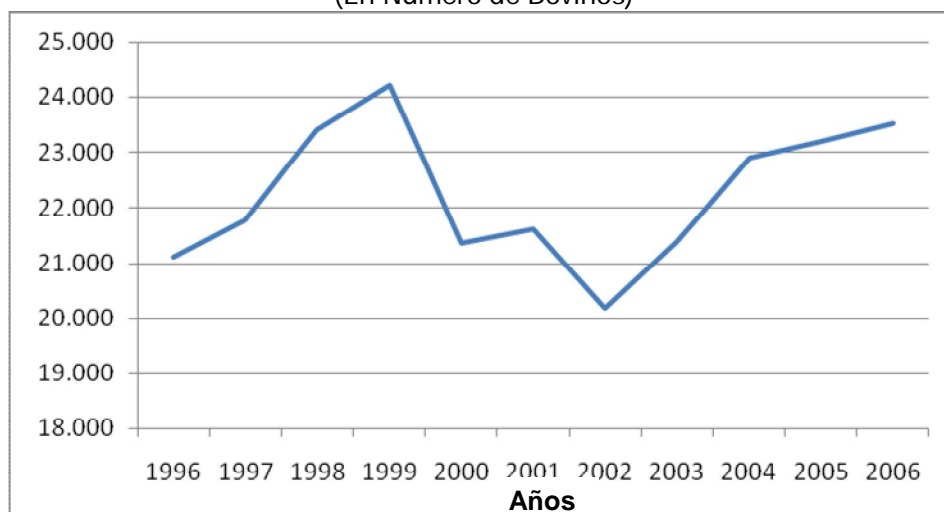
A partir de los datos censales de número de reses y la información de área de pastos en la cuenca, se logró realizar el inventario bovino entre 1.996 y 2.006, según lo muestra la figura 5.10. Se observó que los municipios que más influyen sobre el

comportamiento bovino son Buga y Tuluá, pues la ganadería extensiva es la principal actividad pecuaria (ver figura 5.11).

El comportamiento creciente del ganado vacuno es confirmado por el crecimiento de las áreas en pasto natural, tal como se mostró en la figura 5.8, donde se estimó la actividad ganadera como la más representativa en la producción pecuaria. Lo anterior, se relaciona con la disminución en los precios de insumos y con mejoras en la tecnología para la producción animal y del pasto. Cabe destacar que el pasto de corte y el forraje también han tenido mejoras en términos de productividad y rendimientos, lo que influye que la calidad y cantidad de los bovinos aumente.

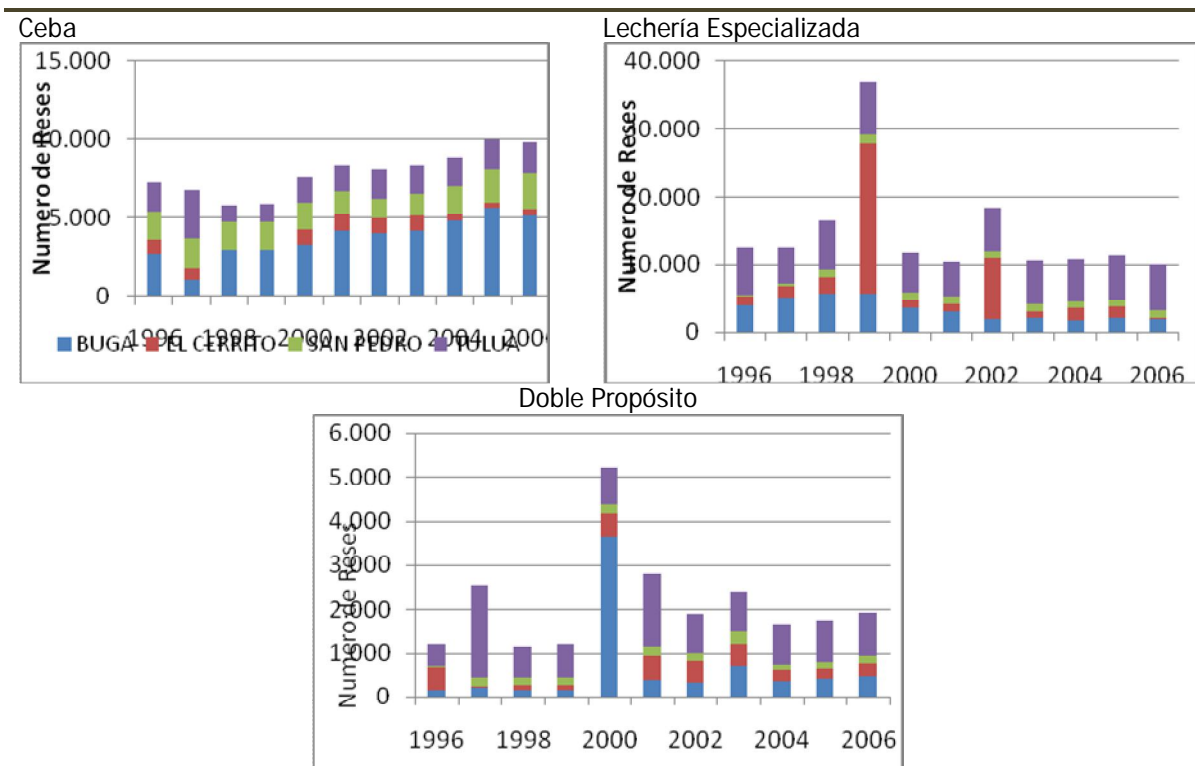
Según se muestra en la figura 5.11, en la cuenca el principal tipo de producción bovino es el destinado a la ceba (en 2.006 representaba el 45%), seguido por el ganado de doble propósito (en 2.006 era el 46%) y la lechería especializada (en 2.006 presentó el 46%). Por lo tanto, los principales incrementos en la población bovina total, entre 1.999 y 2.004 (ver figura 5.10) se deben principalmente al aumento del ganado de doble propósito y la lechería especializada.

Figura 5.10. Inventario bovino entre 1.996 y 2.006 en la cuenca Tuluá.
(En Número de Bovinos)



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.11. Número de reses según tipo de explotación entre 1.996 y 2.006 en los municipios dentro de la cuenca del río Tuluá



Fuente: Elaboración propia a partir de registros de la Secretaría de Agricultura y Pesca del Valle del Cauca.

5.1.2. Proyección al 2020 de los factores socioeconómicas

A continuación se presenta la proyección de los factores socioeconómicos que fueron utilizados para determinar la demanda hídrica actual y en el año 2.020, ante los escenarios climáticos.

5.1.2.1. Proyección del área sembrada

La proyección de área sembrada al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá, se obtuvo a partir de la modelación de la información censal y su cruce con las áreas máximas según los factores limitantes ambientales. Los resultados se presentan a continuación:

5.1.2.1.1. Áreas proyectadas a partir de registros censales entre 1988 - 2007

Con los registros censales de área sembrada de los cultivos, se realizarán las proyecciones al 2.008 y al 2.020 cuyos resultados se muestran en la tabla 5.8; se destaca la importancia del cultivo de la caña de azúcar, no solo por el área que cubre en relación con los demás cultivos, sino también, porque al 2.020 se proyecta, por factores socioeconómicos (los precios internacionales de los biocombustibles) y tecnológicos, sustituirá áreas con otro tipo de cultivos en la zona plana de la cuenca, como son el sorgo y la soya; lo que explica las mayores pérdidas de área con un -79%, se registrarían en el cultivo de la soya entre 2.008 y 2.020.

Tabla 5.8. Área sembrada según información censal proyectada en los años 2.008 y 2.020 mediante modelos ARIMAE en los municipios de la cuenca del río Tuluá

Cultivo / Año	Área Proyectada por Municipio (Ha)				Total
	Buga	El Cerrito	San Pedro	Tuluá	
Área Sembrada en 2008	42.573	25.510	16.032	65.184	149.299
Caña de Azúcar	8.196	15.321	6.267	17.076	46.860
Sorgo	540	0	128	465	1.133
Soya	234	0	34	179	447
Maíz (zona ladera)	435	144	83	269	931
Maíz (zona plana)	1.160	352	198	3.344	5.054
Papa	62	0	0	3	65
Pasto de Corte	0	364	282	422	1.068
Pasto Natural	31.266	9.181	8.537	38.918	87.902
Café	679	147	503	4.507	5.838
Área Sembrada en 2020	49.477	28.822	10.718	66.853	155.870
Caña de Azúcar	11.772	18.138	8.139	23.724	61.773
Sorgo	538	0	97	372	1.008
Soya	0	50	45	0	95
Maíz (zona ladera)	645	223	122	414	1.404
Maíz (zona plana)	1.651	397	256	4.445	6.748
Papa	62	0	0	0	62
Pasto de Corte	55	655	0	503	1.213
Pasto de Natural	34.497	9.358	1.688	33.524	79.067
Café	256	0	371	3.871	4.497

Fuente: elaboración propia

Según se explicó en la metodología, las áreas censales a escala municipal proyectadas, se pasaron a escala de cuenca. La tabla 5.9, muestra las áreas de cultivo en la cuenca al 2.020, y la tasa de expansión del cultivo en la cuenca.

Se observa, de manera consecuente con la dinámica de las áreas estimada con datos censales, que la soya es el cultivo que pierde, en mayor proporción, su extensión dentro de la cuenca. De otro lado, la papa muestra alta distribución sobre la cuenca, indicando que el 100% del área de crecimiento del cultivo, a escala censal, se está presentando dentro de la cuenca.

Tabla 5.9. Áreas de siembra proyectadas a partir de registros censales entre 1.988 y 2.007, y el porcentaje de expansión del cultivo dentro de la cuenca del río Tuluá en 2.020

Cultivo	Área Proyectada a 2020 (Ha)	Tasa de expansión del cultivo
Caña	8.877	32,1%
Sorgo	296	75,2%
Soya	0	-83,3%
Maíz	1.227	27,6%
Café	986	38,3%
Pasto natural	26.819	45,7%
Pasto corte	478	87,2%
Papa	63	100%
Total	38.746	

Fuente: elaboración propia

5.1.2.1.2. Áreas máximas según factores limitantes ambientales

Considerando el uso del suelo actual (registro del año 2.006) y con base en la ley de factores limitantes, según se explicó en la sección de metodología; se determinaron las áreas máximas de expansión de los cultivos según factores limitantes ambientales que fueron: altitud, tipo de suelos, temperatura y precipitación.

La tabla 5.10 presenta los resultados obtenidos, en donde se observa que los cultivos más sensibles a los factores ambientales son el café y la papa. Estos cultivos se desarrollan principalmente sobre la parte media de la cuenca del río Tuluá, y es allí mismo es donde se prevén los mayores cambios en la precipitación y la temperatura del aire en 2.020.

Los cambios presentados en la tabla 5.10, se pueden observar espacialmente en las figuras 5.12 a 5.15, se observan los cambios principalmente en café y papa; también, aunque el pasto natural ocupa mayor parte de la cuenca, no se observaron cambios notorios, lo que puede deberse a una mayor resiliencia del mismo ante variaciones en el clima.

Tabla 5.10. Áreas máximas de siembra según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Tuluá

Cultivo	Áreas Máximas (Ha)		Tasa de cambio por factores ambientales (%)
	2006	2020	
Caña	11.642	11.652	0,08%
Sorgo	3.863	3.869	0,15%
Soya	2.230	2.319	4,02%
Maíz	2.833	2.833	0,00%
Café	8.426	9.690	15,00%
Pasto natural	75.629	75.633	0,01%
Pasto corte	5.856	5.909	0,91%
Papa	27.629	24.333	-11,93%
Total	138.108	136.238	-1,35%

Fuente: elaboración propia

5.1.2.1.3. Área de siembra estimada al año 2020 en la cuenca

Por último, se realizó un análisis cruzando las áreas de siembra, proyectadas en relación con las áreas máximas estimadas para el 2.020. La tabla 5.11 indica los resultados obtenidos.

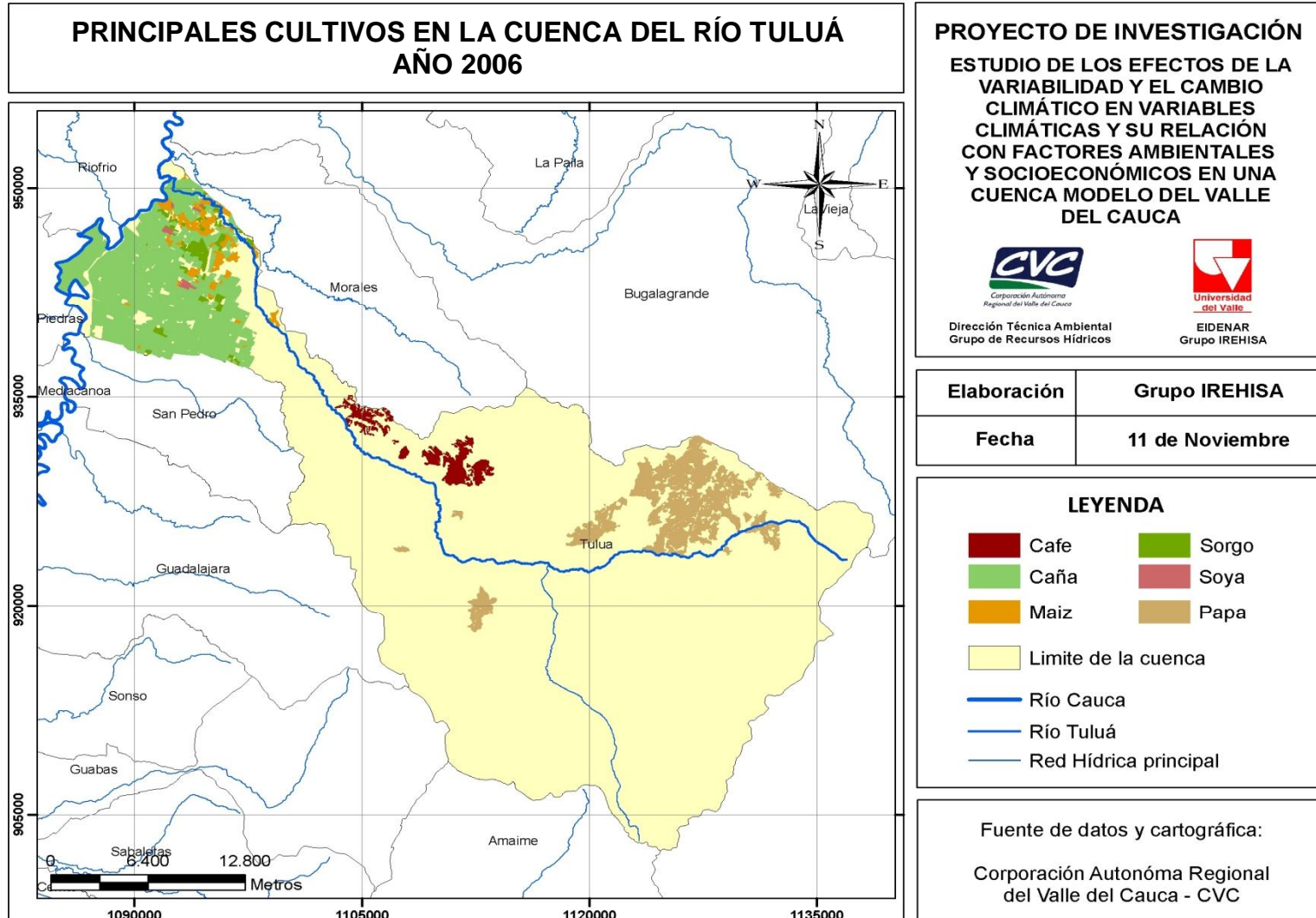
Tabla 5.11. Áreas de siembra: actuales según la base de datos censal y la cartografía de uso del suelo, así como la proyectada al 2020 en la cuenca del río Tuluá

Cultivo	Área Censal en 2006 (Ha)	Área Cartográfica en 2006 (Ha)	Diferencia entre áreas censal y cartográfica (Ha)	Área proyectada al 2020 (Ha)	% respecto al total del área cultivada en 2020	% de Cambio entre 2006 (censal) y 2020
Café	1.086	977	108	986	2%	-9%
Caña azúcar	8.193	8.591	-398	10.352	25%	26%
Maíz (z. plana)	2.617	745	1.872	1.227	3%	-53%
Sorgo	378	491	-113	296	1%	-22%
Soya	77	81	-4	0	0%	-100%
Papa	173	4.159	-3.986	1.194	3%	589%
Pasto natural	24.944	36.984	-12.040	26.819	66%	8%
Pasto corte	463	463	0	12	0%	-97%
Total	37.931	52.491	-14.561	40.806	100%	8%

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con los resultados presentados en las tablas 5.10 y 5.11, se observa que las áreas máximas según los factores limitantes ambientales son mayores a las sembradas en 2.006 y las proyectadas al 2.020.

Figura 5.12. Espacialización de sistemas productivos y de sus áreas máximas según factores limitantes ambientales en el año 2006 y su proyección al año 2020 en la cuenca Tuluá



Fuente: elaboración propia

Figura 5.13. Espacialización de sistemas productivos y de sus áreas máximas según factores limitantes ambientales de los cultivos de Café, Caña de azúcar y Papa en el año 2006 y su proyección al año 2020 en la cuenca Tuluá

ÁREA MÁXIMA EN 2006

ÁREA MÁXIMA EN 2020

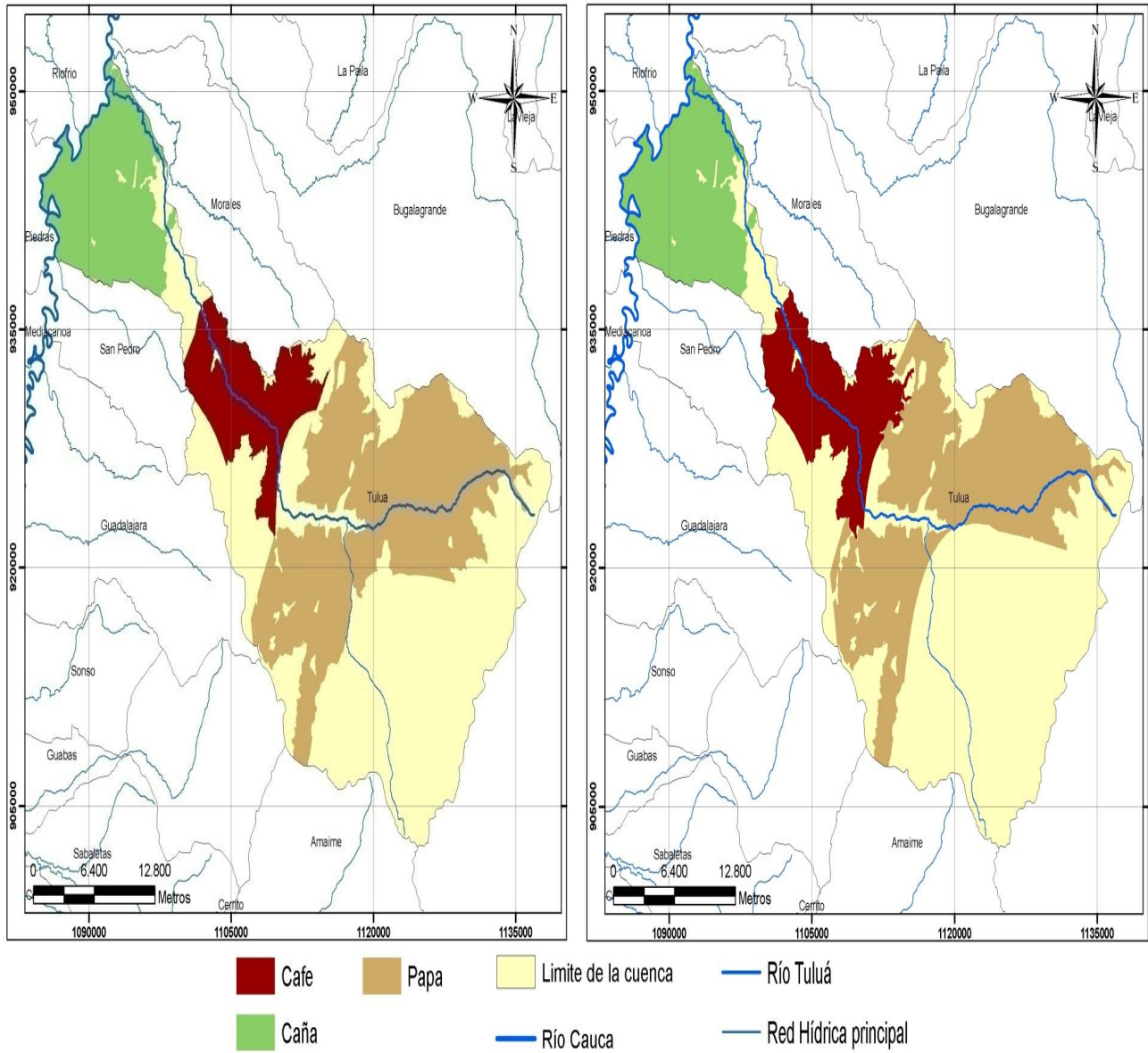


Figura 5.14. Espacialización de sistemas productivos y de sus áreas máximas según factores limitantes ambientales del pasto natural y el pasto de corte en el año 2006 y su proyección al año 2020 en la cuenca Tuluá

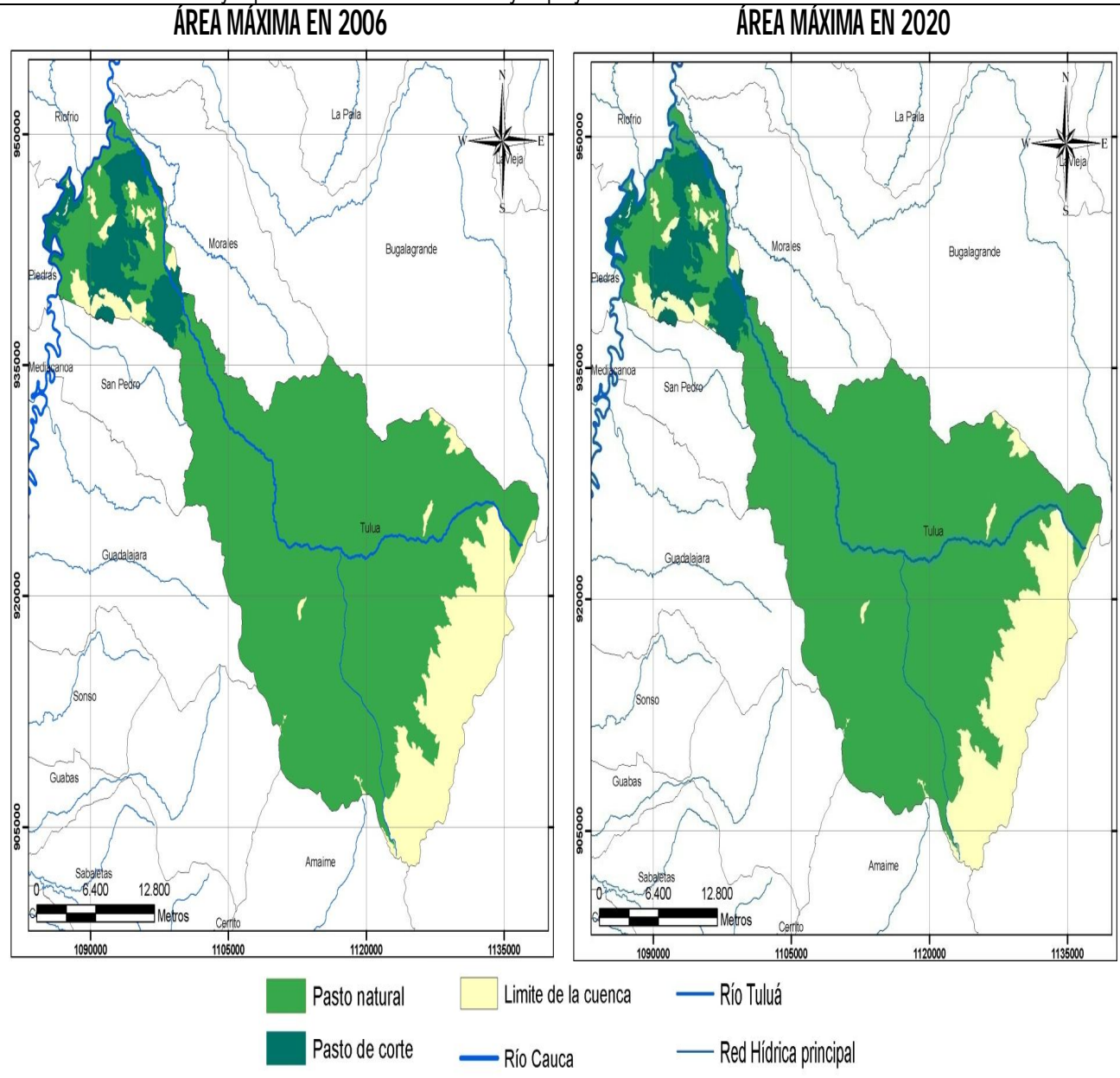
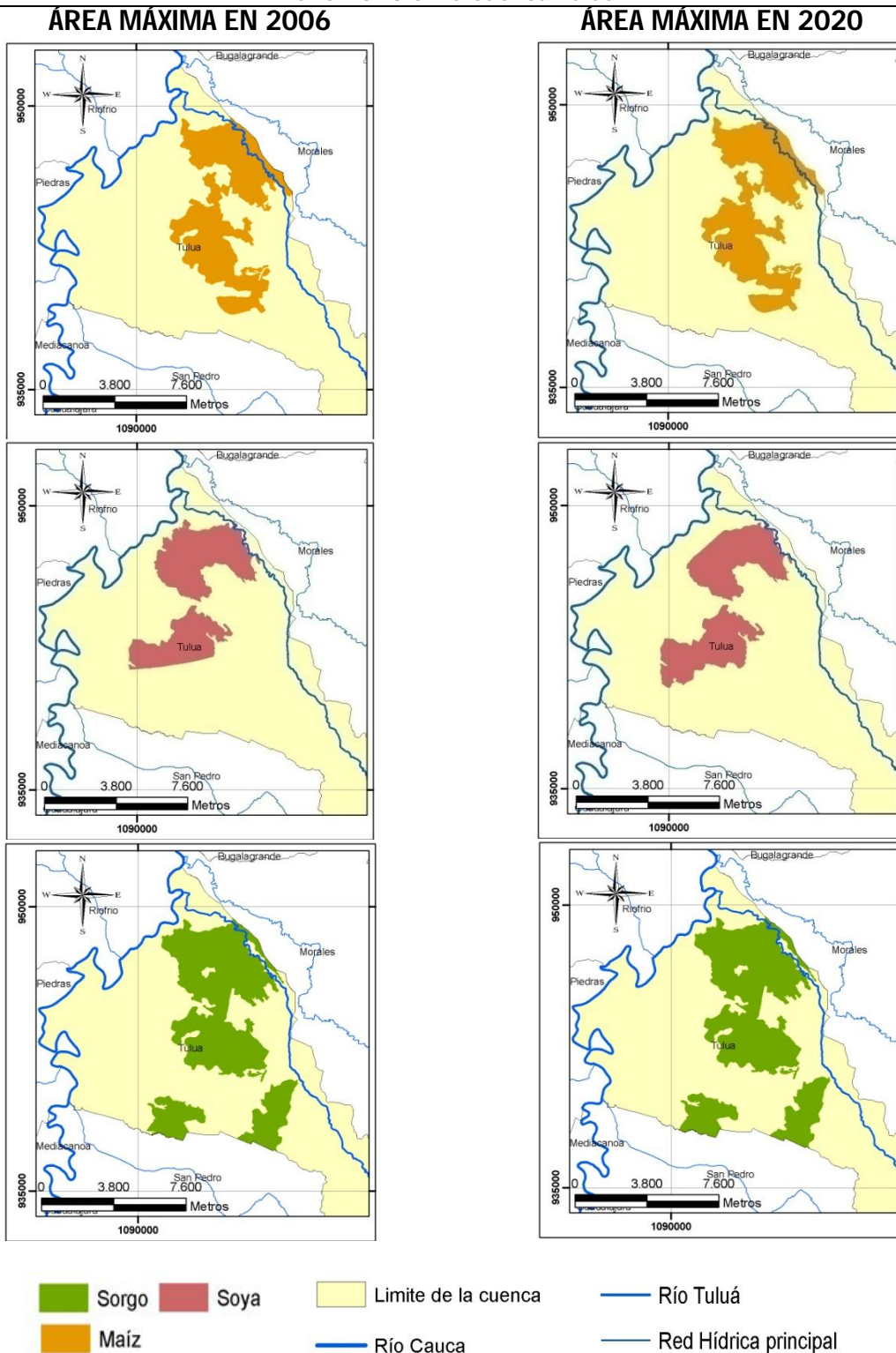


Figura 5.15. Espacialización de sistemas productivos y de sus áreas máximas según factores limitantes ambientales de los cultivos de Sorgo, Soya y Maíz en el año 2006 y su proyección al año 2020 en la cuenca Tuluá



Lo anterior indica que existen otros factores biofísicos, socioeconómicos y tecnológicos, que afectan la distribución de cultivos en la cuenca y que tienen mayor incidencia en las proyecciones realizadas, dado que en todos los casos se calculó el área de siembra principalmente a partir del análisis los datos censales.

Según las áreas proyectadas que se presentan en la tabla 5.11, al 2.020 se estimó un aumento del 7% del área agrícola equivalente a 2.473 Ha. El análisis indica que el cultivo de la caña de azúcar será el uso más importante en la cuenca, representando el 25% del área total. Se estima que la extensión de este cultivo implicará una reducción de -97% en pasto de corte y la desaparición de la soya en la cuenca; asociado, principalmente al comercio de biocombustibles. Adicionalmente, el cultivo de caña de azúcar presenta la mayor dinámica de crecimiento del 26% al 2.020, relacionado principalmente con el desarrollo del mercado de biocombustibles, discutido anteriormente.

También, se estimó que en 2.020 el cultivo del maíz representará el 10% del total del área agrícola en la parte plana de la cuenca, ubicándolo como el segundo cultivo tecnificado en nivel de importancia por el área que ocupa en esta zona después de la caña de azúcar. Este resultado, se atribuye principalmente a los programas del Gobierno Nacional, de incentivo a la cadena productiva avícola, porcícola y a la agroindustria de productos alimentarios balanceados, los cuáles fomentan la producción competitiva del maíz amarillo, de manera que se reduzca la importación anual de este producto, que está cerca de 1'800.000 toneladas.

En cuanto al área de pasto natural, fue estimada con el fin de asociarla con la ganadería extensiva en la cuenca, y establecer la demanda bovina en 2.020, de tal forma, que el área estimada también es representativa dentro de la cuenca ocupando, el 66% del total del área proyectada.

De otro lado, el café muestra una dinámica de reducción en el área sembrada en 9% para el 2.020, y a su vez, este cultivo se localiza en la zona con mayores amenazas asociadas a la variabilidad y al cambio climático (según análisis de áreas máximas por factores limitantes ambientales), lo cual representa un factor importante para estudios futuros a fin de lograr estimar los impactos locales en los sistemas productivos. En lo que respecta al cultivo de la papa, en el año 2.006 los registros censales reportaron un área de 173 Ha, mientras que la cartografía de usos del suelo indicaba valores de 4.159 Ha. Dada esta diferencia (3.986Ha), en la proyección al año 2.020 se realizó un promedio ponderado de las dos fuentes de información, considerando que el área

censal tiende a disminuir en 175% a 63 Ha y se relacionó con el área de la cartografía que entre 1.996 y 2.006 presentó un aumento del 100%, como resultado se obtuvieron 1.194 Ha. Sin embargo la certeza de esta área estimada requiere de la confirmación del área en la cartografía de usos de suelo de CVC, obtenida de los años 1.996 y 2.006.

5.1.2.2. Proyección de población en la cuenca al año 2020

Para conocer la demanda doméstica al 2.020, se proyectó la población rural en la cuenca en igual periodo³. La tabla 5.12, muestra las proyecciones de la población censal y en la cuenca Tuluá en los años 2.008 y 2.020, donde se obtuvo un aumento de 7.234 habitantes en la zona rural de la cuenca. Los datos indican que la mayor densidad de población la tiene el municipio de San Pedro con 0,49 Hab/Ha y el de mayor número de habitantes Tuluá; sin embargo en 2.020 se proyectó que el 40% de la población rural en la cuenca, será del municipio de Buga; así mismo en este municipio se presentó el mayor incremento de 4.485 habitantes en la población rural.

Tabla 5.12. Población rural actual y su proyección al 2.020 en la cuenca Tuluá

Municipio	Población rural municipal		Densidad poblacional censal promedio	Población en la cuenca	
	2008	2020		2008	2020
Buga	15.496	23.751	0,20	8.419	12.904
El Cerrito	21.400	22.090	0,39	2.662	2.747
San Pedro	9.826	12.476	0,49	3.155	4.006
Tuluá	26.664	31.103	0,28	10.880	12.691
Total	73.386	89.422		25.115	32.349

Fuente: elaboración propia

5.1.2.3. Proyección de consumo de agua bovino a 2020

La tabla 5.13, presenta los resultados de la proyección del consumo bovino realizado en la cuenca Tuluá. De la tabla, se infiere que la producción lechera es la que representa el mayor consumo de agua con alrededor del 60% del consumo total, debido que las cabezas de ganado para este tipo de producción en la cuenca es alto.

³ La demanda de la cabecera que corresponde al municipio del Tuluá, está dada por Resolución Reglamentaria No.SGA.006 de Enero 17 de 2003, que asigna un volumen de 700 l/s con vigencia para el 2020.

El consumo de agua bovino actual se estimó en 876.695 l/día y se proyectó un incremento al año 2.020 en 10% equivalente a 85.296 l/día.

Tabla 5.13. Inventario y proyección al 2020 de las cabezas de ganado y del consumo de agua bovino en la cuenca del río Tuluá, clasificadas por tipo de producción

AÑO	Ceba		Lechería		Doble Propósito		Consumo Total (l/día)
	Población	Consumo (l/día)	Población	Consumo (l/día)	Población	Consumo (l/día)	
1.996	7.332	212.634	12.591	503.656	1.184	75.760	792.050
1.997	6.820	197.766	12.429	497.159	2.528	161.803	856.728
1.998	5.782	167.680	16.490	659.583	1.140	72.952	900.215
1.999	5.878	170.466	17.130	685.207	1.204	77.052	932.725
2.000	7.657	222.058	11.787	471.476	5.216	333.847	1.027.381
2.001	8.381	243.037	10.420	416.805	2.811	179.883	839.726
2.002	8.084	234.422	18.327	733.067	1.895	121.258	1.088.748
2.003	8.385	243.152	10.613	424.525	2.393	153.133	820.811
2.004	8.856	256.812	10.880	435.196	1.655	105.915	797.923
2.005	9.993	289.809	11.444	457.742	1.756	112.374	859.925
2.006	9.796	284.084	11.917	476.679	1.811	115.931	876.695
Proyección Año 2020							961.991

Fuente: elaboración propia

5.1.3. Demanda hídrica actual y su proyección al 2020 asociada a factores socioeconómicos en la cuenca

Con el propósito de estudiar los factores socioeconómicos que determinan la demanda de agua en la cuenca del río Tuluá, se estimaron los consumos en cada uno de los sectores socioeconómicos identificados: agrícola, industrial, bovina y doméstica. También se hizo el cálculo del caudal ambiental a fin de presentar una síntesis más completa de los factores que afectan la disponibilidad del recurso hídrico e integrarlos al análisis del balance oferta-demanda de agua. Los resultados de la estimación de cada demanda, se muestran a continuación, teniendo como referencia básica para este análisis, el desarrollo metodológico de la CVC (2002), y que la cuenca se divide en dos zonas de producción y consumo hídrico según se mostró en la figura 3.8.

5.1.3.1. Demanda agrícola

La estimación de la demanda hídrica agrícola, se desarrollo con la aplicación de la metodología de CVC (2002), según la siguiente ecuación:

$$Demanda = \left[\sum_{i=1}^n (Kc_i \times A_i) \right] \times ETo \quad \text{Ec. 5.1}$$

Donde: i es el cultivo, Kc es el coeficiente de consumo del cultivo, A es el área y ETo la evapotranspiración potencial.

En el cálculo de esta demanda, fueron utilizados tres escenarios, según las áreas sembradas en la cuenca actuales y la proyectada al año 2.020 (ver tabla 5.14):

E1 actual censal: utiliza el área actual según la base de datos censal transformada a escala de cuenca (ver sección 5.1.1.2).

E2 actual cartográfico: este escenario contempla el área actual de acuerdo con la cartografía de usos del suelo de la CVC del año 2.006.

Proyectado 2020: se realizó con el área proyectada al año 2.020, la cual requirió de la integración de los dos tipos de información de la ocupación agrícola actual (ver sección 5.1.2.1.3).

Es importante considerar que, los tres escenarios fueron construidos sólo por la diferenciación en las fuentes de información del área sembrada en la cuenca; la cual aportó a la variación de 15.233 Ha entre las fuentes de información (censal y cartográfica) en el área de la zona de producción, principalmente en las de pasto natural (11.356 Ha) y de la papa (3.986 Ha) en esta zona; que además representan juntas el 62% y el 74% del área agrícola total considerada (Los datos se muestran en la tabla 5.14).

Adicionalmente, conforme a los alcances de este estudio, lo que varía entre los escenarios actuales (E1 y E2) y su proyección al 2.020 (E3) es la dinámica del clima (referido a los escenarios climáticos presentados en el capítulo 4); por lo tanto, los demás factores biofísicos, socioeconómicos, tecnológicos y políticos, se asumen constantes entre estos tres contextos (actuales y futuro).

Dada la amplia dispersión entre los escenarios actuales, de tal forma que indican respuestas diferentes ante el comportamiento en el mediano plazo del área sembrada y de la demanda hídrica en la agricultura, para el caso de la comparación entre los escenarios actuales con la proyección al 2020, esta se realizó considerando los resultados del (escenario actual censal) construido a partir de los datos censal, dado que el área de proyectada, se construyó principalmente a partir de esta fuente de información (censal, presentadas por el E1) y luego fueron considerados los datos cartográficos (que conforman el E2) para la transformación de las áreas a escala de cuenca y su clasificación por zonas de producción y consumo hídrico, respectivamente.

La tabla 5.14, presenta el cálculo de la demanda hídrica agrícola por cultivo según los tres escenarios planteados. Se observa que los resultados a partir del área sembrada actual censal (E1) representa el menor consumo, dado que se calcularon 37.931 Ha del cubrimiento de los cultivos. Al año 2.020, se proyectaron 40.886 Ha, de las cuales el 70% se presentan en la zona de producción hídrica, ocupado principalmente (el 92% del área total en esta zona) por el sistema productivo de ganadería extensiva, representada por el área de pasto natural.

Adicionalmente la tabla 5.14, muestra que la expansión agrícola y bovina, con un área proyectada al 2.020 de 40.886 Ha, según el escenario actual censal, tiende al incremento en 2.955, lo cual representa un 7%.

Tabla 5.14. Cálculo del factor de consumo de la demanda hídrica agrícola en la cuenca Tuluá

ZONA	Tipo de Cultivo	Kc máx. ¹	Escenario actual censal		Escenario actual cartográfico		Escenario proyectado al 2020	
			Área del cultivo en la cuenca (Ha)	Kc x A _i (Ha)	Área del cultivo en la cuenca (Ha)	Kc x A _i (Ha)	Área del cultivo en la cuenca (Ha)	Kc x A _i (Ha)
Productora	Café	0,9	1.086	977	977	880	986	887
	Caña de Azúcar	1,05	0	0	0	0	0	0
	Maíz	1,1	0	0	0	0	0	0
	Sorgo	1,05	0	0	0	0	0	0
	Soya	1,05	0	0	0	0	0	0
	Papa	1,05	173	182	4.159	4.367	1.194	1.254
	Pasto Natural	1,15	23.527	27.056	34.882	40.115	26.267	30.207
	Pasto de Corte	1,1	0	0	0	0	0	0
Total			24.786	28.215	40.019	45.362	28.447	32.348
Consumidora	Café	0,9	0	0	0	0	0	0
	Caña de Azúcar	1,05	8.193	8.603	8.591	9.020	10.352	10.870
	Maíz	1,1	2.617	2.878	745	819	1.227	1.350
	Sorgo	1,05	378	397	491	515	296	311
	Soya	1,05	77	81	81	85	0	0
	Papa	1,05	0	0	0	0	0	0
	Pasto Natural	1,15	1.417	1.630	2.102	2.417	552	635
	Pasto de Corte	1,1	463	509	463	509	12	13
Total			13.145	14.098	12.472	13.366	12.439	13.178
Total en la Cuenca			37.931	42.313	52.491	58.728	40.886	45.526

Nota: El cálculo de la demanda agrícola se realizó multiplicando el valor de "Kc x A_i" con la evapotranspiración potencial que se presentó en los escenarios climáticos del capítulo 4 de tendencias climáticas.

¹ Los valores del factor Kc se obtuvieron de la fuente: CVC (2002)

La tabla 5.15, presenta la demanda hídrica según los escenarios actuales y su proyección al año 2.020, en la cuenca del río Tuluá; la zona de producción hídrica con un total de 76.684 Ha, presenta la menor demanda hídrica por unidad de área en la cuenca, representada principalmente, por el consumo del pasto natural y el cultivo de la papa. Los resultados presentan que en la actualidad, en el escenario actual censal se calcularon 329 mm/año y al año 2.020 se proyectaron 381 mm/año; los mayores requerimientos intranuales de 35 mm/mes se dan durante los meses de enero y agosto, justificado por los mayores valores de evapotranspiración.

Tabla 5.15. Demanda hídrica agrícola según escenarios actuales y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá (en mm/mes)

Zona/ Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Productora													
Escenario actual censal	31	27	29	25	25	26	29	31	28	26	24	27	329
Escenario actual cartográfico	49	43	47	40	41	42	47	50	46	42	38	44	528
Proyectado al 2020	35	31	34	29	30	30	33	35	33	31	28	32	381
Consumidora													
Escenario actual censal	111	107	115	99	95	91	104	115	110	100	93	98	1.240
Escenario actual cartográfico	105	102	109	94	90	86	99	109	105	95	88	93	1.175
Proyectado al 2020	92	96	102	91	88	83	96	102	95	87	87	92	1.110
Área Total													
Escenario actual censal	43	40	43	37	36	36	41	45	41	38	35	38	474
Escenario actual cartográfico	60	55	60	51	51	50	57	62	58	53	48	53	657
Escenario proyectado al 2020	44	42	45	39	40	39	44	47	43	41	38	42	504

Adicionalmente, la tabla 5.15 muestra que en la zona de consumo con 14.498Ha se presenta la mayor demanda hídrica agrícola por unidad de área en la cuenca; con valores actuales de 1.240 mm/año, según el escenario actual censal; así mismo, se proyecta al año 2.020 1.110 mm/año.

La mayor demanda en la zona de consumo, se debe a que el área agrícola en esta zona, para todos los escenarios, representa más del 85% del total; en contraste, en la de producción, sólo es en promedio del 40%; este comportamiento, muestra que se ejerce mayor presión para la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca con la actividad agrícola que se ejerce sobre la zona de consumo más que sobre la de producción.

En toda la cuenca del río Tuluá (ver tabla 5.15), la demanda de agua en el sector agrícola, actualmente es de 474 mm/año (según el escenario actual censal); al año 2.020, se proyectan 504 mm/año, lo cual representa un aumento del 6%. El mayor requerimiento de 47 mm sucede durante el mes de agosto, donde se presenta la máxima evapotranspiración intranual. De acuerdo a los escenarios considerados, en el año 2.020 la tendencia de los requerimientos del sector agrícola posee amplia incertidumbre, según la disparidad entre las fuentes de información actuales (censal y cartográfica) del área sembrada en la cuenca.

5.1.3.2. Demanda industrial

La tabla 5.16 muestra la demanda de agua industrial, estimada para la zona de producción y de consumo, según los escenarios actuales (E1 y E2) y su proyección al año 2.020.

Tabla 5.16. Demanda hídrica industrial según escenarios actuales y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá (en mm/mes)

Zona/ Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Productora													
Escenario actual censal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	26
Escenario actual cartográfico	4	3	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	42
Proyectado al 2020	3	2	3	2	2	2	3	3	3	3	2	3	30
Consumidora													
Escenario actual censal	9	9	9	8	8	7	8	9	9	8	7	8	99
Escenario actual cartográfico	8	8	9	8	7	7	8	9	8	8	7	7	94
Proyectado al 2020	12	12	13	11	10	10	12	13	12	11	10	11	136

Zona/ Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Área Total													
Escenario actual censal	11	11	12	10	10	9	11	12	11	10	9	10	125
Escenario actual cartográfico	12	12	13	11	10	10	12	13	12	11	10	11	136
Proyectado al 2020	10	10	11	10	9	9	10	11	10	9	9	10	119

El consumo de agua de la industria, se estimó como un 8% de la demanda agrícola, de acuerdo al desarrollo metodológico de CVC (2002). Por lo tanto, los resultados de los escenarios actuales y su proyección al año 2020, se corresponden con el comportamiento de los requerimientos en la agricultura. En este caso, la zona de producción fue considerada en el cálculo de la demanda industrial dado que ahí se desarrollan los sistemas productivos de café, papa y la ganadería extensiva de la cuenca, los cuáles también aportan a la demanda industrial de la misma.

Al año 2020 se proyecta un requerimiento anual de 136 mm y 30mm en las zonas de consumo y producción, respectivamente; siendo marzo y octubre los meses de mayor consumo hídrico en el año. Los resultados, en relación con el escenario actual censal, muestran un incremento de la demanda hídrica anual de 16% y de 37% en las zonas de producción y de consumo, respectivamente.

El mayor incremento en la zona de consumo, se expresa considerando la mayor evolución del área sembrada durante el periodo de análisis, principalmente en el cultivo de la caña de azúcar, el cuál según se comentó en la sección 5.1.1.1.2, se asocia con el desarrollo a nivel industrial de la producción de biocombustibles en la región.

5.1.3.3. Demanda doméstica

La tabla 5.17 muestra la demanda doméstica estimada para la cuenca Tuluá actual y en el año 2020. La demanda rural se estimó a partir de las proyecciones de la población de los municipios que tienen parte de su área en la cuenca. Se utilizó un valor de referencia de consumo que simula un escenario altamente demandante de agua, en el cual el consumo habitante por día es de 250 litros.

Tabla 5.17. Demanda doméstica actual y la proyectada a 2020 a nivel rural y urbano en la cuenca del río Tuluá

MUNICIPIO	ACTUAL			PROYECTADO AL AÑO 2020		
	Población Actual	Demanda En l/s	Demanda en mm/mes	Población 2020	Demanda En l/s	Demanda en mm/mes
Rural	25.115	72,7	1,1	32.349	93,6	1,3
Buga	8.419	24,4	0,2	12.904	37,3	0,2
El Cerrito	2.662	7,7	0,3	2.747	7,9	0,3
San Pedro	3.155	9,1	0,4	4.006	11,6	0,5
Tuluá	10.880	31,5	0,2	12.691	36,7	0,3
Cabecera						
Acue. Tuluá	165.170	700,0	2,0	193.122	700,0	2,0
Total	190.286	772,7	3,1	225.471	793,6	3,3

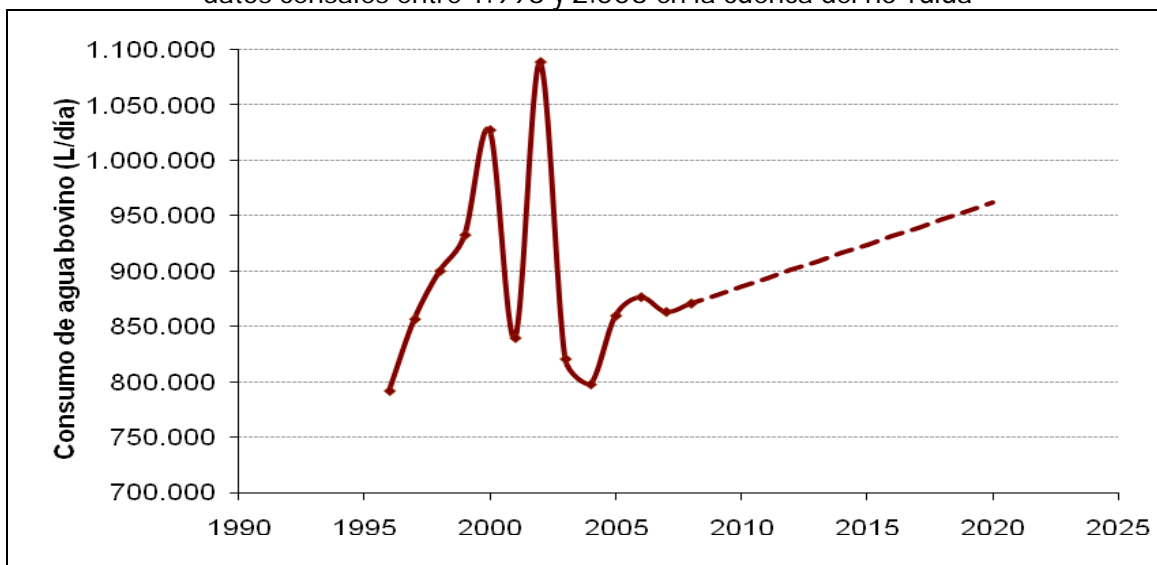
Fuente: elaboración propia

La proyección indica que en 2.020 el consumo doméstico mensual será de 3,3 mm equivalente a 793 l/s; la cabecera de Tuluá representará el 60% del total, y a nivel rural los municipios de Buga y Tuluá son los que mayor población tienen en la cuenca, actualmente concentran el 76% de la población rural y se proyecta que sea del 80%; sin embargo, la mayor demanda rural en la cuenca, sucede en el municipio de San Pedro por presentar la mayor densidad poblacional de 0,5 Habitantes/Ha y el 32% del área dentro de la cuenca equivalente a 6123 Ha. Actualmente, en la cuenca se estima una población total de 190.286 habitantes y una demanda de 3,1mm/mes. Al 2020 se proyectan incrementos de 35.185 habitantes (18%) y del 3% equivalente 21 l/s en los requerimientos domésticos.

5.1.3.4. Demanda bovina

La figura 5.16 muestra la proyección del consumo de agua bovino en la cuenca Tuluá entre 2.007 y 2.020, construido a partir de datos censales desde 1996 a 2006. La demanda estimada al 2.020 es de 961.991 l/día, lo que representa un incremento del 10% en el consumo respecto al 2006 ya que la demanda en ese año fue 876.695 l/día.

Figura 5.16. Consumo de agua bovino histórico proyectado desde 2.007 al 2.020 a partir de datos censales entre 1.996 y 2.006 en la cuenca del río Tuluá



A partir de este consumo, para la conversión de los requerimientos hídricos a lámina de agua (en mm/mes) o consumo por unidad de área en la cuenca; se consideró el área de pasto natural calculada según los escenarios formulados en la demanda agrícola, que consideran las distintas fuentes de información de área sembrada en la cuenca (censal y cartográfica).

Los resultados se presentan en la tabla 5.18, donde se observan valores de 0,11, 0,07 y 0,11 mm/mes para cada escenario considerado, en su orden los escenarios actuales de las fuentes censal (E1) y cartográfico (E2), así como la proyección al año 2020. De acuerdo a esto, en relación con el E1; al año 2.020, se proyecta estabilidad en la demanda bovina; en este contexto, se observa que dado un crecimiento del número de reses, entre mayor sea la tasa de expansión (en área) del ganado en la cuenca, menor será la lámina de agua requerida.

Tabla 5.18. Conversión del consumo de agua bovino en mm/mes según los escenarios de área de pasto natural y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá

Zona/ Escenario	Área de Pasto natural (en Ha)	Consumo bovino (en mm/mes)
Escenario actual censal	24.944	0,10
Escenario actual cartográfico	36.984	0,07

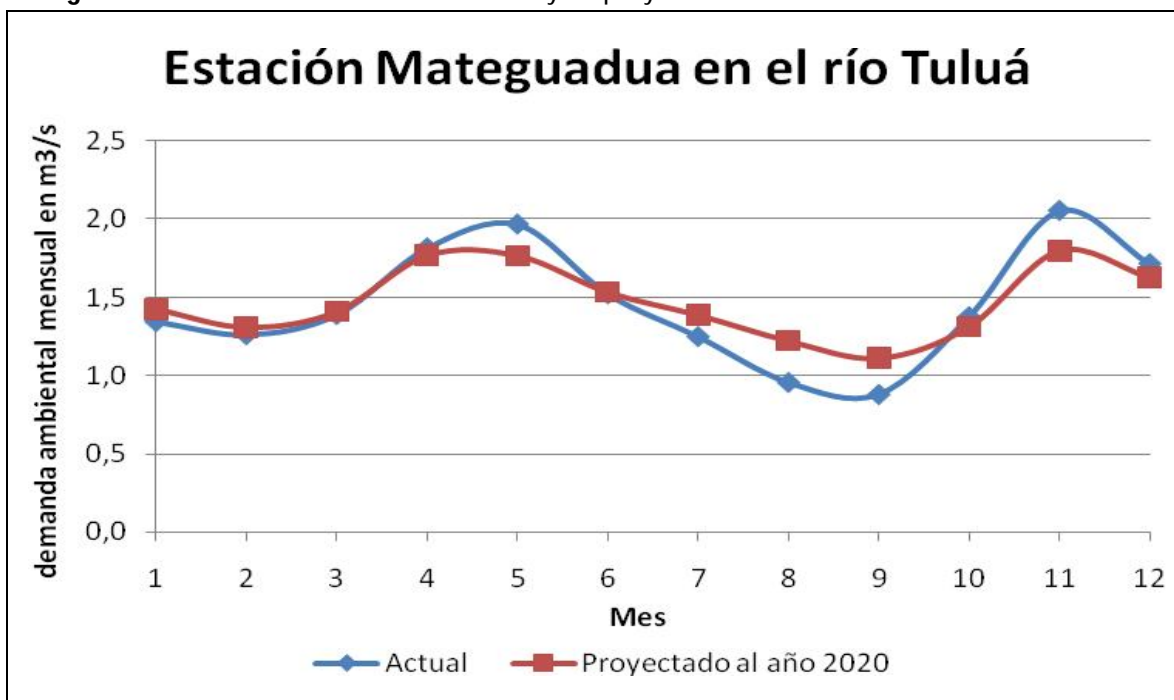
Zona/ Escenario	Área de Pasto natural (en Ha)	Consumo bovino (en mm/mes)
Proyectado al 2020	26.819	0,11

5.1.3.5. Demanda ambiental

Esta demanda hace referencia al cálculo del caudal ecológico entendido como aquel caudal que debe mantenerse en cada sector hidrográfico de tal manera que los efectos producidos la disminución del caudal natural no alteren significativamente los servicios ambientales que presta el ecosistema fluvial (Castro & Carvajal, 2008).

El cálculo del caudal ecológico se realizó según el estudio de “Balance oferta-demanda de agua. Cuenca Tuluá” desarrollado por CVC en 2007, el cual se estima como el valor correspondiente al 10% del caudal medio mensual multianual, registrado en la estación limnigráfica Mateguadua localizada sobre el Río Tuluá. Los resultados se presentan en la figura 5.17.

Figura 5.17. Demanda ambiental actual y su proyección al año 2.020 en la cuenca Tuluá



Conforme al escenario en el año 2.020 de oferta hídrica superficial en la cuenca, se proyectan un aumento del 1% en la demanda ambiental total anual; el mayor incremento, del 26%, se calculó en el mes de agosto; sin embargo, los mayores valores de la demanda hídrica suceden durante los meses de mayo y noviembre; en los cuáles se obtuvieron los mayores descensos de 10% y 12%, respectivamente. En total, se estimaron caudales promedio de 1,46 y 1,47 m³/s en la demanda hídrica ambiental actual y su proyección al año 2.020, respectivamente.

Esta proyección, coloca en evidencia cambios en la estacionariedad intranual de la demanda ambiental de acuerdo a la modificación del caudal medio mensual en la cuenca; sin embargo, el cálculo realizado mediante un porcentaje fijo en el año, deja por fuera de los alcances de este estudio, los impactos que puedan ocasionar estas alteraciones hidrológicas en la fauna y flora de la cuenca; por lo tanto, este resultado puede considerarse como uno de los requerimientos del recurso hídrico en la cuenca, no obstante, para ser utilizado como indicador de sostenibilidad ecológica ante los escenarios climáticos en la cuenca, deberá implementarse en el cálculo de la demanda el factor biológicos, entre otros, lo cual estuvo por fuera de los alcances de este estudio.

5.1.3.6. Demanda hídrica total en la cuenca

Para la estimación de la demanda hídrica total en la cuenca, de acuerdo con la metodología del balance oferta-demanda de agua de CVC (2002), inicialmente se realiza un balance entre la precipitación y la demanda agrícola, con el propósito de analizar cuanto de los requerimientos hídricos de los cultivos, se logra cubrir con la lluvia. Posteriormente, se calculó la demanda hídrica neta en la cuenca.

Los cálculos de la demanda hídrica total, se presentan a continuación:

5.1.3.6.1. Balance precipitación-demanda hídrica agrícola

Se realizaron los balances entre la precipitación media y la demanda agrícola para los tres escenarios actuales (E1: censal y E2: cartográfico) y la proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá, los resultados se presentan en la tabla 5.19:

Tabla 5.19. Balance precipitación-demanda agrícola según los escenarios actuales y de proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá (en mm/mes)

ZONA/ ESCENARIO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
BALANCE ACTUAL. PRECIPITACIÓN-DEMANDA POR USO AGRÍCOLA													
Productora													
Precipitación actual	110	106	157	189	151	84	57	64	106	210	196	139	1.573
Demanda agrícola escenario actual censal	30	26	29	24	25	25	29	31	28	26	23	27	328
Demanda agrícola escenario actual cartográfico	49	43	47	39	40	41	47	50	45	42	37	43	528
Balance escenario actual censal	79	79	128	164	125	58	28	33	77	184	172	112	1.244
Balance escenario actual cartográfico	61	63	110	149	110	42	10	14	60	168	158	95	1.045
Consumidora													
Precipitación actual	84	93	141	160	136	76	56	55	108	173	147	97	1.331
Demanda agrícola escenario actual censal	111	107	115	99	94	91	104	115	110	100	92	98	1.239
Demanda agrícola escenario actual cartográfico	105	101	109	94	89	86	98	109	104	94	87	93	1.175
Balance escenario actual censal	-27	-13	25	61	41	-15	-47	-59	-1	73	55	-1	91
Balance escenario actual cartográfico	-21	-8	31	66	46	-10	-42	-53	4	78	60	4	155
BALANCE PROYECTADO AL 2020. PRECIPITACIÓN-DEMANDA POR USO AGRÍCOLA													
Productora													
Precipitación al 2020	127	117	163	195	151	95	65	63	114	210	204	147	1.658
Demanda agrícola	35	30	33	28	29	30	33	35	32	31	28	31	380
Balance	92	87	129	166	121	64	32	28	81	179	176	116	1.277

ZONA/ ESCENARIO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
<i>Consumidora</i>													
Precipitación al 2020	87	91	136	153	128	73	62	57	111	154	145	96	1.297
Demanda agrícola	91	96	101	90	87	83	96	101	94	86	86	91	1.109
Balance	-4	-5	34	63	40	-9	-34	-44	16	68	58	4	188

Es importante mencionar que de acuerdo con el desarrollo metodológico de CVC (2002), el análisis precipitación-demanda agrícola, es una parte del balance por uso del suelo. En este trabajo no se han considerado otros usos como vegetación de páramo y bosques, dado que los alcances se orientan al estudio de factores socioeconómicos que inciden en la demanda hídrica, más que en el impacto del clima sobre ecosistemas naturales; sin embargo, se destaca la importancia de incluir posteriormente estas variables, dado que en 2.006 representaban el 52% del área en la zona productora de esta cuenca, lo cual reduce la disponibilidad hídrica y así, ejercer mayor presión sobre del agua para el sector agrícola.

La relación precipitación-demanda agrícola (ver tabla 5.19) muestra en la zona de producción hídrica un balance positivo; se estimaron valores netos actuales de 1.245 mm/año en el escenario de información censal (E1), así mismo se proyectaron 1.277 mm/año, lo cual representa al 2020, incrementos del 3%. Esta alta excedencia hídrica, se relaciona con que en este caso, el área agrícola cubre alrededor del 41% del total de esta zona, la cual fue considerada en este estudio y por lo tanto, falta la demanda del uso del suelo en el otro 52% de área.

Adicionalmente, se observa en la zona productora, que la menor reserva hídrica de 28,5 mm/mes en promedio actual, se presenta durante el mes de julio; así mismo, según la proyección al 2.020, lo mismo ocurre en el mes de agosto con 28,6 mm/mes; este comportamiento, se justifica por los menores valores de precipitación y de mayor demanda hídrica agrícola (asociada a los altos valores de evapotranspiración intranual) en el año. Adicionalmente, al año 2.020 se observa que los cambios en la estacionariedad de las lluvias (detallada en el capítulo 4 donde se plantearon los escenarios climáticos), modifican los periodos de disponibilidad hídrica, lo cual implica entre otros, para el sector agrícola, la adaptación en la planificación de las actividades del manejo de los cultivos con el propósito de afectar en menor proporción posible el desarrollo óptimo del sistema productivo.

En la zona de consumo (ver tabla 5.19), se estudio el 87% del área total, el balance actual (E1) fue de 92 mm/año; así mismo se proyectó al año 2.020 en 188 mm/año, representando aumentos de 106%. Aunque en esta zona, se estima tendencia al descenso de la lluvia total anual, el incremento de la disponibilidad hídrica se asocia a la reducción promedio del 3% del área sembrada.

Adicionalmente en la zona de consumo, el mayor déficit hídrico para cubrir la demanda agrícola, ocurre en el mes de agosto, con valores de -59,7 mm/mes según el escenario actual censal (E1) y de -44 mm/mes proyectado al año 2.020.

5.1.3.6.2. Demanda hídrica neta en la cuenca

Después de realizar el balance precipitación-demanda agrícola, se estimó el requerimiento neto de agua en el sector agrícola considerando un factor de eficiencia en la aplicación del agua para riego igual a 1/0,33, este factor se determinó teniendo en cuenta que el cultivo de mayor extensión en esta zona es la caña de azúcar y que éste en su mayoría se riega por gravedad, se consideró entonces una eficiencia de 33%, que corresponde a un sistema de riego por gravedad, el cual incluye las eficiencias de conducción, distribución y aplicación (CVC, 2007).

Luego, el factor de eficiencia de aplicación se multiplicó con cada uno de los valores que en el primer balance presentaron déficit hídrico (es decir, requerimientos de riego) y el producto es la demanda agrícola neta. Adicionalmente, se integraron los demás usos para realizar el cálculo de la demanda neta, según lo muestran la tabla 5.20 (mensual) y la figura 5.18 (total anual).

Tabla 5.20. Demanda hídrica neta según factores socioeconómicos actuales y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá (en mm/mes)

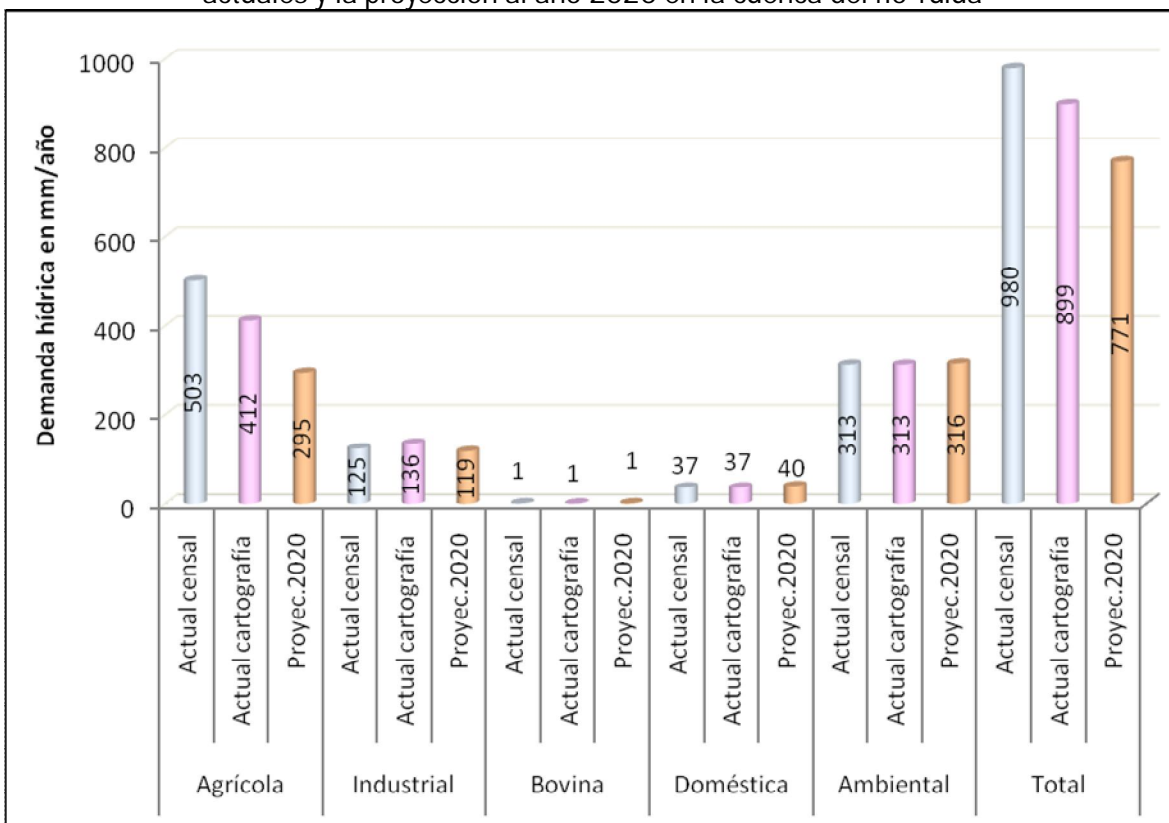
Escenario/ Demanda	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ESCENARIO ACTUAL CON INFORMACIÓN CENSAL (E1)												
Agrícola	82,2	41,3	0,0	0,0	0,0	45,3	144,9	181,0	5,2	0,0	0,0	3
Industrial	11,4	10,7	11,6	9,9	9,6	9,3	10,7	11,7	11	10	9,3	10,0
Doméstica	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Bovina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ambiental	24,0	22,5	24,8	32,4	35	27,2	22,3	17	15,7	24,6	36,7	30,6
Demanda Total	120,7	77,7	39,6	45,5	47,9	85	181	212,9	35,2	37,9	49	46,9

Escenario/ Demanda	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ESCENARIO ACTUAL CON INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA (E2)												
Agrícola	64,7	24,5	0,0	0,0	0,0	31,0	128,5	162,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrial	12,4	11,6	12,5	10,7	10,4	10,2	11,7	12,8	12,0	11,0	10	10,9
Demanda Total	104,2	61,7	40,5	46,3	48,7	71,6	165,6	195,8	30,9	38,7	49,9	44,7
PROYECTADO AL AÑO 2020												
Agrícola	13	15,9	0,0	0,0	0,0	29	103,0	133,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrial	10	10,2	10,8	9,6	9,4	9	10,3	11,0	10,2	9,4	9,2	9,9
Bovina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Doméstica	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
Ambiental	25,5	23,4	25,2	31,6	31,6	27,4	24,8	21,8	19,8	23,4	32,2	29
Demanda Total	52	52,9	39,4	44,6	44,4	69,0	141,6	169,9	33,4	36,3	44,8	42,4

La demanda hídrica actual del sector agrícola, representa en promedio el 49% del total (457 mm/año), mientras que en 2.020, se estima del 38% con 295 mm/año; los descensos se asocian al mayor cubrimiento de los requerimientos con la precipitación, así como a la reducción del área sembrada en la cuenca, principalmente en la zona de consumo donde se identificó déficit hídrico. Ante estos resultados, es necesario considerar la mayor importancia que tiene la agricultura en los requerimientos hídricos, dado que, durante el mes de agosto, cuando se presentan los mayores valores de demanda hídrica en la cuenca, la de este sector representa el 80% del total.

En la actualidad, según el escenario construido con información censal (E1), se estimó una demanda hídrica promedio mensual de 150 mm/mes y al año 2020 se proyectó en 118 mm/mes, lo cual representa una reducción del 41%. El mes de agosto presenta la mayor demanda hídrica del año con proyección de 170 mm; justificado por los altos requerimientos de agua en el sector agrícola.

Figura 5.18. Representación de la demanda hídrica total anual por sectores, según escenarios actuales y la proyección al año 2020 en la cuenca del río Tuluá



Al 2.020, se estima un descenso en 209 mm de la demanda hídrica total anual en la cuenca, lo cual está dado principalmente por la reducción en 40% de los requerimientos del sector agrícola. A escala intranual, según lo muestra la tabla 5.20, durante el mes de enero, al 2020 se presentó la mayor disminución, de 57% equivalente a 69 mm en relación con el escenario actual.

De otro lado, los mayores incrementos porcentuales en la demanda hídrica, con magnitud del 8%, se prevén en la demanda doméstica asociada al crecimiento de la población rural en la cuenca. La mayor demanda hídrica intranual, ocurre durante julio y agosto, al 2.020 se proyectaron valores de 142 y 170 mm, respectivamente; que juntos representan el 40% del total. Este resultado, pone en evidencia la alta concentración de los requerimientos hídricos durante el año, que justo suceden en los meses de baja pluviosidad y caudal, lo cual a su vez aumenta la vulnerabilidad social y ambiental ante posibles situaciones de déficit hídrico en la cuenca.

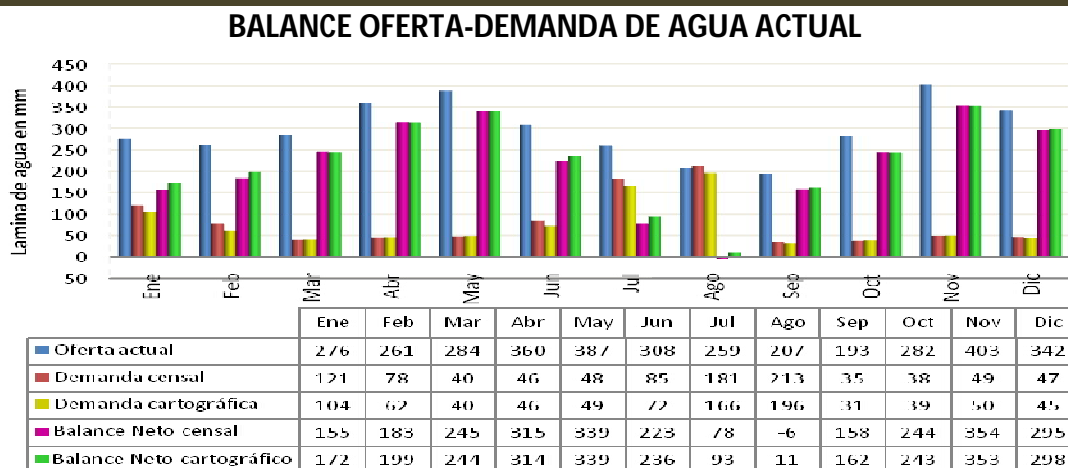
5.1.4. Balance oferta-demanda hídrica ante el escenario climático actual y su proyección al 2020 asociado a factores socioeconómicos en la cuenca

El balance oferta-demanda de agua, incluyó la demanda hídrica neta (explicada en la sección anterior) y la oferta hídrica superficial (la cual se discutió en el numeral 4.3.1.4); la figura 5.19 presenta el análisis integrado según los escenarios de la demanda hídrica actuales (E1: Censal y E2: Cartográfico) y la proyección al año 2.020.

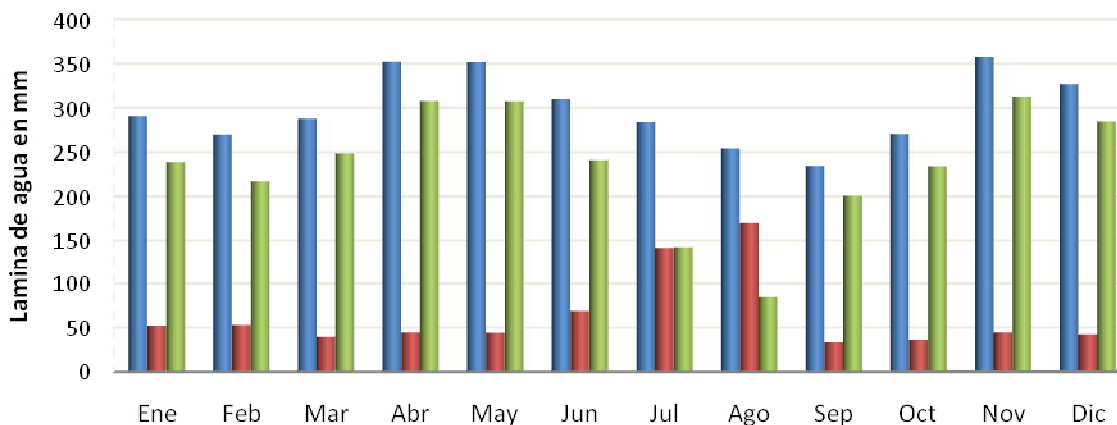
Los resultados muestran un aumento en el total anual, del superávit de agua en la cuenca al año 2.020, con proporción del 9% respecto al escenario actual censal. A nivel intranual, durante enero, se proyectó la mayor ganancia en el superávit hídrico, de 83 mm (53%); este incremento, se asocia principalmente a la reducción de la demanda hídrica en promedio de 53%.

También, el mes de agosto, en la actualidad según el escenario censal, presenta un balance de -6,2 mm, el cual al 2.020, se proyecta en +84 mm, este cambio, sucede por el efecto combinado de aumento en la oferta hídrica del 23% y de reducción del área sembrada en promedio de 17%. Adicionalmente a nivel intranual, el balance oferta-demanda de agua también presenta descensos en la disponibilidad neta del agua, con promedio mensual del 6%, los cuales se presentan durante los meses de abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre. La mayor reducción de 40mm (12%) ocurre en noviembre, cuando la oferta hídrica se reduce en un 11%; en este mes, los valores del balance actual y al 2020 fueron 353 mm y 313 mm en lámina de agua.

Figura 5.19. Balance oferta-demanda hídrica según escenarios actuales (E1: censal y E2: cartográfico) y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Tuluá



BALANCE OFERTA-DEMANDA DE AGUA PROYECTADO AL AÑO 2020



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
■ Oferta en 2020	291	270	288	352	352	310	284	254	234	270	358	327
■ Demanda	52	53	39	45	44	69	142	170	33	36	45	42
■ Balance Neto	239	217	248	308	308	241	142	84	201	234	313	284

Fuente: Elaboración propia

En general, el balance oferta-demanda de agua en la cuenca del río Tuluá, coloca en evidencia el impacto positivo en términos de mayor recurso de agua anual, según los escenarios climáticos y los factores socioeconómicos proyectados al año 2.020; sin embargo, es preciso que estos valores (de superávit hídrico) sean considerados con cuidado para efecto de su utilización en procesos de planificación ambiental y territorial de la zona de estudio, principalmente por la falta del análisis en factores climáticos y socioeconómicos que estuvieron fuera de los alcances de este estudio, como son: (i) Los valores promedio mensuales bajo los cuales se construyeron los escenarios climáticos (actual y al 2.020), dejan fuera de alcance, el diagnóstico de eventos hidroclimáticos extremos (sequías o inundaciones), de esta manera por ejemplo, el aumento de la precipitación en la zona de producción hídrica de la cuenca al 2.020, puede también asociarse con mayor riesgo ante lluvias torrenciales, cuyos impactos repercuten a su vez en la oferta y la demanda hídrica de la cuenca, y no fueron considerados dentro del balance. (ii) La demanda hídrica en el sector agrícola calculada a partir del área sembrada, cubre en promedio el 48% del total de la cuenca, por lo tanto, es necesario considerar en futuros estudios la proyección de los demás usos y cobertura del suelo (que conforman el 52% restante), los cuales a su vez, tienen fuerte incidencia sobre la demanda y la oferta hídrica de la cuenca.

5.2. Caso de estudio: Cuenca del río Amaime

El caso de estudio de los factores socioeconómicos que inciden en la demanda hídrica ante escenarios climáticos en la cuenca del río Amaime, se realiza siguiendo la estructura de los resultados en el caso de la cuenca río Tuluá y presenta los resultados según el desarrollo metodológico que se explicó en la sección 3.2 de este documento.

5.2.1. Descripción de factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica

A continuación se analizan las bases de datos de área y rendimientos agrícolas, de evaluación de la población y del inventario bovino, empleando datos censales de los municipios El Cerrito y Palmira, que conforman la cuenca del río Amaime, obtenidos de fuentes oficiales como el DANE, URPA, y Secretaría de Agricultura Departamental.

5.2.1.1. Áreas sembradas y rendimientos censales de cultivos a nivel municipal

Los cultivos seleccionados representaron más del 94% del área agrícola en la cuenca del río Amaime, según la información cartográfica de CVC para los usos del suelo de 2.003 (ver numeral 3.2.2.1. en la sección: selección de cultivos representativos), a continuación se realiza el análisis por cultivo:

5.2.1.1.1. El cultivo del café

La tabla 5.21 presenta el registro histórico del rendimiento y área sembrada para el cultivo de café en los municipios de El Cerrito y Palmira.

Tabla 5.21. Área sembrada y rendimientos de café por municipios de la cuenca Amaime

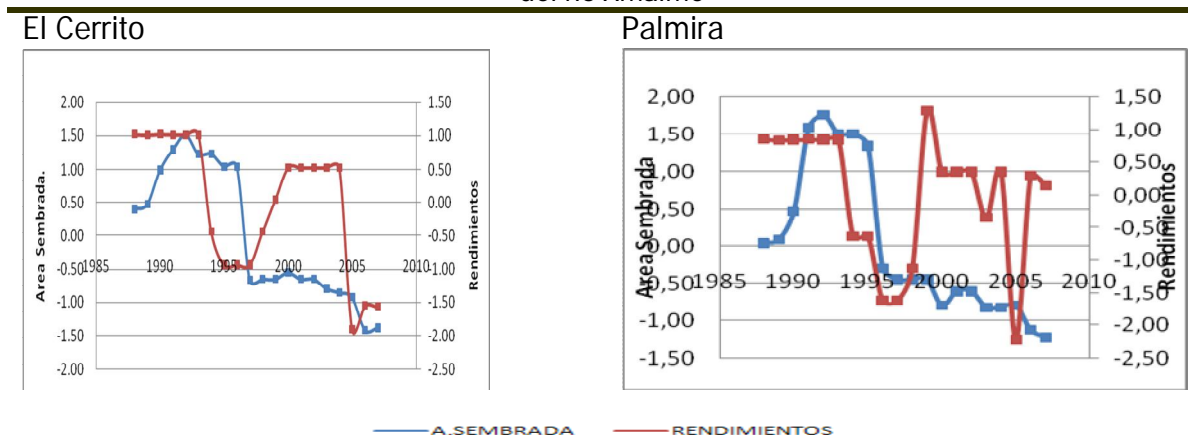
AÑOS	EL CERRITO		PALMIRA	
	ÁREA SEMBRADA Ha	RENDIMIENTO ton/Ha	ÁREA SEMBRADA Has.	RENDIMIENTO ton/Ha
1988	318	10	695	10
1989	325	10	711	10
1990	374	10	831	10
1991	403	10	1.174	10

AÑOS	EL CERRITO		PALMIRA	
	ÁREA SEMBRADA Ha	RENDIMIENTO ton/Ha	ÁREA SEMBRADA Has.	RENDIMIENTO ton/Ha
1992	423	10	1.227	10
1993	397	10	1.148	10
1994	397	0,80	1.148	0,80
1995	379	0,70	1.097	0,80
1996	379	0,70	591	0,60
1997	218	0,70	544	0,60
1998	219	0,80	544	0,70
1999	219	0,90	544	19
2000	228	1,00	435	1,00
2001	219	1,00	496	1,00
2002	219	1,00	496	1,00
2003	205	1,00	427	0,86
2004	199	1,00	427	1,00
2005	193	0,50	437	0,48
2006	146	0,57	333	0,99
2007	149	0,57	305	0,96

Fuente: Elaboración propia.

Del análisis integrado se deduce que durante gran parte de la década de los noventa el área sembrada superó su rendimiento en ambos municipios, aunque tuvo una fuerte caída desde mediados de los noventa, esto puede estar explicado por el comportamiento de los precios del café entre mediados y finales de la misma década (ver figura 5.20), lo cual se explicó para este mismo cultivo en el caso de la cuenca del río Tuluá.

Figura 5.20. Área sembrada y rendimientos censales de café en los municipios de la cuenca del río Amaimé



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has). Fuente: Elaboración propia

Se observa un comportamiento regular de las series analizadas, toda vez que guardan una relación positiva entre ellas (hasta finales de los noventa), lo cual indica que es de esperar que el área sembrada aumente conforme aumentan los rendimientos, pero sobre todo, esta tendencia está determinada de acuerdo al análisis del mercado internacional del café, por el comportamiento del precio interno y la tendencia del mismo en el mercado internacional.

5.2.1.1.2. El cultivo de la caña de azúcar

La tabla 5.22 indica el registro histórico de rendimiento y área sembrada para el cultivo de caña de azúcar en los municipios con territorio en la cuenca del río Amaime.

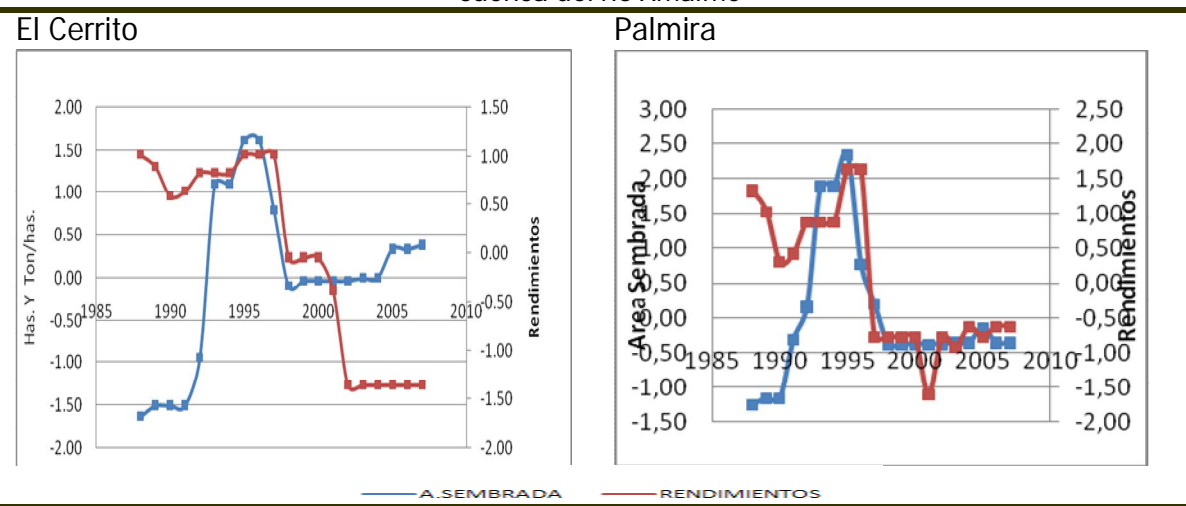
Tabla 5.22. Área sembrada y rendimientos de caña de azúcar por municipios

AÑOS	EL CERRITO		PALMIRA	
	ÁREA SEMBRADA Ha	RENDIMIENTO Ton/Ha	ÁREA SEMBRADA has.	RENDIMIENTO Ton/Ha
1988	10.388	128,00	25.670	128,00
1989	10.645	126,00	26.305	126,00
1990	10.645	121,20	26.305	121,20
1991	10.645	122,00	32.701	122,00
1992	11.808	125,00	36.211	125,00
1993	16.049	125,00	49.228	125,00
1994	16.049	125,00	49.228	125,00
1995	17.123	128,00	52.523	130,00
1996	17.123	128,00	40.840	130,00
1997	15.412	128,00	36.557	114,00
1998	13.563	111,00	32.170	114,00
1999	13.699	111,00	32.175	114,00
2000	13.699	111,00	32.175	114,00
2001	13.699	105,66	32.175	108,51
2002	13.699	90,00	32.175	114,00
2003	13.765	90,00	32.329	113,00
2004	13.765	90,00	32.329	115,00
2005	14.453	90,00	33.945	114,00
2006	14.452	90,00	32.328	115,00
2007	14.552	90,00	32.328	115,00

Fuente: Elaboración propia

El análisis de la serie estandarizada indica las variaciones de cada área de cultivo y su rendimiento con respecto a la desviación del valor promedio histórico en cada municipio (ver figura 5.21).

Figura 5.21. Área sembrada y rendimientos censales de caña de azúcar en los municipios de la cuenca del río Amaime



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has)

Fuente: Elaboración propia

Se puede notar una fase creciente en el área sembrada de caña de azúcar en ambos municipios, nótese que esta es mayor en Palmira que en Cerrito; también puede identificarse una segunda fase, desde mediados de la década de los noventa, hasta el primer quinquenio del dos mil, donde la extensión del cultivo decrece en ambos municipios; a partir del año 2.005, este cultivo empieza a tener un crecimiento progresivo, lo cual es consistente con el mercado de los biocombustibles y sus precios, que garantizan para la agroindustria de la caña de azúcar una mayor rentabilidad por hectárea sembrada (Arango, 2008). Por ello, es de esperar, que al continuar esta tendencia, cultivos de zona plana como el maíz y el sorgo se vean desplazados por el sembradío de caña de azúcar en ambos municipios.

5.2.1.1.3. El cultivo de maíz

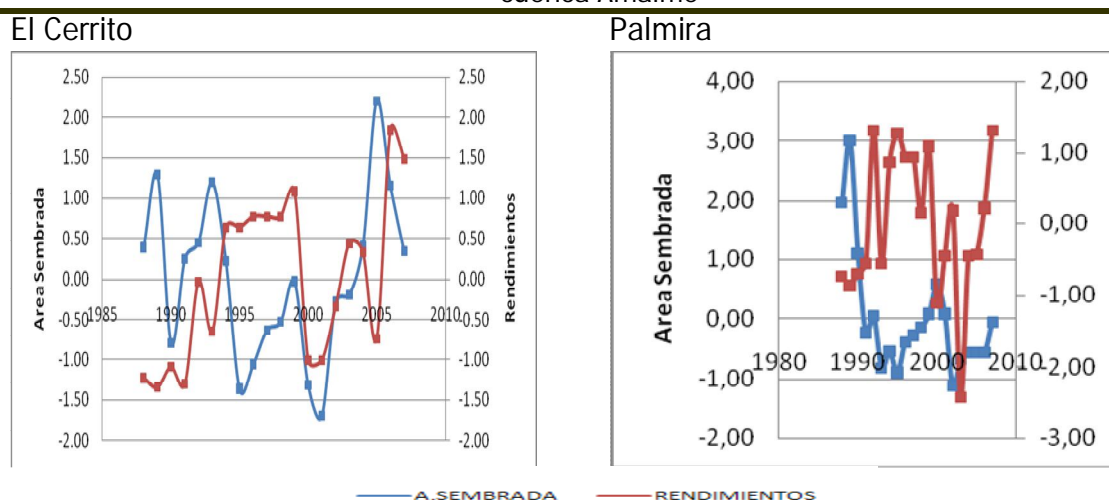
A partir de la tabla 5.23 y la figura 5.22 se puede inferir que el área sembrada de maíz en El Cerrito y Palmira ha tenido un comportamiento inestable desde 1.988 hasta el 2.006, no obstante, el área sembrada en este último municipio ha tenido una lenta recuperación desde 2.007, es de esperar que en la zona plana se incrementen este tipo de cultivos, dado los altos precios de referencia local e internacional del maíz (MINAGRICULTURA, 2007).

Tabla 5.23. Área sembrada y rendimientos de maíz por municipios de la cuenca Amaime

AÑOS	EL CERRITO		PALMIRA	
	ÁREA SEMBRADA Has.	RENDIMIENTO ton/Ha	ÁREA SEMBRADA Has.	RENDIMIENTO ton/Ha
1988	380	4,50	790	4,50
1989	508	4,25	1.050	49
1990	212	4,82	572	4,60
1991	360	4,33	232	5,00
1992	389	7,20	302	10,00
1993	495	5,80	87	5,00
1994	356	8,70	156	8,80
1995	131	8,70	67	9,90
1996	175	9,00	196	9,00
1997	235	9,00	222	9,00
1998	250	9,00	254	6,90
1999	321	9,70	311	9,40
2000	138	5,00	441	3,50
2001	85	5,00	311	5,30
2002	285	6,50	10	7,00
2003	297	8,25	124	0,00
2004	383	8,00	150	5,30
2005	637	5,60	151	5,35
2006	489	11,40	151	70
2007	373	10,60	277	10

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.22. Área sembrada y rendimientos censales de maíz plana en los municipios de la cuenca Amaime



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has)

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.1.4. El cultivo de sorgo

Este tipo de cultivo presenta pérdidas considerables en la ocupación del suelo (ver tabla 5.24 y la figura 5.23), el área sembrada se reduce en más de un 50% en ambos municipios para el periodo analizado. A pesar de que el nivel internacional de los precios del grano son atractivos, la política de importación, afecta sustancialmente la estabilidad y rentabilidad de este cultivo (MINAGRICULTURA, 2007).

Tabla 5.24. Área sembrada y rendimientos de sorgo por municipios de la cuenca Amaime

AÑOS	EL CERRITO		PALMIRA	
	ÁREA SEMBRADA Ha	RENDIMIENTO ton/Ha	ÁREA SEMBRADA Ha	RENDIMIENTO ton/Ha
1988	2.450	4,50	5.277	4,50
1989	1.275	4,30	4.096	4,30
1990	860	4,80	3.129	4,72
1991	849	4,64	4.990	5,00
1992	986	8,50	3.695	10,00
1993	1.200	8,50	3.655	9,50
1994	705	8,40	2.173	7,90
1995	671	8,40	1.936	8,40
1996	345	10,50	1.335	9,50
1997	82	5,00	1.488	10,00
1998	69	10,00	1.172	9,50
1999	57	10,00	885	9,80
2000	55	5,00	650	4,25
2001	130	4,75	203	4,54
2002	135	5,00	210	4,55
2003	150	4,80	38	4,50
2004	180	4,55	450	4,55
2005	140	4,50	288	4,55
2006	304	0,00	20	4,50
2007	318		44	9,2

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al MMADVT (2007), las previsiones a nivel nacional se enfocan en que el área sembrada de sorgo se mantenga constante, lo mismo que la producción y la demanda interna. Este mismo informe indica que teniendo en cuenta el comportamiento previsto del precio internacional del maíz, el precio doméstico del sorgo tenderá a aumentar durante el primer trimestre de 2007 y los siguientes años, pero seguramente eso no se reflejará en una tendencia a aumentar el área sembrada.

Figura 5.23. Área sembrada y rendimientos censales de sorgo en los municipios de la cuenca del río Amaime



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Ha) y área sembrada (Ha)

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.1.5. El cultivo de frutales-plátano

Del análisis integrado se deduce que el área sembrada del cultivo combinado frutales-plátano, ha tenido un comportamiento irregular en ambos municipios, aun así los rendimientos en Palmira han sido mucho más irregulares que en el Cerrito, esto puede estar asociado a fenómenos cíclicos climáticos como el fenómeno del Niño o de la Niña, las constantes lluvias favorecen la presencia de los hongos causantes de volcamiento de plantas y principalmente enfermedades como la gota de la papa, la sigatoca amarilla y negra en cultivos de plátano y banano, las pudriciones de hojas y frutos y el ataque de hongos y bacterias en plantaciones de frutales (ICA, 2008).

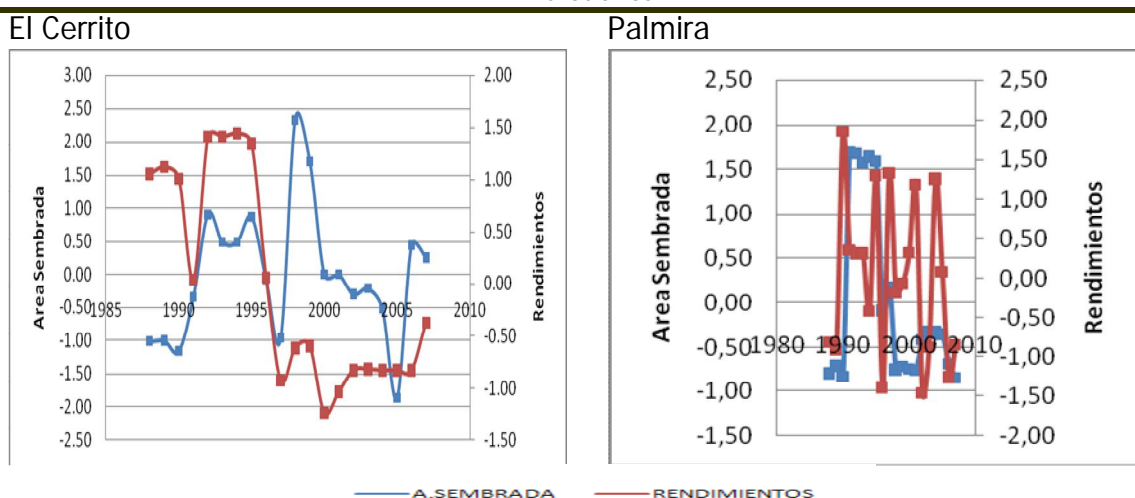
Tabla 5.25. Área sembrada y rendimientos de frutales-plátano por municipios

AÑOS	EL CERRITO		PALMIRA	
	ÁREA SEMBRADA (Ha)	RENDIMIENTO ton/Ha	ÁREA SEMBRADA (Ha)	RENDIMIENTO ton/Ha
1988	154	126,56	410	1391
1989	155	129,73	450	137,85
1990	140	1241	393	176,36
1991	220	75,62	1.600	155,51
1992	343	144,40	1.594	154,90
1993	302	144,40	1.544	154,90
1994	302	145,90	1.576	144,50
1995	339	1410	1.552	168,70

1996	246	76,50	748	131,00
1997	159	27,00	876	1690
1998	483	42,50	430	148,00
1999	422	43,50	446	149,50
2000	254	11,50	433	155,00
2001	254	21,50	425	167,00
2002	224	32,00	592	130,00
2003	233	32,50	634	1380
2004	203	31,90	631	168,07
2005	71	31,90	620	151,57
2006	297	31,90	459	132,77
2007	279	54,65	386	138,62

Fuente: Elaboración propia

Figura 5.24. Área sembrada y rendimientos censales de frutales-plátano en los municipios de la cuenca



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has)

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.1.6. El cultivo de hortalizas

Según se muestra en la tabla 5.26, el cultivo de hortalizas se presenta en Palmira a partir de 1992 según la disponibilidad de los datos en las fuentes de información consultadas.

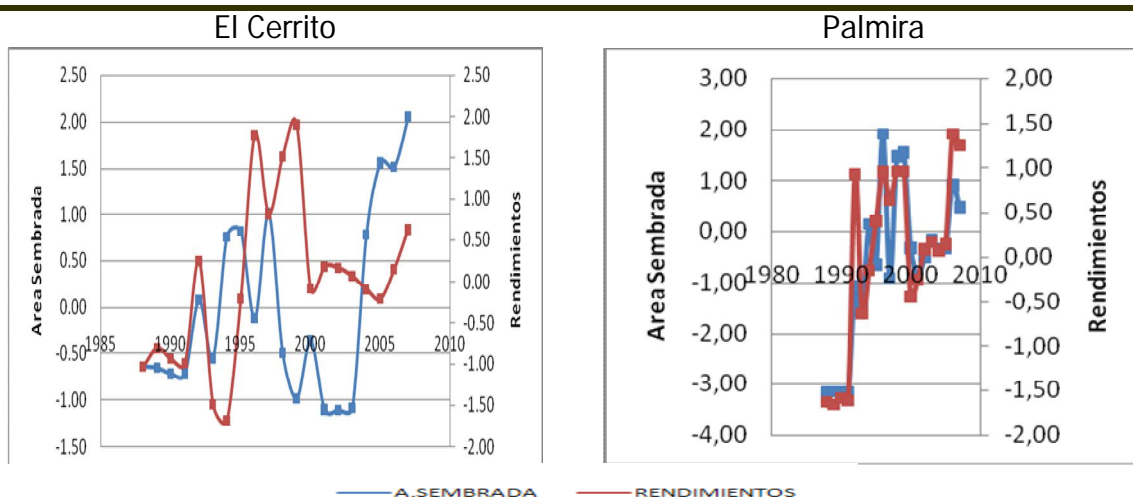
Tabla 5.26. Área sembrada y rendimientos de hortalizas por municipios en la cuenca Amaimé

AÑOS	EL CERRITO		PALMIRA	
	ÁREA SEMBRADA Ha	RENDIMIENTO ton/Ha	ÁREA SEMBRADA Ha	RENDIMIENTO ton/Ha
1988	290	90,87		
1989	289	99,58		
1990	284	94,63		
1991	284	92,60		
1992	345	141,08	224	247
1993	297	73,41	185	112
1994	397	65,80	352	154
1995	401	123,20	268	201
1996	330	200,50	541	248
1997	416	1634	239	222
1998	301	190,36	494	249
1999	263	205,36	503	249
2000	311	128,00	303	129
2001	255	138,40	246	145
2002	254	137,70	283	174
2003	256	133,80	320	181
2004	399	127,67	301	173
2005	458	1230	301	179
2006	455	137,27	435	284
2007	496	155,67	389	273

Fuente: *Elaboración propia*

La figura 5.25 muestra que el área sembrada de hortalizas en ambos municipios ha tenido un comportamiento irregular, que podría estar asociado a fenómenos climáticos y a variaciones en los precios, ocasionadas por los costos de transporte o de transacción, o a fluctuaciones en el mercado dadas por diferentes políticas de gobierno, por ejemplo, a partir del programa de protección de precios, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural busca incentivar la utilización de coberturas cambiarias y de precio internacional por parte de los productores de sectores que deben competir en el mercado interno con importaciones; los sectores incluidos en este programa son: aceite de palma, banano, cacao, camarón y tilapia, caña de azúcar, carne de bovino, frutas, plátano, hortalizas, tubérculos, leche y derivados lácteos y tabaco.

Figura 5.25. Área sembrada y rendimientos censales de hortalizas en los municipios de la cuenca del río Amaime



Datos estandarizados de rendimiento (Ton/Has) y área sembrada (Has)
 Fuente: Elaboración propia

5.2.1.2. Análisis de área sembrada a nivel de la cuenca del río Amaime

En esta sección se presenta la síntesis del área sembrada para cada tipo de cultivo en la Cuenca Amaime, en base a la metodología presentada en la sección 3.2.2.1.

Al observar los usos del suelo predominantes dentro de la cuenca del río Amaime, en el periodo 1.998-2.003, (ver figura 5.26); se evidencian varias disminuciones significativas, entre ellas, el área sembrada en sorgo, con un 83,3% (al pasar de 645 hectáreas en 1.998 a 24 en el 2.003), otra en el maíz, (pasando de 340 hectáreas en 1.998 a 123 hectáreas en 2.003) y por ultimo en el café (al pasar de 444 a 281 hectáreas en 2.003). La tabla 5.27, también deja ver otras disminuciones, aunque poco significativas, la caña de azúcar disminuye su cobertura, al pasar de 28.217 hectáreas en 1.998 a 27.430 hectáreas en 2.003, algo similar sucede con las hortalizas, pasando de 537 a 400 hectáreas en 2.003. Al parecer, la perdida de área sembrada de los cultivos de zona plana (caña de azúcar, café, maíz, sorgo) se debe al aumento de la actividad pecuaria, iniciando con la ampliación de las praderas naturales, las cuales pasaron de 9.823 en 1.996 a 13.737 hectáreas en 2.004, según registros proyectados y consolidados a nivel de cuenca hidrográfica.

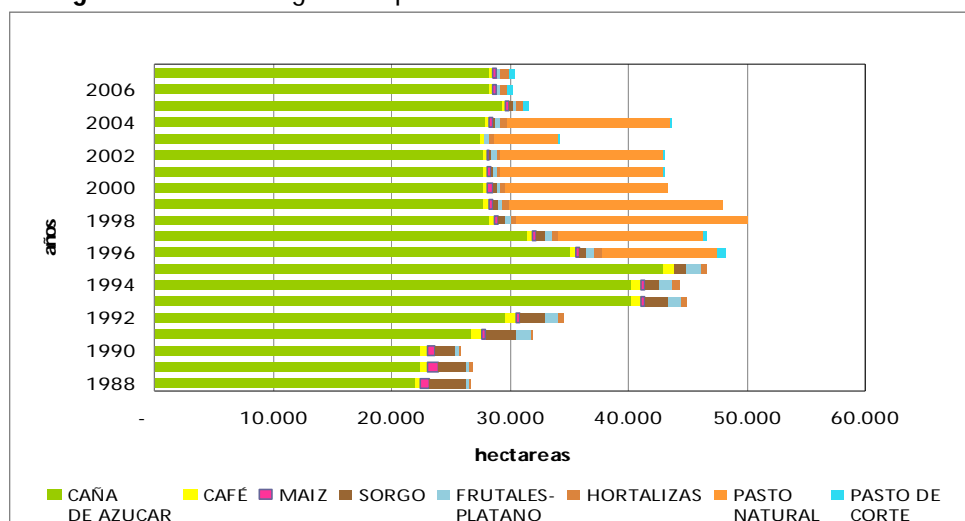
Tabla 5.27. Usos de Suelo Agrícola Predominantes en la Cuenca Amaime

AÑOS	CAÑA DE AZÚCAR	CAFÉ	MAÍZ	SORGO	FRUTALES-PLÁTANO	HORTALIZAS	PASTO NATURAL	PASTO DE CORTE
1988	21.925	515	743	3.032	302	248		
1989	22.468	527	989	2.264	329	247		
1990	22.468	615	515	1.713	288	243		
1991	26.743	849	310	2.657	1.126	243		
1992	29.623	888	375	2.019	1.138	422		
1993	40.270	831	250	2.029	1.099	359		
1994	40.270	831	251	1.205	1.120	538		
1995	42.965	794	100	1.080	1.109	495		
1996	35.156	455	214	728	546	588	9.823	756
1997	31.508	398	256	768	622	491	12.253	248
1998	28.217	444	340	645	394	537	19.514	21
1999	27.793	398	356	458	363	509	18.039	87
2000	27.793	327	388	338	331	437	13.713	106
2001	27.792	366	268	122	326	357	13.714	117
2002	27.792	366	113	126	436	377	13.737	118
2003	27.430	281	123	24	435	400	5.311	187
2004	27.926	317	256	254	460	511	13.737	253
2005	29.322	322	352	166	434	562		402
2006	28.241	246	297	54	355	635		422
2007	28.287	227	350	68	303	644		442

Fuente: Elaboración propia

La figura 5.26 presenta las áreas de los cultivos predominantes en la cuenca, para el periodo 1.998-2.003, nótese que las áreas de mayor extensión pertenecen al pasto natural y la caña de azúcar.

Figura 5.26. Usos agrícolas predominantes en la cuenca del río Amaime



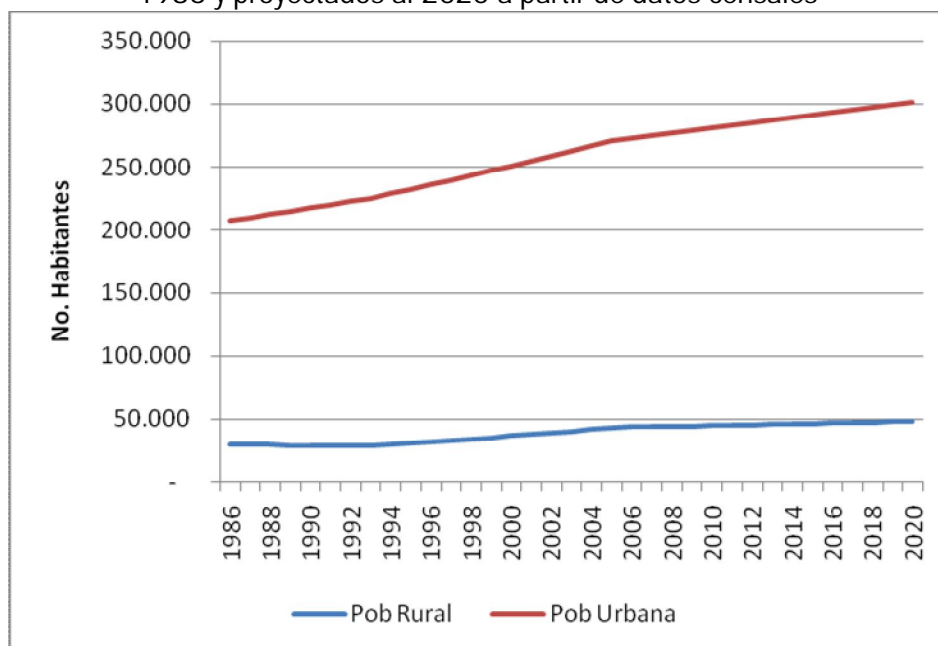
Fuente: Elaboración propia

5.2.1.3. Población en la cuenca

De acuerdo a la metodología presentada en la sección 3.2.2.2, en la figura 5.27 se presentan los resultados de las proyecciones de población, teniendo como base de referencia los censos de población rural y urbana de 1.985, 1.993 y 2.005.

De la figura 5.27 se puede inferir que la población urbana ha tenido un comportamiento creciente, teniendo un pico leve en 2.006, esto puede estar explicado por fenómenos de desplazamiento forzado de áreas rurales hacia zonas urbanas y porque Palmira se ha convertido en uno de los ejes de desarrollo comercial e industrial más importantes en el Valle del Cauca. Por otro lado, desde mediados de los ochenta, hasta mediados de los noventa la población rural en la cuenca presentó un comportamiento estable, periodo después del cual presentó un lento crecimiento hasta los primeros años del siglo XXI, periodo después del cual la población es más estable.

Figura 5.27. Población rural y urbana en la cuenca del río Amaime desde 1986 y proyectados al 2020 a partir de datos censales

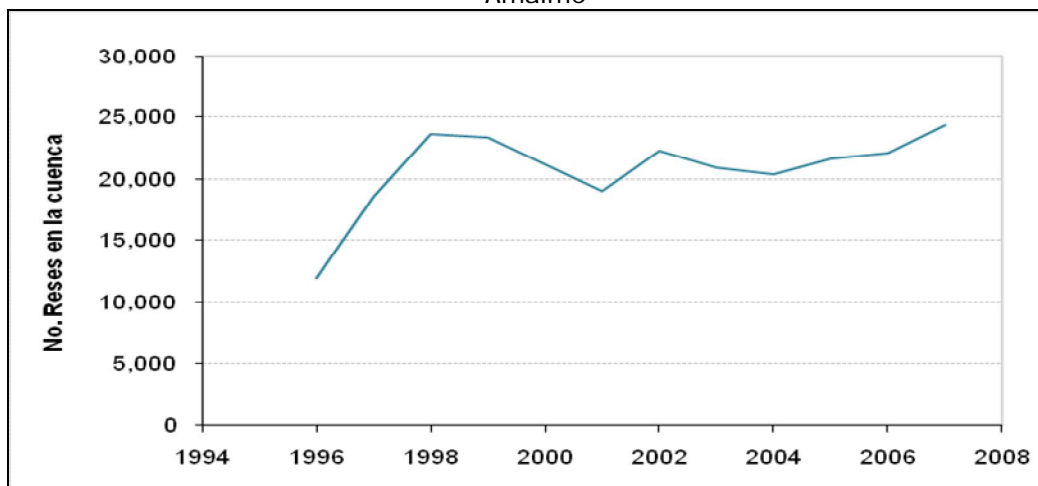


Fuente: Elaboración propia a partir de registros del DANE

5.2.1.4. Inventario bovino en la cuenca

A partir de los datos municipales de reses y la información de área de pastos proyectados en la cuenca, se logró realizar el inventario bovino entre 1.996 y 2.020, según lo muestra la figura 5.28.

Figura 5.28. Inventario bovino en la cuenca entre 1996 y 2020 en la cuenca del río Amaime



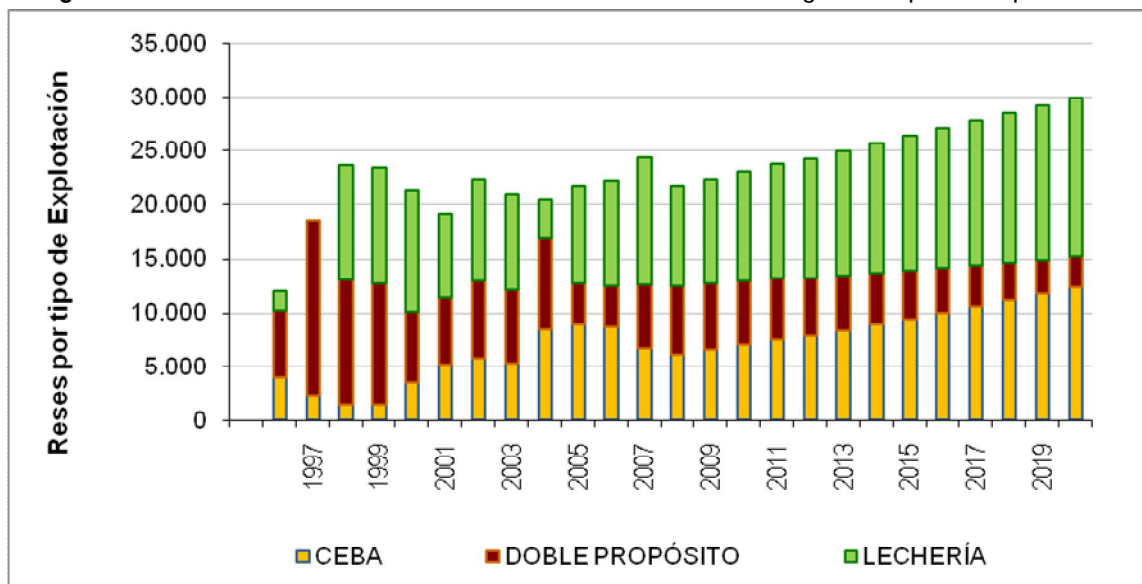
Fuente: *Elaboración Propia*

El comportamiento creciente del ganado vacuno es confirmado por el crecimiento de las áreas en pasto natural, tal como se mostró en la figura 5.26, donde se estimó la actividad ganadera como una de las más importantes en la producción pecuaria. Lo anterior se relaciona con la disminución de los precios de los insumos y con mejoras en la tecnología de la producción animal y del pasto. Cabe mencionar que el pasto de corte y el forraje también han tenido significativas mejoras tecnológicas en términos de productividad y rendimiento, lo que influye en que la calidad y cantidad de los bovinos aumente.

Los más importantes incrementos de ganado vacuno se presentaron en 1.998 y 2.008 (ver figura 5.29), ocasionado principalmente por el aumento del ganado de lechería especializada. Según lo muestra la figura 5.29, en la cuenca del río Amaime el principal tipo de explotación bovina es el ganado de lechería especializada, que en el 2.007 representaba el 48%, seguido por el ganado de ceba, que en el mismo año representó el 27%, y por último el ganado destinado al doble propósito, que representó el 24%. Este porcentaje no presentó un mayor cambio en las proyecciones de escenarios a 2.020, la lechería especializada solo aumentará en un 1% su

participación, el cambio más significativo lo presentara el ganado de ceba, aumentando en un 14%, mientras que el ganado de doble propósito disminuirá un 15% su participación.

Figura 5.29. Número de reses en la cuenca del río Amaime según su tipo de explotación



Fuente: Elaboración Propia

5.2.2. Proyección al 2020 de los factores socioeconómicos

A continuación se presenta el análisis de los factores socioeconómicos actuales y su proyección al año 2.020, que determinan la demanda hídrica en la cuenca del río Amaime.

5.2.2.1. Proyección del área sembrada

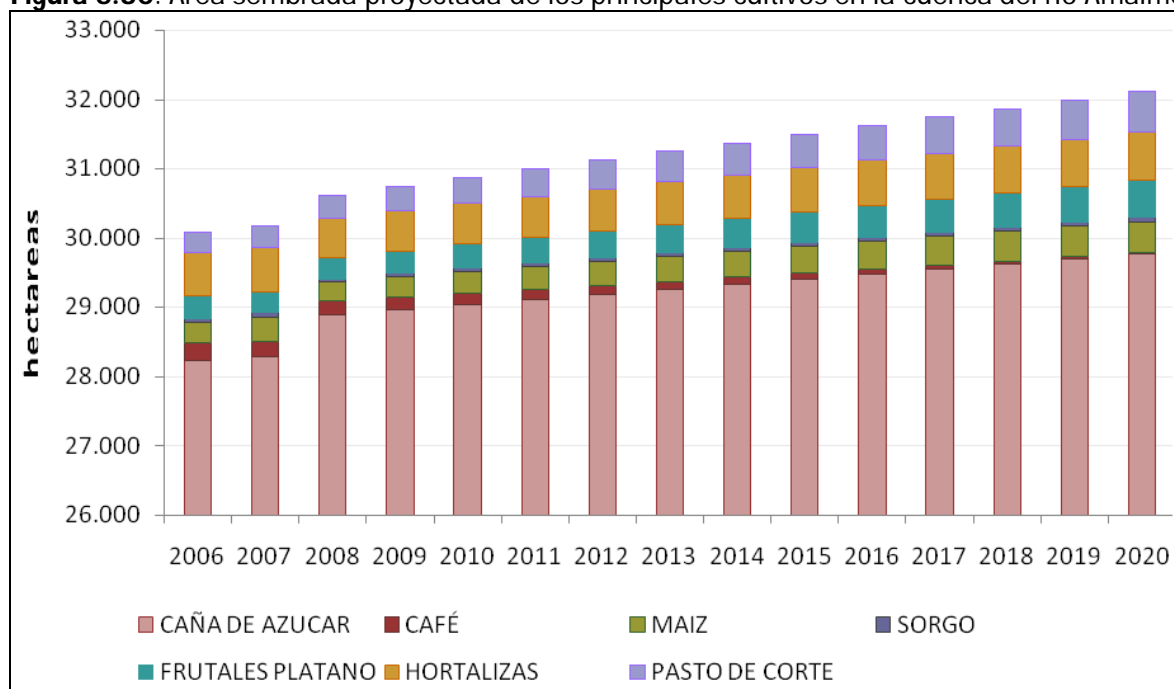
La proyección de área sembrada al año 2.020 en la cuenca del río Amaime, se obtuvo a partir de la modelación de la información censal y luego se comparó con las áreas máximas según factores limitantes ambientales. Los resultados se presentan a continuación:

5.2.2.1.1. Áreas proyectadas a partir de registros censales entre 1988 - 2007

La figura 5.30, presenta la proyección del área sembrada en la cuenca (entre los años 2.006-2.020), realizada a partir de los datos censales que se transformaron a escala de cuenca. En el año 2006, se estimaron un total de 30.091 Ha y al año 2.020, se proyectaron 32.112 Ha, lo que representa un incremento del 7%.

De acuerdo con las proyecciones realizadas en el área de los cultivos (ver figura 5.30), el pasto de corte presentó la mayor tasa de crecimiento anual promedio del 5%, indicando que en 2.006 existían 291 Ha y al 2.020 se estiman 587 Ha, de otro lado en el cultivo de café esta razón de cambio, presentó un valor medio anual de -18%, lo cual representó pérdida de 232 Ha.

Figura 5.30. Área sembrada proyectada de los principales cultivos en la cuenca del río Amaime



Fuente: Elaboración Propia.

Respecto a la participación de los cultivos en el área agrícola de la cuenca, el cultivo de caña de azúcar, es el más representativo con 28.241 Ha en 2.006, que representaron el 94% del total; así mismo, al año 2.020, se proyectaron 29.777 Ha (93% del total del área). Adicionalmente, las hortalizas, al 2.006 presentaban 636Ha y al 2.020 se estimaron 685 Ha (significando el 2% del total). De otro lado, en el área de

frutales-plátano se estiman 528 Ha al 2.020, que representa una ganancia del 61%. Por su parte, el cultivo de sorgo ganó entre el periodo de proyección 17 Ha, partiendo de 54 Ha en el año 2.006. Sin embargo, su participación al 2.020 respecto al área total, es del 0,2%; que en este año, esta área se ubica solo por encima del cultivo de café en el que se proyectaron 14 Ha.

5.2.2.1.2. Áreas máximas según factores limitantes ambientales

El anexo 5, presenta los rangos de tolerancia ante los factores limitantes ambientales de: altitud, suelos, precipitación y temperatura. La tabla 5.28 y la figura 5.30 muestran las áreas máximas de expansión de los cultivos según estos factores; en total se estimó pérdida de 337 Ha entre lo actual y la proyección al año 2.020, que representa un -0,3%, indicando que actualmente se estimaron un total de 133.975 Ha y al 2.020 se proyectan 133.638 Ha.

Tabla 5.28. Áreas máximas de expansión de los cultivos actuales y su proyección al año 2.020 según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime

Sistema productivo	Actual has.	Proyectada al 2020 has.	% de cambio
Árboles frutales-plátano	4.908	5.045	2,8%
Café	3.829	3.439	-10,2%
Caña de azúcar	42.784	42.784	0,0%
Hortalizas	2.333	2.335	0%
Maíz	2.385	2.440	2,3%
Pasto de Corte	7.629	8.180	7,2%
Pasto Natural	65.941	65.941	0,0%
Sorgo	4.167	3.473	-16,7%
Total	133.975	133.638	-0,3%

Según los resultados (ver tabla 5.28 y las figuras 5.31 a 5.35), se observa que el sorgo es el cultivo con mayor sensibilidad ante los cambios de precipitación y temperatura proyectados al 2.020, dado que, se estimó una reducción del área en 16,7%, lo cual representa un área actual de 4.167 Ha y al 2.020, 3.473 Ha.

Figura 5.31. Espacialización de áreas máximas de expansión de los cultivos de café, caña de azúcar y hortalizas (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaimé

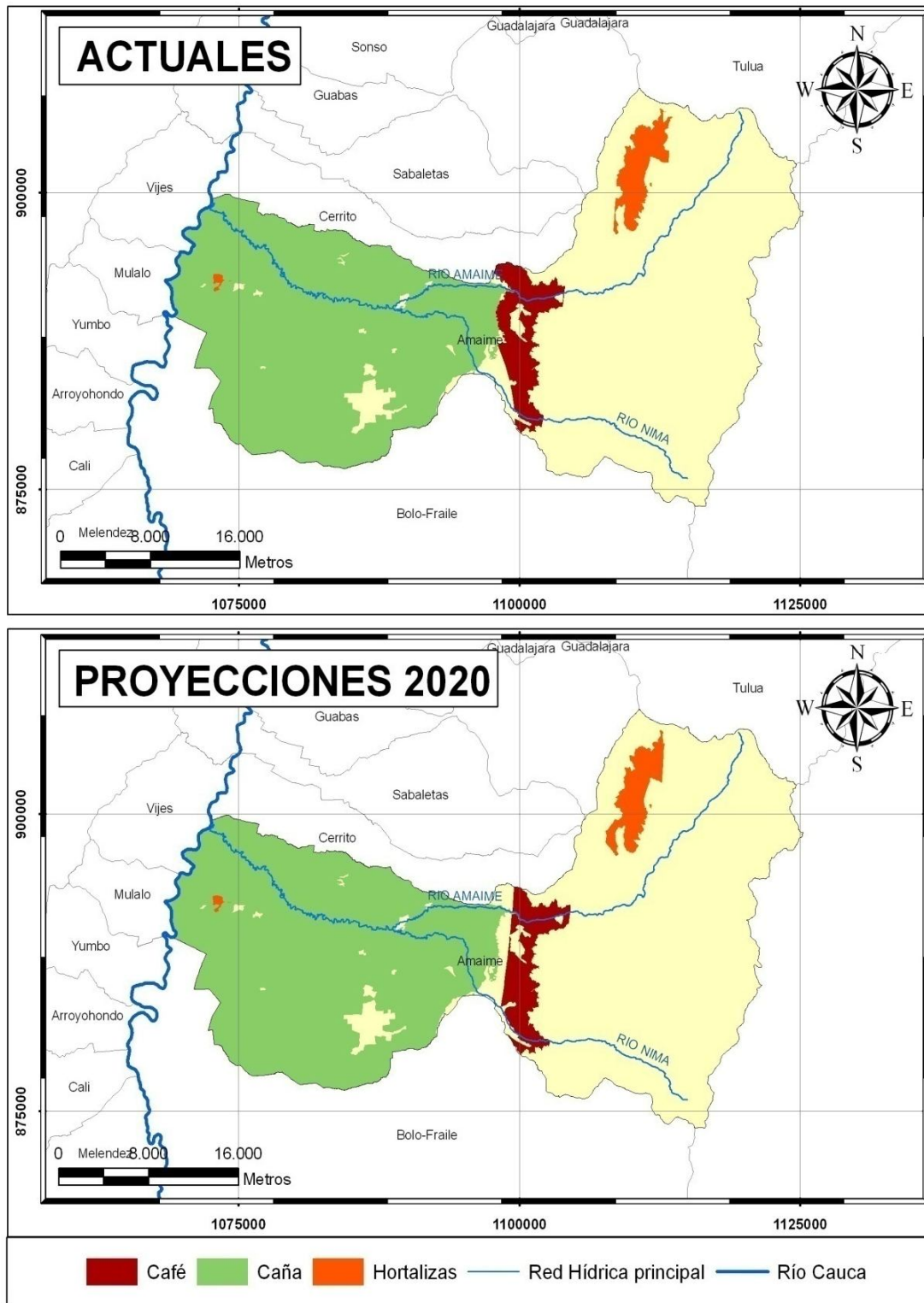


Figura 5.32. Espacialización de áreas máximas de expansión de los cultivos de árboles frutales y maíz (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime

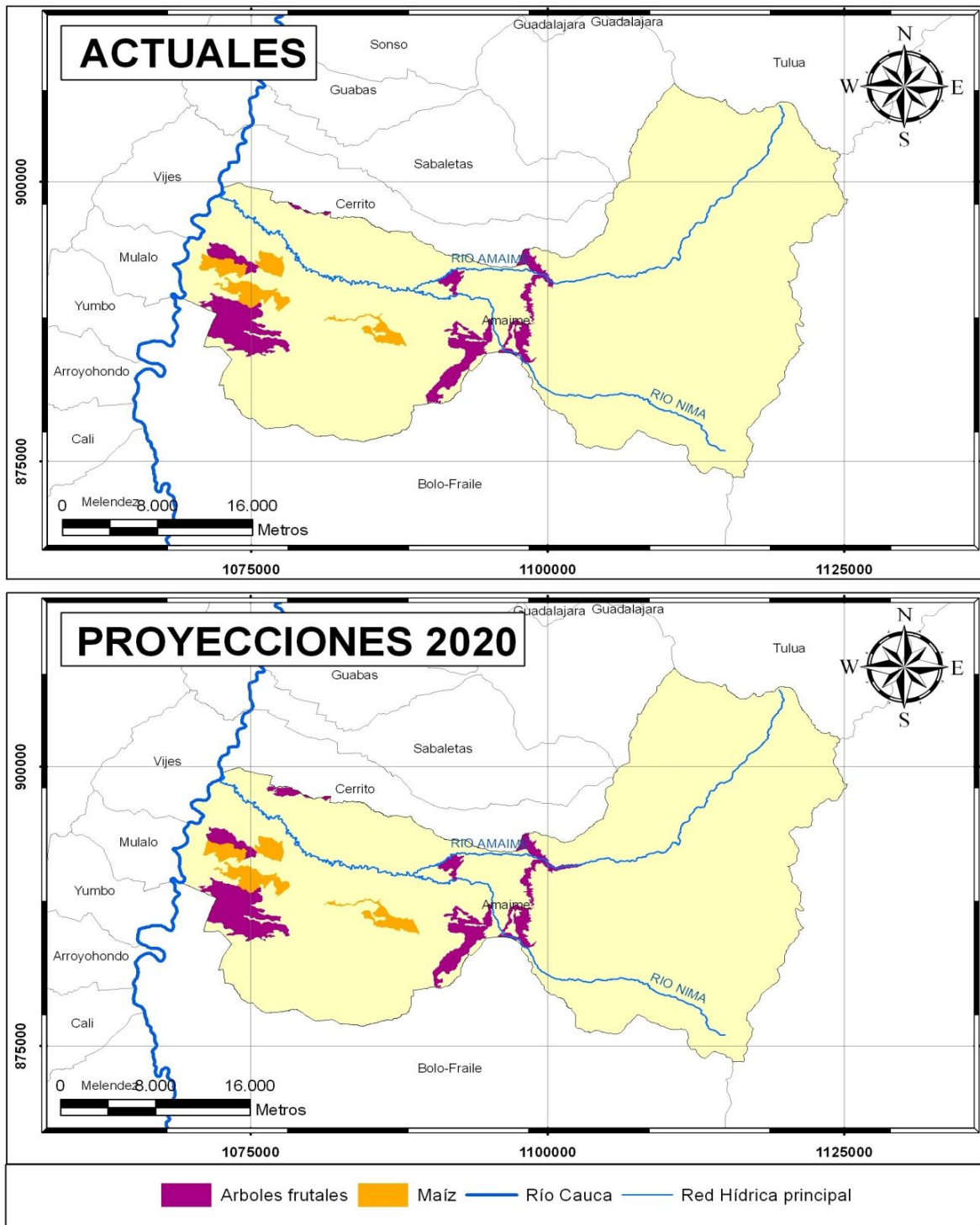


Figura 5.33. Espacialización de áreas máximas de expansión de los cultivos de sorgo (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime

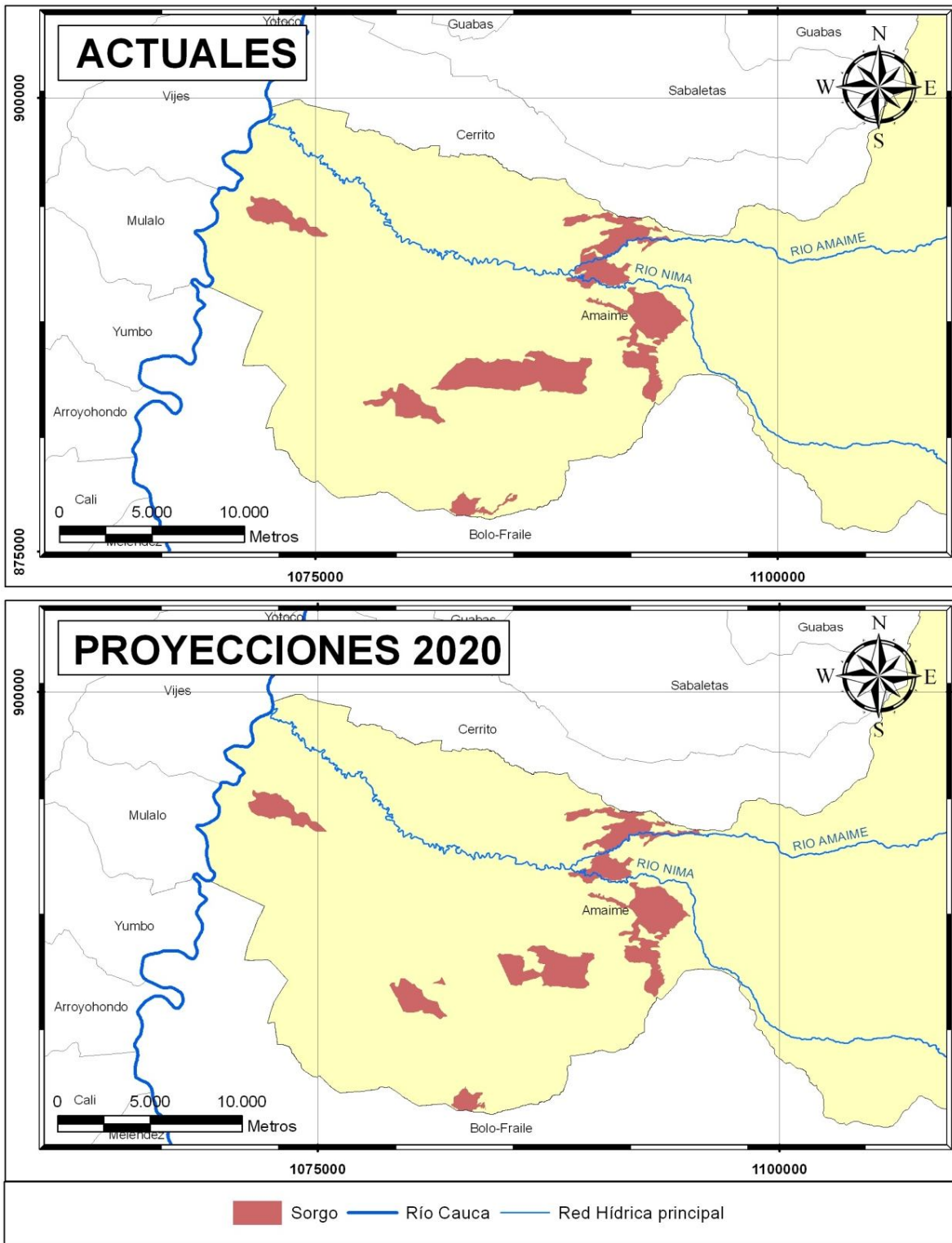


Figura 5.34. Espacialización de áreas máximas de expansión del pasto natural (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime

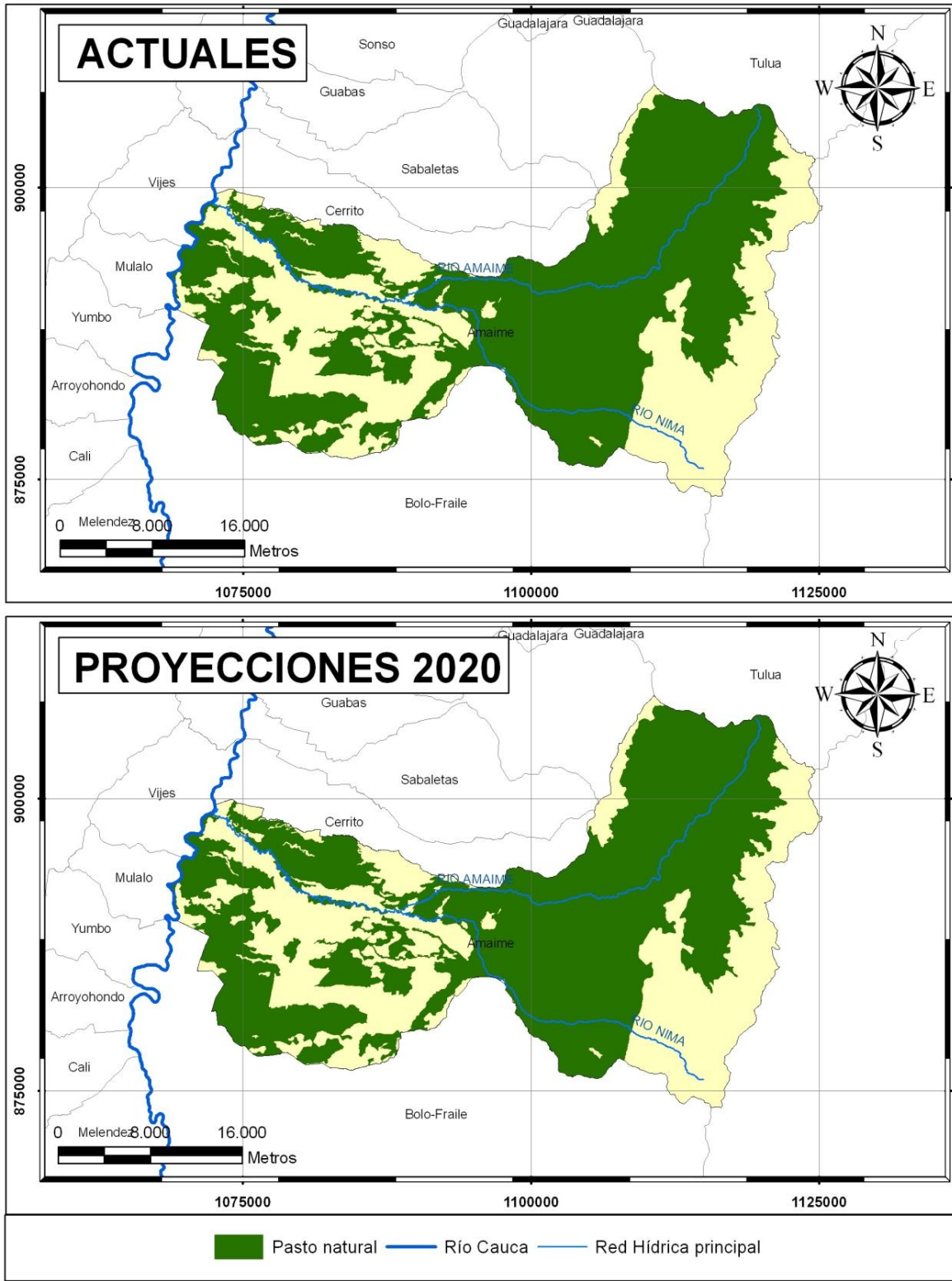
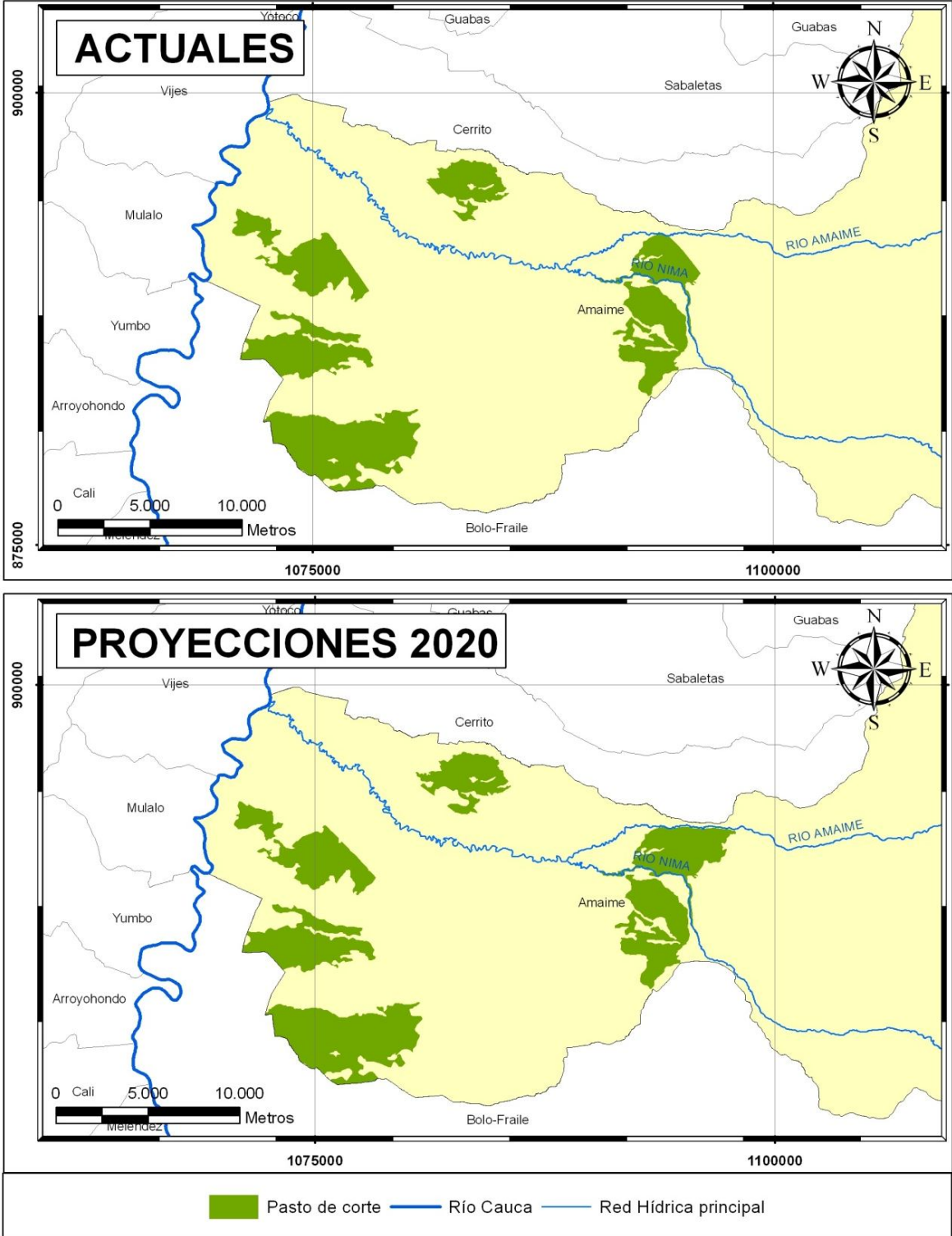


Figura 5.35. Espacialización de áreas máximas de expansión del pasto de corte (actuales y su proyección al año 2.020) según factores limitantes ambientales en la cuenca del río Amaime



Seguidamente, en el café se proyecta al año 2.020 3.439 Ha, lo cual muestra disminución en 10,2%(389 Ha). Es importante mencionar, que esta reducción en la expansión de los cultivos, ha sido determinada considerando la constante de factores tecnológicos y modificando sólo variables ambientales.

De acuerdo con los resultados de la tabla 5.28, ante los cambios en los factores ambientales, se estiman impactos positivos en el área de expansión en el 50% de los cultivos analizados, en mayor proporción en el pasto de corte, en el cual se estima al 2.020 una ganancia de 551 Ha que representa el 7,2% del área actual que fueron 7.629 Ha. También en el sistema productivo de árboles frutales y plátano se estimaron aumentos del 2,8%, indicando un área actual de 4.908 Ha y al 2.020 de 5.045 Ha. Por su parte, entre los cultivos, con rangos de tolerancia ambiental más amplios, se destacan la caña de azúcar y el pasto natural en la cuenca, en los cuales el área máxima de expansión permanece constantes para los dos años de análisis en la cuenca.

Según lo muestran las figuras 5.31 a 5.35, los mayores cambios en la expansión de los cultivos, de acuerdo a los factores limitantes ambientales, se pueden presentar en las partes media y baja de la cuenca; lo cual a su vez está relacionado, con la variabilidad de la precipitación y la temperatura al año 2.020 que se presentó en la sección de los escenarios climáticos.

En este contexto, se presentan retos ante adaptaciones tecnológicas que se deben implementar en estos sistemas productivos, con el propósito de minimizar el impacto ante la modificación de los factores limitantes ambientales en la cuenca, principalmente en el cultivo de sorgo, en los cuáles se estiman reducción según estas variables biofísicas, pero las proyecciones a partir de los datos censales proyectaron un aumento de su área sembrada en la cuenca.

5.2.2.1.3. Área de siembra estimada al año 2020 en la cuenca

La tabla 5.29, presenta las áreas sembradas de los principales cultivos en la cuenca del río Amaime, con dos registros actuales, según las fuentes de información censal (cuyo desarrollo metodológico permitió hallar el área de cada cultivo en la cuenca) y la cartográfica (la cual se corresponde con la cartografía de uso actual del suelo de CVC); así mismo, se presenta la proyección final que se obtuvo para el año 2.020 en la cuenca.

Tabla 5.29. Áreas actuales (censal y cartográfica) y su proyección al año 2.020 de los principales cultivos en la cuenca del río Amaime. (En Hectáreas)

CULTIVO	Actual censal	Actual cartográfica	Diferencia entre áreas actuales	Proyectada al 2020	% área del total en 2020	%Cambio al 2020 (respecto a la censal)
Café	227	278	51	14	0%	-94%
Caña de Azúcar	28.287	33.493	5.206	29.777	64%	5%
Frutales - plátano	288	554	266	528	1%	83%
Hortalizas	645	225	-420	573	1%	-11%
Maíz	350	608	258	451	1%	29%
Pasto de corte	253	1.266	1.013	587	1%	132%
Pasto natural	15.495	16.199	704	14.654	31%	-5%
Sorgo	166	350	184	71	0%	-57%
Total	45.710	52.974	7.263	46.654	100%	2%

Según lo muestra la tabla 5.29, en el área sembrada actual se observa una diferencia total de 7.263 Ha entre las fuentes de información censal y cartográfica; las mayores discrepancias se obtuvieron en los cultivos de la caña de azúcar (5.206 Ha) y el pasto de corte (1.266 Ha), así mismo para todos los cultivos el área cartográfica fue mayor respecto a la censal, solamente en las hortalizas ocurrió lo contrario con -420 Ha. De acuerdo con esto, se observa entonces una limitación para comparar los resultados según estas dos fuentes de información y la proyección realizada al 2.020, dado que, respecto al área censal, el área sembrada al 2.020 aumenta en 2% (944 Ha); en contraste al comparar con la cartográfica, al 2.020 se disminuyen 6.317 Ha (-12%). Sin embargo, se considera que el área proyectada, está afectada en mayor proporción por el área actual censal, por lo tanto en términos de relacionar los tres escenarios, se hace mayor hincapié en relacionar la actual censal con los valores proyectados al año 2.020.

De acuerdo con los resultados encontrados, al año 2.020 se proyectó un total de 46.654 Ha de área sembrada en la cuenca, de la cual el 64% (29.777 Ha) pertenecerá al cultivo de la caña de azúcar, también se conservará la alta participación del 31% (14.654 Ha) del área dedicada a pasto natural, la cual a su vez se atribuye al sistema de producción bovino. Luego, con la misma participación porcentual del 1%, se registran los demás cultivos de frutales-plátano, hortalizas, maíz y pasto de corte. Por

lo tanto, el café y el sorgo pierden su inclusión respecto al total del área sembrada en la cuenca.

Respecto a los cambios en el área sembrada en relación con el área censal actual, al 2.020 (ver última columna a la derecha de la tabla 5.29) se estiman reducciones (en orden descendente porcentualmente) en los cultivos de café, sorgo, hortalizas y pasto natural, con porcentajes respectivos de 94%(213 Ha), 57%(95 Ha), 11%(72 Ha) y 5%(841 Ha).

De otro lado, el pasto de corte, presentó el mayor aumento porcentual de área sembrada en 132%, lo cual muestra una ampliación de 334 Ha, significando 587 Ha al año 2.020. También, la caña de azúcar muestra el mayor incremento del número de hectáreas con ganancia de 1.490. Adicionalmente, se estiman expansión en los cultivos de frutales-plátano y maíz, con adición de 240 Ha y 101 Ha, respectivamente.

5.2.2.2. Proyección de población en la cuenca al año 2020

Para conocer la demanda doméstica actual y al año 2.020, se proyectó la población rural (de los municipios Palmira y El Cerrito) y urbana (correspondiente al municipio de Palmira) en la cuenca. La tabla 5.30, muestra las proyecciones de la población censal y en la cuenca del río Amaime en los años 2.008 y 2.020, donde se obtuvo un aumento de 26.450 habitantes en la cuenca, correspondiente a 21.948 y 4.502 habitantes en las zonas urbana y rural respectivamente.

Tabla 5.30. Población rural actual y su proyección al 2020 en la cuenca del río Amaime

Municipio	Población municipal		Densidad poblacional media (hab./Ha)	Población en la cuenca	
	2008	2020		2008	2020
Palmira (rural)	57.136	62.538	0,5	43.909	48.060
El Cerrito (rural)	21.400	22.090	0,4	10.874	11.225
Z. Urbana Palmira	231.326	253.274		231.326	253.274
Total	309.862	337.902		286.109	312.559

Fuente: elaboración propia

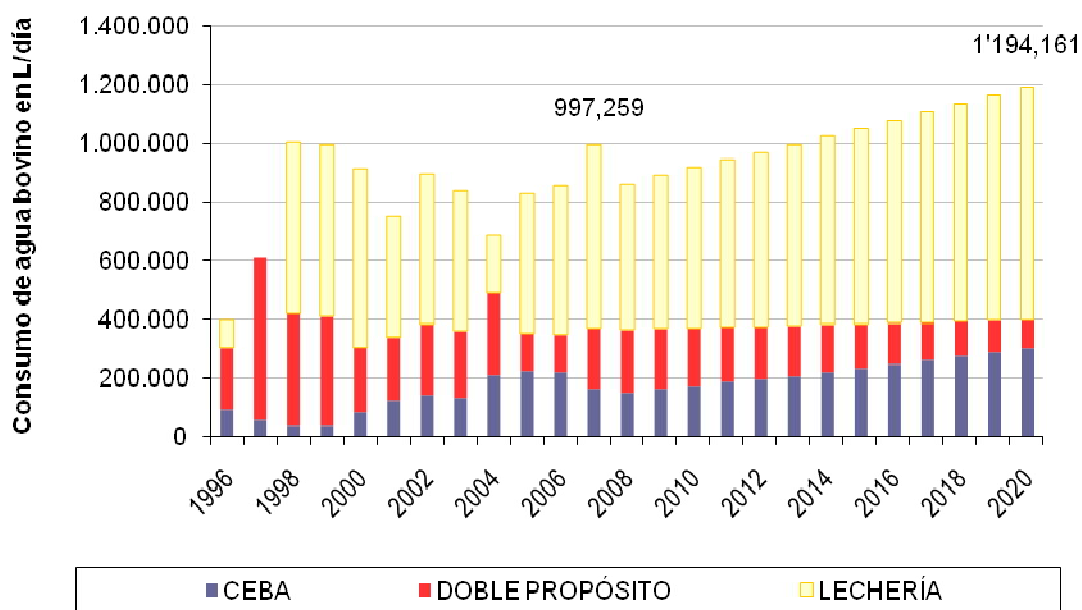
Los datos indican que la mayor densidad de población rural la tiene el municipio de El Cerrito con 0,5 Hab/Ha y el de mayor número de los habitantes, que representa el 80% del total, están en Palmira; se observa también, que el 77% y el 20% de la población

rural de los municipios Palmira y El Cerrito, respectivamente, está dentro de la cuenca del río Amaime.

5.2.2.3. Proyección de consumo de agua bovino a 2020

La figura 5.36, presenta el consumo de agua bovino en la cuenca, entre los años 1.996- 2.006, y su proyección anual hasta el año 2020. Actualmente, se estimó una demanda de 997.259 l/día y al año 2.020 se proyectan 1'194.161 l/día, lo cual representa un incremento del 20%, ante un aumento de la población bovina total del 23% con 5.520 reses.

Figura 5.36. Consumo de agua bovino histórico y su proyección (entre el 2006 y 2020) por tipo de producción en la cuenca del río Amaime



Los valores actuales, reportaron una participación del total del consumo en 16%, 21% y 63%, según el tipo de producción: ceba, doble propósito y lechería, respectivamente. Mientras que al 2.020, estos porcentajes se proyectan en 25%, 8% y 67%.

El mayor incremento del consumo al año 2.020, se asocia principalmente al incremento de la producción bovina destinada a lechería, cuya población aumenta en 49% y el consumo en 27%, que representa la adición de 167.794 l/día y 2.994 reses. Se observa también, incremento en 139.283 l/día del consumo del ganado de ceba,

dado que en la cuenca, aumentan 5.659 de estas reses. De otro lado, la demanda para los bovinos de doble propósito se reduce en un 54%, relacionado con la reducción de 3.133 reses de este tipo.

5.2.3. Demanda hídrica actual y su proyección al 2020 asociada a factores socioeconómicos en la cuenca

El procedimiento para el cálculo de la demanda hídrica, se realizó con el cálculo en los usos: agrícola, industrial, doméstico, bovino y ambiental. El procedimiento realizado es igual al caso de estudio de la cuenca del río Tuluá. A continuación, se presentan los resultados:

5.2.3.1. Demanda agrícola

La demanda agrícola se estimó para los escenarios actuales según las fuentes de información censal y cartográfica (E1 y E2), así como la proyección al año 2.020, según se muestra en la tabla 5.31.

En la zona de producción hídrica, se plantean un área sembrada actual de 13.058 Ha, según el escenario censal y proyectada de 12.211 Ha; por lo tanto, se estiman reducciones respecto al escenario actual censal en 6%. En promedio, el área agrícola analizada para los tres balances de oferta-demanda, corresponde al 24% del total en esta zona. También, al año 2.020 (ver tabla 5.31), el mayor aumento se da en el área de pasto de corte con 9 Ha y la reducción de 839 Ha (7%), se obtuvo en el pasto natural.

En la zona de consumo, se estimaron áreas sembradas en el escenario actual censal de 32.652 Ha y al 2.020, se proyectaron 34.444 Ha; lo cual representa un aumento del 5%. La mayor ganancia de área ocurre en la caña de azúcar con 1.490 Ha, también, se incrementan en 325 Ha (31%) y 241 Ha (85%) el pasto de corte y los árboles frutales-plátano. Sin embargo, se estima la mayor reducción de 190 Ha en el cultivo del café.

Tabla 5.31. Cálculo del factor de consumo de la demanda hídrica agrícola en la cuenca del río Amaime

ZONA	Tipo de Cultivo	Kc máx. ¹	Escenario actual censal		Escenario actual cartográfico		Proyección al 2020	
			Área del cultivo en la cuenca (Ha)	Kc x Ai (Ha)	Área del cultivo en la cuenca (Ha)	Kc x Ai (Ha)	Área del cultivo en la cuenca (Ha)	Kc x Ai (Ha)
Productora	Frutales - plátano	0,85	6	5	10	8	5	4
	Café-Plátano	0,95	25	24	4	3	2	2
	Hortalizas	0,94	485	456	218	205	492	462
	Pasto de corte	1	6	6	63	69	14	16
	Pasto natural	15	12.537	14.418	12.231	14.065	11.698	13.453
	Total			13.058	14.908	12.524	14.351	12.211
Consumidora	Frutales - plátano	0,85	282	240	545	463	523	444
	Café-Plátano	0,95	202	192	275	261	12	12
	Caña de Azúcar	1,05	28.287	29.701	33.493	35.167	29.777	31.266
	Hortalizas	0,94	160	150	7	7	81	77
	Maíz	1	350	385	608	669	451	496
	Pasto de corte	1	248	272	1.203	1.324	572	630
	Pasto natural	15	2.958	3.401	3.969	4.564	2.956	3.400
	Sorgo	1,05	166	175	350	367	71	75
	Total			32.652	34.516	40.449	42.822	34.444

Nota: la demanda agrícola se estima como el producto entre la sumatoria del factor del cultivo (Kc) y el área sembrada, con la evapotranspiración potencial que se obtuvo a partir de los escenarios climáticos en la cuenca

¹ La fuente del factor de consumo de cada cultivo se obtuvo de la fuente: CVC (2002)

Luego, se realiza el cálculo de la demanda agrícola considerando la evapotranspiración potencial, los resultados se presentan en la tabla 5.32. En la zona de producción, la demanda total anual, se estimó actualmente en 143 mm, según el escenario actual. Al año 2.020, se proyectaron 140 mm; lo cual significa una reducción del 2%. A nivel intranual, durante los meses de enero, agosto y septiembre, se estiman lo mayores valores de requerimiento hídrico, con promedio de 13 mm/mes.

Tabla 5.32. Demanda hídrica del sector agrícola según escenarios actuales (E1 y E2) y su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime. (En mm.)

Zona/ Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Productora													
Escenario actual censal	13	12	12	11	11	11	12	13	13	12	12	11	143
Escenario actual cartográfico	12	11	12	11	10	11	12	13	12	12	12	10	138
Proyectado al 2020	13	11	12	11	11	11	12	13	12	12	12	10	140
Consumidora													
Escenario actual censal	71	67	73	64	61	60	70	75	71	68	60	64	806
Escenario actual cartográfico	88	83	91	79	76	75	87	93	88	84	75	80	999
Proyectado al 2020	75	71	77	69	68	66	75	81	75	72	65	68	861
Área Total													
Escenario actual censal	41	39	42	37	36	35	41	44	41	40	36	37	470
Escenario actual cartográfico	48	45	49	43	41	41	47	51	48	46	41	43	543
Proyectado al 2020	42	40	44	39	38	37	42	46	42	41	37	38	487

La zona de consumo, presenta la mayor demanda hídrica para el sector agrícola, con valores totales anuales, según el escenario actual censal de 806 mm y proyectado al 2.020 de 861 mm, representando un aumento en 7%. A nivel intranual, por la mayor evaporación, durante agosto sucede la demanda hídrica superior, estimada actualmente en promedio de 75 mm/mes (según el escenario censal) y al 2.020 en 81 mm/mes.

Respecto a la demanda total del sector agrícola en la cuenca, se estimaron 470 mm/año, según el escenario actual censal y al 2.020, se proyectan 487 mm/año; Este aumento del 4%, se justifica por los aumentos estimados del 2% en el área sembrada y en la evaporación, respectivamente.

Cabe mencionar, que el cálculo de la demanda agrícola realizado en este estudio, debe extenderse a los diferentes usos y coberturas del suelo en la cuenca; dado que en este caso el área sembrada en promedio, según los escenarios considerados, representan el 48% del total del área de la cuenca. Por lo tanto, la demás superficie (52%) debería ser analizada para efectos de considerar estos valores en procesos de toma de decisiones para la planificación ambiental y territorial de la zona de estudio, lo cual estuvo fuera de los alcances de este proyecto.

5.2.3.2. Demanda industrial

La demanda industrial se calculó como el 8% de los requerimientos del sector agrícola en la cuenca (CVC, 2000). En la tabla 5.33, se presenta el requerimiento hídrico industrial en el cual fueron considerados los escenarios actuales (E1 y E2) y su proyección al año 2.020.

Tabla 5.33. Demanda hídrica industrial (lámina de agua en mm) según escenarios actuales (E1 y E2) y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Amaime

Zona/ Escenario	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Productora													
Escenario actual censal	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	11
Escenario actual cartográfico	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	11
Proyectado al 2020	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	11
Consumidora													
Escenario actual censal	5	5	5	5	4	4	5	6	5	5	4	5	64
Escenario actual cartográfico	7	6	7	6	6	6	7	7	7	6	6	6	80
Proyectado al 2020	8	7	8	7	6	6	7	8	8	7	6	7	91
Área Total													
Escenario actual censal	6	6	6	6	5	5	6	7	6	6	5	6	75
Escenario actual cartográfico	8	7	8	7	6	6	7	8	8	7	6	7	91
Proyectado al 2020	7	6	7	6	6	6	6	7	7	6	6	6	80

De acuerdo con los resultados de la demanda agrícola en la cuenca, los requerimientos hídricos del sector industrial, siguen igual comportamiento. Según lo muestra la tabla 5.33, en la zona producción se proyecta al 2.020 una lámina anual de 11,2 mm y en el escenario actual censal se plantean consumos de 11,5 mm; adicionalmente, agosto será el mes con mayores requerimientos de 1 mm/mes.

La zona de consumo, presenta los mayores requerimientos de la cuenca, se estiman actualmente 64,4 mm/año, según el escenario censal (E1). Adicionalmente, se proyectan aumentos al 2.020 de 41% en la demanda, presentando un valor neto en este año de 91 mm.

En el total de la cuenca, de acuerdo con el escenario actual censal (E1), al 2.020 se aumenta en 5,9 mm, la demanda industrial en la cuenca; sin embargo.

5.2.3.3. Demanda doméstica

La tabla 5.34 muestra la demanda doméstica estimada para la cuenca del río Amaime actual y en el año 2.020. La demanda rural se estimó a partir de las proyecciones de la población de los municipios que tienen parte de su área en la cuenca. Se utilizó un valor de referencia de consumo que simula un escenario altamente demandante de agua, en el cual el consumo habitante por día es de 250 litros.

Tabla 5.34. Demanda doméstica actual y la proyectada a 2.020 a nivel rural y urbano en la cuenca del río Amaime

MUNICIPIO	Población Actual	Actual Demanda hídrica		Proyectado al año 2020		
		En l/s	En mm/mes	Población 2020	En l/s	En mm/mes
Rural	54.784	158,5	0,7	59.285	171,5	0,8
El Cerrito	10.874	31,5	0,3	11.225	32,5	0,3
Palmira	43.909	127	0,4	48.060	139	0,5
Cabecera						
Palmira	231.326	669,3	1,3	253.274	732,9	1,5
Total	286.109	827,9	2	312.559	904,4	2,3

Fuente: elaboración propia

Según lo muestra la tabla 5.34, se proyecta al 2.020, un incremento de 13 l/s (8%) en el consumo doméstico rural en la cuenca, este aumento sucede en mayor proporción sobre la zona rural del departamento de Palmira, en el cual se amplía en 9% esta demanda, mientras que en El Cerrito sólo es en 3%.

Respecto al consumo doméstico en la zona urbana, se proyecta al año 2020, un aumento de 63,5 l/s, indicando una demanda en ese año de 732,9 l/s.

5.2.3.4. Demanda bovina

La tabla 5.35, presenta el consumo de agua bovino histórico según los escenarios actuales construidos por las fuentes de información censal (E1) y cartográfica (E2), así como su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime. En la zona de producción, los resultados muestran una demanda actual de 08 mm/mes y al 2020 una demanda de 0,21 mm/mes, lo cual representa un incremento del 18%, respecto al escenario actual censal.

En la zona de consumo al 2020, sucede el mayor incremento en la demanda bovina, con aumentos porcentuales de 26% (05 mm/mes) en relación con el escenario actual censal (E1). En total, se estima al año 2.020, una demanda bovina de 0,58 mm/mes.

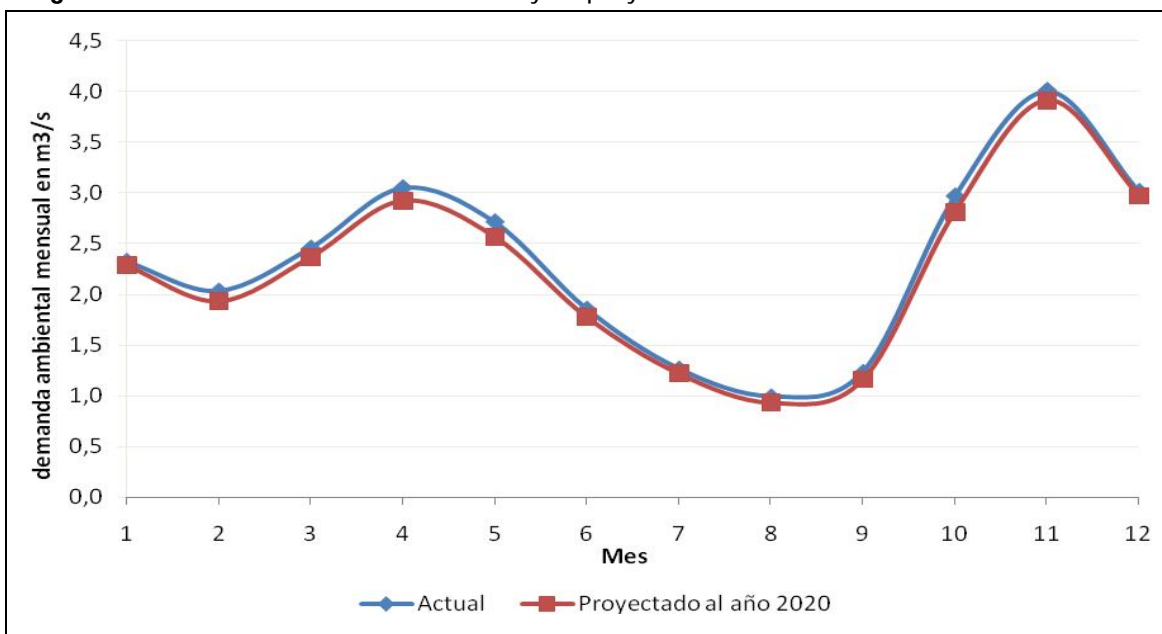
Tabla 5.35. Consumo de agua bovino según escenarios actuales (E1 y E2) y su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Amaime

Zona/ Escenario	Área de Pasto natural (en Ha)	Consumo bovino (en mm/mes)
Producción		
Escenario actual censal	11.762	081
Escenario actual cartográfico	12.231	074
Proyectado al 2020	11.698	0,213
Consumo		
Escenario actual censal	2.933	0,294
Escenario actual cartográfico	3.969	0,217
Proyectado al 2020	2.956	0,369

5.2.3.5. Demanda ambiental

La demanda ambiental, se estimó a partir de la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Amaime, según lo muestra la figura 5.37, se estima una reducción promedio del 4%. Actualmente se estimó un valor medio de demanda ambiental de 2,33 m³/s y al año 2020, se proyectaron 2,24 m³/s, lo que representan una reducción de 0,09 m³/s.

Figura 5.37. Demanda ambiental actual y su proyección al año 2020 en la cuenca Amaime



A nivel intranual, la demanda ambiental se corresponde con el régimen hidrológico bimodal de la oferta hídrica superficial en la cuenca, presentando los mayores requerimientos en los meses de noviembre y de abril (en menor proporción) con valores promedio de 4 y 3 m³/s, respectivamente. Es importante considerar que este cálculo se basó en un concepto hidrológico; sin embargo, actualmente falta la inclusión de las variables biológicas, sobre los cuales el caudal ambiental se enfoca, principalmente con el objetivo de conservar la biodiversidad de la cuenca.

5.2.3.6. Demanda hídrica total en la cuenca

La demanda total, se calculó partiendo del balance entre la precipitación y la demanda agrícola; posteriormente se obtuvo la demanda neta, mediante la adición entre los usos del agua considerados.

5.2.3.6.1. Balance precipitación-demanda hídrica agrícola

La tabla 5.36 presenta el balance precipitación-demanda agrícola para los escenarios considerados actuales según las fuentes de información censal y cartográfica, así como su proyección al año 2.020, en la cuenca del río Amaime.

En la zona productora (ver tabla 5.36), en todos los casos, se presenta superávit hídrico, en el escenario actual censal, el balance neto anual fue de 1334 mm. Al 2.020, se estimó en 1.278 mm, lo cual representa un descenso del 4%. Durante el mes de agosto, se obtuvo la mayor disminución del 15% de la disponibilidad hídrica, la proyección indica una lámina neta de 48,2 mm en este mes.

Los cambios en la zona productora, se relacionan proporcionalmente con el aumento de la demanda agrícola, así mismo, la precipitación anual en esta zona, proyecta un aumento en 12%, lo cual indica la reducción de los impactos en términos de los requerimientos hídricos en este sector; sin embargo, a este incremento de lluvias también, pueden aumentar su frecuencia e intensidad, por tanto, es necesario considerar acciones de adaptación en la agricultura, considerando las consecuencias asociadas a periodos de excesos hídricos. Cabe mencionar, que el área agrícola proyectada es el 41% del total de esta zona, por tanto al considerar el 100%, pueden presentarse casos de déficit hídrico, principalmente durante los meses de julio y agosto, donde se obtienen altas demanda agrícola y baja pluviosidad.

Tabla 5.36. Balance precipitación- demanda agrícola según escenarios actuales (E1y E2) y su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime. (Lámina de agua en mm)

ZONA/ ESCENARIO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
BALANCE ACTUAL. PRECIPITACIÓN-DEMANDA POR USO AGRÍCOLA													
Productora													
Precipitación actual	108	104	143	155	135	89	81	69	96	183	183	126	1477
Demanda censal	12	11	12	11	10	11	12	13	12	12	12	10	143
Demanda cartográfica	12	11	11	10	10	10	11	12	12	12	11	10	137
Balance censal	96	92	130	144	125	78	69	56	83	170	171	115	1334
Balance cartográfico	96	93	131	145	125	78	69	56	84	171	172	115	1339
Consumidora													
Precipitación actual	79	91	126	160	131	60	35	49	97	177	152	102	1264
Demanda censal	70	67	73	64	61	60	70	75	70	68	60	64	805

ZONA/ ESCENARIO	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Demanda cartográfica	87	83	91	79	76	74	87	93	87	84	74	79	999
Balance censal	8	23	53	96	70	0	-34	-25	26	109	92	37	91
Balance cartográfico	-8	7	35	81	55	-14	-51	-43	9	93	77	22	265
BALANCE PROYECTADO AL 2020. PRECIPITACION-DEMANDA POR USO AGRICOLA													
Productora													
Precipitación al 2020	103	97	137	149	128	84	76	61	89	175	178	123	1658
Demanda	12	11	12	10	11	10	12	13	12	11	11	10	380
Balance	90	86	125	138	116	73	64	48	77	163	166	113	1277
Consumidora													
Precipitación al 2020	78	90	127	158	123	57	34	46	95	173	151	101	1297
Demanda	74	70	77	69	67	65	74	80	74	71	65	67	1109
Balance	3	19	49	89	55	-8	-39	-33	21	101	86	33	188

En la zona de consumo, entre los balances actual y proyectado al 2.020, se estimaron cambios en el total anual de 96,7 mm, en relación al escenario censal. Al 2.020, se proyectó un superávit de 188,2 mm. Sin embargo en junio, julio y agosto, se estimaron déficits, con mayor intensidad durante el mes de julio con -39,8 mm. Estos valores de reducción hídrica pueden verse acrecentados si se considera que el área agrícola proyectada cubre el 87% del total en esta zona, por lo tanto se deben considerar los demás usos del suelo, a fin de lograr considerar estos valores de déficit o superávit hídrico en la toma de decisiones para los procesos de planificación ambiental y territorial.

5.2.3.6.2. Demanda hídrica neta en la cuenca

La tabla 5.37 y la figura 5.38, presentan la demanda hídrica mensual y total anual, ante escenarios actuales según las fuentes de información censal (E1) y cartográfica (E2), así como su proyección al año 2.020 en la cuenca del río Amaime.

Tabla 5.37. Demanda hídrica mensual por sectores y según escenarios actuales (E1 y E2) así como su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime. (Lámina en mm.)

Escenario/ Demanda	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ESCENARIO ACTUAL CENSAL												
Agrícola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,7	76,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrial	6,7	6,3	6,9	6,0	5,8	5,7	6,6	7	6,6	6,4	5,8	6,0

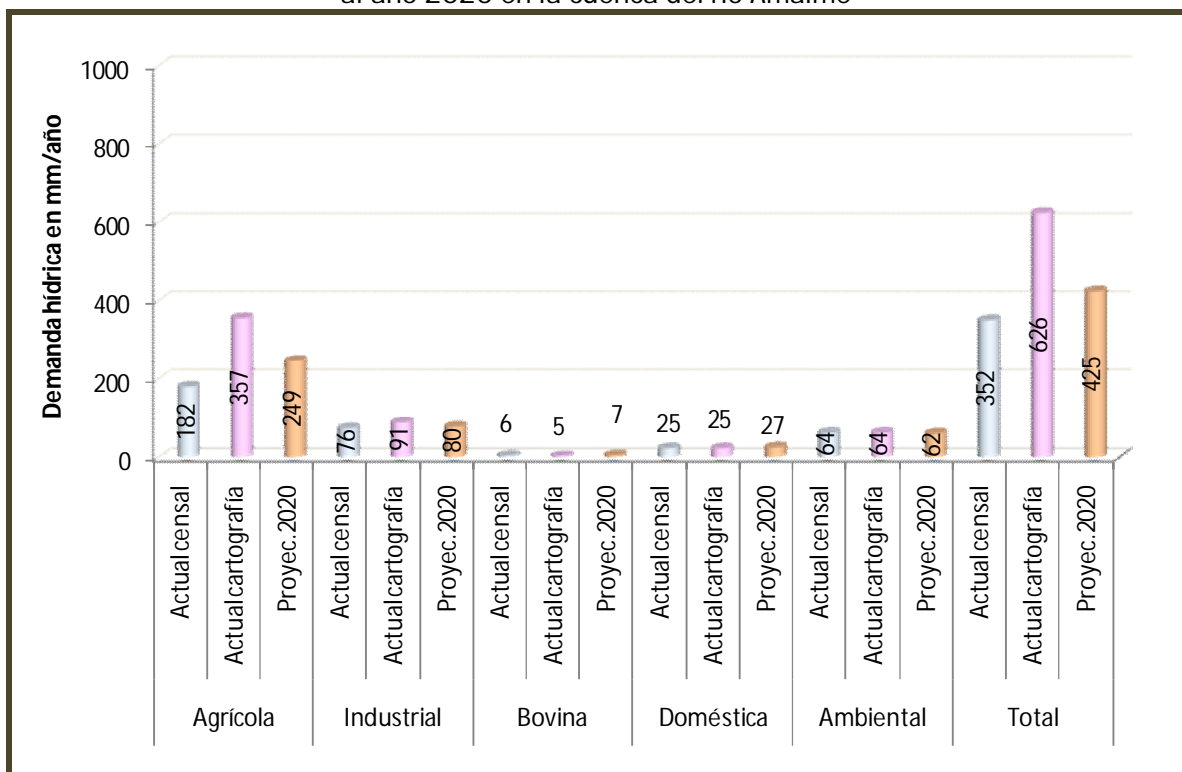
Escenario/ Demanda	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Doméstica	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bovina	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ambiental	5	5,4	5,7	6,0	5,9	5,3	5,9	4,3	3,4	4,8	6,6	5,8
Demanda Total	14,4	14,3	15	14,6	14,2	13,5	119,8	90,8	12,6	13,8	14,9	14,3
ESCENARIO ACTUAL CARTOGRÁFICO												
Agrícola	25,9	0,0	0,0	0,0	0,0	43,6	156,0	131,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrial	8,0	7,6	8,2	7,2	6,9	6,8	7,9	8,5	8,0	7,7	6,9	7,2
Demanda Total	41,5	15,5	16,4	15,7	15,3	58,2	172,4	147,0	13,8	15,0	15,9	15,5
PROYECTADO AL AÑO 2020												
Agrícola	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,6	120,5	102,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Industrial	7,0	6,6	7,2	6,4	6,3	6	6,9	7,5	7,0	6,7	6,2	6,3
Bovina	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Doméstica	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Ambiental	5,2	5,2	5,5	5,8	5,6	5	5,7	4	3,2	4,5	6,5	5,8
Demanda Total	15,0	14,6	15,5	15,0	14,8	39,7	136,0	117,2	13,0	14,0	15,4	14,9

En el escenario actual censal, se obtuvo que la demanda agrícola acumulada en el año, representa el 52% del total. Luego, le siguen según este porcentaje, las demandas industrial y ambiental que significan el 22% y el 18% del total. Los menores valores de 2 y 0,5 mm/mes, se obtuvieron en los usos doméstico y bovino, respectivamente.

Durante el año, los mayores valores de la demanda hídrica se obtuvieron en julio y agosto, con valores actuales, de 119,8 mm y 90,8 mm en cada mes, según el escenario censal. Al año 2.020, la demanda disminuye en 7% (julio) y 1%(agosto), lo cual sucede principalmente por la reducción del consumo en el sector agrícola en la cuenca. Por el contrario durante febrero y septiembre, se esperan menores requerimientos hídricos con valores proyectados al 2020 de 14,6 mm y 13,0 mm/mes de manera correspondiente en cada mes.

También, se proyectó una demanda total anual de 425 mm (ver figura 5.38), indicando con respecto al escenario actual censal, un aumento de 73 mm/año (21%).

Figura 5.38. Demanda hídrica anual por sectores y escenarios actuales así como su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime

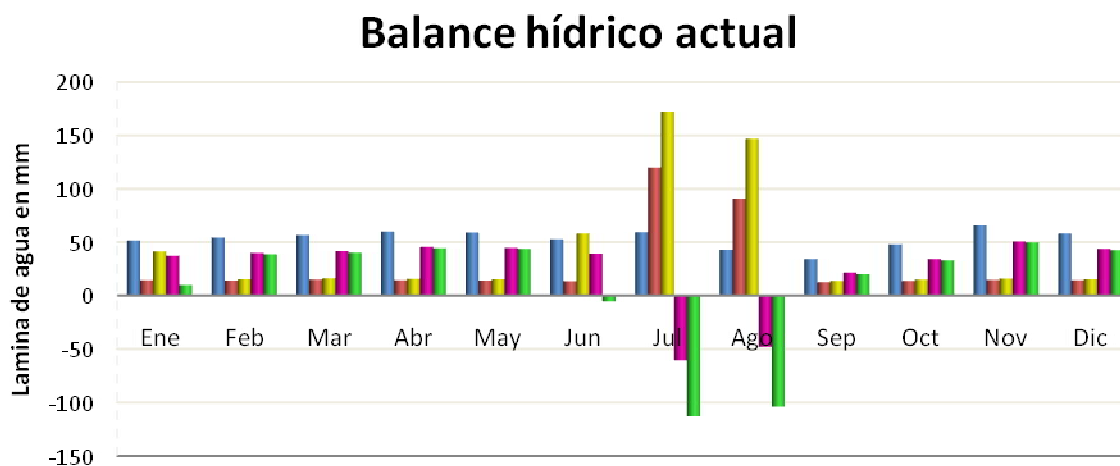


5.2.4. Balance oferta-demanda hídrica ante el escenario climático actual y su proyección al 2020 asociado a factores socioeconómicos en la cuenca

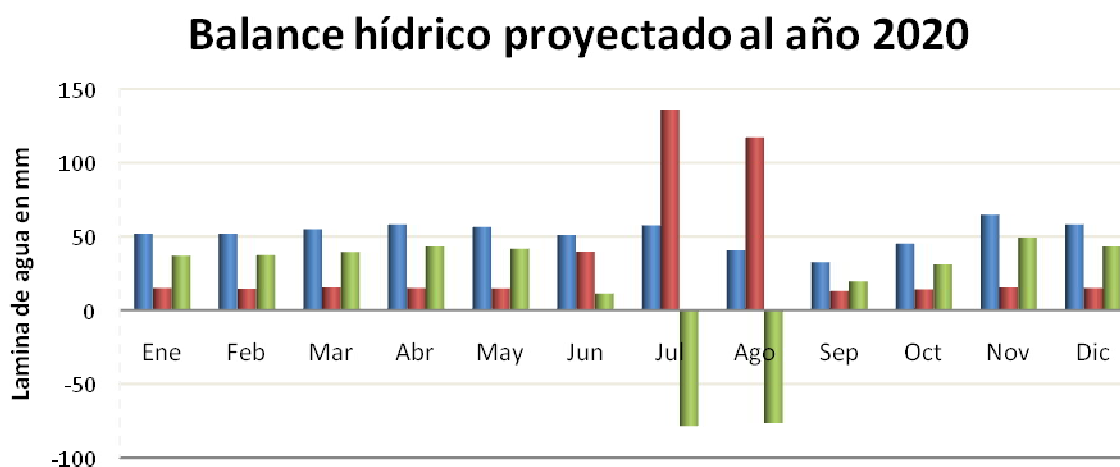
Finalmente, se realizó el balance oferta-demanda hídrica, el cual consideró el caudal según los escenarios climáticos y el consumo de agua estimado en los escenarios con fuentes de información censal y cartográfica en la sección anterior, los resultados se presentan en la figura 5.39.

En la actualidad, se presenta un balance total anual con superávit de 290 mm, según el escenario censal y al año 2020, se proyectó en 197mm, lo cual representa un descenso de 93 mm (-32%).

Figura 5.39. Balance oferta-demanda de agua según escenarios actuales y su proyección al año 2020 en la cuenca del río Amaime



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Oferta Total actual	51	54	57	60	59	53	59	43	34	48	66	58
Demanda 1 (censal)	14	14	15	15	14	14	120	91	13	14	15	14
Demanda 2 (cartográfica)	42	15	16	16	15	58	172	147	14	15	16	15
Balance 1 (censal)	37	40	42	46	45	39	-60	-48	22	34	51	44
Balance 2 (cartográfica)	10	39	40	44	44	-5	-113	-104	20	33	50	43



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Oferta Total en 2020	52	52	55	58	56	51	57	41	32	45	65	58
Demanda al 2020	15	15	15	15	15	40	136	117	13	14	15	15
Balance al 2020	37	37	39	43	42	11	-79	-77	19	31	49	43

Tanto en los escenarios actuales como en la proyección al año 2.020, se estima que durante julio y agosto se presente déficit hídrico en la cuenca, con magnitudes proyectadas de -79 mm y -77 mm en cada mes.

La oferta hídrica superficial en la cuenca, proyecta un descenso del 4% en promedio y con mayor intensidad durante los meses de agosto y septiembre, acrecentando los impactos, dado que durante el mes de agosto se presenta alta demanda hídrica.

La demanda hídrica proyectada al año 2.020, según el escenario censal obtuvo el mayor aumento del 193%, durante el mes de junio, pasando de una lámina de agua de 14 mm a 40 mm en el año 2.020.

En la proyección al año 2.020, respecto a los cambios en el balance oferta-demanda de agua, de acuerdo con el escenario censal, la mayor reducción del 71% de la disponibilidad hídrica, se obtuvo en junio, donde se registró el valor actual de 39 mm y al 2020 se estima en 11 mm. También, en agosto, se aumentó en 60% el impacto de déficit hídrico, dado que actualmente se estiman -48 mm y al 2.020 serán -77 mm.

En general, los impactos de los factores socioeconómicos analizados ante los escenarios climáticos actuales, muestran tendencia opuesta para ser comparada al 2.020; sin embargo, según el tipo de información analizada, conviene en este caso tomar la comparación con el escenario censal, el cual propone una reducción en la disponibilidad hídrica de la cuenca en magnitud del 12%. Adicionalmente, es importante considerar que este análisis, de acuerdo con los alcances del proyecto, ha logrado analizar en promedio el 48% del total de la superficie de la cuenca; por lo tanto se falta realizar este estudio en el otro 52% del territorio.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE CAMBIOS EN LA VEGETACIÓN PERMANENTE ASOCIADA A LA VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME

Este análisis tuvo como propósito, mostrar las relaciones de cambios en la vegetación permanente, asociada a variabilidad climática; como caso modelo, se correlacionaron indicadores de intensidad y frecuencia de la precipitación mensual, con índices de vegetación normalizada (NDVI) analizados sobre ecosistemas de bosque natural en la cuenca del río Amaime. La finalidad de este estudio, consiste en determinar la línea base referente al desarrollo metodológico óptimo, para establecer los diferentes índices climáticos que inciden en variaciones de la vegetación permanente; esto, a fin de que en futuros proyectos, se relacionen a su vez estos cambios (vegetación vs. clima), con la alteración de la oferta hídrica a escala de cuenca hidrográfica.

La relevancia sobre el estudio de impactos de la variabilidad y del cambio climático en zonas de vegetación permanente de alta montaña, consiste entre otras: al valor ambiental que estos significan en lo referente a la conservación de biodiversidad, así como a su fuerte incidencia en la conformación de la oferta y la demanda hídrica de las cuencas hidrográficas; también, existe limitada información (disponible y analizada) sobre estos ecosistemas y se desconocen entre otros, los impactos locales del cambio climático; no obstante, los aspectos biofísicos (ecológicos, climáticos) representan las mayores alteraciones en la vegetación, principalmente, por la baja incidencia antrópica sobre este territorio; adicionalmente, estos ecosistemas se destacan entre los más sensibles ante la variabilidad y el cambio climático.

Este capítulo tiene una primera sección que pretende mostrar la significancia ambiental de los ecosistemas de alta montaña y su vulnerabilidad ante la variabilidad y el cambio climático, así como la incidencia sobre la oferta hídrica superficial. Seguidamente, se realiza la descripción de las bases de datos conformadas de precipitación y de los índices de vegetación normalizada (NDVI), respectivamente. Finalmente, se describen los resultados de las relaciones que se establecieron entre dichas variables.

6.1. Significancia ambiental de los bosques andinos y su relación con el clima

En los últimos años, a medida que la población aumenta, a un ritmo exponencial y los procesos de adaptación humana se vuelven más generalizados como agentes de transformación de los ambientes naturales los ecosistemas de alta montaña se vuelven más significantes y definitivos para la supervivencia del ser humano y para los demás ecosistemas planetarios que están necesariamente interrelacionados e interdependientes en relación con los demás entornos ecológicos. Particularmente, los Andes Tropicales son uno de los pocos ecosistemas endémicos de la región; entre las características más importantes que han surgido de este enclave biológico son: la localización geográfica e incidencia respecto a la radiación solar, condiciones específicas de humedad y precipitación tanto horizontal como vertical, así como fragilidad a variaciones climáticas, ya que la fisiología de casi todas sus plantas y de algunos animales es altamente especializada (Castaño-Urbe, 2002).

Particularmente, los Andes colombianos poseen un mosaico donde se conforman, bosques tropicales de zonas bajas (0-1.000msnm), bosques tropicales andinos y subandinos (1.000-2.300msnm), bosques tropicales andinos (montes superiores) (2.300 y 3.200-3900msnm), bosques alto andinos (3.000-3.500/3.900 msnm), páramos (3.200-3.900 en adelante) y cumbres nival a partir de los 4.300 msnm (Castaño-Urbe & Cano, 1998). Este análisis, se realizó entre las cotas 1.192 y 3.583 msnm, por lo tanto representa zonas de bosques desde subandino hasta alto andinos en la cuenca del río Amaime.

En el territorio colombiano, el sistema montañoso es el principal determinante del clima local, la temperatura media del aire disminuye a razón de 1 °C por cada 187 m en promedio. Las condiciones climáticas de alta montaña, se caracterizan por una temperatura media de 10 °C y amplios rangos en el ciclo diurno; así mismo, altas irradiación ultravioleta y vientos (Ruiz et al., 2008). También, en esta zona, las intensas nubosidad y precipitación son aspectos interrelacionados a través del fenómeno de intercepción (lluvia horizontal), en estos casos la vegetación actúa como catalizador fundamental del aprovechamiento de humedad gaseosa. De esta manera, la estacionalidad diaria que existe en los ecosistemas de alta montaña tropical determina entre otros, los comportamientos fisiológicos y adaptativos de las especies

(de fauna y flora) que los hace únicos y exclusivos, pero al mismo tiempo, muy vulnerables a los posibles cambios de las condiciones climáticas y medio ambientales (Mena et al., 2001).

Adicionalmente, el buen estado de las sociedades humanas está basado sobre la sostenibilidad que brindan los servicios fundamentales de los ecosistemas (Díaz et al., 2006). En este sentido, los sistemas de alta montaña son fundamentales en el ciclo hidrológico y en los regímenes climáticos a nivel regional (Cavelier & Goldstein, 1989) y constituyen la única fuente de agua para la mayoría de las poblaciones localizadas en el piedemonte de los Andes. Particularmente, las selvas nubladas y el páramo son considerados como ecosistemas de mayor almacenamiento de agua debido principalmente a la gran acumulación de materia orgánica y a la morfología de ciertas plantas de páramo (que actúan como una verdadera esponja).

En Colombia, la Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático (IDEAM, 2001a) indica en los escenarios que al año 2025, la variabilidad temporal de escorrentía tenderá a disminuir en 5% mientras que en valores absolutos se espera que se presenten afectaciones del coeficiente de variabilidad hasta de 25%. Adicionalmente, se proyecta un grado alto de vulnerabilidad en el 6,1% del territorio colombiano que corresponde a zonas de alta y media montaña.

A este contexto climático, también se adhieren los cambios de ocupación y de actividades en el territorio de alta montaña, entre los que se destacan la deforestación, el cultivo de la papa, la ganadería extensiva y el conflicto armado, entre otros (Rangel, 2000). De esta forma, los páramos han comenzado a ser ocupados, intervenidos y transformados, en cierta medida, debido a su importancia para las poblaciones marginadas como proveedor de materias primas para la producción económica.

En general, los ecosistemas de alta montaña se consideran estratégicos para el desarrollo de las actividades económicas, debido a su gran potencial de almacenamiento y regulación hídrica, aspecto muy importante en lo que tiene que ver entre otros, con el abastecimiento de acueductos (principalmente de la población urbana en zonas media y bajas), la producción agrícola e industrial y las generación hidroeléctrica. En este contexto, se observa la necesidad de analizar los cambios biofísicos y socioeconómicos, así como las relaciones entre ellos; a fin identificar la vulnerabilidad local de estos ecosistemas y las adaptaciones recomendadas.

6.2. Descripción de la variabilidad de la precipitación y la vegetación de bosque natural en la cuenca del río Amaime

En esta sección se describen y analizan las bases de datos conformadas de precipitación y del índice de vegetación normalizado- NDVI en zonas de bosque natural en la cuenca del río Amaime.

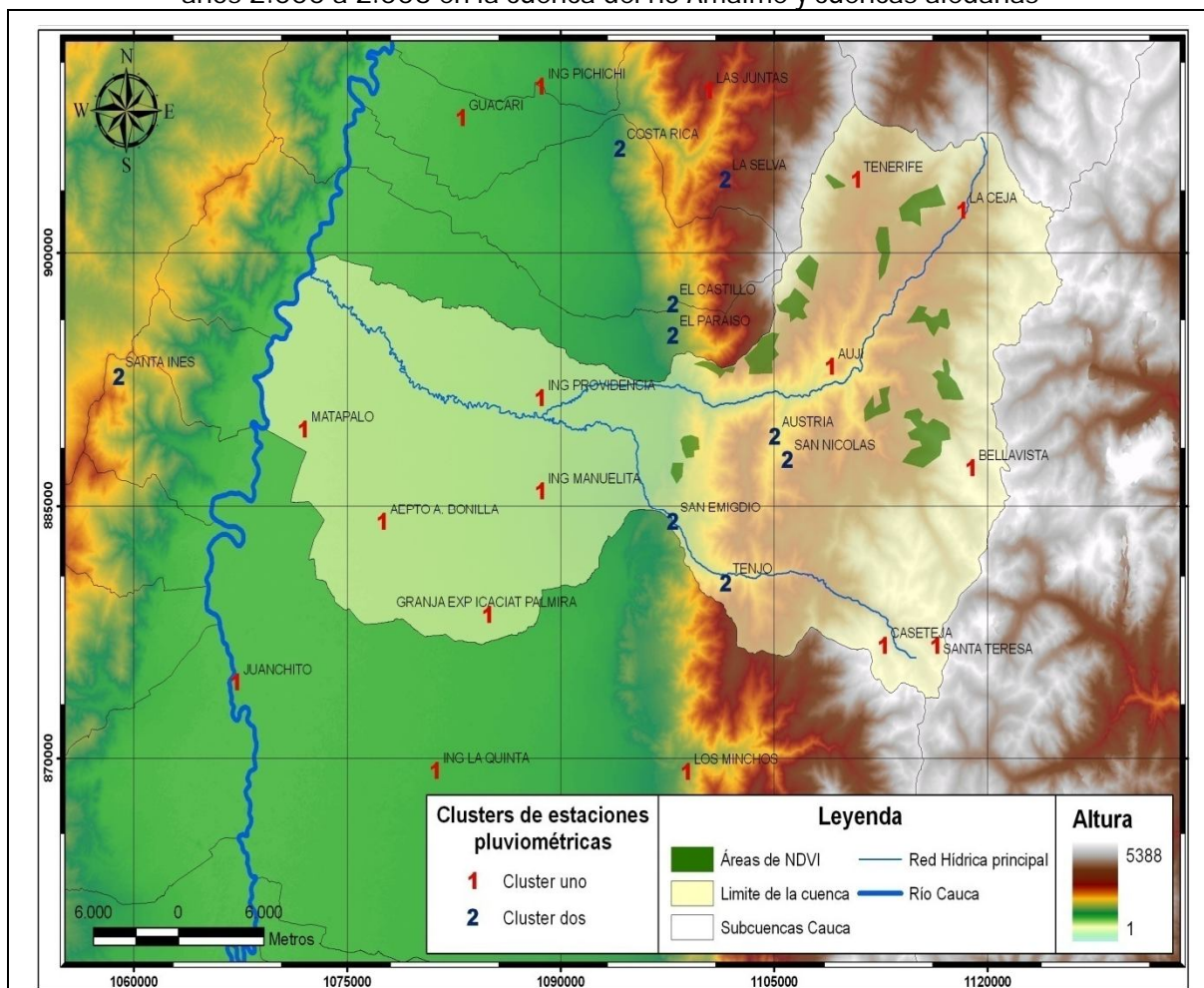
6.2.1. Índices de variabilidad de la precipitación mensual

Inicialmente, se logró consolidar una base de datos de precipitación diaria con 27 estaciones pluviométricas, con periodo de estudio común al de los NDVI, desde 2.000 hasta el 2.004; luego, se realizó la imputación de datos faltantes y se aplicó el análisis clúster con el método de agrupamiento de Ward (ver figura 6.1).

El análisis clúster se realizó a fin de conformar grupos homogéneos de estaciones y así reducir la dimensión de las variables a considerar en el estudio de la precipitación mensual; como resultado se obtuvo la clasificación en dos clúster de 18 y 9 series, respectivamente en el clúster 1 y 2, según se muestra en la figura 6.1, se observa la regionalización de las estaciones pertenecientes al clúster 2, principalmente sobre la parte media de la cuenca (Ver el anexo 10, donde se presenta la clasificación y estadísticos descriptivos de la precipitación diaria de cada estación pluviométrica del estudio).

A partir de estos clúster, se conformaron las bases de datos de los índices que permiten estudiar la frecuencia e intensidad de la precipitación mensual en la cuenca, la tabla 6.1, muestra los índices y los promedios mensuales de ellos en la cuenca

Figura 6.1. Grupos homogéneos de estaciones pluviométricas con precipitación diaria entre los años 2.000 a 2.006 en la cuenca del río Amaime y cuencas aledañas



ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CLASIFICADAS EN GRUPOS HOMOGÉNEOS SEGÚN LA PRECIPITACIÓN DIARIA ENTRE LOS AÑOS 2000 A 2006

Nombre de la Estación	Cluster o Grupo
Guacarí - Ingenio Pichichi - Las Juntas - Tenerife - La Ceja - Auji - Bellavista - Caseteja - Santa Teresa - Los Minchos - Ingenio la Quinta - Juanchito - Graja Exp. Ica - CIAT Palmira - Ingenio Manuelita - Aeropuerto A. Bonilla - Matapalo - Ingenio Providencia	1
Santa Inés - Costa Rica - La Selva - El Castillo - El Paraíso - Austria - San Nicolás - San Emigdio - Tenjo	2

Tabla 6.1. Índices de variabilidad de la precipitación mensual conformados con dos grupos homogéneos de estaciones pluviométricas y sus valores promedio mensual en la cuenca

ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PROMEDIO MENSUAL		Diferencia cluster 2-1 (%)
			Cluster 1	Cluster 2	
1	Número de días en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95	No. días	2	2	0,0%
2	Total de lluvia en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95	mm.	25,5	48,2	89,0%
3	Concentración porcentual de la precipitación mensual entre el total anual	%	8,3	8,3	0,0%
4	Precipitación media diaria	mm.	2,5	4,1	64,0%
5	Precipitación total mensual	mm.	75,6	125,3	65,7%
6	Máximo Número de días con lluvia mensual	No. días	11	10	-9,1%
7	Máximo Número de días sin lluvia mensual	No. días	4	5	25,0%

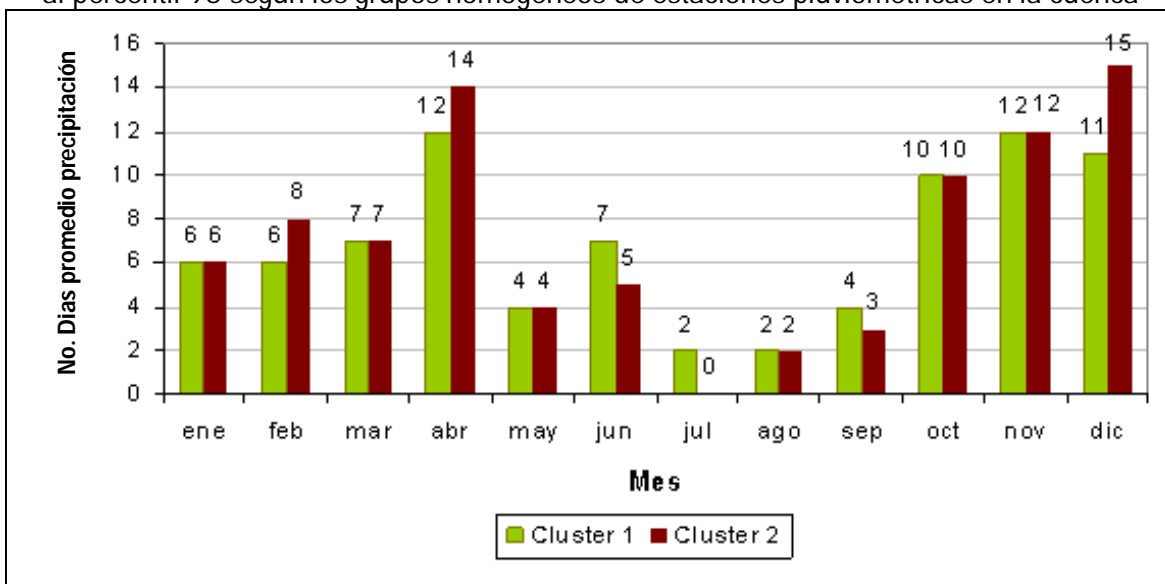
Según lo muestra la última columna de la tabla 6.1, se observan diferencias entre los dos clúster principalmente en los valores relacionados con la lluvia acumulada (índices 2, 4 y 5), en general, se observa mayor intensidad de la precipitación en el grupo 2, principalmente en el índice 2 (total de lluvia en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95) en el cual se obtuvo 48,2mm y presentó una diferencia superior del 89% respecto a los 25,5mm del cluster 1.

Luego, se procedió a realizar el análisis descriptivo para cada índice conformado, según se muestra a continuación:

(i) Número de días en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95

La figura 6.2 presenta los valores promedio mensual de este indicador para cada clúster conformado. Se observa que durante abril, noviembre y diciembre suceden los máximos intranuales, calculados entre 11 y 15 días; este comportamiento da evidencia de mayor propensión a lluvias torrenciales y a eventos hidroclimáticos, durante estos meses en la cuenca; así mismo, se observa alta frecuencia en este índice, dado que en promedio entre el 36% y el 50% de los días del mes, se presentan precipitaciones extremas. Adicionalmente, se observa que el clúster 2, supera los valores del clúster 1, durante estos meses (de mayores valores intranuales), así por ejemplo, en diciembre el primer grupo indicó 11 días, mientras que en el 2 fueron 15.

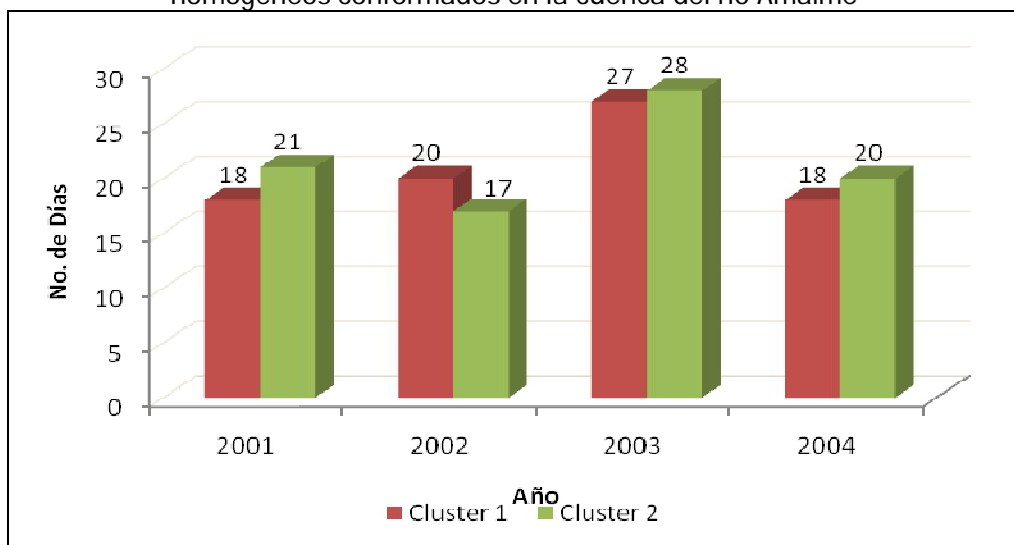
Figura 6.2. Número de días promedio (2.000-2.004) en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95 según los grupos homogéneos de estaciones pluviométricas en la cuenca



La figura 6.3, presenta los valores promedio de este índice a escala mensual-multianual en los años entre el 2.000 al 2.004, se observa que el año 2.003, particularmente fue un año con mayores valores de días con precipitación torrencial, lo cual se puede asociar con la presencia de la fase cálida de El Niño Oscilación del Sur-ENOS, según se le atribuyen en el territorio colombiano, anomalías en la precipitación y la temperatura, principalmente (Carvajal, 2004; Puertas, 2007).

También, en la figura 6.3, se observa que a excepción del año 2.002, el clúster 2, presenta valores por encima del clúster 1, por ejemplo, mientras en 2.001 los valores del primer grupo fueron 18 días, en el 2, fueron 21. En general, se observa alta tendencia a presentarse frecuentemente lluvias torrenciales en la cuenca, dado que en promedio el 70% de los días del mes, las lluvias se presentan por encima del percentil 95.

Figura 6.3. Número de días promedio mensual para cada año entre el 2.000 y el 2.004 en que la precipitación es superior al percentil 95 según los grupos homogéneos conformados en la cuenca del río Amaime



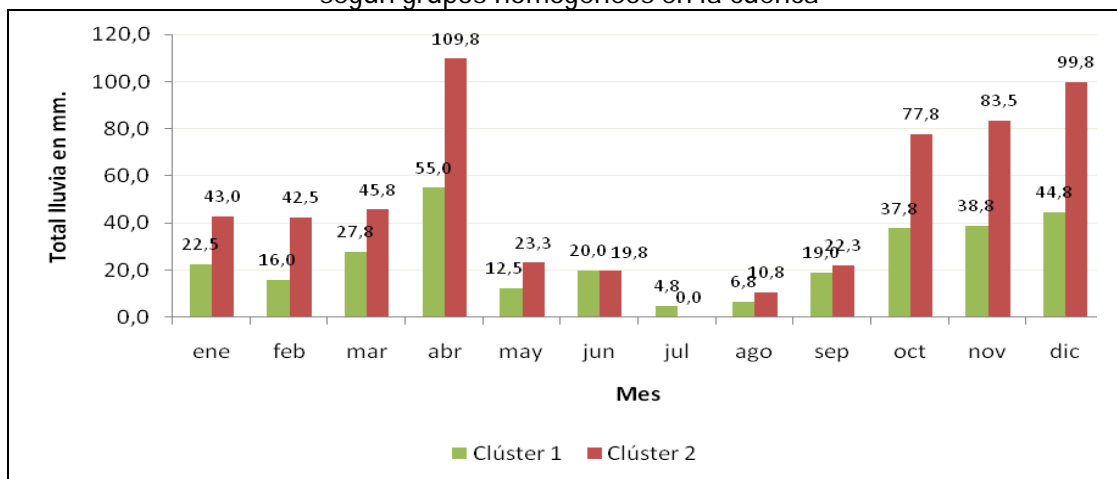
Cabe mencionar que los valores del percentil 95 de la precipitación para el cálculo de este índice, se establecieron para los periodos lluviosos (marzo a mayo y septiembre a noviembre) los cuales fueron 9 y 18 mm en los clúster 1 y 2, respectivamente. También, estos se establecieron para los meses de menor pluviosidad (diciembre-febrero y junio-agosto), cuyos valores son 8 mm en el clúster 1 y 15 mm para el 2.

(ii) Total de lluvia en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95

En promedio mensual, se calcularon 25,5 y 48,2 mm del total de lluvia en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95 (P95), en los clúster 1 y 2, respectivamente; con desviación estándar promedio de 18,5 mm en el grupo 1 y 36,4 mm para el 2. La figura 6,4 presenta la distribución mensual-multianual.

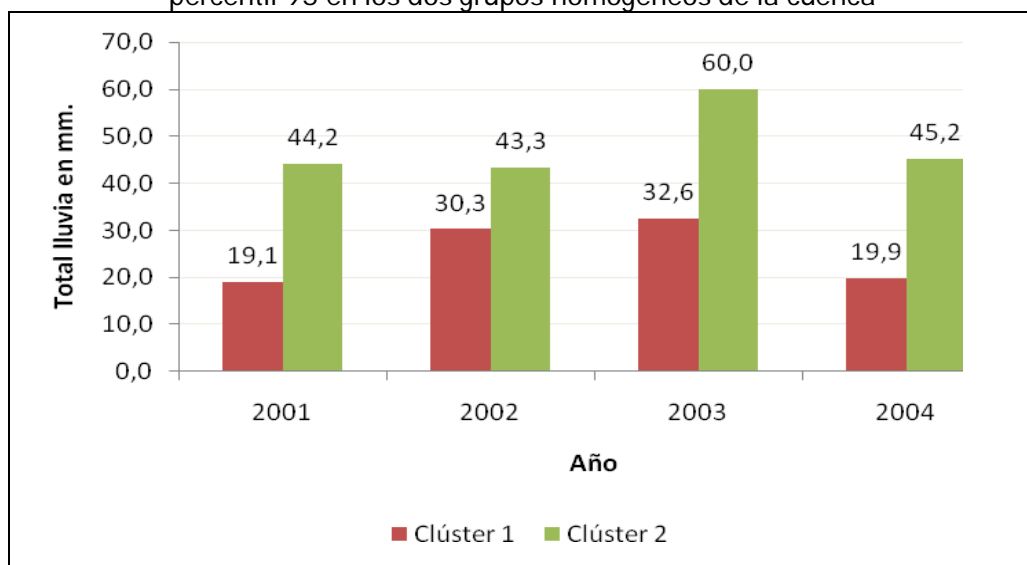
Según lo presenta la figura 6.4 los meses de mayores lluvias torrenciales, son abril, octubre, noviembre y diciembre; con valores máximos en abril, presentando promedios de 55,0 y 109,8 mm en los clúster 1 y 2, respectivamente. El análisis permite identificar que existe fuerte incidencia de la precipitación extrema, principalmente en el clúster 2, dado que esta lluvia mayor al P95, en el mes de abril, cae en un promedio de 14 días al mes (ver figura 6.2 valor de abril del índice 1), es decir cada evento recoge 7,8 mm, lo cual significa una variación por encima del 104% de la precipitación media de este mes que se calculó en 3,9 mm.

Figura 6.4. Total de lluvia mensual promedio cuya precipitación es superior al percentil 95 según grupos homogéneos en la cuenca



Adicionalmente, la figura 6.5 presenta los valores promedio mensuales de este índice, registrados para cada uno de los años del periodo de estudio entre el 2.000 y 2.004, al igual que el índice 1, se observa los máximos de 32,6 mm (clúster 1) y 60 mm (clúster 2) en el año 2.003, así mismo, en todos los casos los valores del clúster 2, están por encima, en promedio de 23 mm, del clúster 1. Cabe mencionar, que en este índice se utilizaron los P95 calculados en el índice 1.

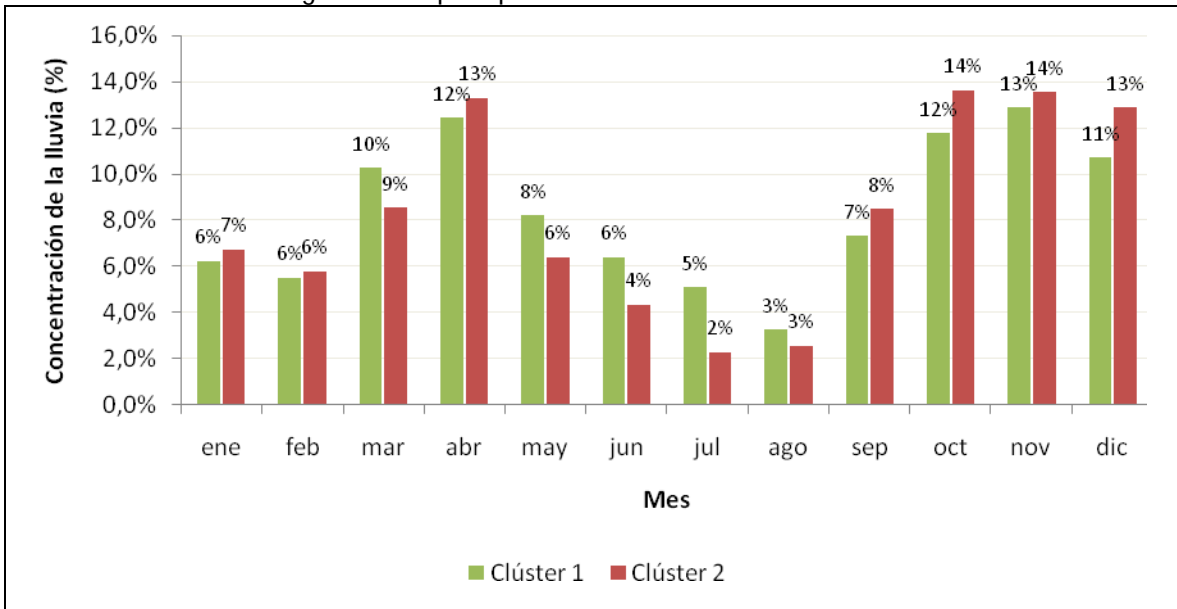
Figura 6.5 Total promedio de lluvia mensual- multianual cuya precipitación es superior al percentil 95 en los dos grupos homogéneos de la cuenca



(iii) Concentración porcentual de la precipitación mensual entre el total anual

La figura 6.6 presenta el índice mensual de concentración de la precipitación entre los años 2.000 al 2.004 en los clúster 1 y 2, respectivamente.

Figura 6.6. Concentración porcentual de la lluvia mensual respecto a la anual según grupos homogéneos de precipitación en la cuenca del río Amaime



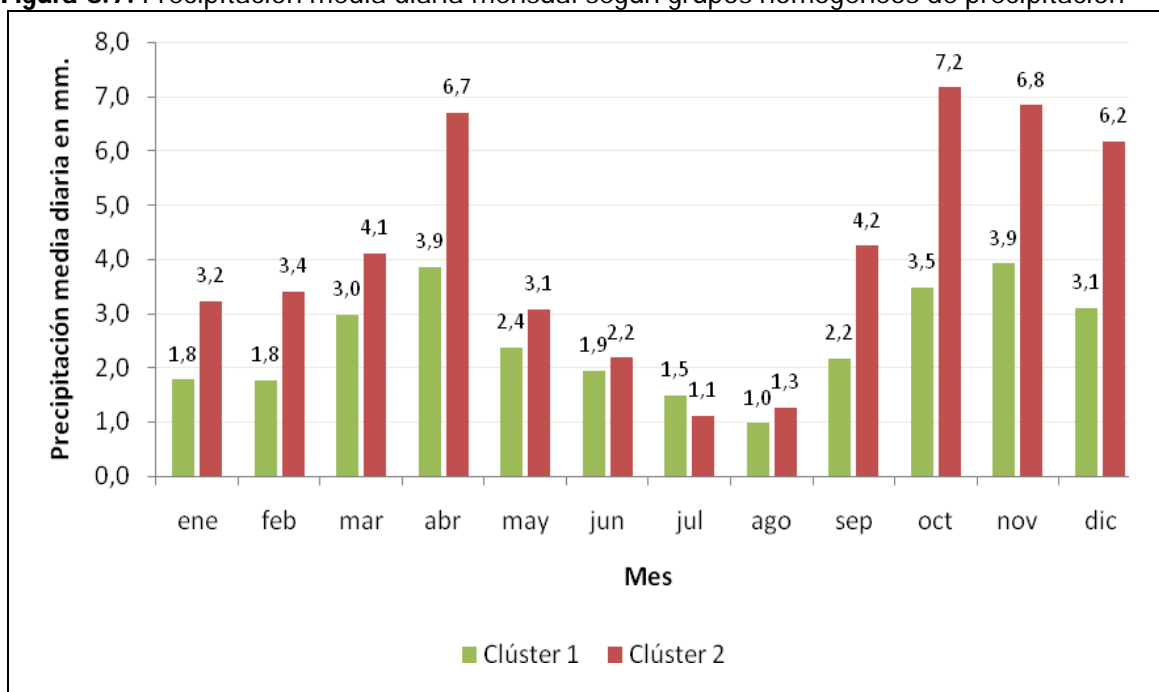
De acuerdo con Michiels & Gabriels (1996), los valores menores al 10% muestran uniformidad en la distribución de la precipitación; luego entre 10% y 15%, se clasifica en tener estacionalidad moderada, según fueron nuestros casos de estudio. Las mayores concentraciones de la lluvia, suceden en abril, octubre, noviembre y diciembre; por el contrario los menores valores ocurren durante julio y agosto.

Según lo muestra la figura 6.6, los valores del índice mensual de concentración de la precipitación, clasifican la distribución de la lluvia de uniforme a estacionalidad moderada; sin embargo, se observa amplia variación de 11,4 puntos porcentuales entre los valores encontrados; por tanto se evidencia alta concentración de la precipitación según el régimen bimodal de la precipitación en la zona de estudio; colocando en evidencia la tendencia a periodos de lluvias concentradas, así como de estiaje, lo cual debe ser considerado en los diferentes usos múltiples del agua en la cuenca.

(iv) Precipitación media diaria

La figura 6.7 presenta la distribución mensual de la precipitación media diaria en la cuenca, según los dos grupos homogéneos conformados. Los valores promedio para el cluster 1 y 2, fueron 2,5 mm y 4,1 mm, respectivamente.

Figura 6.7. Precipitación media diaria mensual según grupos homogéneos de precipitación



Según lo muestra la figura 6.7, los meses más lluviosos fueron abril, octubre y noviembre, en los cuales se presenta valores promedio de 3,7mm y 6,9mm en el cluster 1 y 2, respectivamente. Por el contrario, la menor precipitación diaria, con 1,2mm en promedio, ocurre en julio y agosto.

Particularmente en diciembre, aunque se relaciona como un mes de baja pluviosidad, según el comportamiento climatológico bimodal característico de la zona de estudio, en este caso, se obtuvieron 3,1mm y 6,2mm de lluvia diaria, los cuales se aproximan a los valores de octubre (3,5mm y 7,2 mm), donde sucede la mayor precipitación diaria en el año.

De acuerdo a lo anterior, los meses de octubre, abril y diciembre presentan alto riesgo de lluvias torrenciales, con mayor intensidad en las estaciones pluviométricas del clúster 2, dado que presentan mayores valores de precipitación diaria y a la vez

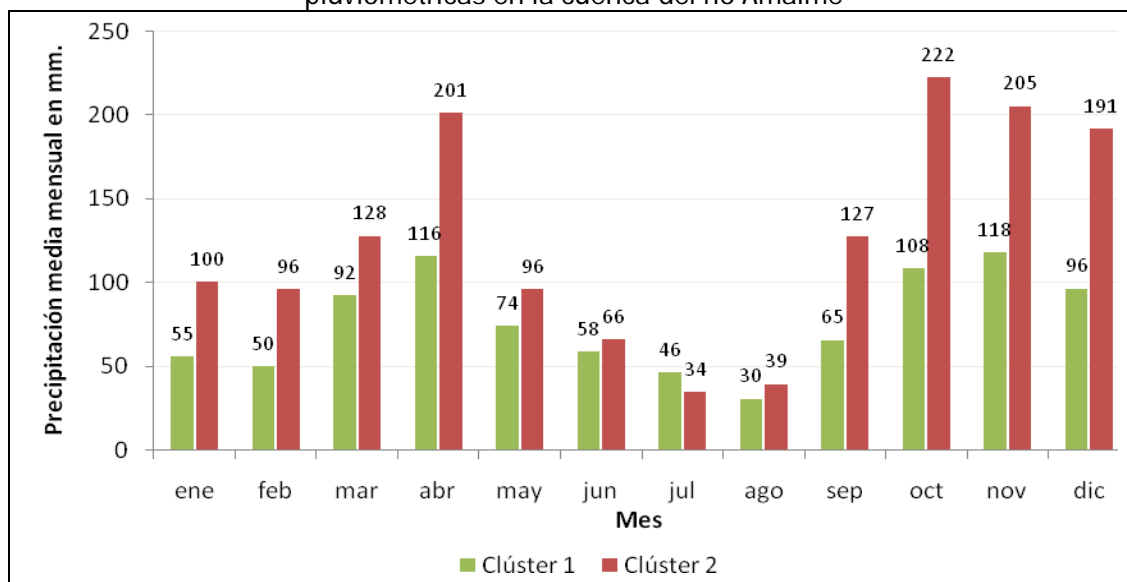
existen los máximos eventos en que la precipitación excede el percentil 95 (según se mostró en los índices 1 y 2).

También, se evidencia amplia variación en los valores mensual-multianual; la desviación estándar promedio hallada fue de 0,9mm y 1,5 mm en los clúster 1 y 2, respectivamente.

(v) Precipitación total mensual

La precipitación mensual en la cuenca, presentaron valores promedio según los clúster 1 y 2, de 75,6 y 125,3 mm, respectivamente. La figura 6.8 presenta la distribución intranual de la lluvia total mensual. Según se ha mostrado en los demás índices, se observa el régimen bimodal, con mayores valores durante abril de 116 y 201 mm en los clúster 1 y 2; así como en octubre con 108 mm (clúster 1) y 222 mm (clúster 2).

Figura 6.8. Precipitación media mensual según grupo homogéneos de estaciones pluviométricas en la cuenca del río Amaime



(vi) Máximo número de días consecutivos con lluvia en el mes

La figura 6.9 presenta los valores mensuales de este índice para los dos clúster conformados. Según los muestra la figura 6.9 presenta variación respecto a los índices anteriores, mostrando que en el clúster 1, en marzo, octubre y noviembre, suceden

los máximos intranuales con promedio de 15 días consecutivos de lluvia en el mes. En el clúster 2, el mayor valor de 16 días, se obtuvo en el promedio de octubre.

Adicionalmente, según se observa en la figura 6.10, de acuerdo con Puertas et al. (2008), se confirma la incidencia del fenómeno ENOS en su fase cálida El Niño durante el año 2003, mostrando un descenso promedio del 26% en los días consecutivos de lluvia; sin embargo, según se mostró en el análisis de los índices 1 y 2, en este mismo año, hubo mayor tendencias a lluvias torrenciales y en consecuencia se pueden presentar eventos hidroclimáticos extremos como inundaciones, avalanchas, entre otros.

Figura 6.9. Promedio mensual de máximo número de días con lluvia consecutiva por mes según grupos homogéneos de precipitación en la cuenca del río Amaime

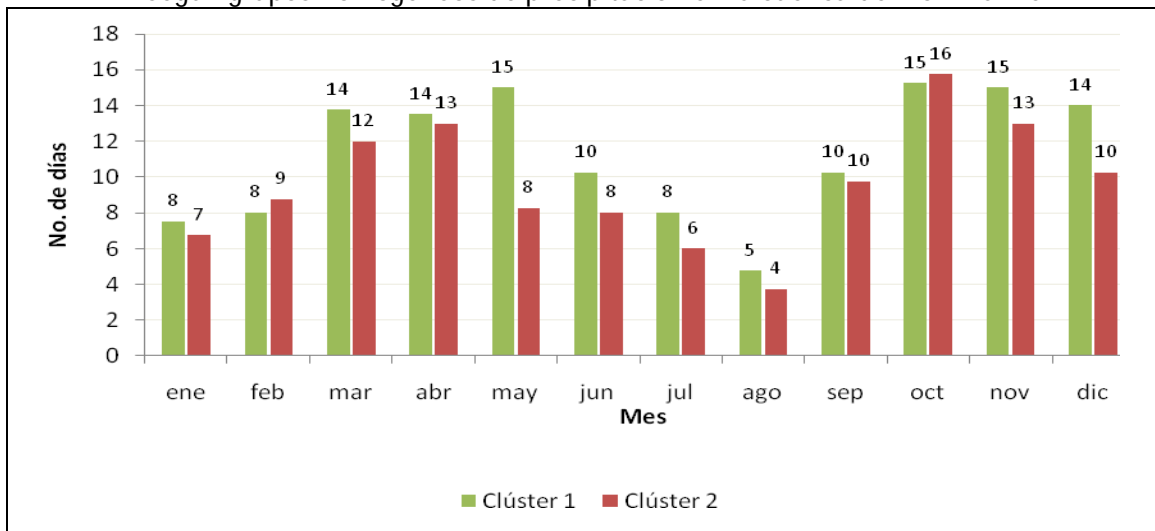
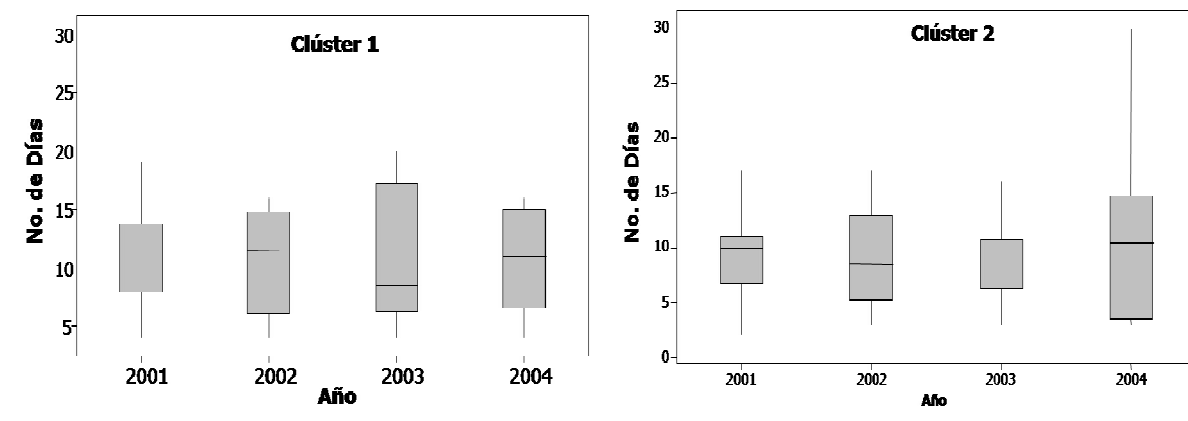


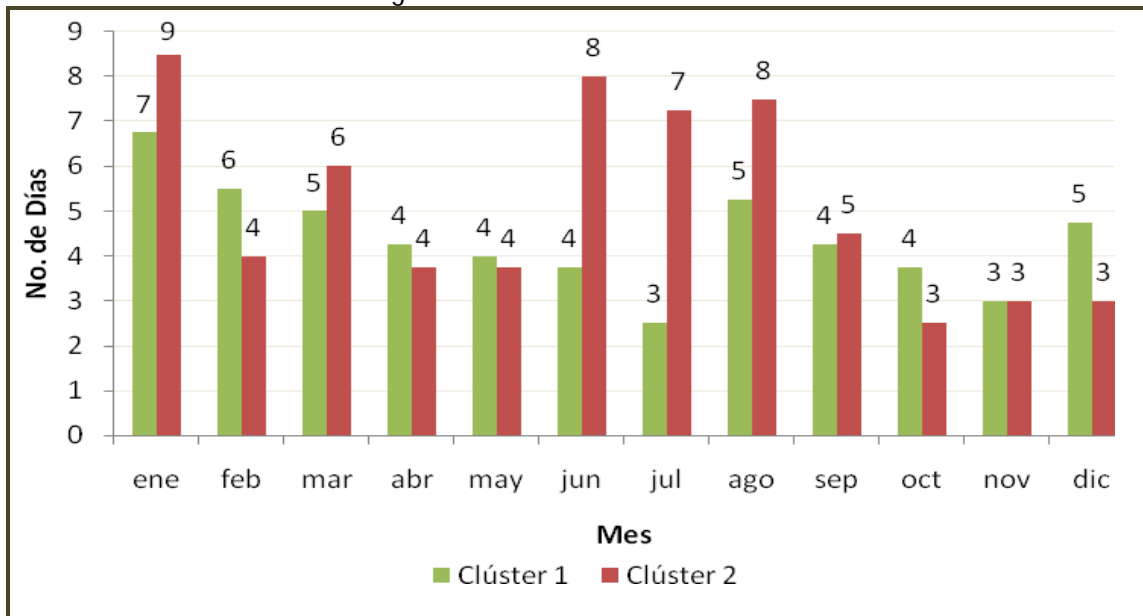
Figura 6.10. Distribución anual (2.000-2.004) promedio del máximo número de días consecutivos con lluvias en el mes, según grupos homogéneos de precipitación en la cuenca



(vii) Máximo número de días consecutivos sin lluvia en el mes

La figura 6.11 presenta la distribución mensual del máximo número de días consecutivos sin lluvia; el cuál es el inverso del índice anterior, sin embargo, ha sido considerada esta variable, con el propósito de considerar si largos periodos consecutivos de lluvia o de secano, afectan a la vegetación de bosque natural en la cuenca. Se observa que enero es el mes con mayor número de días consecutivos sin lluvia presentando valores de 7 y 9 días en el clúster 1 y 2, respectivamente. Adicionalmente, en el cluster 2 se observa que durante los meses junio, julio y agosto, también suceden valores altos de 7 y 8 días consecutivos sin lluvia. En general se observa amplia dispersión en los datos encontrados, principalmente en el clúster 1, donde se obtuvo una desviación estándar de 4 días entre los datos considerados.

Figura 6.11. Máximo número de días consecutivos sin lluvia en el mes según los dos grupos homogéneos en la cuenca del río Amaime



6.2.2. Índices de vegetación NDVI en zonas de bosque natural en la cuenca

El estudio de la variabilidad en la vegetación de bosque natural en la cuenca del río Amaime, el cual se realizó mediante la obtención y depuración de la base de datos del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), cuya función es realzar la contribución de la vegetación en función de la respuesta espectral de una superficie y

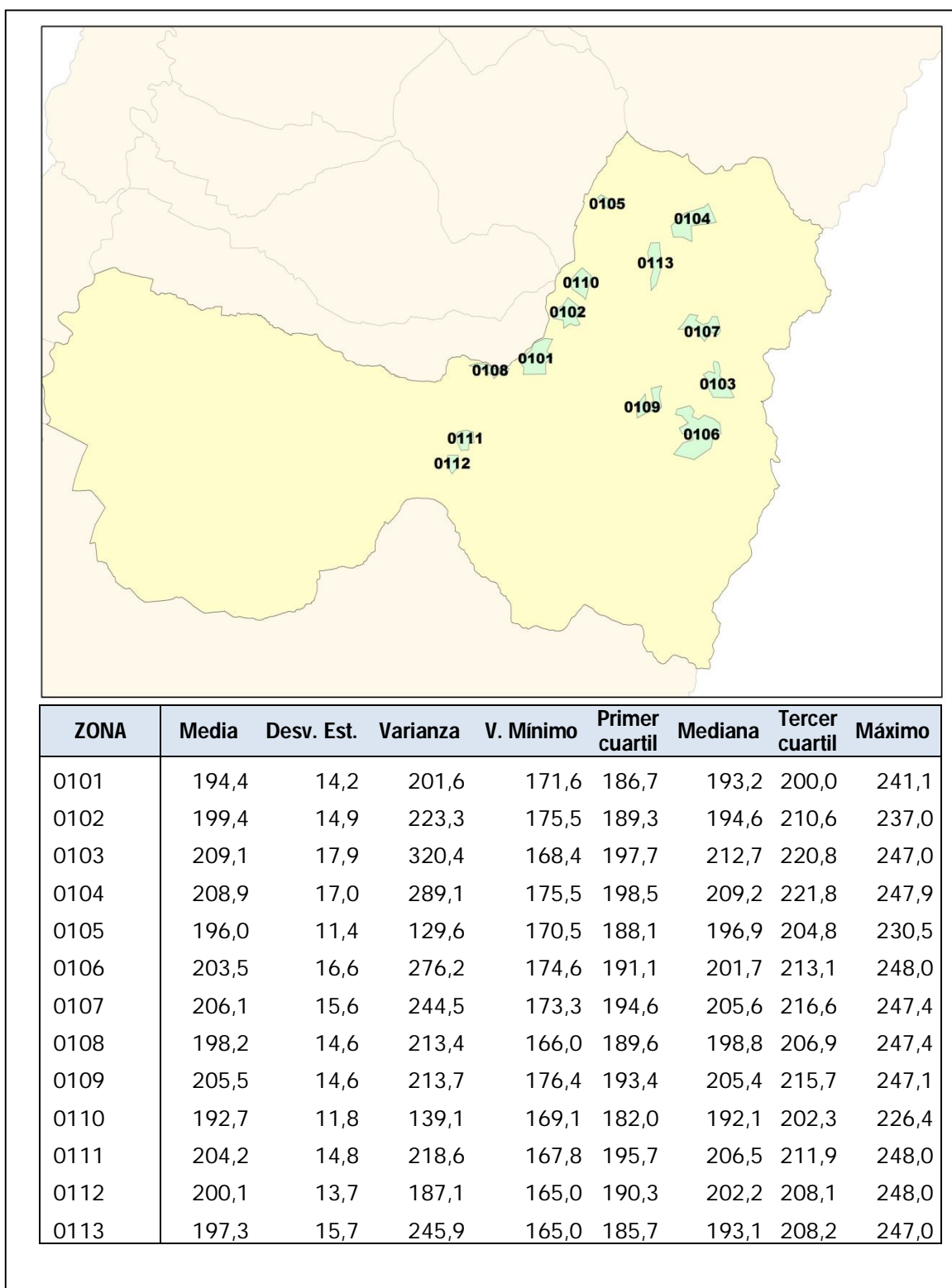
atenuar la de otros factores como suelo, iluminación, atmósfera, entre otros. Este índice, tiene una escala de valoración adimensional y su evaluación indica que la mayor absorción de los espectros rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano es la diferencia espectral de la respuesta de toda la vegetación, y ha sido usado durante mucho tiempo como forma de diferenciación de las superficies con y sin vegetación (Verdin et al., 2003). De esta manera, la vegetación verde y vigorosa, se relaciona con los mayores valores de NDVI, por el contrario, cuando la vegetación sufre stress hídrico o existe un suelo desnudo, los valores de NDVI son menores o negativos.

En este caso, se obtuvo un valor promedio del NDVI de 201,2, lo cual se relaciona con altos valores de este índice típico de zonas de vegetación dedicadas a bosque natural, en donde se realizó la captura de información según basados en la cartografía de usos del suelo de CVC, por tanto, la interpretación del NDVI para este estudio, indica que en la cobertura de bosque natural en la cuenca, los valores superiores de 205,5 presentan mejor estado de conservación y desarrollo de la vegetación; por el contrario, valores inferiores a 197,3 se relacionan con presiones por stress hídrico en la vegetación.

En el estudio, se obtuvieron conglomerados de píxeles con los valores de NDVI y se conformaron 13 zonas de estudio, que fueron codificadas, según se muestran en la figura 6.12. Se observa que las zonas 0103 y 0104, presentaron los mayores NDVI de 209,0; por el contrario, en la región 0110 se estimó el menor valor de 192. Estos rangos, se asocian principalmente al tipo y la densidad de vegetación, siendo en este caso que en la zona alta de la cuenca, donde los efectos antrópicos son menores, se evidencia los valores mayores valores de NDVI.

Particularmente, se observa que la zona 0103, 0104 y 0106, localizadas en la parte alta de la cuenca, presentaron la mayor dispersión en sus datos, con valores de desviación estándar entre 16 y 18. Lo anterior, puede dar evidencia de la amplitud en el ciclo semianual característicos de esta región; dado que el NDVI es uno de los índice más usados para evaluar las respuestas ecológicas frente a cambios ambientales (Paruelo, 2008), ya que este es un índice espectral estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (Alcaraz-Segura et al., 2008) (el control principal de las ganancias de carbono; Monteith 1981) y la productividad primaria (Paruelo et al., 1997), una variable integradora del funcionamiento del ecosistema (Virginia & Wall, 2001).

Figura 6.12. Zonas de NDVI codificadas con cobertura de bosque natural y sus estadísticos descriptivos en la cuenca del río Amaime



Posteriormente, se analizó tendencias en las series de NDVI, para analizar los cambios en el valor promedio durante el periodo de estudio entre los años 2001 al 2004. mediante regresión lineal en cada zona, según se muestra la tabla 6.2 los resultados de la mejor recta de ajuste.

Tabla 6.2. Resultados de la regresión lineal* en las zonas de NDVI en la cuenca Amaime

Zona	Beta (β)	Intercepto (b)	Medidas de Ajuste		
			MAPE	MAD	MSD
0101	0,03	192,9	5,2	10,3	198,6
0102	0,04	197,5	6,3	12,7	219,6
0103	0,05	206,7	7,0	14,4	315,0
0104	0,12	203,5	6,5	13,3	276,4
0105	-0,06	199,0	4,8	9,3	125,3
0106	0,03	202,1	6,5	13,3	272,6
0107	0,11	200,8	5,8	11,8	232,7
0108	-0,03	199,5	5,8	11,4	210,5
0109	0,07	200,1	5,8	11,8	207,6
0110	-0,01	193,3	5,0	9,7	137,5
0111	0,04	202,6	5,7	11,4	215,3
0112	0,01	199,4	5,5	10,9	184,9
0113	0,10	192,7	6,5	12,9	236,4

* Ecuación: $y = b + \beta t$

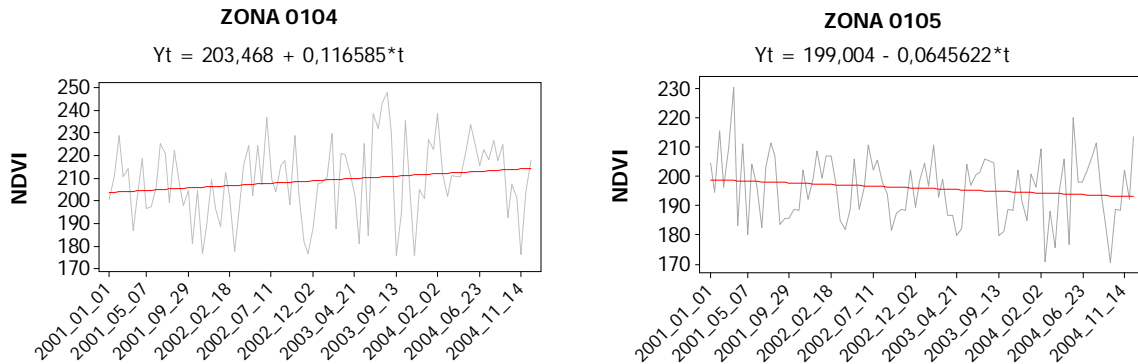
MAPE: Porcentaje de error absoluto de la media

MAD: Desviación absoluta de la media

MSD: Desviación estándar de la media

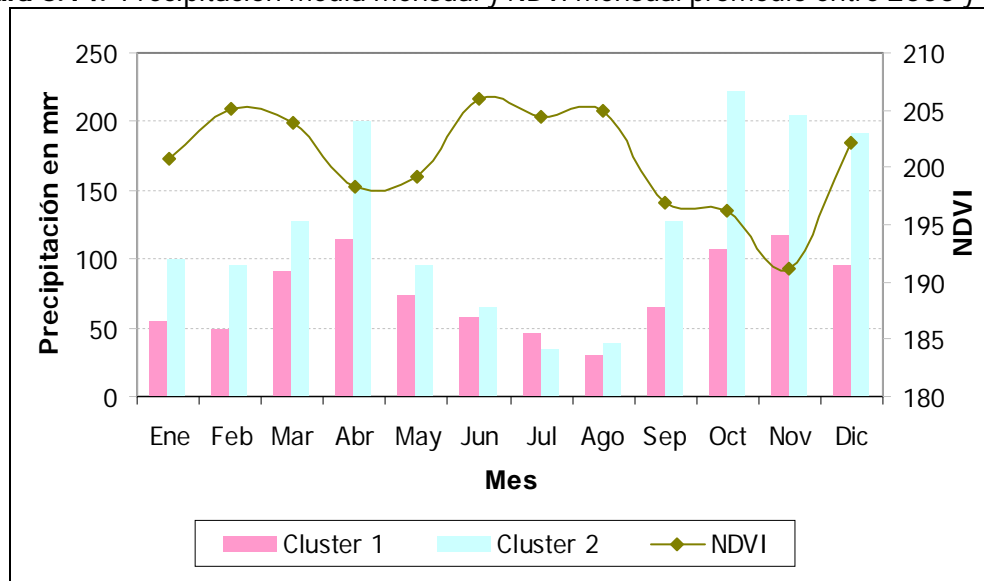
La regresión lineal, según la tabla 6.2, muestra que el 78% de los casos presentan tendencia al aumento del NDVI, las mayores pendientes de incremento se encontraron en las zonas 0113, 0107 y 0104, con cambios a escala mensual-multianual fueron de 0.10, 0.11 y 0.12, respectivamente. Por el contrario, en las zonas 0105, 0108 y 0110, presentaron pendientes negativas (a escala mensual) de -0.06, -0.03 y -0.01, respectivamente. La figura 6.13 muestra los dos casos con mayores cambios de NDVI con tendencias al aumento en la zona de 0104 y al descenso en la 0105, lo cual puede asociarse a procesos de deforestación y cambios de la cobertura vegetal (Francois & Gonzalez, 2006; Pompa, 2008; Paruelo, 2008).

Figura 6.13. Regresión lineal en zonas 0104 y 0105 con mayores cambios del NDVI entre los años 2000 y 2004 en la cuenca del río Amaime



Adicionalmente, la figura 6.14 presenta la precipitación total mensual en los clúster 1 y 2, respectivamente, así como el NDVI mensual entre los años 2.000 al 2.004.

Figura 6.14. Precipitación media mensual y NDVI mensual promedio entre 2000 y 2004



Según lo muestra la figura 6.14, se observa que en noviembre sucede el menor valor de 185 en el NDVI; mientras que entre junio hasta agosto, se presentan los mayores NDVI de 205. Respecto a la precipitación, se observa el comportamiento hidrológico bimodal de la precipitación (según se discutió con mayor detalle en el numeral anterior).

En general (ver figura 6.14), se nota una relación inversa entre las dos variables de estudio, así por ejemplo, en el periodo de menor pluviosidad intranual (julio-agosto) suceden los mayores valores de NDVI; este comportamiento, de acuerdo con Paruelo & Launerth (1998) se relaciona con la fenología de la vegetación, con procesos biológicos asociados como de mayores productividad y nivel de biomasa en los ecosistemas (Pettorelli et al., 2005).

6.3. Relación entre la variabilidad de la precipitación y la vegetación de bosque natural en la cuenca

Se realizó el estudio de correlación cruzada entre las variables de estudio, el cual tuvo como objetivo determinar los indicadores de precipitación que tienen mayor incidencia en el comportamiento de la vegetación de bosque natural en la cuenca.

Inicialmente, se comprobó que las series son estacionarias, por tanto, se procedió a aplicar el método de correlación lineal entre los valores de NDVI y los índices de variabilidad de la precipitación. La tabla 6.3 presenta los resultados de correlaciones significativas según el número casos de estudio, los cuales fueron las 13 zonas de NDVI con 2 grupos homogéneos de estaciones pluviométricas, para un total de 26 casos de estudio.

Tabla 6.3. Resultados de análisis de correlación mediante regresión lineal entre NDVI vs. Índices de precipitación mensual en la cuenca del río Amaime

Índice de precipitación mensual	Casos en que existe relación significativa del NDVI con la precipitación (Con Nivel de confianza 90%)	
	No.	%
Número de días en el mes cuya precipitación es superior al P 95	1	4%
Total de lluvia en el mes cuya precipitación es superior al P 95	2	8%
Concentración porcentual de la precipitación mensual entre la anual	1	4%
Precipitación media diaria	3	12%
Precipitación total mensual	3	12%
Máximo Número de días con lluvia mensual	2	8%

Índice de precipitación mensual	Casos en que existe relación significativa del NDVI con la precipitación (Con Nivel de confianza 90%)	
	No.	%
Máximo Número de días sin lluvia mensual	4	15%

Según lo muestra la tabla 6.3, se presentó mayor número de casos significativos (nivel de confianza del 90%) de relación entre el NDVI, con el índice de máximo número de días sin lluvia mensual (15% de casos significativos); También, se observaron altos casos del 12% de correlación significativa, con las variables de precipitación media diaria y la precipitación total mensual. Estos resultados colocan en evidencia que la variabilidad de la del NDVI se asocia en un proporción del 12% con el régimen normal de la precipitación (diaria y mensual) y del 15% con los periodos de estiaje en la zona de estudio.

Luego, con el propósito de hallar correlaciones con el NDVI, empleando rezagos en los índices de la precipitación, se utilizó la prueba extendida de causalidad de Granger; inicialmente se estimó el mejor rezago de 3 meses; los resultados se presentan en la tabla 6.4:

Tabla 6.4. Resultados de análisis de correlación mediante el test de Granger (rezago de 3 meses) entre NDVI vs. Índices de precipitación mensual en la cuenca del río Amaime

Índice de precipitación mensual	Casos en que existe relación significativa con NC. 90%	
	No.	%
Número de días en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95	11	42%
Total de lluvia en el mes cuya precipitación es superior al percentil 95	12	46%
Concentración porcentual de la precipitación mensual entre el total anual	22	85%
Precipitación media diaria	21	81%
Precipitación total mensual	20	77%
Máximo Número de días con lluvia mensual	12	46%
Máximo Número de días sin lluvia mensual	4	15%

De acuerdo con los resultados de la tabla 6.4, se observa las mayores de correlaciones del NDVI con el índice de concentración de la precipitación mensual, presentando el 85% de casos con relaciones significativas (nivel de confianza del 90%). También se observó, con 81% de casos significativos, fuerte causalidad de la variación del NDVI asociada con la precipitación media diaria.

En general, se obtuvo mayores correlaciones significativas, en promedio de 56% empleando el test de Granger, mientras que con regresión lineal fueron del 9%. Sólo con el máximo número de días sin lluvia, la prueba de causalidad presentó igual número de casos significativos del 15%; mientras que con los demás índices de precipitación se incrementó este porcentaje en promedio de 9%.

En definitiva, mediante este análisis, se logró determinar relaciones hasta del 80% entre la variabilidad de la precipitación con el régimen del NDVI; adicionalmente, se observa la necesidad de explorar las demás variables climáticas (temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, entre otras), con el propósito que en futuros estudios, se establezcan modelos de NDVI en función de la variabilidad climática; a su vez, se propone explorar la incidencia de la variación del NDVI sobre la oferta y la demanda hídrica en zonas de vegetación permanente y de alta montaña; para lograr introducir este último estudio en el análisis de balance oferta-demanda de agua, relacionado con escenarios climáticos en la cuenca.

Finalmente, se destaca que el uso de imágenes satelitales para monitorear los ecosistemas se ha difundido ampliamente en los últimos años, y en la actualidad existen muchas técnicas disponibles para detectar el cambio de uso de suelo con datos de sensores remotos (Tucker, 1979; Coppin & Bauer, 1996; Pompa, 2008), particularmente se da el uso de datos del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI), relacionados con series de tiempo; con ello se han generado múltiples aportes en áreas de ecosistemas terrestres a escala global o regional (Lloyd, 1990; Diouf y Lambin, 2001; Paruelo et al., 2004). Por lo tanto, este análisis representa un aporte en este tema y genera recomendaciones con el propósito de avanzar en el desarrollo metodológico de obtención, procesamiento y análisis de las imágenes, así como, el estudio de cambios en el uso del suelo asociado entre otros, a la variabilidad climático y a los cambios antrópicos en cuencas hidrográficas.

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presenta en cada sección de este capítulo, las conclusiones y recomendaciones de los tres análisis realizados en marco de este proyecto:

7.1. Análisis de tendencias climáticas en la cuenca del río Cauca

Del estudio de tendencias climáticas a escalas interanual e intranual entre los años 1975 y 2006, en la cuenca del río Cauca (Colombia) se concluye:

- El análisis exploratorio espacial permitió establecer que el valor promedio de la precipitación total anual en la cuenca es de 1.607,0 mm y la mayoría de los valores (con una frecuencia del 28%) están en el rango entre 1.364,5 mm y 160,6 mm; adicionalmente se identifica la alta variabilidad de las lluvias en la zona con valores desde 905 mm hasta 3.273 mm. Adicionalmente, la precipitación mensual-multianual descendió en promedio -0.2% por decenio (con un nivel de confianza del 90%). La combinación de cambios en la precipitación hacia el descenso o el incremento, limitan definir una tendencia durante el periodo de estudio, dado que el 57% de casos no presentaron cambios significativos y de los significativos (43%) el 22% mostraron incremento promedio de 0.6% por decenio, mientras que el 21% tienden a la disminución en -0.7% por decenio. Por su parte, la temperatura media del aire mensual-multianual presentó una tendencia definida hacia el aumento, en promedio de 0.4°C por decenio con el 67% de casos significativos.
- La distribución espacial de las tendencias en la precipitación mensual, muestran incrementos promedio de 0.2% por decenio en las zonas noreste y suroeste de la cuenca; particularmente, se detectan mayores aumentos hacia el norte, en los municipios de Cartago, Zarzal, Toro y Obando. Por el contrario se evidencian descensos promedio de -0.5% por decenio hacia el sureste y en menor proporción hacia el noroeste de la cuenca. El valle geográfico del río Cauca, presenta menor

afectación de cambios en la precipitación de la cuenca. Adicionalmente, se evidencia mayor sensibilidad a los cambios en la precipitación mensual hacia la cordillera central de los Andes colombianos.

- Las tendencias de la temperatura media del aire, espacialmente mostraron el mayor aumento hacia las partes de media y alta montaña en la cuenca, hacia las cordilleras occidental y central, respectivamente; particularmente, en la parte sur del departamento del Valle del Cauca (en las cuencas de los ríos Bolo-fraile, Cali, Meléndez y Jamundí) se presentaron los mayores aumentos con rangos entre 0,3 y 0,7 grados centígrados por decenio; esto último se relaciona posiblemente al representativo aumento de la urbanización que se ha dado en esta parte de la cuenca a partir de 1970.
- Entre 1975 y 2006, se evidencian cambios significativos (con NC del 90%) en las variables climáticas a escala mensual en relación con la trimestral; dado que en la precipitación mensual el 43% de casos presenta tendencia significativa; mientras que en la intranual (trimestral) el promedio de estaciones pluviométricas con tendencias significativas fue del 22%. Por otro lado, en la temperatura media del aire, estos mismos porcentajes fueron del 87% en la escala mensual y del 51% en la escala trimestral.
- Las tendencias en la precipitación intranual muestran un cambio en la estacionalidad de las series, dado que durante el primer semestre anual se observaron cambios opuestos según régimen bimodal típico en la zona; de esta manera, el periodo diciembre-enero-febrero (de baja pluviosidad) y marzo-abril-mayo (de mayor pluviosidad) las tendencias promedio fueron de 11% y -2% por decenio. De forma opuesta, en el segundo semestre se estimó la acentuación del periodo seco y del lluvioso, respectivamente, dado que en junio-julio-agosto (de baja pluviosidad) y septiembre-octubre-noviembre (lluvioso) las tendencias en cada uno fueron de -12% y 5% por decenio respectivamente.
- En la precipitación intranual, durante junio-julio-agosto se presentó la tendencia más marcada que fue hacia la disminución de las lluvias con un promedio de -12% por decenio, donde el 91% de los casos significativos registraron esta tendencia según la prueba Mann-Kendall y se registró la menor dispersión en las tendencias con una desviación estándar del 10% por decenio.

- Mayores tendencias en la precipitación intranual se registraron en diciembre-enero-febrero (hacia el incremento) y junio-julio-agosto (al descenso) con valores promedio de 11% y -12% por decenio, respectivamente; este comportamiento se relaciona con la mayor actividad de las fases cálida (El Niño) y fría (La Niña) de ENOS en años recientes, dado que durante estos trimestres ENOS tiene la mayor incidencia sobre la climatología intranual en la región y favorecen el descenso (durante El Niño), así como el incremento (en La Niña) de la precipitación interanual, respectivamente.
- En la temperatura media intranual del aire, se confirma en todos los trimestres el aumento significativo de la temperatura, en mayor proporción durante septiembre-octubre-noviembre, con un aumento promedio de 0,3°C por decenio y el 63% de casos significativos. También, en junio-julio-agosto sucede el mayor incremento de 0,31°C por decenio.
- Los cambios de la precipitación y de la temperatura media del aire plantean retos para la gestión de los recursos hídricos en la zona de estudio; en este sentido, el hecho de no determinarse cambios significativos en la precipitación y menores de la temperatura interanuales sobre el valle internadino del río Cauca, puede favorecer las adaptaciones tecnológicas de los sectores productivos, principalmente para la agricultura que se desarrolla activamente en esta región de la cuenca. Sin embargo, los mayores impactos de incremento y descenso de la precipitación; así como de aumento de la temperatura del aire, en las últimas tres décadas, se observó en los sistemas de media y alta montaña, principalmente hacia la cordillera central de los Andes colombianos. Nótese que estos son quienes desempeñan un papel fundamental en la conformación de la oferta hídrica de la cuenca; de esta manera, se observa la importancia de emprender acciones coordinadas sobre el territorio, dado que los cambios en las partes altas de las cuencas, afectarán también las actividades en zonas media y baja, así mismo la población y los diferentes sectores productivos de la cuenca.

De otro lado, de los escenarios climáticos en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, se concluye lo siguiente:

- En la cuenca del río Tuluá, los escenarios climáticos a escala anual, presentan actualmente, 1.567mm de precipitación total, 18,5°C de temperatura media del aire, 1.021 mm de evaporación total y 261mm de oferta hídrica superficial

promedio. Al 2.020, se proyectaron aumentos de 1,2%, 0,2°C y 0,8% en precipitación, temperatura y caudal, respectivamente; por el contrario la evaporación disminuye en 1,2%.

- En la cuenca del río Tuluá, los cambios intranuales proyectan cambios en la estacionalidad de las variables climáticas, según se evidencia en la alteración del régimen bimodal en la cuenca, dado que en los trimestres de mayor lluvia intranual (marzo-abril-mayo y septiembre-octubre-noviembre) existe tendencia a la disminución en 0.1%, mientras que en diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto (de menor pluviosidad intranual) se espera aumento promedio en 1%. Acorde con estos resultados, se estiman mayores incrementos de la temperatura, durante los trimestres (lluviosos) que presentaron descenso de la pluviosidad que son septiembre-octubre-noviembre y marzo-abril-mayo. En este contexto, es necesario considerar acciones de adaptación por los riesgos en los ecosistemas y en sistemas productivos, principalmente.
- Espacialmente las zonas de mayores amenazas climáticas (entendida como la susceptibilidad a cambios físicos del clima), en la cuenca del río Tuluá, son las partes media por aumento de precipitación y baja por el mayor incremento de temperatura.
- La proyección en la evaporación presentó aumento del 1% en la zona de producción hídrica, principalmente en el mes de noviembre; por el contrario desciende en 4% en la zona de consumo, con mayor intensidad del 12% durante enero. Estos cambios de la evaporación deben analizarse con cuidado, dado que se esperaría que el incremento de la temperatura del aire promueva a su vez mayor evaporación. Por tanto, las conclusiones alrededor de los escenarios climáticos planteados, también deberán considerar en futuros estudios, otras variables como son humedad relativa y radiación solar, entre otras, las cuales permitan el entendimiento del sistema climático y logre justificar las tendencias climáticas en la zona de estudio.
- En la cuenca del río Tuluá, se proyecta un incremento promedio del 1%, con mayor intensidad (del 9% como valor medio) durante los meses de menor caudal intranual (agosto y septiembre). El mayor aumento de 2,7m³/s se estima en el mes de agosto. Al 2.020, se estimó que el mayor riesgo por disminución en la oferta de agua, se puede presentar en los meses de mayo y noviembre, donde suceden

conjuntamente reducciones en la precipitación y el caudal; en enero se observó lo contrario.

- Se estimó también en la cuenca del río Tuluá, que los meses de reducción en la oferta hídrica son los de mayor pluviosidad intranual, lo cual puede minimizar los impactos por escasez de agua; no obstante, los cambios en la estacionalidad del clima requieren de medidas de adaptación en diferentes sectores, principalmente en la agricultura que es altamente sensible dado que el manejo de cultivos y las actividades agrícolas dependen entre otros factores, del clima y principalmente de la precipitación. En promedio, se estimaron 14.59 y 14.72 m³/s (equivalente a 261 y 263 mm) de caudal mensual actual y su proyección al año 2.020, respectivamente.
- En la cuenca del río Amaime, actualmente se establecieron valores anuales de 1.394 mm/año, 20,6°C de temperatura media del aire y una evaporación total anual de 1.130 mm/año, se proyectaron aumentos de 0,1°C en la temperatura y de 2% en la evaporación; por el contrario la precipitación desciende en 4% y el caudal medio mensual desciende en 3%. Espacialmente, en la zona media de la cuenca sucede la mayor reducción de la pluviosidad anual acumulada.
- En la cuenca del río Amaime, los escenarios de precipitación, proyectan los mayores descensos (de 7% y 10%, respectivamente) durante mayo y agosto. Adicionalmente, durante los meses junio y julio, los cuales presentan baja pluviosidad, se proyectaron también reducciones del 6% en la lluvia. Las menores variaciones, con reducciones en 2%, se estimaron en marzo, noviembre y diciembre. Por otra parte, la reducción del 4% en la precipitación total al 2.020, esa asociada principalmente al descenso promedio de la lluvia en la zona de producción hídrica. De acuerdo a estos escenarios, los impactos pueden afectar en mayor proporción la oferta hídrica de la cuenca, lo cual a su vez impone adaptaciones en sectores como el hidroeléctrico; adicionalmente, la variación de la precipitación en la zona de consumo (principalmente en los meses de mayo y agosto), evidencia la necesidad de promover opciones de adaptación con prioridad en los usos del agua para el consumo humano y las actividades agrícolas, siendo este último el que se desarrolla en mayor escala sobre esta zona, así mismo se identifica como un sector, de alta sensibilidad debido entre otros, a las alteraciones climáticas.

- La temperatura media del aire en la cuenca del río Amaime, presenta tendencia generalizada al incremento en promedio de 0,1°C. El mayor cambio de 0,2°C, se estimó en el mes de agosto. Estos resultados, coinciden con los escenarios de precipitación en la cuenca; según la reducción de las lluvias en algunos meses, se estimó una intensidad del 10% para agosto también. Esta relación inversa entre la temperatura del aire y la precipitación, sucede también en los resultados de las tendencias en la cuenca del río Cauca.
- En la cuenca del río Amaime, se estimaron 989mm y 1.006 mm de evaporación total anual actual y al año 2.020, indicando un incremento promedio de 2%. De acuerdo con los resultados en las zonas de producción y de consumo, en los meses de mayo y junio, donde sucede la menor evaporación intranual, se observaron mayores aumentos: en la actualidad el promedio fue de 75mm y 74 mm en cada mes, y al 2.020 se estimaron 79 mm y 77mm, respectivamente.
- En la cuenca del río Amaime, la reducción al año 2.020 en el caudal medio mensual fue estimada en 3%; con mayor intensidad del en los meses de agosto y septiembre; lo cual se relaciona principalmente con los descensos de la precipitación en la zona de producción, que para estos meses fueron de 11% y 7%, respectivamente. De esta manera, se esperan mayores condiciones de estiaje en la zona de estudio, así mismo la acentuación del segundo periodo hidrológico seco en el año, entre junio y septiembre. Adicionalmente, se esperan los mayores riesgos, durante el mes de agosto el cual presenta descensos en el caudal en 6% y de la precipitación media en 10%; así como incrementos en la temperatura del aire de 0,1°C y en la evaporación total del 2%.

7.2. Análisis de factores que determinan la demanda hídrica ante el escenario climático actual y su proyección al 2.020

Del análisis integrado de oferta-demanda hídrica considerando la proyección de factores socioeconómicos que determinan el consumo de agua ante escenarios climáticos en la cuencas de los ríos Tuluá y Amaime, se concluye:

- El balance oferta-demanda de agua realizado, según los escenarios climáticos y los factores socioeconómicos proyectados al año 2.020, para el caso de la cuenca del río Tuluá, coloca en evidencia el impacto positivo en términos de mayor oferta neta de agua durante el año, mientras que en la cuenca del río Amaime, se reduce la oferta hídrica. Sin embargo, es preciso que estos valores (de superávit y descenso hídrico, respectivamente) sean considerados con cuidado para efecto de su utilización en procesos de planificación ambiental y territorial de las dos zonas de estudio, principalmente por la falta del análisis en factores climáticos y socioeconómicos que estuvieron fuera del alcance de este estudio, como son:

(i) Los valores promedio mensuales bajo los cuales se construyeron los escenarios climáticos (actual y al 2.020), dejan fuera de alcance, el diagnóstico de eventos hidroclimáticos extremos (sequías o inundaciones), de esta manera por ejemplo, el aumento de la precipitación en la zona de producción hídrica de la cuenca Tuluá al 2.020, puede también asociarse con mayor riesgo ante lluvias torrenciales, cuyos impactos repercuten a su vez en la oferta y la demanda hídrica de la cuenca, y no fueron considerados dentro del balance.

(ii) La demanda hídrica en el sector agrícola, fue calculada a partir del área sembrada, la cual representó en promedio el 48% del total de la superficie de cada cuenca. . Por lo tanto, es necesario considerar en futuros estudios la proyección de los demás usos y coberturas del suelo (que conforman el 52% restante), los cuales a su vez, tienen fuerte incidencia sobre la demanda y la oferta hídrica de la cuenca.

- Mediante este análisis se logró el desarrollo metodológico que permite integrar efectivamente los componentes socioeconómico y ambiental que conforman el estudio del cambio global en la zona de estudio. Mediante este modelo, se pueden analizar los impactos sobre la oferta de agua ante el estudio de factores socioeconómicos que determinan la demanda hídrica considerando escenarios de variabilidad y cambio climático a escala de cuenca hidrográfica. En este sentido, se sugiere avanzar en la mejora de las técnicas de obtención, análisis y procesamiento de la información, así como incluir nuevas variables que permitan robustecer los resultados encontrados a fin de lograr su consideración en los procesos de planificación territorial y la gestión del recurso hídrico en la región.

En el caso de estudio de la cuenca del río Tuluá:

- En la proyección de área sembrada, según el análisis de áreas máximas por factores limitantes ambientales, se determinó que los cultivos de papa y café son los más sensibles ante los escenarios climáticos. Ante los escenarios climáticos, al 2.020, se proyecta descenso del 12% en el área sembrada en papa y aumento del 15% en el café. También, actualmente se calcularon áreas sembradas de 37.931Ha y 52.491Ha, según las fuentes de información censal y de cartografía, respectivamente. Al 2.020, se proyectan 40.806Ha, de las cuales el 66% se asocia a pasto natural (el cual se asocia a la ganadería) y 10.352Ha serán en el cultivo de caña de azúcar, el cual presentó el mayor aumento del 26% en el área sembrada.
- La demanda de agua en el sector agrícola, actualmente es de 474 y 657 mm/año para los escenarios actual-censal y actual-cartográfico respectivamente; al año 2.020, se proyectan 504 mm/año. El mayor requerimiento de 47mm sucede durante el mes de agosto, donde se presenta la máxima evaporación intranual. De acuerdo a los escenarios considerados, en el año 2.020 la tendencia de aumento o descenso de los requerimientos del sector agrícola posee amplia incertidumbre, según la disparidad entre las fuentes de información actuales (censal y cartográfica) del área sembrada en la cuenca.
- La demanda industrial, en relación con el escenario actual-censal, muestran una tendencia de incremento en el consumo hídrico de 16% y de 37% en las zonas de producción y de consumo, (al 2.020), respectivamente. En total, al año 2.020 se proyecta un consumo de 115 mm/mes, siendo marzo y octubre los meses de mayor consumo hídrico en el año con 11mm/mes.
- La población rural de la cuenca del río Tuluá se estimó en 25.115 habitantes y su consumo de agua doméstico actual se estimó en 25.115 habitantes y 72,7 l/s (1,1 mm/mes). Al año 2.020, se proyectaron 32.349 habitantes y 93,6l/s(1,3mm/mes), lo cual representa aumentos de 7.234 habitantes y del 8% en la demanda hídrica, este aumento atribuido a la población constituye el mayor aumento porcentual entre los diferentes consumos de agua estimados. Particularmente, la población urbana en la cuenca del municipio de Tuluá, se estimó de 165.170 habitantes en la actualidad y de 193.122 habitantes al año 2.020. Sin embargo, la dotación se consideró constante según la asignación y la vigencia al 2.020 de 700l/s (2,0 mm/mes) que tiene asignado el acueducto de Tuluá.

- En la cuenca del río Tuluá, el consumo de agua bovino actual se estimó en 876.695 l/día y se proyectó un incremento de 10% equivalente a 2.020 (85.296 l/día). El ganado destinado a la lechería especializada es quien presenta el mayor consumo de agua, alrededor del 60% del consumo total. En la conversión a lámina de agua, relacionando el escenario actual-censal y la proyección a 2020, se pronostica estabilidad en la demanda bovina; en contraste, comparado con el escenario actual-cartográfico, la demanda bovina aumenta en 0,03mm/mes. Dados los escenarios, se puede deducir que dado un crecimiento del número de reses, entre mayor sea la tasa de expansión (en área de pasto) del ganado en la cuenca, menor será la lámina de agua requerida.
- Conforme al escenario en el año 2.020 de oferta hídrica superficial en la cuenca del río Tuluá, se proyectan un aumento del 1% en la demanda ambiental total anual; el mayor incremento, del 26%, se calculó en el mes de agosto; sin embargo, los mayores valores de la demanda hídrica suceden durante los meses de mayo y noviembre; en los cuáles se obtuvieron los mayores descensos de 10% y 12%, respectivamente. En promedio, se estimaron 1,46 m³/s y 1,47 m³/s en la demanda hídrica ambiental actual y su proyección al año 2.020, respectivamente.
- En la cuenca Tuluá al año 2.020, se proyectó una demanda neta de 771 mm en la cuenca, se estima que el caudal ambiental represente el 41% del total y la demanda agrícola el 38%; el mes de agosto presenta la mayor demanda hídrica del año con 170mm; justificado por los altos requerimientos de agua en el sector agrícola. También, se proyecta reducción de la demanda en 41% y 28%, según los escenarios actuales censal y cartográfico, respectivamente.
- El balance oferta-demanda hídrica presenta aumento en el total anual, del superávit de agua en la cuenca del río Tuluá al año 2.020, con proporción del 9% y 6% en relación con los escenarios actuales censal y cartográfico, respectivamente. Actualmente, se estimaron valores de oferta hídrica anual en la cuenca, de 2.582 mm y de 2663 mm (de lámina de agua), según los escenarios actuales censal y cartográfico, respectivamente; al año 2.020, se proyectó en 2.818 mm. En la proyección, durante enero, con un balance de +238 mm, sucede la mayor ganancia en el superávit hídrico, de 83mm (53%) y de 67mm (39%) según se compare con los escenarios actuales censal y cartográfico, respectivamente; este incremento, se asocia principalmente a la reducción de la demanda hídrica en promedio de 53%.

En el caso de estudio de la cuenca del río Amaime:

- En la cuenca del río Amaime, mediante el análisis de áreas máximas según factores limitantes ambientales, se obtuvo que el sorgo es el cultivo con mayor sensibilidad ante los cambios de precipitación y temperatura proyectados al 2.020, dado que, se estimó una reducción del área en 16,7%. También, en el cultivo de café, se espera disminución del 10%. En este contexto, se presentan retos ante adaptaciones tecnológicas que se deben implementar en estos sistemas productivos, con el propósito de minimizar el impacto ante la modificación de los factores limitantes ambientales en la cuenca, principalmente en el cultivo de sorgo, en los cuáles se estiman reducción según estas variables biofísicas, pero las proyecciones a partir de los datos censales proyectaron un aumento (de 17Ha) de su área sembrada en la cuenca.
- En la cuenca del río Amaime, actualmente se calcularon 45.710Ha y 52.974Ha según los escenarios actuales censal y cartográfico, respectivamente; al año 2.020, se proyectó el área sembrada en 46.654Ha, de la cual el 64% (29.777Ha) será ocupada en el cultivo de caña de azúcar. El pasto natural representará el 31% (14.654Ha) del total. También, con igual participación porcentual actual y proyectada del 1%, se registran los demás cultivos de frutales-plátano, hortalizas, maíz y pasto de corte. Por lo tanto, el café y el sorgo pierden su inclusión respecto al total del área sembrada en la cuenca.
- La demanda del sector agrícola en la cuenca del río Amaime, se estimó actualmente según el escenario actual-censal en 470 mm/año y el escenario actual-cartográfico en 543 mm/año; al 2.020, se proyectan 487 mm/año; los mayores requerimientos se dan durante el mes de agosto (asociados a baja pluviosidad y a alta evapotranspiración). Comparando el escenario actual-censal y el escenario a 2.020, se puede notar que ante aumentos estimados del 2% en el área sembrada y en la evaporación, respectivamente; se proyectan 87mm/anales de aumento en la demanda hídrica que representa un 4% más de los requerimientos actuales.
- La demanda industrial actual en la cuenca del río Amaime, es de 75,9mm/año según el escenario actual-censal y de 91,0mm/año calculado a partir del escenario actual-cartografico; al 2.020, se proyectó en 80 mm; durante el mes de agosto suceden los mayores requerimientos hídricos.

- Actualmente en la cuenca del río Amaime, la población rural es de 54.784 habitantes y la urbana de 231.326 habitantes; lo cual representa consumo de agua doméstico total de 827l/s; al 2.020, se proyectaron 59.285 y 253.274 habitantes en la zona rural y urbana, respectivamente; así mismo, la demanda fue de 904l/s.
- El consumo de agua bovino en la cuenca del río Amaime, actualmente es de 997.259l/día para un total de 24.378 reses y se proyectó al 2.020 en 1'194.161l/día con un número total de reses de 29.899, lo cual representa un aumento del 20% en la demanda. El mayor incremento del consumo en 85% se dio en el ganado de ceba; la producción de doble propósito (ceba y lechería) obtuvo la mayor reducción del 53% y la producción de lechería representa el mayor consumo, en promedio del 65%.
- Según las proyecciones de la oferta hídrica superficial en la cuenca del río Amaime, se estima una reducción promedio del 4% en la demanda hídrica ambiental. Actualmente se estimó un valor medio de caudal ambiental de 8,2 m³/s y al año 2.020, se proyectaron 7,8 m³/s.
- La demanda hídrica neta anual se estimó actualmente en (lámina de agua) 352 mm para el escenario actual-censal y al 2.020 se proyectan 425 mm. En la actualidad, se obtuvo que la demanda agrícola total, representa el 43% del total y al 2020 se proyecta en 59%. Luego, le siguen según este porcentaje, las demandas industrial y ambiental que serán el 19% y el 15% del total. Los menores valores de 2,1 y 0,5 mm/mes, se obtuvieron en los usos doméstico y bovino, respectivamente. Al 2.020, de acuerdo con la mayor demanda agrícola, durante los meses de julio y agosto, se esperan los consumos más altos de agua en la cuenca, con valores de 136 y 117 mm/mes, en cada periodo, respectivamente. Por el contrario durante febrero y septiembre, se esperan menores requerimientos hídricos de manera correspondiente en 15 y 13 mm/mes.
- Respecto al balance oferta-demanda de agua en la cuenca del río Amaime, según los escenarios actuales, se presenta un superávit total de 290 mm. Al año 2.020, la lámina total anual proyectada es de 197 mm. Lo cual representa un descenso de 93 mm (-32%). Tanto en los escenarios actuales como en la proyección al año 2.020, se estima que durante julio y agosto se presente déficit hídrico en la cuenca, con magnitudes proyectadas de -79 mm y -77 mm en cada mes.

7.3. Análisis de cambios en la vegetación permanente asociada a la variabilidad de la precipitación en la cuenca del río Amaime

Mediante el análisis de cambios en la vegetación de bosque natural con el estudio del NDVI, asociados a la variabilidad de la precipitación mensual entre el año 2000 al 2004, en la cuenca del río Amaime, se concluye:

- Existen relaciones hasta del 80% entre la variabilidad de la precipitación con el régimen del NDVI en zonas de bosque natural, principalmente con los índices de: concentración porcentual de la lluvia, la precipitación diaria y mensual, así como el máximo número de días consecutivos sin lluvia mensual. Es decir, la frecuencia y concentración de la lluvia son los factores que afectan en mayor proporción la vegetación permanente en la cuenca.
- Se observa una relación inversa entre las variables de estudio, cuando la lluvia intranual es mayor, el NDVI tiende a ser menor; este comportamiento se relaciona con la fenología de la vegetación, así como con procesos biológicos asociados a mayores productividades y nivel de biomasa en los ecosistemas. Sin embargo, se requiere más estudio para confirmar los impactos ecológicos.
- Para efectos de desarrollar los modelos, mediante la prueba extendida de Granger, se obtuvo que los índices de concentración porcentual de la lluvia, así como la precipitación diaria y mensual; presentan relaciones con un rezago óptimo de 3 meses respecto al NDVI.
- Se observa la necesidad de explorar las demás variables climáticas (temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, entre otras), con el propósito que en futuros estudios, se establezcan modelos de NDVI en función de la variabilidad climática; a su vez, se propone explorar la incidencia de la variación del NDVI sobre la oferta y la demanda hídrica en zonas de vegetación permanente y de alta montaña; para lograr introducir este último estudio en el análisis de balance oferta-demanda de agua relacionado con escenarios climáticos en la cuenca.

Se destaca el procedimiento efectuado, para la obtención, el procesamiento y análisis de los NDVI a partir de imágenes satelitales MODIS, dado que permite monitorear

temporalmente los ecosistemas para detectar cambios en el uso del suelo con datos de sensores remotos; particularmente, se llevó a cabo el uso de datos del índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) en zonas de vegetación permanente, relacionándolo con series de tiempo de precipitación; con esto, se generan múltiples aportes al estudio de los ecosistemas de alta montaña, considerando entre otros, su sensibilidad ante la variabilidad y el cambio climático, así como, su importancia ecológica en términos de biodiversidad y en la conformación de la oferta y la demanda hídrica en la cuenca.

Capítulo 8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Considerando la importancia de la continuidad del estudio realizado, se proponen las siguientes futuras líneas de investigación:

(i) Estudio de eventos hidrológicos asociados a la variabilidad y el cambio climático y su incidencia sobre la oferta hídrica actual y futura en la cuenca:

Actualmente se reconoce que el cambio climático ocasiona incertidumbres sobre los patrones de la precipitación y la temperatura del aire principalmente, desencadenando variaciones en el clima que dificultan la estimación de la magnitud de los cambios proyectados; si bien el proyecto actual presenta un escenario de posibles cambios en la precipitación, la temperatura y la evaporación es importante avanzar en la reducción de las incertidumbres en las proyecciones realizadas, así mismo incluir las variaciones asociadas a fenómenos hidroclimáticos extremos como sequías, crecientes, eventos asociados a El Niño Oscilación del Sur- ENOS, entre otros, de los cuales se prevé un incremento por el cambio climático.

Objetivo: realizar el análisis de eventos extremos hidrológicos asociados a fenómenos de variabilidad y cambio climático (cambio en la estacionalidad intranual e interanual, incidencia de fenómenos macroclimáticos como ENOS, etc.) y determinar la presión que ejercen sobre la oferta hídrica actual y futura en una cuenca modelo.

(ii) Estudio del impacto del cambio climático en ecosistemas naturales y su relación con la conservación del recurso hídrico y la biodiversidad en la cuenca:

Actualmente la variabilidad y el cambio climático afectan los ecosistemas naturales como bosques naturales y vegetación de páramo con impactos aún desconocidos sobre la oferta y la demanda hídrica en la cuenca, así como en la pérdida de biodiversidad y conservación de especies vegetales, siendo además estos ecosistemas los que pueden ser más sensibles a la dinámica del clima.

Objetivo: Estudiar los efectos del cambio climático sobre los bosques naturales y la vegetación de páramo, y su impacto en la conservación del recurso hídrico y la biodiversidad actual y futura en la cuenca.

(iii) Adaptación al cambio climático en sistemas productivos agrícolas como estrategia de gestión del riesgo y competitividad del sector:

Ante los escenarios de variabilidad y cambio climático, es importante considerar el estudio de sus impactos sobre los sistemas productivos en la cuenca; de esta manera la valoración económica de los posibles cambios asociados en los rendimientos y en la producción de los cultivos, es un proceso importante que debe ser considerando para las diferentes adaptaciones tecnológicas y ambientales actuales y futuras.

Objetivo: Establecer opciones de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en sistemas productivos agrícolas que promuevan la gestión del riesgo y la competitividad del sector.

(iv) Implementación de sistemas de información para el análisis integrado de oferta-demanda hídrica considerando escenarios de cambio climático en una cuenca modelo:

El desarrollo de una herramienta que sistematice los procesos del balance oferta-demanda de agua, es un modelo eficaz que permitiría hacer planificación por escenarios y podrá facilitar la consideración de otras variables socioeconómicas y ambientales. Así mismo, se podrían modificar por ejemplo la cobertura de suelo o los cambios en variables climáticas, entre otros, y obtener los resultados de los impactos en la disponibilidad del recurso hídrico a escala de cuenca, de manera sistematizada sin necesidad de realizar cada uno de los cálculos para los escenarios que se deseen considerar.

Objetivo (proyecto uno): implementar el software WEAP (Sistema de "Water Evaluation And Planning") que es una herramienta computacional que provee un enfoque integral a la planificación de los recursos hídricos y considera la asignación de los recursos limitados de agua entre los usos agrícola, municipales y ambientales integrándolos a la oferta, demanda, calidad de agua y variables ecológicas. El WEAP, presenta ventajas de realizar el balance de agua, basado en simulación de demanda, oferta, escorrentía, infiltración, requisitos para las cosechas, flujos y almacenamiento del agua, y generación, tratamiento y descarga de contaminantes y de calidad de agua en ríos para variados escenarios hidrológicos y de políticas.

Objetivo (proyecto dos): Desarrollar e implementar un software de análisis integrado de oferta-demanda hídrica que permita la consideración de escenarios de cambio climático, de cambios en usos de suelo y de factores socioeconómicos que afectan oferta hídrica en las cuencas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAURREA, J.; ASÍN, J.; CEBRIÁN, A.C. & CENTELLES, A. (2004). Índices para el estudio de la evolución de la variabilidad y valores extremos en la precipitación diaria en la cuenca del Ebro. El clima, entre el mar y la montaña. IV Congreso de la Asociación Española de Climatología, Santander, 2-5 de noviembre de 2004) / coord. Por Concha Diego Liaño, Juan Carlos García Codrón, Domingo Fernando Rasilla Álvarez, Pablo Fernández de Arróyabe Hernández, Carolina Garmendia Pedraja, p. 175-184.

ALCARAZ-SEGURA, D.; BALDI, G.; DURANTE P., GARBULSKY, M.F. (2008.) Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Rev. Ecosistemas*, 17(3), 108-117.

ARANGO, S. & TORRES A. (2008). Incidencias económicas del etanol como biocombustible en Colombia sobre los derivados de la caña de azúcar: Una aproximación con dinámica de sistemas. *Revista Avances en Sistemas e Informática*, 5(2), Medellín, Colombia.

ASTERIOU, D. (2002). Notas sobre análisis de series de tiempo: estacionariedad, integración y cointegración. <http://www.personal.rdg.ac.uk/lecture3.htm>.

BARONA, E.; GIRÓN, E.; FEISTNER, K.L.; DWYER, J.L. & HYMMAN, G. (2006) Método de procesamiento de imágenes MODIS para Colombia. CIAT. Memorias XII simposio internacional en percepción remota y sistemas de información geográfica. SELPER - capítulo Colombia http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/BaronaMODISprocessing.pdf

BEAUGRAND, G. (2008). Decadal changes in climate and ecosystems in the North Atlantic Ocean and adjacent seas, *Deep-Sea Research II* (2008), doi:10.1016/j.dsr2.2008.12.022.

BERGKAMP, G., ORLANDO, B. & BURTON, I. (2003) Change adaptation of water management to climate change. UK: International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources.

BERNAL, N.R. (2001) Aplicación del método de reducción de escala (statistical downscaling) al modelo climático global ccm3 en el territorio colombiano. Tesis de Maestría en Meteorología, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 119p.

BROOKS, N. (2003). Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. Working Paper 38, Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia.

BURNS, D.; KLAUS, J. & McHALE, M.R. (2007). Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York, USA. *Journal of Hydrology*, 336, 155– 170.

BUSTAMANTE J. (2003) Cartografía predictiva de variables climáticas: Comparación de distintos modelos de interpolación de la temperatura en España peninsular. *Graellsia: revista de zoología*, ISSN 0367-5041, Vol. 59, Nº. 2-3.

CARABIAS, J., & LANDA, R. (2005) Agua, medio ambiente y sociedad: hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. México D. F: Universidad Nacional Autónoma de México, El Colegio de México: Fundación Gonzalo Río Arronte.

CARVAJAL, Y. (2004). El uso de funciones ortogonales empíricas y análisis de correlación canónica en el estudio de la variabilidad hidrometeorológica, aplicación al Valle del Cauca-Colombia. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.

CASTAÑEDA, O.A. (1995). Apuntes de meteorología y climatología. Facultad de Ingeniería Forestal, Universidad del Tolima, Colombia, p. 80.

CASTAÑO-URIBE, C. & CANO, M. (1998). El sistema de parques nacionales y otras áreas protegidas. Unidad Administrativa Especial del Sistemas de Parques Nacionales, Ministerio del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia.

CASTAÑO-URIBE, C. (2002). Colombia alto andina y la significancia ambiental del bioma páramo en el contexto de los andes tropicales: una aproximación a los efectos de u tensor adicional por el cambio climático global (global climatic tensor). En libro: páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición de HotSpot & Global Climatic Tensor. Castaño- Uribe, C. (ed), IDEAM, Bogotá, p. 27-51.

CASTILLO S., M.A., GARCÍA-GIL, G., MARCH, I.J., FERNÁNDEZ, J.C., VALENCIA, E., OSORIO, M. & FLAMENCO, A. (1998). Diagnóstico geográfico y cambios de uso del suelo en la Selva El Ocote, Chiapas. Informe Final. El Colegio de la Frontera Sur-Fondo Mundial para la Naturaleza WWFMéxico, Biodiversity Support Program, U.S. AID. San Cristóbal de las Casas, Chiapas, México, p. 121.

CASTRO, L. & CARVAJAL, Y. (2008) Evaluación de las metodologías hidrológicas para la determinación de caudales ambientales en el río Tulúa, Colombia. *Revista ingeniería hidráulica en México*, XXIII (4), 119-131

CAVELIER, J. & GOLDSTEIN, G. (1989). Mist and fog interception in elfin cloud forest in Colombia and Venezuela. *Journal of biogeography*, 25, 901-912.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA, CVC (1995) Proyección de la población y la demanda de agua para el consumo humano en la cuenca del río

Cauca del departamento del Valle del Cauca 1995-2020. División de Proyectos Técnicos. Grupo de Recursos Hídricos.

CVC, (2000). Balance oferta-demanda de agua cuencas de los ríos Nima, Amaime, Guadalajara, San Pedro y Bugalagrande. Subdirección de Gestión Ambiental. Grupo de Recursos Hídricos.

CVC (2002). Manual de Procedimiento para el Cálculo del balance oferta-demanda de agua. Segunda Versión. Subdirección de Gestión Ambiental. Grupo de Recursos Hídricos.

CVC (2005). Aplicación de técnicas estadísticas de punta en las series históricas de precipitación y evaporación, con el propósito de corregir, complementar y verificar la calidad de la información. Informe técnico final, convenio inter-administrativo. – Grupo de Gestión y Apoyo a la Ingeniería Agrícola de Colombia.

CVC (2007) Balance oferta-demanda de agua de la cuenca del río Tuluá. Subdirección de Gestión Ambiental. Grupo de Recursos Hídricos.

CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca) (2007a). Balance oferta-demanda de agua superficial. Cuenca del río Tuluá. Dirección Técnica Ambiental. Grupo de Recursos Hídricos.

CVC. (2007b). Balance oferta-demanda de agua superficial. Cuenca del río Amaime. Dirección Técnica Ambiental. Grupo de Recursos Hídricos.

CVC (2008). Efectos del cambio climático y evaluación de la vulnerabilidad. Informe de erosión laminar, desarrollado en marco del Proyecto TWILATIN. Grupo de Recursos Hídricos.

CVC & UNIVALLE (2007). El río Cauca en su Valle Alto: Un aporte al conocimiento de uno de los ríos más importantes de Colombia. María Clemencia Sandoval y Alberto Ramírez.

CVC & UNIVERSIDAD DEL VALLE (2004). Formulación del plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica del río Tuluá- Fase diagnóstico. Informe técnico Convenio interinstitucional 168 de 2003 CVC-Univalle, p. 37.

CVC & UNIVERSIDAD DEL VALLE (2007). El Río Cauca en su Valle Alto: Un aporte al conocimiento de uno de los ríos más importantes de Colombia.

CONFERENCIA de las NACIONES UNIDAS sobre MEDIO AMBIENTE y el DESARROLLO, CNUMAD, 1992. "Cumbre para la Tierra". Río de Janeiro. Junio 3 a 14 de 1992.

CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS NACIONES UNIDAS. CMNUCC (1992).

CMNUCC. (2005) El calor aprieta. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. http://unfccc.int/portal_espanol/essential_background/feeling_the_heat/items/3373.php.

COPPIN , P. R. & BAUER, M. E. (1996). Digital change detection in forest ecosystems with remotely sensed imagery. *J. Remote Sensing Reviews*, 13, 207-234.

COUTAGNE, A. (1949). Etude générale des débits en fonction des facteurs qui les conditionnent. *La houille blanche*, pp. 134–146 Mars–Avril .

DE LUIS, M.; GARCIA-CANO, M.F.; CORTINA, J.; REVENTOS, J.; GONZALEZ-HIDALGO, J.C. & SANCHEZ, J.R. (2001). Climatic trends, disturbances and short-term vegetation dynamics in a Mediterranean shrubland. *J. Forest Ecology and Management*, 147, 25-47.

DENT, D & YOUNG, A. (1981). *Soil survey and land evaluation*. Allen & Unwin (Ed.), London (1981).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, DANE. (2008). Precio del Café Colombiano. Promedio mensual.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN – DNP. (2001) Estrategia de apoyo al sector cafetero. Documento Conpes 3139.

DNP (2004). Seguimiento y directrices para el nuevo enfoque de la política cafetera. Documento Conpes 3286.

DÍAZ, S.; FARGIONE, J.; STUART- CHAPIN III, F. & TILMAN, D. (2006). Biodiversity loss threatens human well-being. *Journal PLoS Biol*; 4(8), 277. doi:10.1371/journal.pbio.0040277.

DICKEY, D.A. & FULLER, W.A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association* 75, 427–431.

DIOUF, A. & LAMBIN, E. F. (2001). Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. *Journal of Arid Environments*, 48(2), 129-148.

DUARTE, C., ALONSO, S., BENITO, G., DACHS, J., MONTES, C., PARDO, M., RIOS, A.F., SIMÓ, R., & VALLADARES, F. (2006). *Cambio global: impacto de la actividad humana sobre el sistema tierra*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

EBI, K., LIM, B., & AGUILAR, Y. (2004) Scoping and Designing an Adaptation Process. In User's guidebook for the adaptation policy framework. NY: United Nations Development Programme.

ESTRATEGIA INTERNACIONAL DE REDUCCIÓN DE DESASTRES -ERID. (2002). Vivir con el Riesgo: Un repaso mundial de iniciativas en reducción de desastres. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres América Latina y el Caribe. Naciones Unidas.

FIX E. & HODGES JL. (1977.) Discriminatory analysis, nonparametric discrimination consistency properties. Technical Report 4. United States Air Force, Randolph Field, TX.

FOLLAND, C.K., KARL T.R., CHRISTY, J.R., CLARKE, R.A., GRUZA, G.V., JOUZEL, J., MANN, M.E., OERLEMANS, J., SALINGER, M.J.& WANG, S.-W. (2001). Observed Climate Variability and Change. In: J.T HOUGHTON, Y. DING, D.J. GRIGGS, M. NOGUER, P.J. VAN DER LINDEN, X. DAI, K. MASKELL, & C.A. JOHNSON (eds.), Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2001 (Chapter 2).

FRANÇOIS, J. & GONZALEZ, I. (2006). Evaluación de Imágenes MODIS para el Monitoreo de la deforestación en México. Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, 2 (1), 19-27.

GARCÍA, M.L.; CARVAJAL, Y. & JIMÉNEZ, H. (2007) La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático. Rev Ingeniería y Competitividad, Vol 9, No. 1, p 17-24

GIRALDO, H. R. (2002) Introducción a la geoestadística, Teoría y aplicación. Simposio de estadística UNAL, Bogotá Colombia.

GIRALDO H. R., TRONCOSO W., MANCERA J. E., MÉNDEZ N. (2000). Geoestadística: una herramienta para la modelación en estuarios. Revista Académica Colombiana Ciencia, 24(90), 59-72.

GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA (1996-2007). Anuario Estadístico del Valle del Cauca. Comité de Estadística.

GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA (2006) Tipos de Explotación del Ganado Bovino. Secretaria de Agricultura y Pesca del Valle.

GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL, UNIDAD DE PLANIFICACIÓN AGROPECUARIA (1988-1995) Evaluaciones agrícolas anuales.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP – GWP. (2000) Manejo integrado de recursos hídricos. TAC Background Paper. No. 4. Estocolmo–Suecia.

GUERRERO, V.M. (2003). Análisis estadístico de series de tiempo económicas. Segunda edición, ed. Thomson. Impreso en México.

GUEVARA J, (2003). Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos. Universidad Central de Venezuela. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Región Mérida. Dirección de Hidrología y Meteorología, p. 128.

HASTENRATH, S. (1991). Climate dynamics of the tropics, Atmospheric sciences library.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO, ICA.(2008). Cambio climático trae consigo problemas fitosanitarios. Boletín informativo. Noviembre 20 de 2008.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (2001). El Medio Ambiente en Colombia. Segunda Edición. Bogotá, Colombia.

IDEAM. (2001a). Primera comunicación de cambio climático ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. IDEAM, Bogotá D.C., 271p.

IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales) (2002). Páramos y ecosistemas alto andinos de Colombia en condición de HotSpot & Global Climatic Tensor. Ed. Castaño, C. Ministerio del Medio Ambiente & Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo- PNUD. Imprenta IDEAM, p.387.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. (2001). Climate change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [J J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, & K.S. White (Eds.)]. UK: Cambridge University Press.

IPCC (2007) The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. ENHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M. TIGNOR AND H.L. MILLER (eds.)]. NY: Cambridge University Press.

ISAAKS, E. & R. M. SRIVASTAVA. (1989) Applied Geostatistics. Oxford University. Press, New York.

KENDALL, M.G., (1962). Rank correlation methods. third ed. Hafner Publishing Company, New York.

KOTTEGODA, N. & ROSSO, R. (1997). Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers. The McGraw – Hill Companies, Inc. United States of America.

LAVELL, A., MANSILLA, E. & SMITH, D. (2004) La gestión local del riesgo: concepto y práctica. Managua: UNDP-CEPREDEENAC.

LENNON, J. J. & TURNER, J. R. G. (1995) Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. *Journal of Animal Ecology*, 64: 370-392.

LIN, G.F.; CHEN, L.H. (2006). Identification of homogeneous regions for regional frequency analysis using the self-organizing map. *Journal of Hydrology* 324, 1–9.

LOBO, D.; GABRIELA, D.; OVALLE, F.; SANTIBAÑEZ, F.; MOYANO, M.C.; AGUILERA, R.; PIZARRO, R.; SANGUESA, C. & URRÁ, N. (2007). Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y El Caribe. CAZALAC – PHI UNESCO, p. 66.

LLOYD, D. (1990). A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery. *Int. J. Remote Sensing*, 11, 2269-2279.

MAIDMENT, D. (1993). *Handbook of Hydrology*. McGRAW – HILL, INC. United States of America.

MANN, H.B., (1945). Non-parametric tests against trend. *Econometría* 13, 245–259.

MAS, J. & GUTIÉRREZ I. (2006). Evaluación de imágenes MODIS para el monitoreo de la deforestación en México. *Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais*, 2 (1), 19-27.

MENA, P., MEDINA G. & HOFSTEDE, R. (2001). Los Páramos del Ecuador: particularidades, problemas y perspectivas. *Abya Yala/Proyecto Páramo*, Quito, Ecuador.

MESA, O.; POVEDA, G.; CARVAJAL, L. (1997). *Introducción al clima de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, P. 390.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO TERRITORIAL, MMADVT (2007). *Perspectivas Agropecuarias*. Primer semestre de 2007.

MICHIELS, P. & GABRIELS, D. (1996). Rain variability indices for the assessment of rainfall erosivity in the Mediterranean region. *Soil degradation and desertification in Mediterranean environments*. (J.L. Rubio & A. Calvo, eds.). Geoforma Ediciones, Logroño, p. 49-70.

MOENCH, M. & DIXIT, A. (2004) Adaptive capacity and livelihood resilience. Adaptive strategies for responding to floods and droughts in south Asia. Nepal: Institute for Social and Environmental Transition.

MONTEITH, J.L. (1981). Climatic variation and the growth of crops. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107, 749- 774.

MORAL, F.J. (2003) *La Representación Gráfica de las Variables Regionalizadas. Geostatística lineal*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Extremadura, Cáceres.

MORAL-GARCÍA F.J. (2004) *Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, ISSN 1697-2473, N°. 1.

MUÑOZ, E. & VINDAS, K. (1995). *Pruebas extendidas de Granger*. Banco central de Costa Rica. División de Economía, Departamento de investigaciones económicas, p.15.

ORGANIZACIÓN DE LA NACIONES UNIDAS- ONU (2003) *Agua para Todos, Agua para la Vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS - ONU. (2005) *Conferencia mundial sobre la reducción de los desastres. Informe de la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres Kobe, Hyogo Japón*

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, OMM (1999) *Modelo conceptual de cuenca hidrográficas-HBV*. Consultado en: <http://www.wmo.int>.

OMM. (2006) *Prevención de los desastres naturales y atenuación de sus efectos. Tiempo, Clima, Agua*. OMM, No. 993, 2006. www.wmo.int

OUADAH, S. (1998). *Evaluation des évapotranspirations réelles en Algérie du Nord*. Mém. maîtrise Univ. Nice-Sophia Antipolis, France.

PANARELLO, H.O. & DAPEÑA, C. (2009). Large scale meteorological phenomena, ENSO and ITCZ, define the Paraná River. *J. Hydrol.* 365, 105-112. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.11.026.

PARUELO, J.M. (2008). *La caracterización funcional de ecosistemas mediante sensores remotos*. *Rev. Ecosistemas*, 17(3), 4-22.

PARUELO, J.M., EPSTEIN, H.E., LAUENROTH, W.K., BURKE, I.C. (1997). ANPP estimates from NDVI for the Central Grassland Region of the United States. *Rev. Ecology*, 78, 953-958.

PARUELO, J.M. & LAUENROTH, W.K. (1998). Interannual variability of NDVI and their relationship to climate for North American shrublands and graslands. *Journal of Biogeography*, 25, 721-733.

PARUELO, J. M.; GARBULSKY, M. F.; GUERSCHMAN, J. P. & JOBBA, E. G. (2004). Two decades of Normalized Difference Vegetation Index changes in South America: identifying the imprint of global change INT. J. Remote Sensing, 25(14), 2793–2806.

PASCUAL, J. A., AÑÓ VIDAL, C., SÁNCHEZ DÍAZ, J., MASIÁ MIRA, F. J. Y ARNAU ROSALÉN, E. (2001). Valoración de la idoneidad de los índices PCI y MFI para estimar la concentración y agresividad de las precipitaciones en la Comunidad Valenciana. Rev. C. & G., 15 (3-4), 77-84.

PÉREZ, C.; POVEDA, G.; MESA, O.; CARVAJAL, L. & OCHOA, A. (1998). Evidencias de cambio climático en Colombia: Tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual. Bull. Inst. fr. études. andines. 27(3), 537-546.

PETTORELLI, N., VIK, J.O., MYSTERUD, A., GAILLARD, J.M., TUCKER, C.J., STENSETH, N.C. (2005). Using the satellite-derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to assess ecological effects of environmental change. J. Trends in Ecology and Evolution, 20, 503-510.

PROGRAMA de las NACIONES UNIDAS para el MEDIO AMBIENTE, PNUMA & SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, SEMARNAT. (2006). El cambio climático en América Latina y el Caribe. Informe publicado por el PNUMA en Marzo de 2006. México.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO- PNUD (2001) Alianzas contra la pobreza. Informe anual. Organización de las Naciones Unidas- ONU.

PNUMA & UNFCCC. (2004) Carpeta de información sobre cambio climático. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. http://unfccc.int/resource/docs/publications/infokit_2004_sp.pdf

POMPA, M. (2008). Análisis de la deforestación en ecosistemas montañosos del noroeste de México. Revista avances en investigación agropecuaria, 12(2), 35-43.

PORTALÉS C., BORONAT ZARCEÑO N., PARDO-PASCUAL J.E., BALAGUER-BESER, A. (2008). Un nuevo método para el cálculo de precipitaciones medias mediante técnicas de interpolación geoestadística considerando las características geográficas y topográficas del territorio. Congreso Internacional sobre Ingeniería Geomática y Topográfica, TOP-CART 2008. Febrero 2008, Valencia.

POVEDA, G. (2002). El chorro del Chocó y su influencia sobre la hidroclimatología de la costa Pacífica y el occidente de Colombia, En: Correa, I.D. & Restrepo, J.D. (eds.) Geología y oceanografía del delta del río San Juan, Fondo Editorial Universidad Eafit, Medellín, p.169-187.

POVEDA, G. (2004). La hidroclimatología de Colombia: una síntesis desde la escala interdecadal hasta la escala diurna. *Rev. Ciencias de la Tierra*. XXVIII (107), 201-221.

POVEDA, G.; MESA, O.J.; AGUDELO, P.A.; ALVAREZ, J.F.; ARIAS, P.; MORENO, H.; SALAZAR, L.F.; TORO, V. & VIEIRA, S. (2002). Influencia del ENSO, oscilación de Madde-Julian, ondas del este, huracanes y fases de la luna en el ciclo diurno de la precipitación en los Andes tropicales de Colombia. *Rev. Meteorología Colombiana*, No.5, pp.3-12.

POVEDA, G. & SALAZAR, L. (2004) Annual and interannual (ENSO) variability of spatial scaling properties of a vegetation index (NDVI) in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*. 93, 391–401.

PRATO, T. (2008). Conceptual framework for assessment and management of ecosystem impacts of climate change. *J. Ecological Complexity*, 5, 329- 338

PUERTAS, O. (2007). Análisis de la variabilidad en la precipitación y temperatura del aire asociada al ENOS en Colombia utilizando el climate explorer. Tesis de pregrado en ingeniería agrícola. Universidad del Valle, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. p.178.

PUERTAS, O.L. & CARVAJAL, Y. (2008). Incidencia de El Niño Oscilación del Sur en la precipitación y la temperatura del aire en Colombia, utilizando el Climate Explorer. *Rev. Ingeniería y Desarrollo*. 23, 104-118.

PUERTAS, O.; GIRALDO, S. & CARVAJAL, Y. (2008) Monthly precipitation trends and ENOS-associated precipitation variability of an inter-Andean river basin: the case of the upstream Cauca river basin in Colombia. En memorias 4th Alexander von Humboldt International Conference, The Andes: Challenge for Geosciences, Diciembre, Santiago de Chile.

QUINTERO-ANGEL, M. (2007). Evaluación de Prácticas de Adaptaciones a la Variabilidad y el Cambio Climático en Región Andina de Colombia, Cali, Universidad del Valle - Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (Bc).

RAJ, M. & RAMIREZ, V.H. (2004). Elementos de agroclimatología. Ed. Universidad Santa Rosa de Cabal- UNISARC, Colombia, p.307.

RANGEL, CH. O. (2000). Colombia diversidad biótica III la región de vida paramuna. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ciencias, Instituto de ciencias naturales.

RAO, A. R, SRINIVAS, V. (2006). Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. *Journal of Hydrology* 318, 37–56.

RUIZ, D.; MORENO, H.A.; GUTIERREZ, M.E.; ZAPATA, P.A. (2008). Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *J. Science of the total environmental*, 398, 122-132

SALAS, J. & CHUVIECO, E. (1993) Modelización de variables microclimáticas a partir de un Sistema de Información Geográfica, II Congreso de la Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica, Madrid: 423-446

SAHOO, D., SMITH, P.K. (2009). Hydroclimatic trend detection in a rapidly urbanizing semi-arid and coastal river basin, *Journal of Hydrology*, doi: 0.1016/j.jhydrol.2009.01.014

SEN, P.K., (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63, 1379–1389.

SHEKIN, D. (1997). *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures*. Western Connecticut State University. CRC Press.

SOMMER C. I., FERNÁNDEZ PILAR, RIVAS HILDA, GUTIÉRREZ R. MARGARITA. (2000). La geoestadística como herramientas en estudios de contaminación de suelos. Análisis de caso: afectación de suelo por arsénico, plomo y cadmio contenidos en jales mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Universidad nacional Autónoma de México. ISSN: 0188-4999, vol. 16, número 004, Págs. 205-214.

STEELE, T.D.; GILROY, E.J.; HAWKINSON, R.O. (1974) Techniques for the assesment of areal and temporal variations in streamflow quality. Open File Report, US Geological Survey, Washington, DC.

THIEL, H., (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen A53*, p. 1397–1412.

THORNTHWAITE, C. (1948). An approach toward rational classification of climate, *Journal of Geographical Review*, 38, 55–94.

TUCKER, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *J. Remote Sensing of Environment*, 8, 127–150.

TUKEY, J. (1977) *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley

TURC, L. (1954). Le bilan d'eau des sols: Relation entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agron.* 5, 491–569. Woods, R.A., 2003. The relative roles of climate, soil, vegetation and topography in determining seasonal and long-term catchment dynamics. *Adv. Water Resour.* 26 (3), 295–309.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE, UNFCCC. (2007). Ways to contribute to climate modelling, scenarios and downscaling. Submissions from relevant organizations. United Nations Office at Geneva. http://unfccc.int/resource/cd_roms/na1/v_and_a/Spanish/v_a_handbook/Capitulo_4_Escenarios_CC.doc.

UNIVERSIDAD DEL VALLE-CRC (2007). Guía metodológica propuesta para la determinación y calculo de la tasa por el uso del agua en subcuencas hidrográficas del departamento del cauca. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente. Grupo de Investigación en Ingeniería de Recursos Hídricos y Suelos. Tomo XIII.

VELASCO, A. & DIAZ-GRANDOS, M. (2006) Tendencias e incidencia de los fenómenos macroclimáticos en la hidrología del alto y medio magdalena. Rev. Ciencia e ingeniería neogranadina. 6 (2), 29-44.

VELEZ, J.I.; BOTERO, B.A.; HOYOS, C.D.; MESA, O. & POVEDA, G. (2000). Distribución Espacial y Ciclos Anual y Semianual de la Precipitación en Colombia. Memorias XIV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, sociedad colombiana de ingenieros, Villa de Leyva, Colombia. p.26.

VENTON, P. & HANSFORD, B. (2006) Cómo reducir el riesgo de desastres en nuestras comunidades. Serie ROOTS. Recursos que promueven Oportunidades Organizacionales de Transformación y Socialización, v. 9. UK.:Tearfund

VINCENT, K. (2007). Uncertainty in adaptive capacity and the importance of scale. Global Environmental Change 17, 12–24.

VIRGINIA, R.A., WALL, D.H. (2001). Principles of Ecosystem function. En: Levin, S.A. (ed.) Encyclopedia of Biodiversity, Academic Press, San Diego, USA. p. 345- 352.

VERDIN, J.; PEDREROS, D. & EILERTS, G. (2003). Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI). FEWS - Red de Alerta Temprana Contra la Inseguridad Alimentaria, Centroamérica, USGS/EROS Data Center

WIGLEY, T. & RAPER, S. (2002). Interpretation of High Projections for Global-Mean Warming. J. Science. 293(5529), 451 – 454.

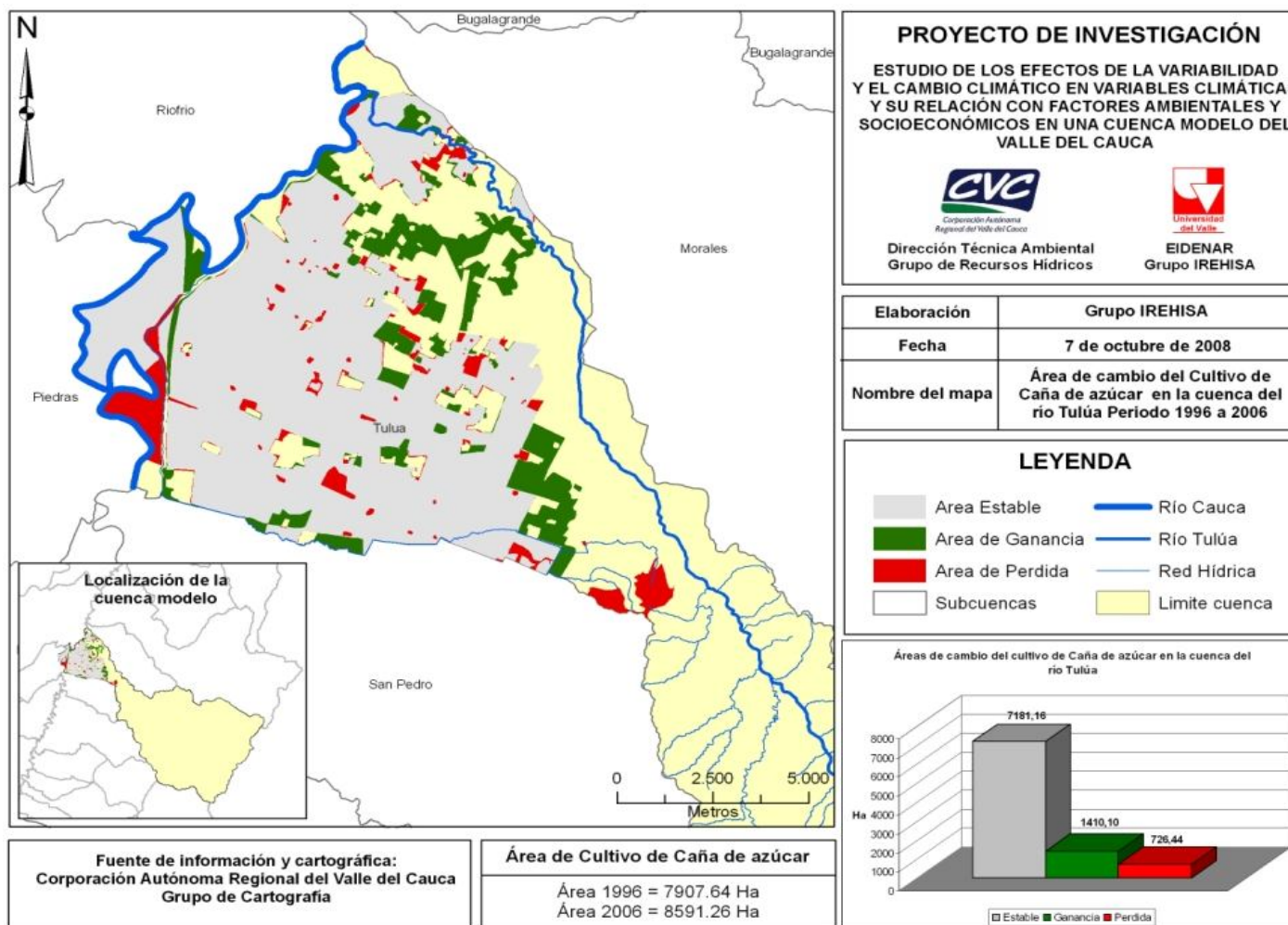
YU, Y.S.; ZOU, S.; WITTEMORE, D. (1993) No- parametric trend analysis of water quality data of river in Kansas. J. Hydrol. 159, pags. 61-80.

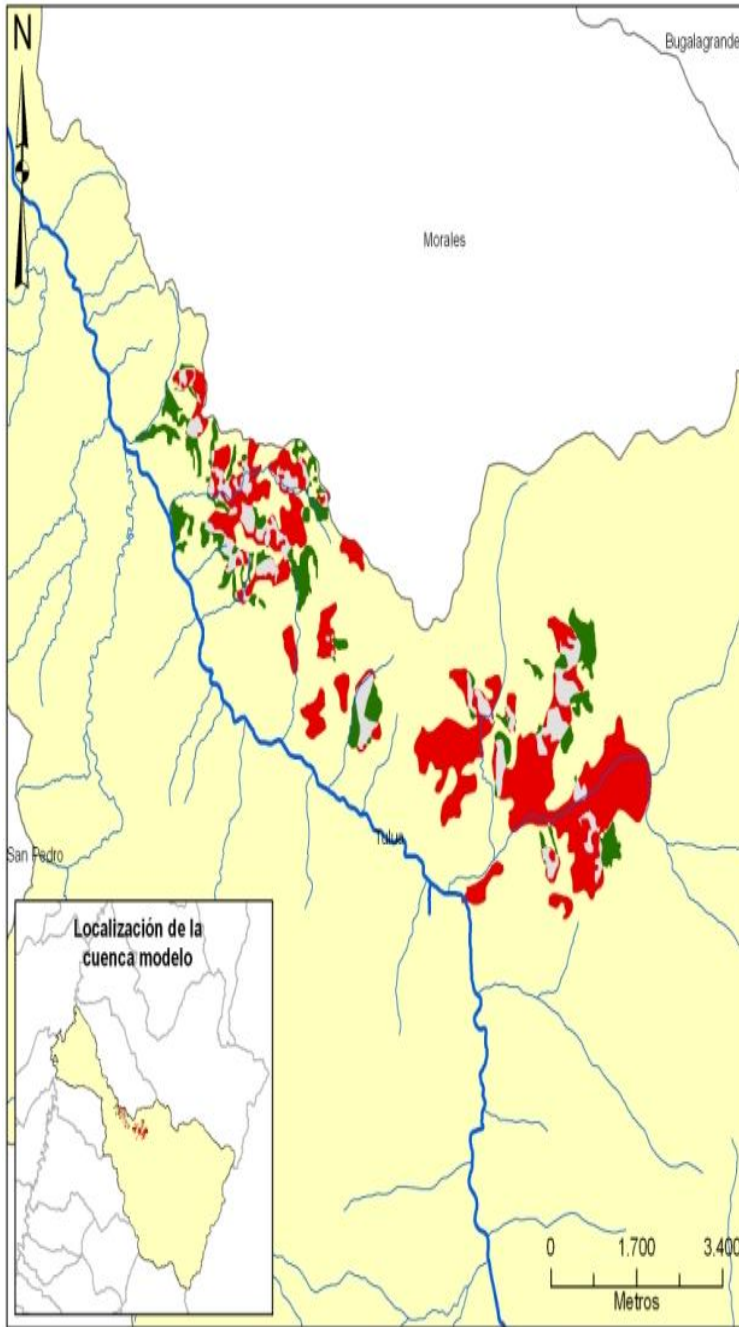
YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. (2002). Power if the Mann-Kendall and Spearman's rho test for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of hydrology 259, 254-271.

ZHAN, X.; DEFRIES, R. ; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELI, C.; HANSEN, M.; HUANG, C.; SOHLBERG, R. (2000). The 250m global land cover change product from the moderate Resolution Imaging Spectroradiometer of NASA's Earth Observing System. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6), 1433-1460.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis de cambios en los usos del suelo de la cuenca del río Tuluá entre los años 1996 y 2006





PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

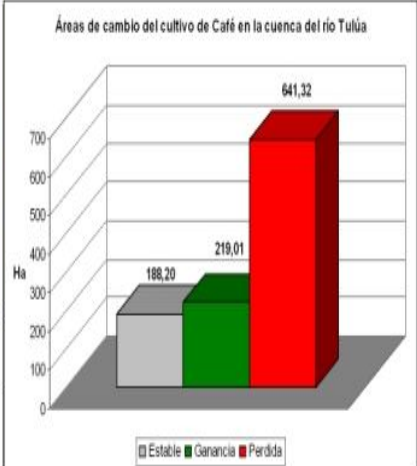
Universidad del Valle
EIDENAR
Grupo IREHISA

Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos

Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	7 de octubre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio del Cultivo de Café en la cuenca del río Tulúa Periodo 1996 a 2006

LEYENDA

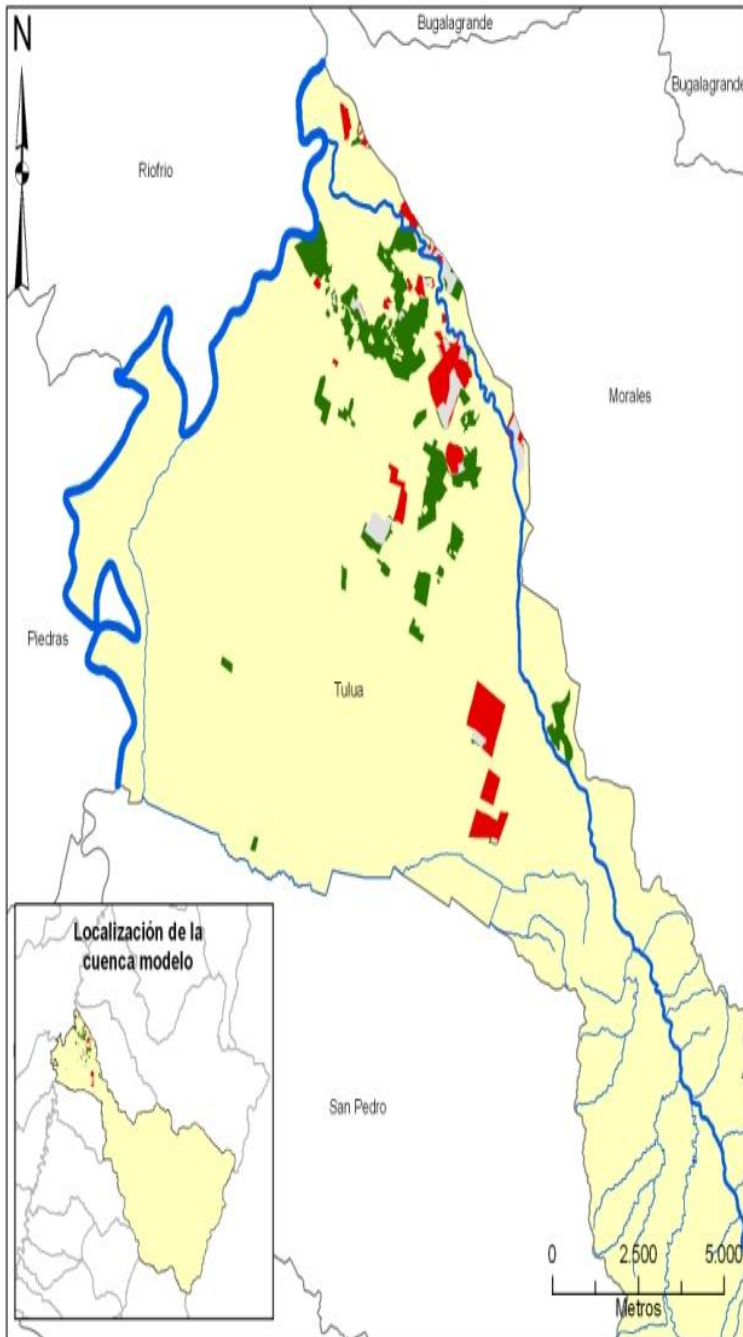
Área Estable	Río Tulúa
Área de Ganancia	Red Hídrica
Área de Perdida	Limite cuenca
Subcuencas	



Fuente de información y cartográfica:
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Grupo de Cartografía

Área de Cultivo de Café

Área 1996 = 829.52 Ha
Área 2006 = 407.21 Ha



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA



Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos



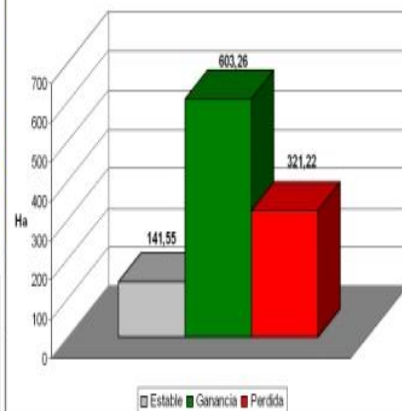
EIDENAR
Grupo IREHISA

Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	7 de octubre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio del Cultivo de Maíz en la cuenca del río Tulúa Periodo 1996 a 2006

LEYENDA

- Área Estable
- Área de Ganancia
- Área de Perdida
- Subcuencas
- Río Cauca
- Río Tulúa
- Red Hídrica
- Limite cuenca

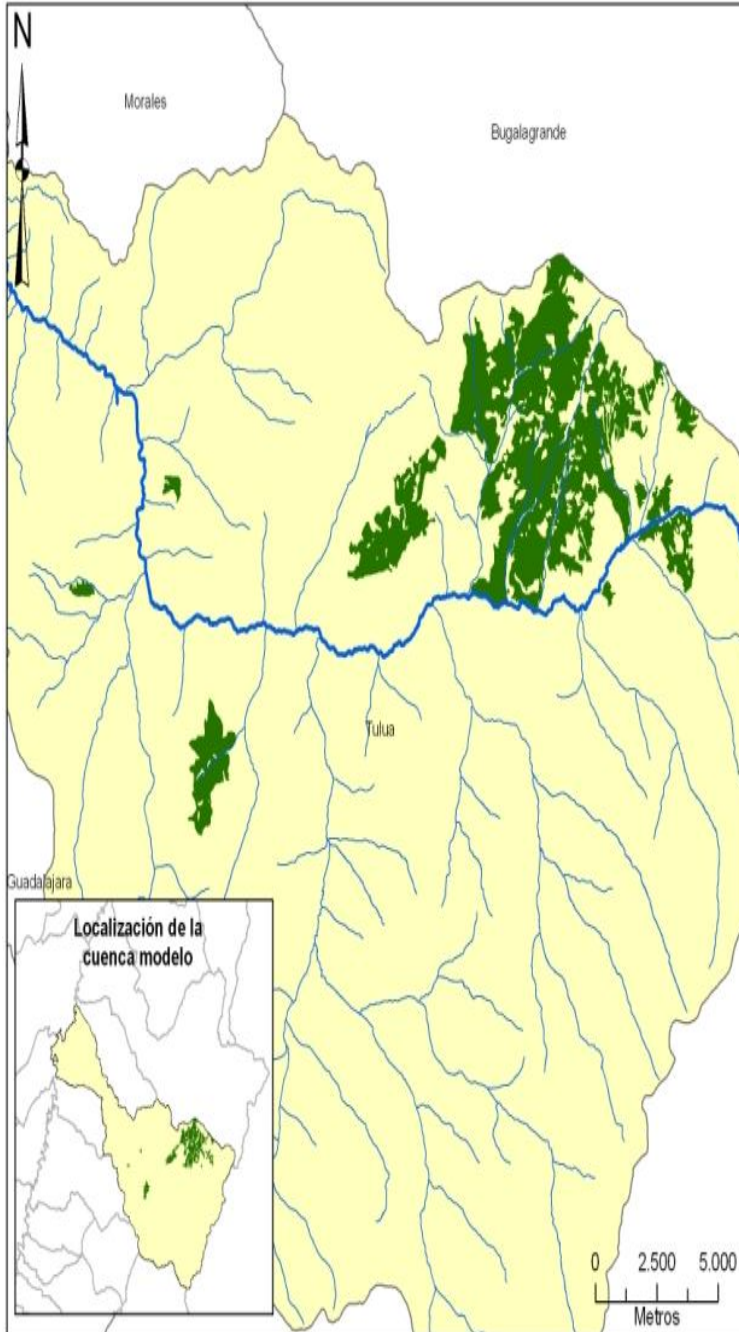
Áreas de cambio del cultivo de Maíz en la cuenca del río Tulúa



Fuente de información y cartográfica:
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Grupo de Cartografía

Área de Cultivo de Maíz

Área 1996 = 462.77 Ha
Área 2006 = 744.82 Ha



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA



Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos



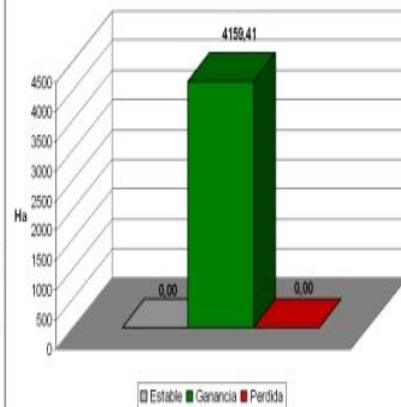
EIDENAR
Grupo IREHISA

Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	7 de octubre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio del Cultivo de la Papa en la cuenca del río Tuluá Periodo 1996 a 2006

LEYENDA

- Área de Ganancia
- Límite cuenca
- Subcuencas
- Río Tuluá
- Red Hídrica

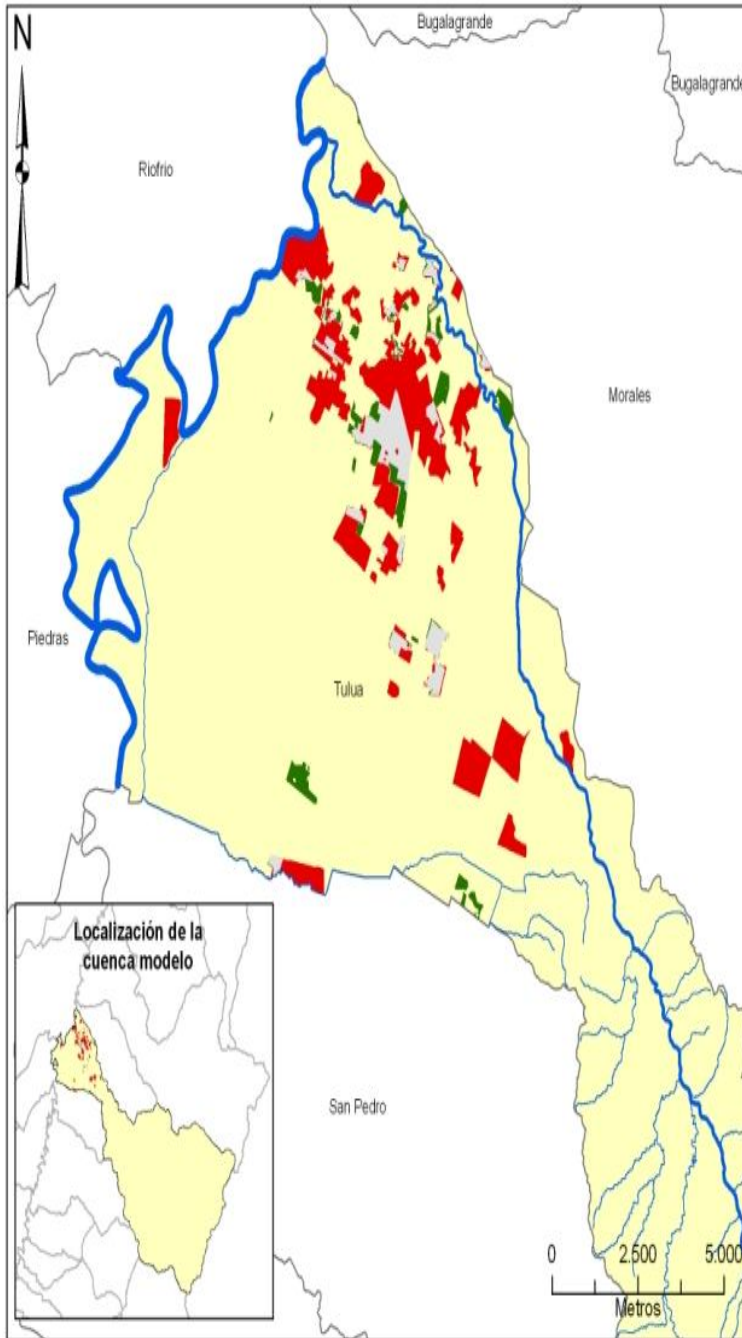
Áreas de cambio del cultivo de la Papa en la cuenca del río Tuluá



Fuente de información y cartográfica:
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Grupo de Cartografía

Área de Cultivo de Papa

Área 1996 = 0.0 Ha
Área 2006 = 4159.41 Ha



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA



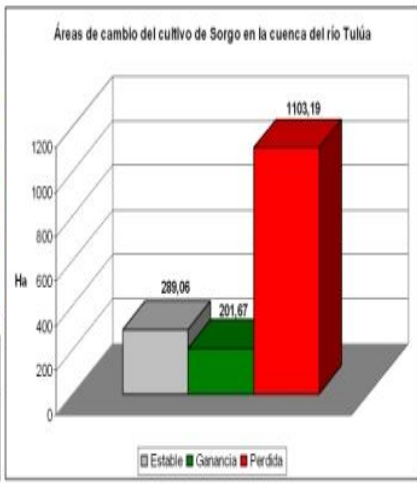

Dirección Técnica Ambiental
 Grupo de Recursos Hídricos

EIDENAR
 Grupo IREHISA

Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	7 de octubre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio del Cultivo de Sorgo en la cuenca del río Tulúa Periodo 1996 a 2006

LEYENDA

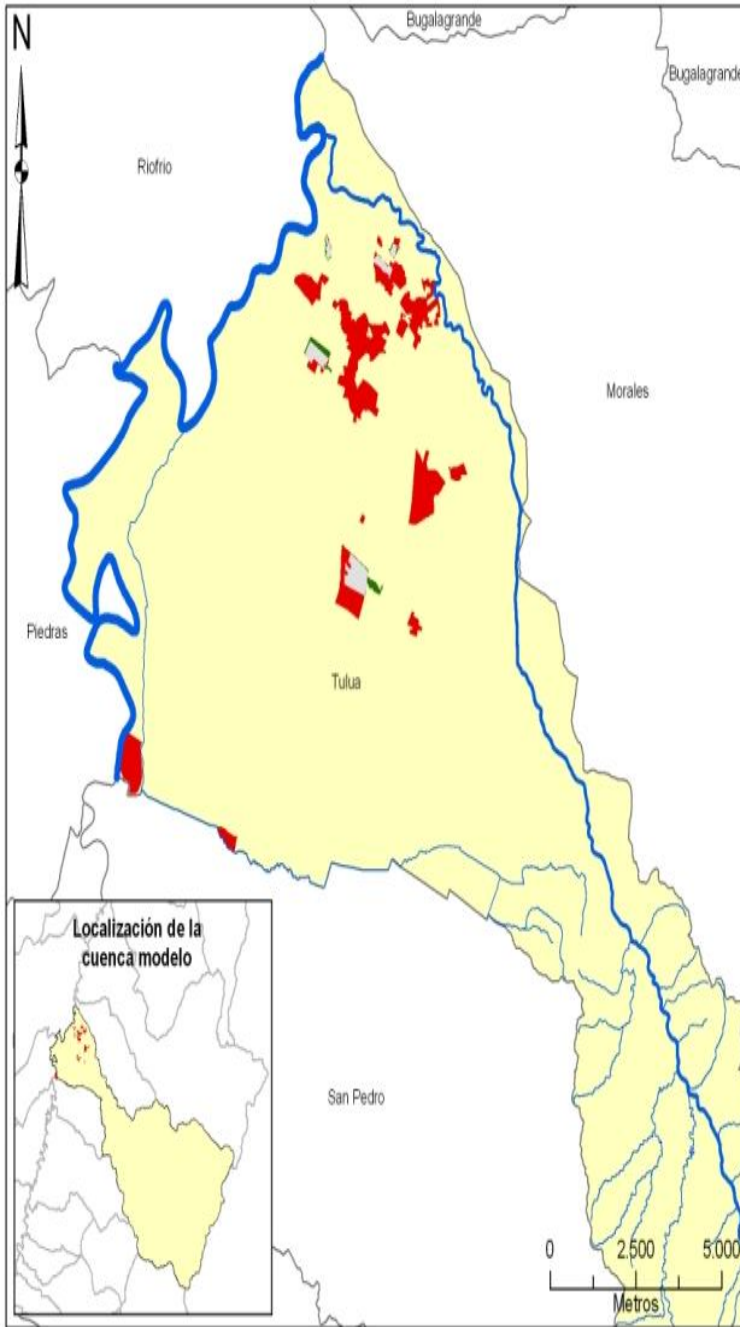
- Área Estable
- Área de Ganancia
- Área de Perdida
- Subcuencas
- Limite cuenca
- Río Cauca
- Río Tulúa
- Red Hídrica



Fuente de información y cartográfica:
 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
 Grupo de Cartografía

Área de Cultivo de Sorgo

Área 1996 = 1392.26 Ha
 Área 2006 = 490.73 Ha



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA

CVC
 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

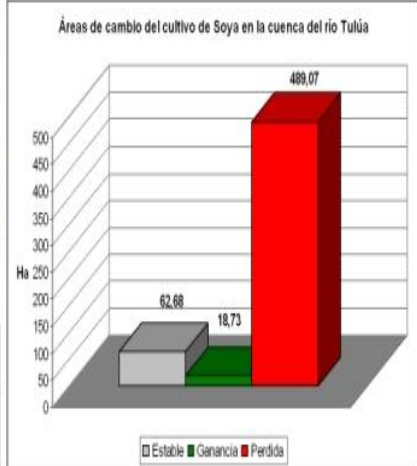
Universidad del Valle
 EIDENAR
 Grupo IREHISA

Dirección Técnica Ambiental
 Grupo de Recursos Hídricos

Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	7 de octubre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio del Cultivo de Soya en la cuenca del río Tuluá Periodo 1996 a 2006

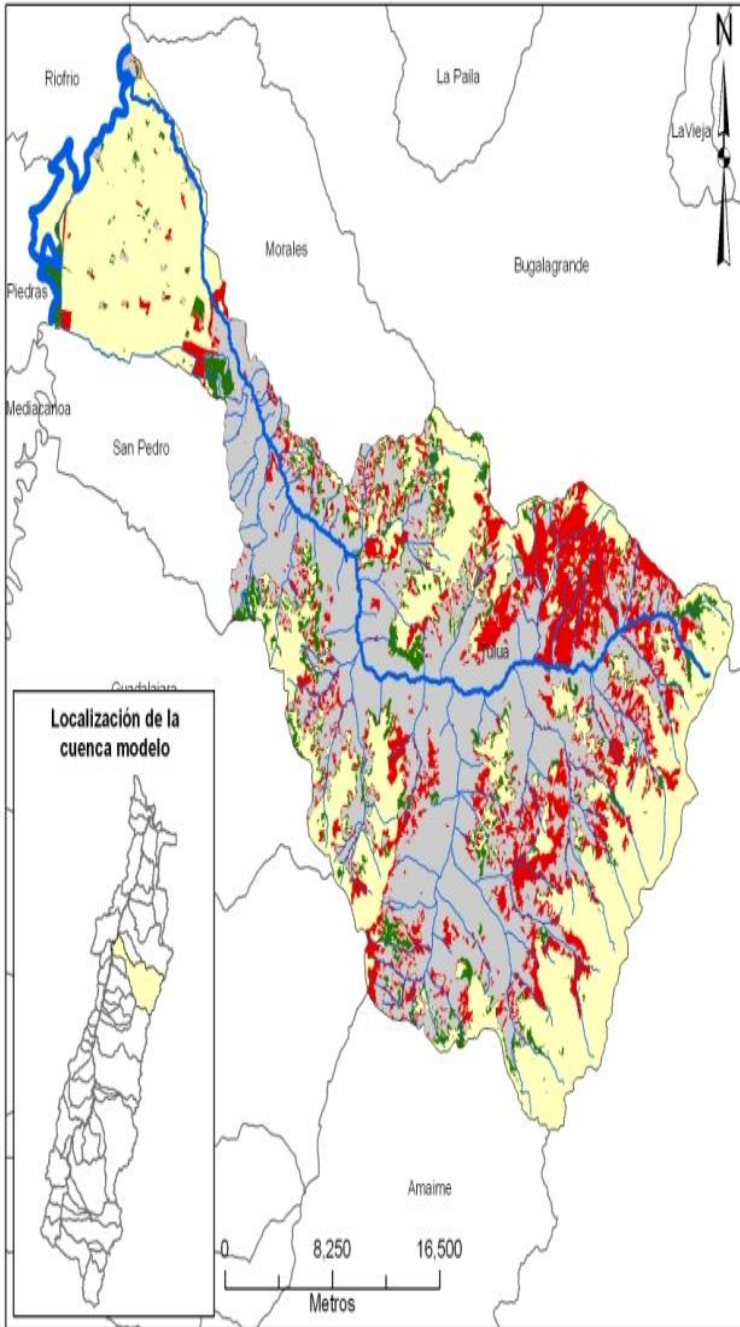
LEYENDA

Área Estable	Río Cauca
Área de Ganancia	Río Tuluá
Área de Perdida	Red Hídrica
Subcuencas	Limite cuenca



Fuente de información y cartográfica:
 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
 Grupo de Cartografía

Área de Cultivo de Soya
 Área 1996 = 551.76 Ha
 Área 2006 = 81.41 Ha



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

Universidad del Valle

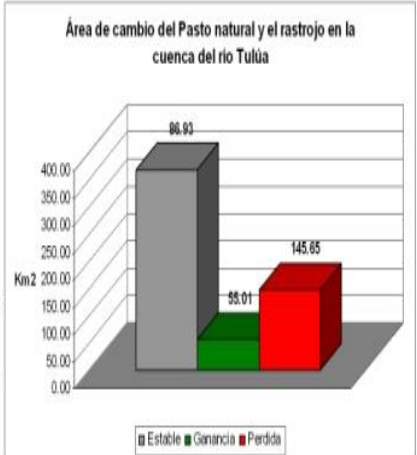
Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos

EIDENAR
Grupo IREHISA

Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	4 de Septiembre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio del Pasto natural y el rastrojo en la cuenca del río Tuluá Periodo 1996 a 2006

LEYENDA

- Área estable
- Área de Ganancia
- Área de Perdida
- Subcuencas
- Río Cauca
- Río Tuluá
- Red Hídrica
- Limite cuenca

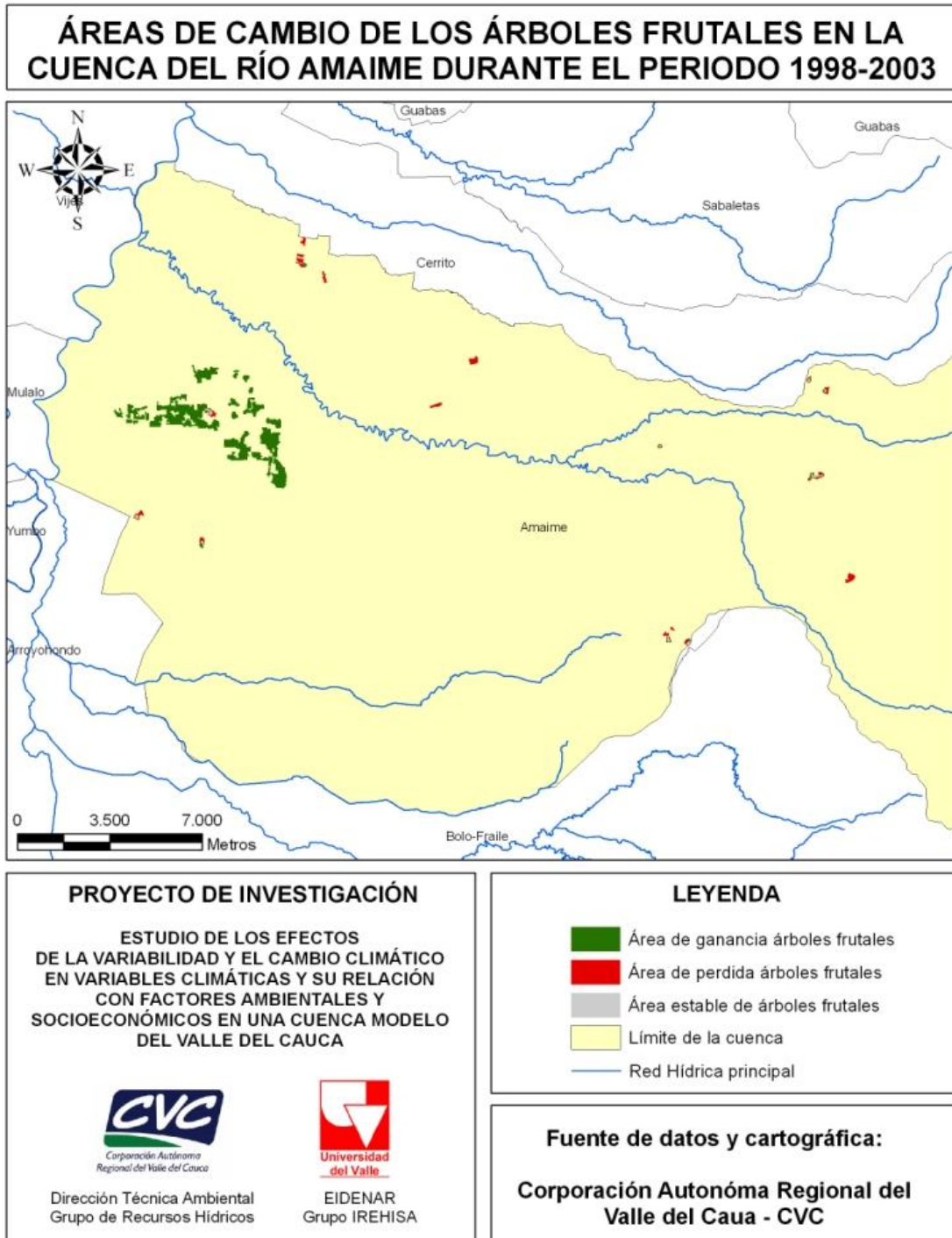


Fuente de información y cartográfica:
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Grupo de Cartografía

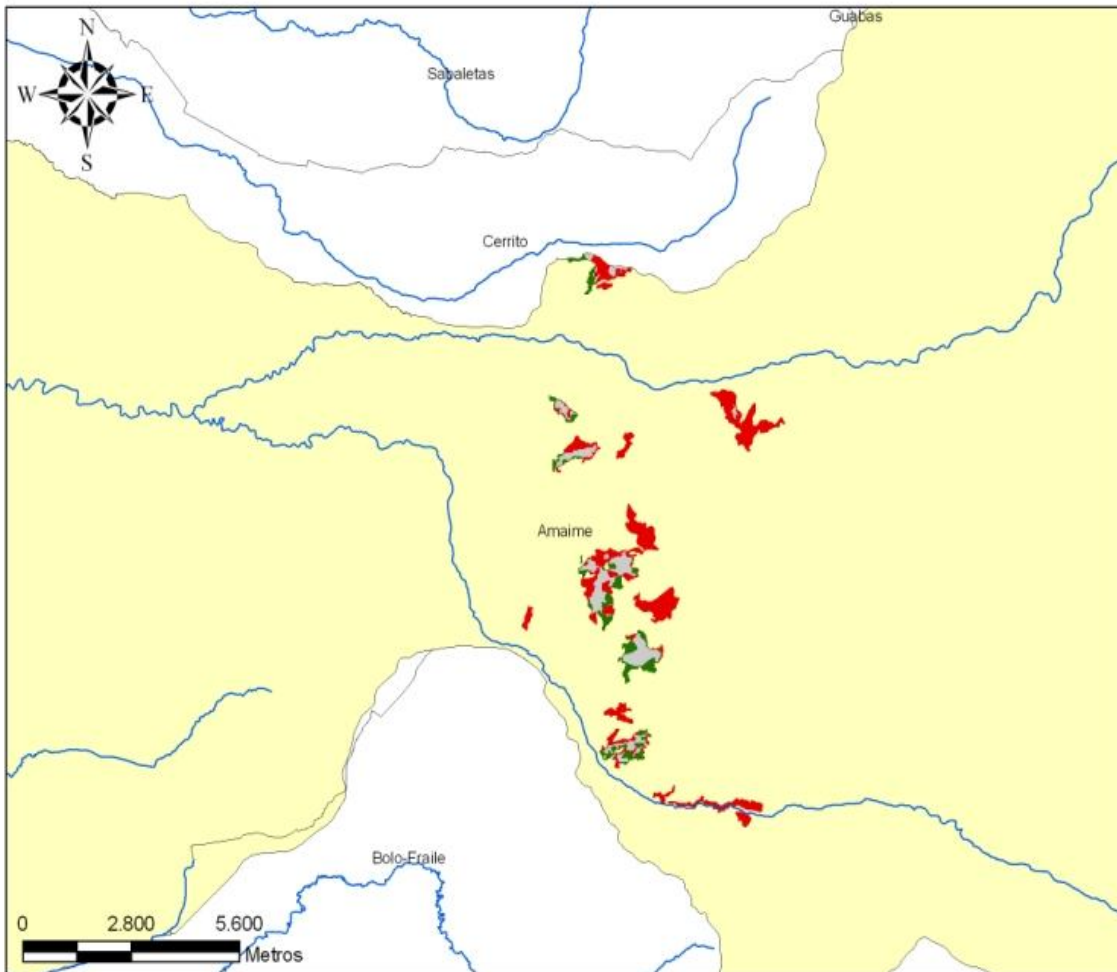
Área Pasto natural y rastrojo

Área 1996 = 511.44 Km2
Área 2006 = 420.80 Km2

Anexo 2. Cartografía de cambios en el uso del suelo en la cuenca del río Amaime 1998-2003



ÁREAS DE CAMBIO DEL CULTIVO DE CAFÉ EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME DURANTE EL PERIODO 1998-2003



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA



Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos



EIDENAR
Grupo IREHISA

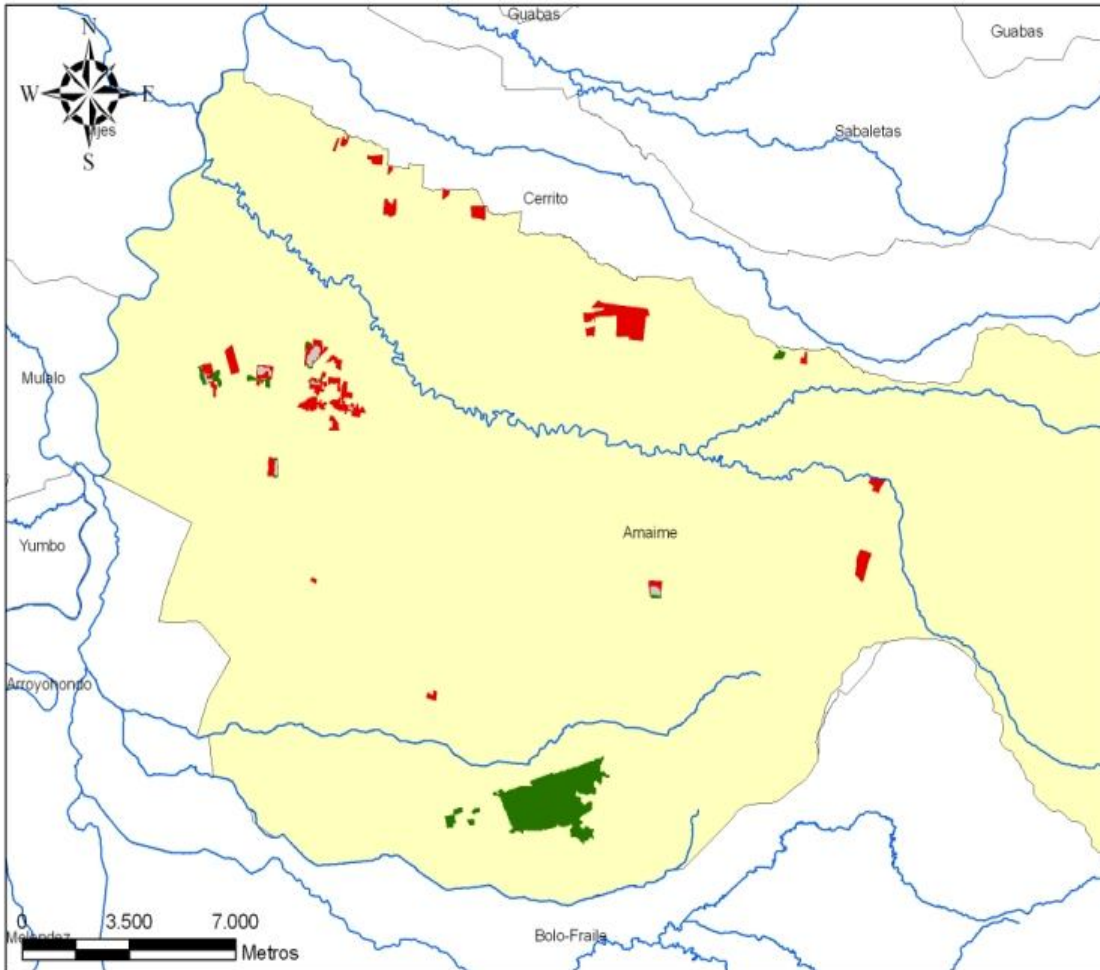
LEYENDA

- Área de ganancia del Café
- Área de pérdida del Café
- Área estable del Café
- Límite de la cuenca
- Red Hídrica principal

Fuente de datos y cartográfica:

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC

ÁREAS DE CAMBIO DEL CULTIVO DE MAÍZ EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME DURANTE EL PERIODO 1998-2003



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS
DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO
EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN
CON FACTORES AMBIENTALES Y
SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO
DEL VALLE DEL CAUCA



Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos



EIDENAR
Grupo IREHISA

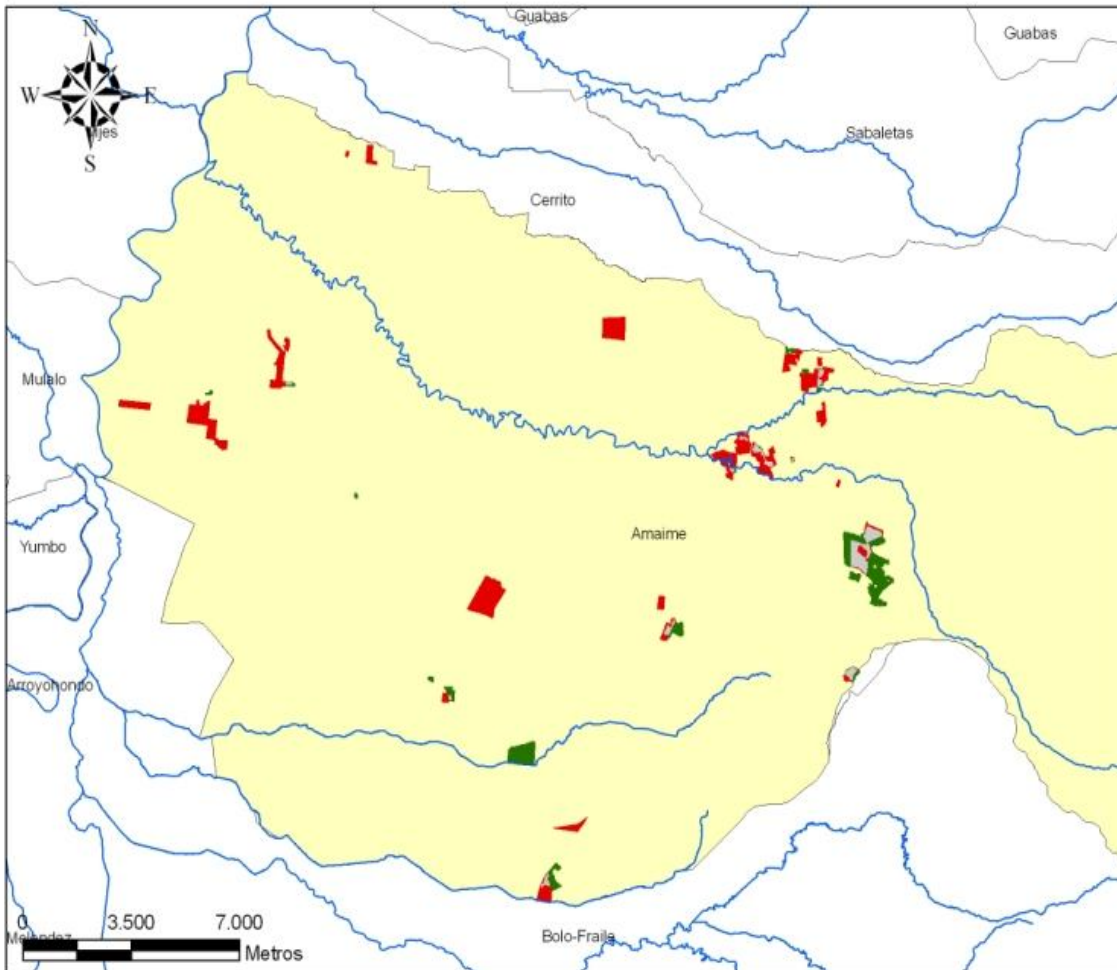
LEYENDA

- Área de ganancia de maíz
- Área de pérdida de maíz
- Área estable de maíz
- Límite de la cuenca
- Red Hídrica principal

Fuente de datos y cartográfica:

**Corporación Autónoma Regional del
Valle del Cauca - CVC**

ÁREAS DE CAMBIO DEL CULTIVO DE SORGO EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME DURANTE EL PERIODO 1998-2003



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA



Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos



EIDENAR
Grupo IREHISA

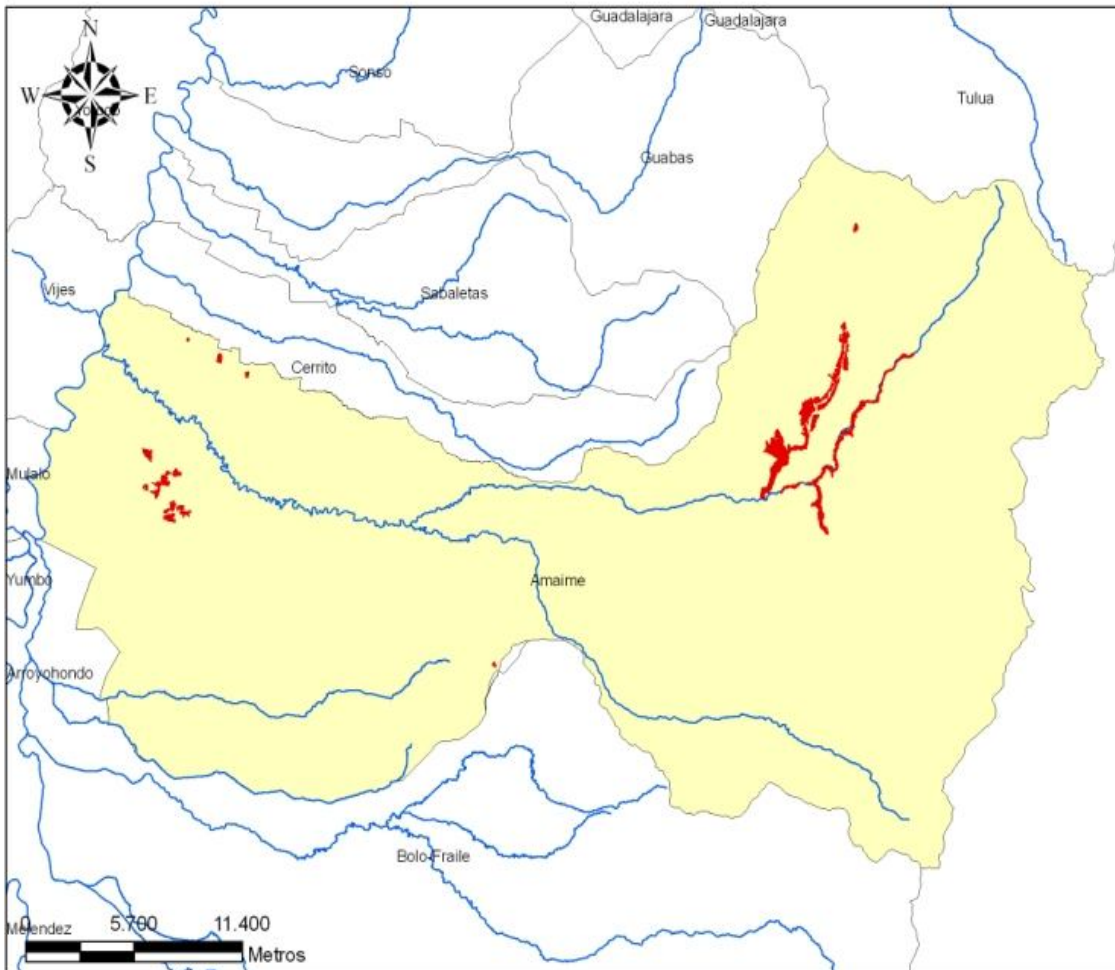
LEYENDA

- Área de ganancia de sorgo
- Área de pérdida de sorgo
- Área estable de sorgo
- Límite de la cuenca
- Red Hídrica principal

Fuente de datos y cartográfica:

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC

ÁREAS DE CAMBIO DEL CULTIVO DE HORTALIZAS EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME DURANTE EL PERIODO 1998-2003



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS
DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO
EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN
CON FACTORES AMBIENTALES Y
SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO
DEL VALLE DEL CAUCA



Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos



EIDENAR
Grupo IREHISA

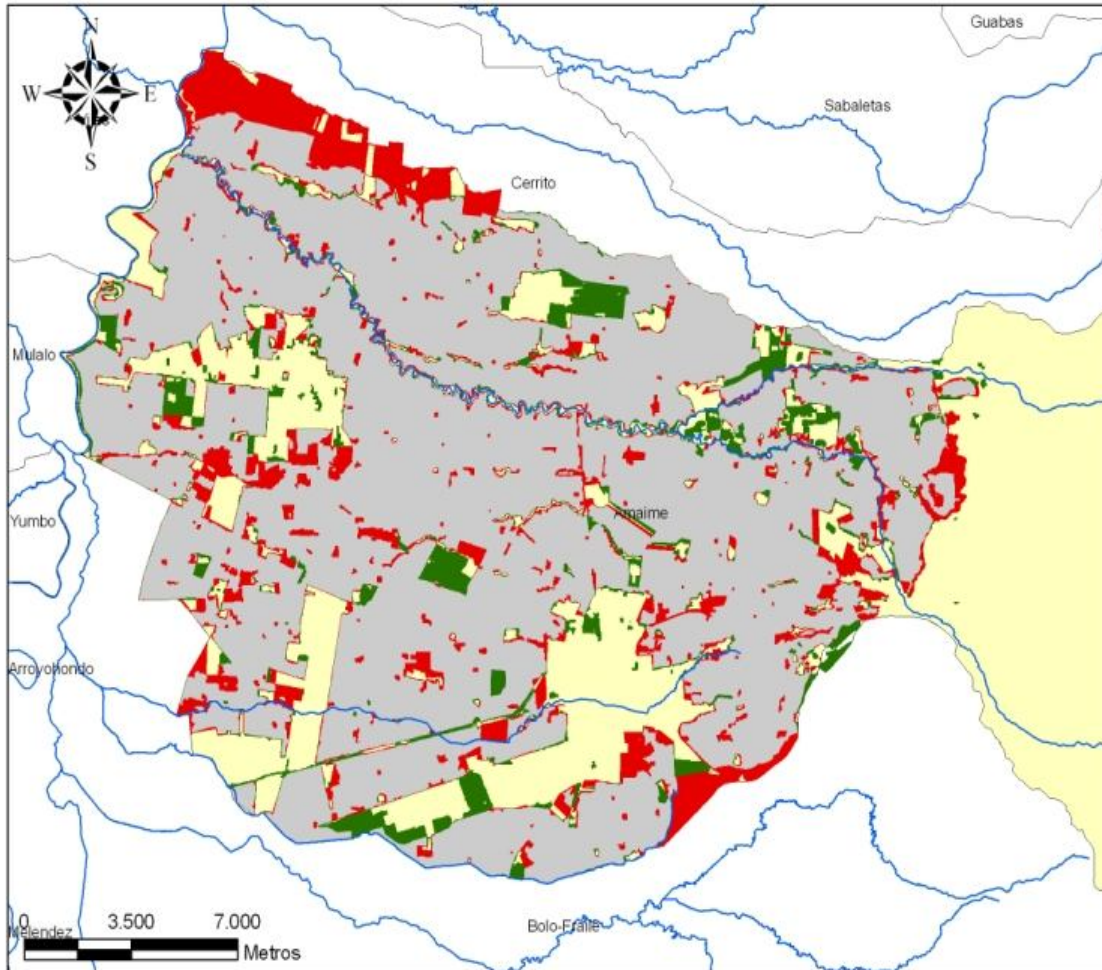
LEYENDA

- Área de pérdida de hortalizas
- Límite de la cuenca
- Red Hídrica principal

Fuente de datos y cartográfica:

**Corporación Autónoma Regional del
Valle del Cauca - CVC**

ÁREAS DE CAMBIO DEL CULTIVO DE LA CAÑA EN LA CUENCA DEL RÍO AMAIME DURANTE EL PERIODO 1998-2003



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA



Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos



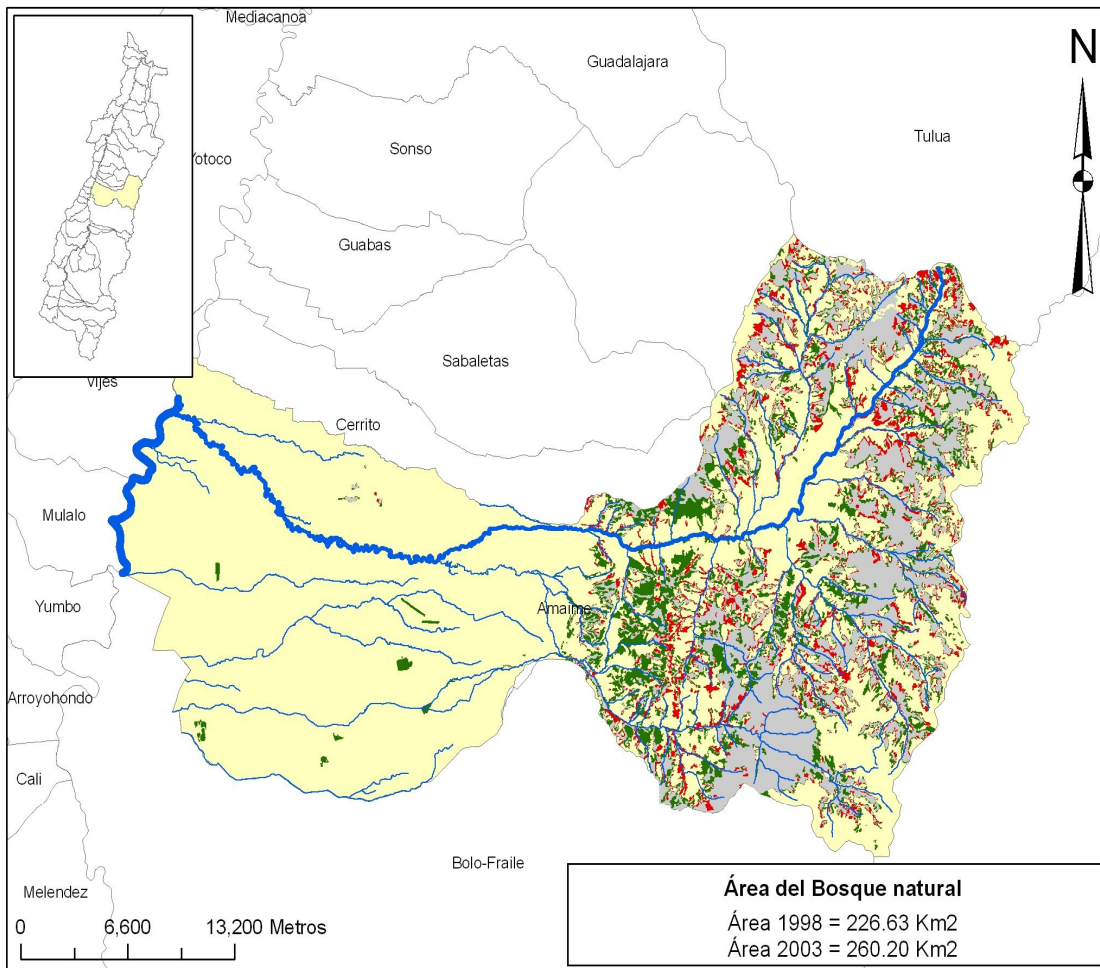
EIDENAR
Grupo IREHISA

LEYENDA

- Área de ganancia de caña
- Área de pérdida de caña
- Área estable de caña
- Límite de la cuenca
- Red Hídrica principal

Fuente de datos y cartográfica:

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA

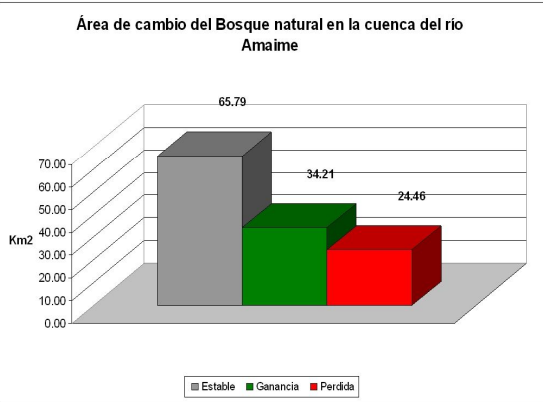
Dirección Técnica Ambiental
 Grupo de Recursos Hídricos

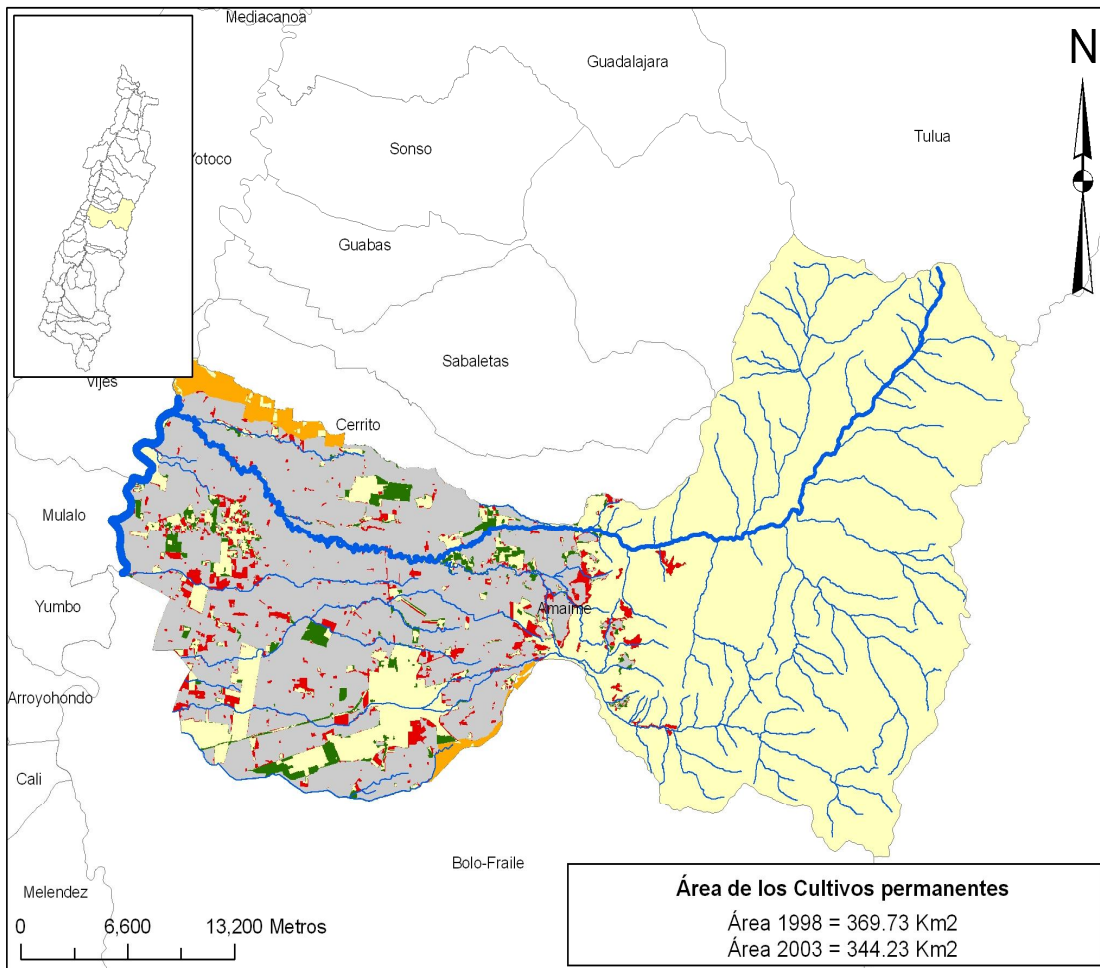
EIDENAR
 Grupo IREHISA



Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	10 de Septiembre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio del Bosque natural en la cuenca del río Amaime Periodo 1998 a 2003

Fuente de información y cartográfica:
 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
 Grupo de Cartografía





PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

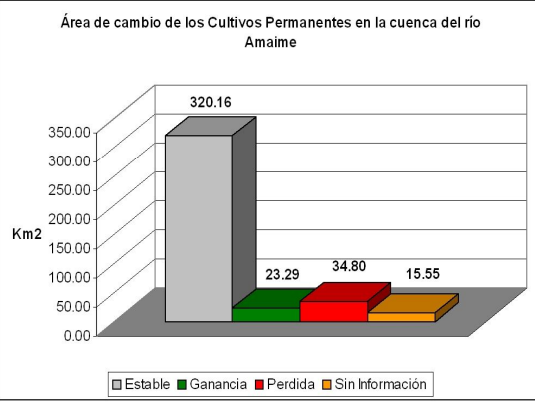
ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA

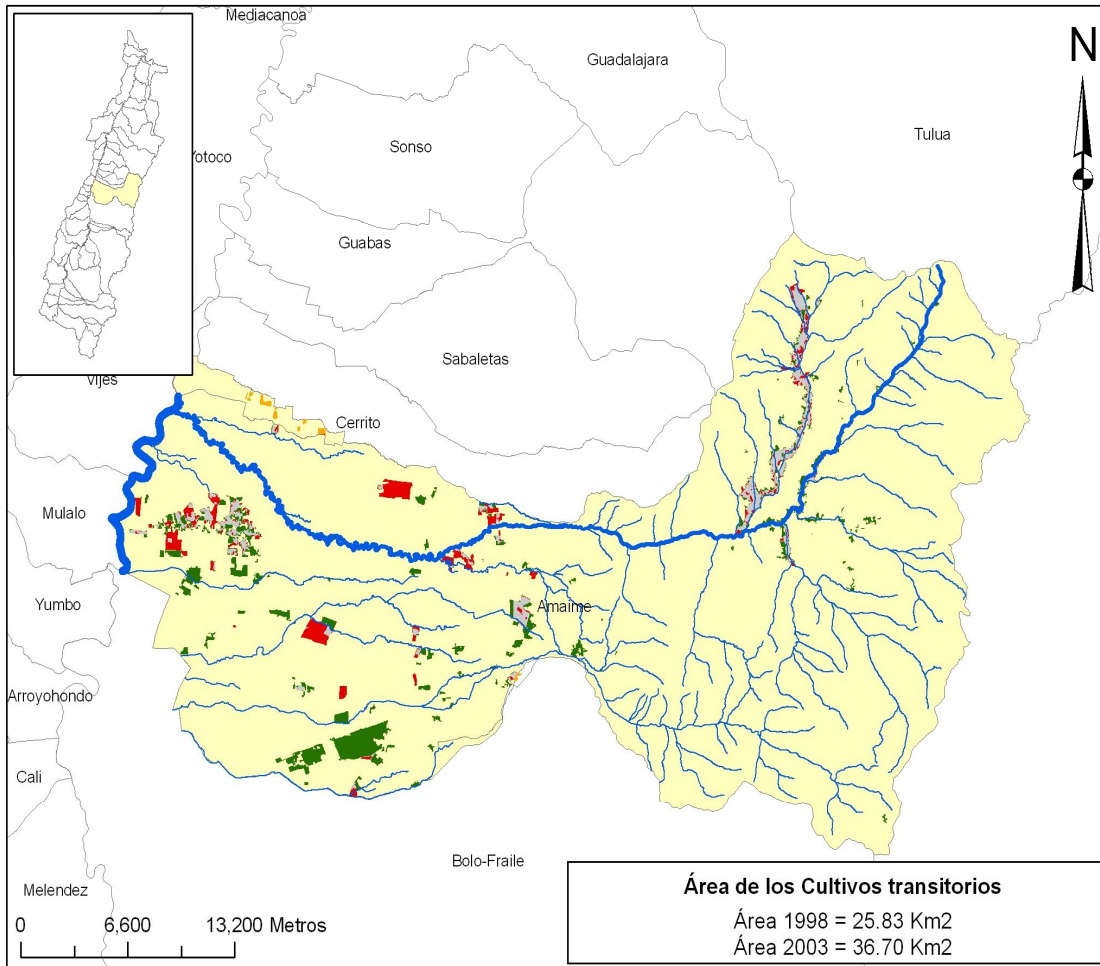
Dirección Técnica Ambiental
 Grupo de Recursos Hídricos

EIDENAR
 Grupo IREHISA

Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	10 de Septiembre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio de los Cultivos permanentes en la cuenca del río Amaime Periodo 1998 a 2003

Fuente de información y cartográfica:
 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
 Grupo de Cartografía





PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA

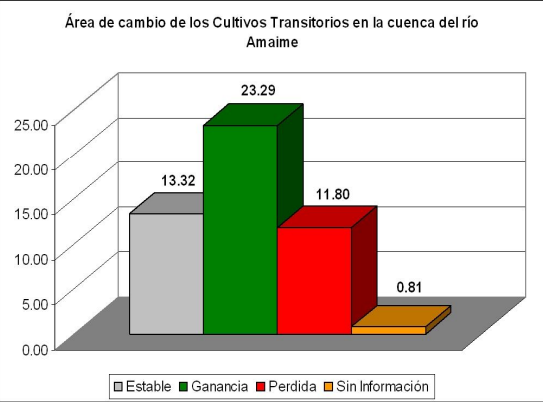
Dirección Técnica Ambiental
 Grupo de Recursos Hídricos

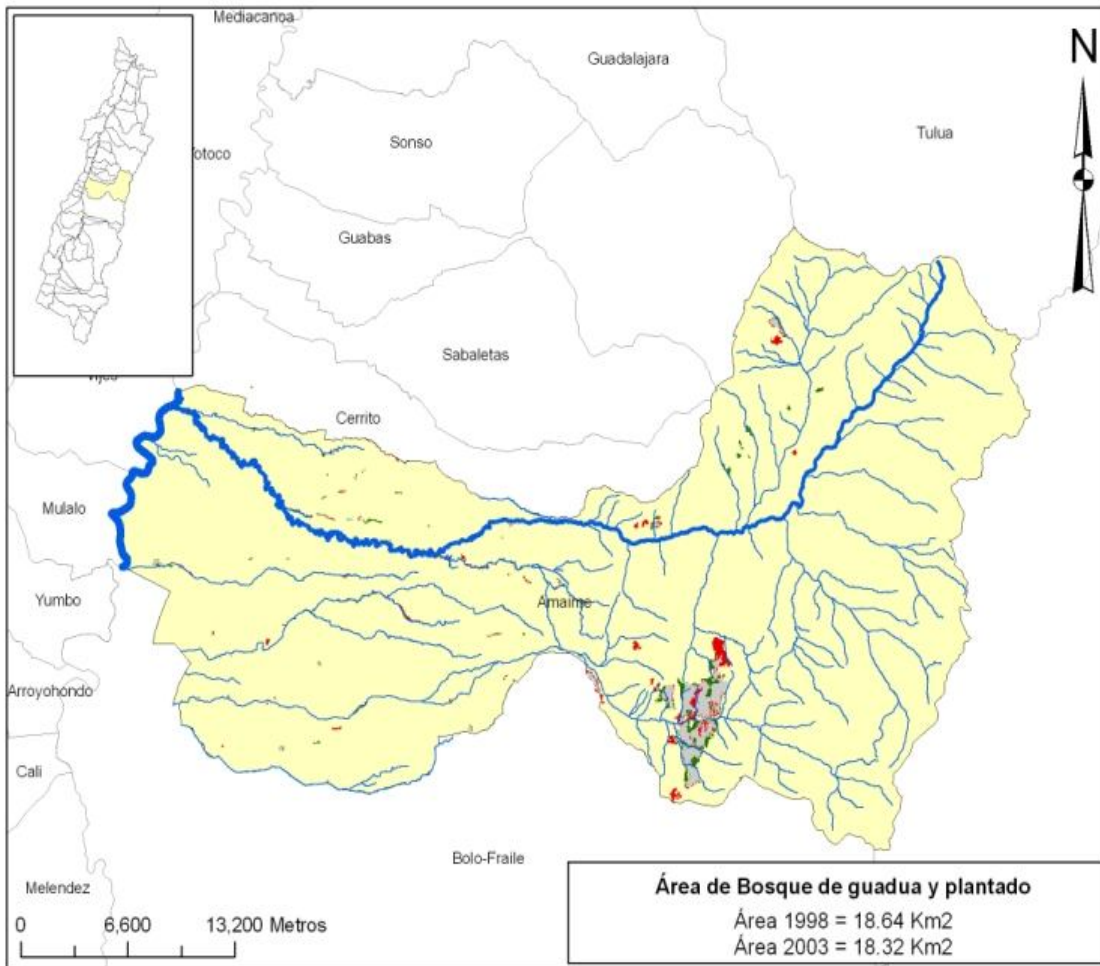
EIDENAR
 Grupo IREHISA



Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	10 de Septiembre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio de los Cultivos transitorios en la cuenca del río Amaime Periodo 1998 a 2003

Fuente de información y cartográfica:
 Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
 Grupo de Cartografía





PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

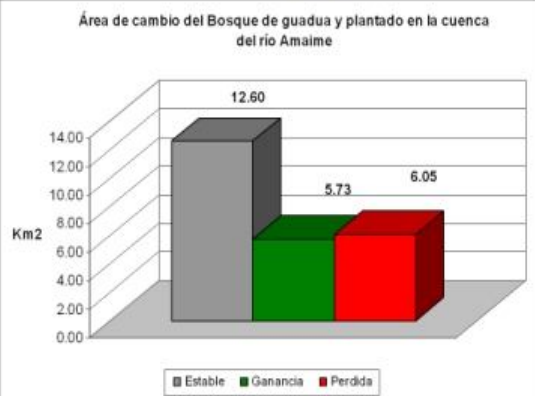
ESTUDIO DE LOS EFECTOS DE LA VARIABILIDAD Y EL CAMBIO CLIMÁTICO EN VARIABLES CLIMÁTICAS Y SU RELACIÓN CON FACTORES AMBIENTALES Y SOCIOECONÓMICOS EN UNA CUENCA MODELO DEL VALLE DEL CAUCA

Dirección Técnica Ambiental
Grupo de Recursos Hídricos

EIDENAR
Grupo IREHISA



Elaboración	Grupo IREHISA
Fecha	10 de Septiembre de 2008
Nombre del mapa	Área de cambio del Bosque de guadua y plantado en la cuenca del río Amaime Periodo 1998 a 2003



Fuente de información y cartográfica:
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Grupo de Cartografía

**Anexo 3. Listado de estaciones de precipitación, temperatura y días lluvia
empleadas para el análisis en las cuencas de los ríos Cauca, Tuluá y
Amame - estaciones pluviométricas clasificadas en grupos homogéneos y
Descriptivos de las estaciones de estudio**

ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN TOTAL RÍO CAUCA				
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
Acuetuluá	1.260,2	1029	941184	1099677
Aguacatal	1.145,0	1825	876636	1051588
Alcalá	1.988,1	1227	1009454	1143985
Alegrías	1.546,8	2171	943073	1134844
Angosturas	1.496,3	1290	931966	1097836
Auji	905,3	1796	893269	1108987
Austria	2.085,5	1819	889583	1108991
Bellavista	1.460,2	3679	893282	1120099
Boloblanco	1.419,9	3660	871154	1112715
Brasilia	1.430,3	2020	872949	1049738
Buenavista	1.216,0	1637	986248	1101997
Buenos aires	1.488,4	1568	916461	1071908
Bugalagrande	1.298,7	939	957775	1101508
Cajones	1.484,4	3947	849035	1112738
Cañaveralejo	1.518,3	1069	868994	1055454
Caseteja	1.321,4	3616	876684	1112709
Chambú	1.544,7	1231	876667	1096039
Ciat Quilichao	1.754,5	994	831411	1064188
Coconuco	1.706,6	3643	749475	1072034
Col. san Juan	1.135,8	990	872955	1060850
Col. San Luis	1.114,4	1306	874797	1058997
Corinto	1.628,7	1048	843485	1090510
Cristales	1.561,6	1260	871109	1055295
Cruces	1.606,8	1008	1005741	1129194
Dapa	1.253,4	1723	885455	1058155
Dos quebradas	1.792,2	1910	924595	1099695
El aguacate	1.323,1	1142	978049	1099634
El águila	2.509,0	2297	812143	1077561
El alcázar	1.656,0	991	968854	1116299

ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN TOTAL RÍO CAUCA				
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
El caney	1.567,4	1627	924569	1071926
El castillo	1.795,3	1345	896944	1097872
El diluvio	2.203,8	2339	920912	1103401
El Granario	2.536,3	1419	1035214	1116201
El lucero	1.228,9	1007	990964	1108868
El orégano	1.109,1	1390	984030	1100251
El oso	1.410,2	1203	998337	1108858
El palacio	1.663,8	974	856367	1060860
El paraíso	1.542,6	1310	895101	1097873
El placer	1.538,6	1581	943045	1114482
El porvenir	1.084,3	1063	891409	1092321
El retiro	1.548,9	1672	977920	1093437
El tambo	2.078,2	1691	760519	1029391
El topacio	2.833,3	1930	858204	1047892
El trapiche	1.676,7	1770	825053	1090524
El Vesubio	1.402,1	959	1002026	1110702
Florida	1.433,3	1056	858234	1094203
Galicia	1.605,0	1091	954102	1112617
Garzonero	1.269,1	931	935639	1084874
Guacarí	1.031,9	976	907990	1083048
Herradura	1.017,9	1066	968830	1097795
Ing. la quinta	1.026,6	979	869282	1081227
Ing. manuelita	1.110,8	1034	885877	1088622
Ing. pichichi	984,0	1027	909838	1088601
Irlanda	2.341,1	1493	954117	1123722
Jambaló	1.330,4	2222	799244	1083129
La argentina	2.979,2	2507	860046	1046039
La balsa	2.131,8	984	834247	1053460
La calera	1.649,2	3541	845341	1105330
La camelia	1.928,2	1243	968890	1140356
La ceja	1.143,1	2618	902496	1118236
La despensa	917,0	1393	990956	1103318
La diana	1.372,0	1760	860082	1099759
La fonda	1.967,8	1541	865578	1053445
La gitana	1.888,4	2884	926462	1120057
La magdalena	1.492,5	1914	919065	1099701
La Patagonia	2.411,5	2113	915375	1096001

ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN TOTAL RÍO CAUCA				
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
La primavera	1.810,3	1590	924593	1097843
La quiebra	1.259,4	1495	1003886	1106827
La selva	1.724,9	2227	904321	1101568
La soledad	1.878,9	3015	867464	1109014
La teresita	1.792,6	2113	872947	1046033
Las brisas	1.995,0	1430	867422	1053445
Lloreda	968,1	947	880329	1064550
Los Alpes	1.928,3	3920	852718	1109029
Mandiva	2.054,8	1131	818030	1060634
Miravalles	1.660,8	1355	990994	1129218
Monte loro	1.363,7	2025	930142	1114499
Montebello	1.219,8	1950	879496	1054652
Montecristo	1.322,3	1363	980245	1098324
Pardo	1.611,9	1529	941199	1112634
Patio bonito	1.346,7	2075	998327	1101459
Penamona	3.273,4	2055	850829	1040485
Peñas blancas	2.066,4	2224	869261	1046035
Piendamó	1.967,0	1806	782645	1060896
Planta Nima	1.567,9	1236	884040	1096032
Planta río Cali	1.361,6	1068	871094	1003436
Planta río cauca	1.056,1	950	872957	1064555
Pto frazadas	1.878,2	1850	939365	1120040
Pto molina	1.480,0	906	1002034	1116252
Qda nueva	1.588,6	1116	978084	1125538
Riofrio	1.309,3	1170	952226	1083008
Sabanazo	1.137,6	1822	996486	1103311
San Antonio	2.842,0	1699	847145	1046044
San Emigdio	1.582,3	1306	884042	1097884
San pablo	1.553,4	1775	880322	1051586
San Vicente	2.789,7	1445	852675	1049747
Santa Inés	1.194,2	1669	892656	1058935
Tenerife	1.159,4	2674	904331	1110826
Tenjo	1.956,8	1928	880359	1101592
Tesorito	1.215,6	3853	825070	1110908
Tominio	1.763,5	2661	830589	1097931
Toribio	1.422,8	1938	817681	1090529
Venus	2.285,7	1575	941197	1110783

ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN TOTAL RÍO CAUCA				
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
Vijes	936,4	951	900761	1071963
Villacolombia	2.759,1	1556	843457	1042340
Villamaría	1.136,9	1693	902960	1066431
Yanaconas	1.679,5	1669	871108	1053443
Zaragoza	1.377,5	904	1013112	1127332

ESTACIONES DE TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE CUENCA DEL RÍO CAUCA				
ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
Acuetuluá	24,8	1029	941184	1099677
Apto Bonilla	23,8	968	884024	1077512
Barragán	11,6	2903	937540	1133001
Bosque Yotoco	19,0	1590	920360	1071253
C. Admon Unión	24,5	912	992809	1110715
Ciat Palmira	24,3	981	878501	1084924
Ciat Quilichao	23,8	994	831411	1064188
Cumbarco	19,1	1793	955986	1140377
El Topacio	19,3	1930	858204	1047892
Garzonero	24,3	931	935639	1084874
Granja Exp ICA	23,5	981	878501	1084924
Hda San Marcos	23,2	1006	961480	1116309
Ing. Manuelita	23,8	1034	885877	1088622
Ing. Bengala	24,0	966	852689	1073829
Ing. Central Castilla	25,3	1004	861915	1088642
Ing. Del Cauca	24,1	998	854540	1084943
Ing. Providencia	23,3	1029	891406	1088617
Japio	23,6	1165	825039	1068288
La Sirena	13,2	3596	880364	1107148
La Teresita	16,5	2113	872947	1046033
Miranda	23,4	1077	850861	1094209
Paletara	11,7	3086	731042	1066479
Tenerife	13,0	2674	904331	1110826
Univalle	24,6	977	863739	1060856

ESTACIONES DE DÍAS LLUVIA CUENCA DEL RÍO CAUCA				
ESTACIÓN	DÍAS LLUVIA PROM. ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
Aguacatal	132	1825	876636	1051588
Aguacate	116	1142	978049	1099634
Alegrías	146	2171	943073	1134844
Auji	101	1796	893269	1108987
Austria	132	1819	889583	1108991
Bellavista	148	3679	893282	1120099
Boloblanco	159	3660	871154	1112715
Brasilia	154	2020	872949	1049738
Buenavista	112	1637	986248	1101997
Buenos Aires	123	1568	916461	1071908
Bugalagrande	99	939	957775	1101508
Cruces	108	1008	1005741	1129194
Dapa	119	1723	885455	1058155
Dos quebradas	175	1910	924595	1099695
El águila	151	2297	812143	1077561
El alcázar	97	991	968854	1116299
El caney	127	1627	924569	1071926
El Castillo	117	1345	896944	1097872
El diluvio	188	2339	920912	1103401
El espejo	77			
El Granario	189	1419	1035214	1116201
El lucero	81	1007	990964	1108868
El orégano	115	1390	984030	1100251
El oso	105	1203	998337	1108858
El palacio	106	974	856367	1060860
El porvenir	120	1063	891409	1092321
El retiro	140	1672	977920	1093437
El trapiche	142	1770	825053	1090524
El Vesubio	104	959	1002026	1110702
Ing. La quinta	57	979	869282	1081227
Jambaló	122	2222	799244	1083129
La despensa	70	1393	990956	1103318
La Argentina	177	2507	860046	1046039
La balsa	135	984	834247	1053460
La calera	137	3541	845341	1105330
La ceja	149	2618	902496	1118236

ESTACIONES DE DÍAS LLUVIA CUENCA DEL RÍO CAUCA				
ESTACIÓN	DÍAS LLUVIA PROM. ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
La fonda	146	1541	865578	1053445
La gitana	188	2884	926462	1120057
La herradura	85	1066	968830	1097795
La Patagonia	197	2113	915375	1096001
La primavera	180	1590	924593	1097843
La quiebra	127	1495	1003886	1106827
La selva	147	2227	904321	1101568
La soledad	152	3015	867464	1109014
Las brisas	128	1430	867422	1053445
Las peñas	142	1262	1003867	1108850
Los Alpes	191	3920	852718	1109029
Los bancos	142	2222	922775	1120062
Los cristales	129	1260	871109	1055295
Miravalle	145	1355	990994	1129218
Mondomo	130	1407	812132	1057176
Montebello	102	1950	879496	1054652
Montecristo	122	1363	980245	1098324
Pan de azúcar	173	3809	902484	1107125
Patio bonito	145	2075	998327	1101459
Peñas blancas	169	2224	869261	1046035
Planta Nima	111	1236	884040	1096032
Planta río Cali	132	1068	871094	1003436
Planta río cauca	115	950	872957	1064555
Puerto molina	112	906	1002034	1116252
Quebrada nueva	103	1116	978084	1125538
Riofrio	96	1170	952226	1083008
San Vicente	165	1445	852675	1049747
Tacueyo	134	2050	828744	1096080
Tenjo	117	1928	880359	1101592
Tesorito	159	3853	825070	1110908
Tominió	168	2661	830589	1097931
Toribio	137	1938	817681	1090529
Venus	209	1575	941197	1110783
Villacolombia	179	1556	843457	1042340
Villamaría	113	1693	902960	1066431

ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN CUENCA DEL RÍO TULUÁ				
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
Acuetuluá	1.260,22	1.029,18	941.184	1.099.677
Angosturas	1.496,34	1.289,99	931.966	1.097.836
Dos quebradas	1.792,22	1.910,22	924.595	1.099.695
El diluvio	2.203,81	2.339,13	920.912	1.103.401
El placer	1.538,63	1.581,13	943.045	1.114.482
La ceja	1.160,64	2.618,32	902.496	1.118.236
La gitana	1.888,41	2.884,00	926.462	1.120.057
La primavera	1.810,28	1.590,08	924.593	1.097.843
La Rafaela	1.236,95	954,85	946.711	1.097.820
Los bancos	820,97	2.221,57	922.775	1.120.062
Monte loro	1.363,72	2.024,91	930.142	1.114.499
Pardo	1.611,91	1.529,10	941.199	1.112.634
Pto frazadas	1.878,22	1.849,90	939.365	1.120.040
Tenerife	1.159,45	2.674,21	904.331	1.110.826
Venus	2.285,66	1.575,50	941.197	1.110.783

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS MEDIA DEL AIRE, CUENCA DEL RÍO TULUÁ					
ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE (mm)	EVAPORACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
Acuetuluá	24,25	1.275,12	1.029,18	941.184	1.099.677
Barragán	11,60		2.903,20	937.540	1.133.001
Bosque Yotoco	19,12		1.590,33	920.360	1.071.253
Cumbarco	18,70		1.793,17	955.986	1.140.377
Garzonero	24,57		931,27	935.639	1.084.874
Hda san marcos	23,31		1.005,59	961.480	1.116.309
Ing. providencia	23,52		1.029,02	891.406	1.088.617
Ing. Manuelita	23,90		1.033,96	885.877	1.088.622
Monte loro	18,53	835,38	2.024,91	930.142	1.114.499
Tenerife	13,55	952,02	2.674,21	904.331	1.110.826

ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN CUENCA DEL RÍO AMAIME				
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
Auji	905,74	1.796,42	893.269	1.108.987
Austria	2.133,85	1.819,07	889.583	1.108.991
Bellavista	1.397,16	3.678,53	893.282	1.120.099
Caseteja	1.376,06	3.615,89	876.684	1.112.709
Ciat Palmira	883,47	981,09	878.501	1.084.924
Corpoica	989,53	981,09	878.501	1.084.924
Ing. Manuelita	1.074,72	1.033,96	885.877	1.088.622
La Ceja	1.160,70	2.618,32	902.496	1.118.236
La Selva	1.748,85	2.227,46	904.321	1.101.568
La Zapata	1.527,98	1.385,90	878.512	1.097.889
Matapalo	810,09	949,49	889.550	1.071.952
Pta. Nima	1.594,59	1.235,52	884.040	1.096.032
San Emigdio	1.601,68	1.306,04	884.042	1.097.884
San Nicolás	1.911,15	1.998,02	882.202	1.101.590
Sta. Teresa	1.505,88	3.671,32	876.688	1.116.414
Tenerife	1.159,42	2.674,21	904.331	1.110.826
Tenjo	1.899,51	1.927,93	880.359	1.101.592

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS CUENCA DEL RÍO AMAIME					
ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE (mm)	EVAPORACIÓN MEDIA ANUAL (mm)	ALTURA (msnm)	COORD. NORTE	COORD. ESTE
Aepto. Bonilla	23,74	1.686,95	968,03	884.024	1.077.512
Balboa	23,73		941,67	930.111	1.086.730
Cenicaña	22,70		989,09	865.599	1.084.934
Ciat	24,35	1.768,40	981,09	878.501	1.084.924
Corpoica	23,86	1.473,10	981,09	878.501	1.084.924
Ing. Castilla	24,71		1.004,45	861.915	1.088.642
Ing. Manuelita	23,87	1.505,07	1.033,96	885.877	1.088.622
Ing. Providencia	23,40	1.498,20	1.029,02	891.406	1.088.617
La Buitrera	20,65		1.509,36	885.856	1.060.843
La Sirena	13,29	460,94	3.596,12	880.364	1.107.148
San Emigdio	20,80	1.206,05	1.306,04	884.042	1.097.884
Sta. Teresa	7,27		3.671,32	876.688	1.116.414
Tenerife	13,55	952,02	2.674,21	904.331	1.110.826

ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS CLASIFICADAS EN GRUPOS HOMOGÉNEOS SEGÚN LA TENDENCIA Y EL PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN MENSUAL	
Nombre de la Estación	Cluster o Grupo
Acueducto Tuluá - Auji - Bellavista - Brasilia - Colegio San Juan - Colegio San Luis - Dapa - El Aguacatal - El Aguacate - El Lucero - El Orégano - El Oso - El Porvenir - El Vesubio - Garzonero - Herradura - Ingenio la Quinta - La Ceja - La Despensa - La Quebra - Montebello - Montecristo - Patio Bonito - Planta río Cali - Planta río Cauca - Riofrio - Sabanazo - Santa Inés - Tesorito - Toribio - Vijes - Villamaria - Bugalagrande - Caseteja - Guacarí - Ingenio Manuelita - Ingenio Pichichi - Lloreda - Puerto Molina - Tenerife - Zaragoza	1
Alegrías - Bellavista - Boloblanco - Buenos Aires - Cañaveralejo - Chambú - Cristales - Cruces - El Caney - El Palacio - El Retiro - Jambaló - La Diana - La Magdalena - La Teresita - Miravalles - Monte Loro - Planta Nima - Qda. Nueva - San Emigdio - San Pablo - Yanaconas - Angosturas - Cajones - El Alcázar - El Paraíso - El Placer - Florida - Galicia - Pardo	2
Austria - Dosquebradas - El Águila - El Castillo - El Granario - El Topacio - El Trapiche - Irlanda - La Argentina - La Balsa - La Calera - La Fonda - Las Brisas - La Gitana - La Patagonia - La Primavera - La Selva - La Soledad - Los Alpes - Mandiva - Panamona - Peñas Blancas - San Antonio - San Vicente - Tenjo - Tominió - Venus - Villacolombia - Alcalá - CIAT Quilichao - Coconuco - Corinto - El Tambo - La Camelia - Piendamó - Pto. Frazadas	3

DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL						
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA MENSUAL (mm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
	En mm				No.	%
Acuetuluá	105,0	62,2	56,0	145,3	2	1%
Alcalá	165,7	85,6	104,8	218,0	39	10%
Alegrías	128,9	90,7	53,8	182,3	14	4%
Angosturas	124,7	78,5	64,0	173,0	16	4%
Auji	75,4	63,7	24,0	110,0	2	1%
Austria	173,8	126,4	70,0	245,0	12	3%
Bellavista	121,7	93,8	55,0	167,3	4	1%
Boloblanco	118,3	87,8	48,8	167,0	13	3%
Brasilia	119,2	66,1	74,8	159,3	2	1%
Buenavista	101,3	60,8	58,0	137,0	4	1%
Buenos aires	124,0	77,0	69,0	162,0	5	1%
Bugalagrande	108,2	63,7	58,0	151,5	3	1%
Cajones	123,7	82,4	60,3	171,3	66	17%
Cañaveralejo	126,5	76,8	65,0	174,0	2	1%
Caseteja	110,1	64,2	65,0	148,0	39	10%
Chambú	128,7	91,2	57,8	175,0	1	0%
Ciat Quilichao	146,2	90,0	73,0	199,3	14	4%

DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL						
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA MENSUAL (mm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
	En mm				No.	%
Coconuco	142,2	96,4	63,0	200,3	5	1%
Col. san Juan	94,6	61,1	46,0	135,0	0	0%
Col. san Luis	92,9	60,8	46,0	123,3	0	0%
Corinto	135,7	100,7	55,0	197,3	27	7%
Cristales	149,7	91,3	81,0	208,5	3	1%
Cruces	133,9	77,0	74,0	186,0	2	1%
Dapa	104,5	68,0	53,8	150,3	4	1%
Dos quebradas	149,4	97,8	74,8	201,0	3	1%
El aguacatal	95,4	57,9	53,0	130,0	1	0%
El aguacate	110,3	68,5	60,8	152,0	5	1%
El águila	209,1	145,4	94,8	287,5	8	2%
El alcázar	138,0	95,0	71,0	185,5	29	8%
El caney	130,6	80,2	66,0	179,3	0	0%
El castillo	149,6	105,0	61,0	221,0	0	0%
El diluvio	183,7	119,7	98,0	238,5	6	2%
El Granario	211,4	109,6	130,8	279,3	6	2%
El lucero	102,4	68,9	52,0	141,3	3	1%
El orégano	92,4	55,0	51,8	124,3	5	1%
El oso	117,5	72,6	63,8	157,0	7	2%
El palacio	138,6	88,9	66,5	188,3	2	1%
El paraíso	128,5	91,7	52,8	187,0	36	9%
El placer	128,2	80,5	67,8	176,0	35	9%
El porvenir	90,4	50,9	52,0	123,0	1	0%
El retiro	129,1	78,6	69,0	179,0	24	6%
El tambo	173,2	117,2	81,0	233,0	18	5%
El topacio	236,1	129,4	140,0	320,0	0	0%
El trapiche	139,7	95,9	64,0	198,3	1	0%
El Vesubio	116,8	78,2	63,0	148,3	10	3%
Florida	119,4	86,4	50,0	167,0	24	6%
Galicia	133,8	84,3	69,0	182,3	29	8%
Garzonero	105,8	65,3	58,0	144,3	0	0%
Guacarí	86,0	55,6	41,0	115,0	36	9%
Herradura	84,8	54,9	42,8	117,3	1	0%
Ing. la quinta	85,6	61,0	30,0	124,3	2	1%
Ing. manuelita	92,6	61,1	48,0	122,0	33	9%
Ing. pichichi	82,0	57,1	39,0	111,0	44	11%

DESCRPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL						
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA MENSUAL (mm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
	En mm				No.	%
Irlanda	195,1	106,9	121,0	265,0	7	2%
Jambaló	110,9	89,7	37,0	174,0	7	2%
La argentina	248,3	134,4	143,5	340,0	3	1%
La balsa	177,6	106,1	93,0	249,3	1	0%
La calera	137,4	104,0	50,0	199,5	0	0%
La camelia	160,7	101,8	84,0	212,5	28	7%
La ceja	95,3	68,7	42,0	136,0	21	5%
La despensa	76,4	60,3	30,0	102,3	1	0%
La diana	114,3	87,9	41,8	169,3	0	0%
La fonda	166,6	101,6	85,0	228,0	1	0%
La gitana	157,4	108,8	72,0	222,3	2	1%
La magdalena	124,4	74,0	67,0	167,3	1	0%
La Patagonia	216,6	123,0	125,0	277,3	14	4%
La primavera	150,9	95,0	81,8	203,3	0	0%
La quiebra	104,9	61,2	64,0	137,3	4	1%
La selva	143,7	95,9	64,0	202,3	0	0%
La soledad	156,6	120,0	55,8	230,8	6	2%
La teresita	149,4	82,1	88,8	201,3	4	1%
Las brisas	166,2	116,4	84,0	224,3	13	3%
Lloreda	80,7	53,1	37,9	114,0	25	7%
Los Alpes	160,7	108,9	74,0	225,0	14	4%
Mandiva	171,2	108,5	87,8	234,3	0	0%
Miravalles	138,4	77,4	81,0	188,0	0	0%
Monte loro	113,6	72,7	58,8	156,3	14	4%
Montebello	101,6	67,1	50,8	142,0	0	0%
Montecristo	110,2	67,7	60,0	150,3	1	0%
Pardo	134,3	92,9	67,0	181,3	35	9%
Patio bonito	112,2	62,1	68,0	144,3	3	1%
Penamona	341,2	196,2	195,0	478,3	36	9%
Peñas blancas	172,2	91,7	102,0	229,0	1	0%
Piendamo	163,9	109,3	74,0	240,5	12	3%
Planta Nima	130,7	89,2	64,8	179,3	12	3%
Planta río Cali	113,5	72,4	59,0	155,0	0	0%
Planta río Cauca	88,0	59,1	44,8	128,0	0	0%
Pto frazadas	156,5	105,9	76,8	213,3	24	6%
Pto molina	123,3	67,0	71,0	165,0	3	1%

DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE ESTUDIO DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL						
ESTACIÓN	PRECIP. MEDIA MENSUAL (mm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
	En mm				No.	%
Oda nueva	132,4	80,5	69,0	183,0	1	0%
Riofrio	109,1	69,3	55,0	154,3	0	0%
Sabanazo	94,8	50,7	57,8	123,0	5	1%
San Antonio	245,0	135,7	142,8	327,8	3	1%
San Emigdio	131,9	88,5	66,3	182,0	0	0%
San pablo	129,4	76,5	69,8	176,0	1	0%
San Vicente	232,5	146,4	111,8	328,0	0	0%
Santa Inés	99,5	62,1	51,0	138,0	1	0%
Tenerife	96,6	58,6	48,0	138,3	40	10%
Tenjo	163,1	131,7	64,8	225,8	2	1%
Tesorito	101,3	87,5	39,8	142,3	1	0%
Tominio	147,0	95,6	68,0	220,3	0	0%
Toribio	209,1	145,4	94,8	287,5	11	3%
Venus	190,5	103,5	110,8	253,3	3	1%
Vijes	78,0	49,7	37,0	108,0	2	1%
Villacolombia	229,9	130,9	127,3	316,3	0	0%
Villamaría	94,7	57,9	51,8	133,0	0	0%
Yanaconas	140,0	85,5	77,8	192,0	27	7%
Zaragoza	114,8	63,6	69,0	156,3	29	8%

DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE DÍAS LLUVIA						
ESTACIÓN	PROM. DÍAS DE LLUVIA MENSUAL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
	En No. de días				No.	%
Aguacatal	11	5	8	14	26	7%
Aguacate	10	5	6	13	11	3%
Alegrías	12	7	7	17	18	5%
Auji	8	5	4	12	10	3%
Austria	11	5	7	15	13	3%
Bellavista	12	6	8	17	5	1%
Boloblanco	13	6	8	18	25	6%
Brasilia	13	5	10	17	9	2%
Buenavista	9	5	6	12	7	2%
Buenos Aires	10	5	7	14	9	2%
Bugalagrande	8	4	5	11	2	1%

DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE DÍAS LLUVIA						
ESTACIÓN	PROM. DÍAS DE LLUVIA MENSUAL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
	En No. de días				No.	%
Cruces	9	4	6	12	5	1%
Dapa	10	5	6	13	28	7%
Dos quebradas	15	6	10	19	4	1%
El águila	13	5	9	17	16	4%
El alcázar	8	4	5	11	26	7%
El caney	11	5	7	14	2	1%
El Castillo	10	5	6	14	3	1%
El diluvio	16	6	11	20	15	4%
El espejo	6	4	3	9	11	3%
El Granario	16	6	11	20	17	4%
El lucero	7	4	4	9	6	2%
El orégano	10	4	7	13	10	3%
El oso	9	4	5	12	10	3%
El palacio	9	4	6	11	5	1%
El porvenir	10	4	7	13	2	1%
El retiro	12	5	8	15	25	6%
El trapiche	12	6	7	17	8	2%
El Vesubio	9	4	5	11	12	3%
Ing. La quinta	5	3	2	7	12	3%
Jambaló	10	6	5	14	8	2%
La despensa	6	4	3	9	3	1%
La Argentina	15	6	10	19	18	5%
La balsa	11	5	7	15	3	1%
La calera	11	6	6	15	1	0%
La ceja	12	6	8	17	36	9%
La fonda	12	5	8	16	12	3%
La gitana	16	7	11	21	5	1%
La herradura	7	4	4	9	0	0%
La Patagonia	16	6	12	21	28	7%
La primavera	15	6	10	20	8	2%
La quiebra	11	4	8	13	8	2%
La selva	12	6	8	16	2	1%
La soledad	13	6	8	17	11	3%
Las brisas	11	5	7	14	28	7%
Las peñas	12	5	8	15	3	1%

DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE DÍAS LLUVIA						
ESTACIÓN	PROM. DÍAS DE LLUVIA MENSUAL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
					En No. de días	
Los Alpes	16	6	12	20	19	5%
Los bancos	12	6	7	16	1	0%
Los cristales	11	5	7	14	6	2%
Miravalle	12	5	9	15	13	3%
Mondomo	11	5	7	14	2	1%
Montebello	9	4	5	12	9	2%
Montecristo	10	5	6	13	9	2%
Pan de azúcar	14	7	10	20	42	11%
Patio bonito	12	5	9	16	5	1%
Peñas blancas	14	5	10	18	33	8%
Planta Nima	9	5	6	12	20	5%
Planta río Cali	11	5	8	14	38	10%
Planta río Cauca	10	4	7	13	36	9%
Puerto molina	9	4	7	12	1	0%
Quebrada nueva	9	4	6	11	3	1%
Riofrio	8	4	5	10	1	0%
San Vicente	14	6	9	19	7	2%
Tacueyo	11	6	6	16	30	8%
Tenjo	10	5	5	13	8	2%
Tesorito	13	7	8	18	8	2%
Tominio	14	6	10	18	0	0%
Toribio	11	6	7	16	21	5%
Venus	17	7	13	22	12	3%
Villacolombia	15	6	11	19	5	1%
Villamaria	9	4	6	12	9	2%

DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE						
ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
					en grados Celsius	
Acuetuluá	24,2	1,0	23,6	24,9	8	2%
Apto Bonilla	23,7	0,6	23,3	24,1	24	6%
Barragán	11,6	0,6	11,3	11,9	87	22%
Bosque Yotoco	19,1	0,6	18,7	19,5	41	11%

DESCRIPTIVOS DE LAS ESTACIONES DE TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE						
ESTACIÓN	TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	Primer cuartil (Q1: 25%)	Tercer cuartil (Q3: 75%)	DATOS FALTANTES	
					en grados Celsius	
C. Admon Unión	24,3	0,8	23,8	24,8	24	6%
Ciat Palmira	24,4	0,6	24,0	24,7	10	3%
Ciat Quilichao	23,8	0,6	23,3	24,1	35	9%
Cumbarco	18,7	0,7	18,3	19,2	56	14%
El Topacio	19,4	0,8	18,9	20,0	16	4%
Garzonero	24,6	0,8	24,0	25,2	108	27%
Granja Exp ICA	23,9	0,6	23,4	24,3	0	0%
Hda San Marcos	23,3	0,7	22,8	23,8	96	24%
Ing. Manuelita	23,9	0,6	23,5	24,2	12	3%
Ing. Bengala	24,0	0,5	23,7	24,3	65	16%
Ing. Central Castilla	24,7	0,9	24,0	25,3	54	14%
Ing. Del Cauca	23,7	1,0	23,0	24,4	75	19%
Ing. Providencia	23,5	0,7	23,0	24,1	61	15%
Japio	23,5	0,7	23,0	23,9	1	0%
La Sirena	13,3	0,4	13,0	13,6	2	1%
La Teresita	16,8	0,7	16,3	17,2	38	10%
Miranda	23,3	0,7	22,7	23,8	61	15%
Paletara	11,1	0,9	10,5	11,7	41	10%
Tenerife	13,5	0,7	13,0	14,1	39	10%
Univalle	24,3	0,8	23,8	24,9	24	6%

Anexo 4. Calculo de la evaporación total mensual en función de la precipitación y la temperatura del aire

(iii) Método de Thornthwaite (1948)

Se calcula un "índice de calor mensual" (i) a partir de la temperatura media mensual (t):

$$i = (t/5)^{1.514}$$

Luego, se calcula el "índice de calor anual" (I) sumando los doce valores de i : $I = \sum i$ y se estima la Evaporación mensual sin corregir mediante la fórmula:

$$EV_{sin\ corr.} = 16(10t/I)^a$$

Donde:

$EV_{sin\ corr.}$: EV mensual en mm/mes para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas).

t : temperatura media mensual, °C

I : índice de calor anual, obtenido en el punto 2°

a : $0,000000675 I^3 - 0,0000771 I^2 + 0,01792 I + 0,49239$

Corrección para el nº de días del mes y el nº de horas de sol:

$$Ev = EV_{sin\ corr.} (N/12)(d/30)$$

Donde:

Ev : Evaporación potencial corregida

N : número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud

d : número de días del mes

(iv) Calculo de la Evaporación mediante formula de Turc (1954)

$$ETR = P / \sqrt{0.9 + (P^2/L^2)}$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración real en mm/año

P: Precipitación en mm/año

L: $300 + 25T + 0.05T^3$

T: Temperatura media anual en °C

(v) *Calculo de la Evaporación mediante formula de Coutagne & Ouadah (1998)*

$$ETR=P- \lambda P^2$$

Donde:

ETR: Evapotranspiración real en metros/año

P: Precipitación en metros/año

λ : $1/(0.8+0.14T)$

T: temperatura media anual en °C

Anexo 5. Rangos de tolerancia de factores ambientales establecidos para cada cultivo en las cuencas de los ríos Tuluá y Amaime

Cuenca del río Tuluá

Cultivo	Temperatura (°C)		Precipitación (mm)		Altitud (m.s.n.m.)	Suelos		
	Actual	Año 2020	Actual	Año 2020		Asociación	Complejo	Consociación
Caña	22-24	23-25	821-1471	771-1507	915-1000		Canelo-Juanchito, Corintias-Herradura, Esneda-Nima, Esneda-Palmeras, Galpón-Herradura, Galpón-Palmeras, Herradura-Palmeras, Río Cauca-Sauce, San Fernando, San Fernando-San Lorenzo, San José-Palmeras.	Burriaga, Coke, Florida, Galpón, Génova, Guadualito, Herradura, Juanchito, Las Fuentes, Manuelita, Nima, Palmeras, Palmirita, Puerto Molina
Café	18-23	17-23	1471-1611	1507-1674	1165-2050	Buga y Sevilla		
Maíz	23-24	23-25	821-1471	771-1507	925-1030		Esneda-Palmeras, San Fernando	Florida, Galpón, Génova, Guadualito, Manuelita, Palmeras, Puerto Molina.
Papa	12-18	12-18	1166-1998	1265-2141	1850-3550			
Sorgo	22-24	23-25	821-1471	771-1507	915-985		Galpón-Palmeras, Herradura-Palmeras, Río Cauca-Sauce, San Fernando	Florida, Galpón, Génova, Guadualito, Manuelita, Palmeras.

Cultivo	Temperatura (°C)		Precipitación (mm)		Altitud (m.s.n.m.)	Suelos		
	Actual	Año 2020	Actual	Año 2020		Asociación	Complejo	Consociación
Soya	23-24	24-25	821-1323	938-1373	925-960		Galpón-Herradura, Herradura-Palmeras	Florida, Guadualito, Palmeras, Puerto Molina
Pasto de corte	22-24	23-25	998-1611	938-1674	925-1170	Holguín las camelias, Llanadas, Llanadas-Saldaña	Canelo-Juanchito, Esneda-Palmeras, Galpón-Herradura, Galpón-Palmeras, San Fernando, San Fernando-San Lorenzo, San José Palmeras	Coke, Florida, Galpón, Génova, Guadualito, Juanchito, Manuelita, Nima, Palmeras, San José
Pasto natural	12-24	12-25	821-2138	771-2141	925-3850	Barragán, Buga, Cristales, Guadalajara, Holguín, Holguín-Las Camelias, Llanadas, Llanadas-Saldaña, Mesa, Nogales, Paila arriba, Sevilla	Canelo-Juanchito, Corintias-Herradura, El Placer, Esneda-Palmeras, Galpón-Herradura, Galpón-Palmeras, Herradura-Palmeras, Rio Cauca-Sauce, San Fernando	Burriaga, Coke, Florida, Galpón, Génova, Guadualito, Herradura, Juanchito, Las Fuentes, Madre vieja, Manuelita, Nima, Palmeras, Palmirita, Puerto Molina, San José

Cuenca del río Amaime

Cultivo	Temperatura °C	Precipitación mm	Altitud m.s.n.m.	Tipo de suelo		
				Asociación	Complejo	Consociación
Árboles frutales-plátano	19 – 25	810,1 – 1728,7	1050-1350	Fraille	Argelia-Nima Palmira-Palmita	Génova, Guadualito, Herradura, Manuelita, Nima, Palmeras, Palmira
Café-plátano	17 – 20	1566,4 – 1897,8	1200-1900	Arcadia, Fraile, Villacolombia	Argelia-Nima	Nima
Caña de azúcar	19 – 25	810,1 – 1728,7	950-1200	Arcadia, Fraile	Argelia-Pradera, Cerrito-Nima, Florida-Guadualito, Florida-Génova, Galpón-Palmaseca, Galpón-Palmeras, Manuelita-Palmira, Manuelita-Palmita, Manuelita-Ricaurte, Nima-Pradera, Palmira-Palmita, San Fernando	Argelia, Canelo, Cerrito, Corintias, Esneda, Florida, Galpón, Génova, Guadualito, Herradura, Jordán, Juanchito, Las Fuentes, Madre vieja, Manuelita, Marruecos, Nima, Palmaseca, Palmeras, Palmita, Pradera, Ricaurte, Río Cauca, Sauce, Sonso
Hortalizas	13 – 24	810,1 – 2073,8	Menor a 950 o entre 2200-2900	Cristales, La Cabaña, Nogales	El Placer	Guadualito
Maíz plana	23 – 25	810,1 – 1260,2	950-1050		Palmira-Palmita, San Fernando	Florida, Guadualito, Manuelita, Palmira
Pasto de corte	20 – 25	810,1 – 1728,7	Menor a 1150		Galpón-Palmeras, Palmira-Palmita, San Fernando	Argelia, Corintias, Florida, Galpón, Génova, Guadualito, Las Fuentes, Manuelita, Nima, Palmaseca
Pasto natural	7 – 25	810,1 – 2257,1	Menor a 3400	Amaime, Arcadia, Barragán, Bélgica, Cristales, Fraile, La Cabaña, Mesa, Nogales, Orisol, Sevilla, Villacolombia	Argelia-Nima, Cerrito-Nima, El Placer, Florida-Guadualito, Galpón-Palmeras, Galpón-Palmaseca, La Feria, Manuelita-Ricaurte, Palmira-Palmita, San Fernando	Argelia, Canelo, Carrito, Florida, Galpón, Génova, Guadualito, Herradura, Las Fuentes, Madre vieja, Manuelita, Nima, Palmaseca, Palmeras, Palmira, Palmita, Pradera, Ricaurte, Río

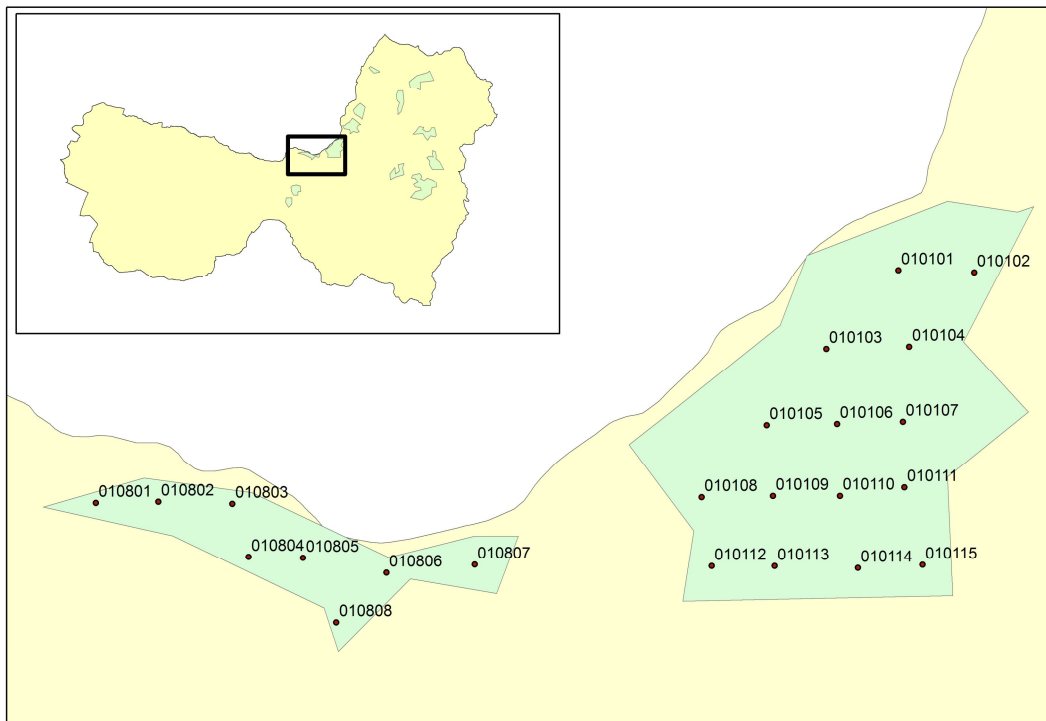
						Cauca, Sauce
Sorgo	20 – 25	810,1 – 1728,7	950-1100		Nima-Pradera, Palmira- Palmirita, San Fernando	Argelia, Galpón, Guadualito, Manuelita, Nima, Palmeras, Palmira, Pradera

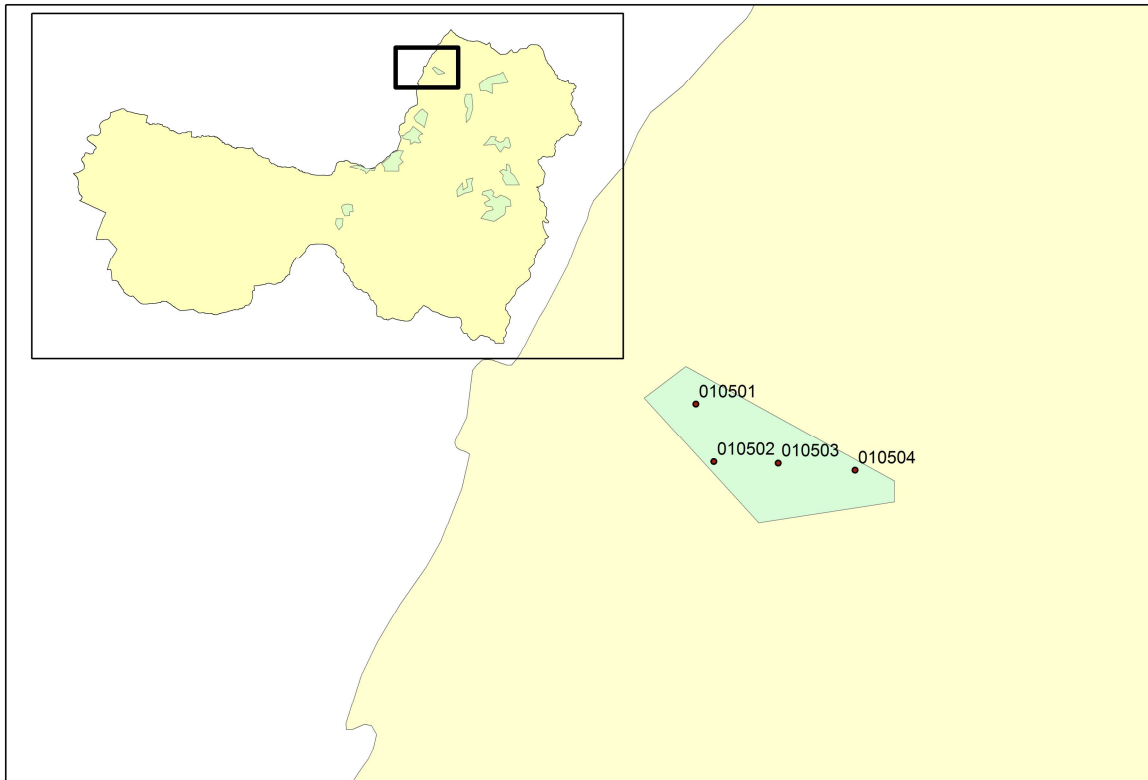
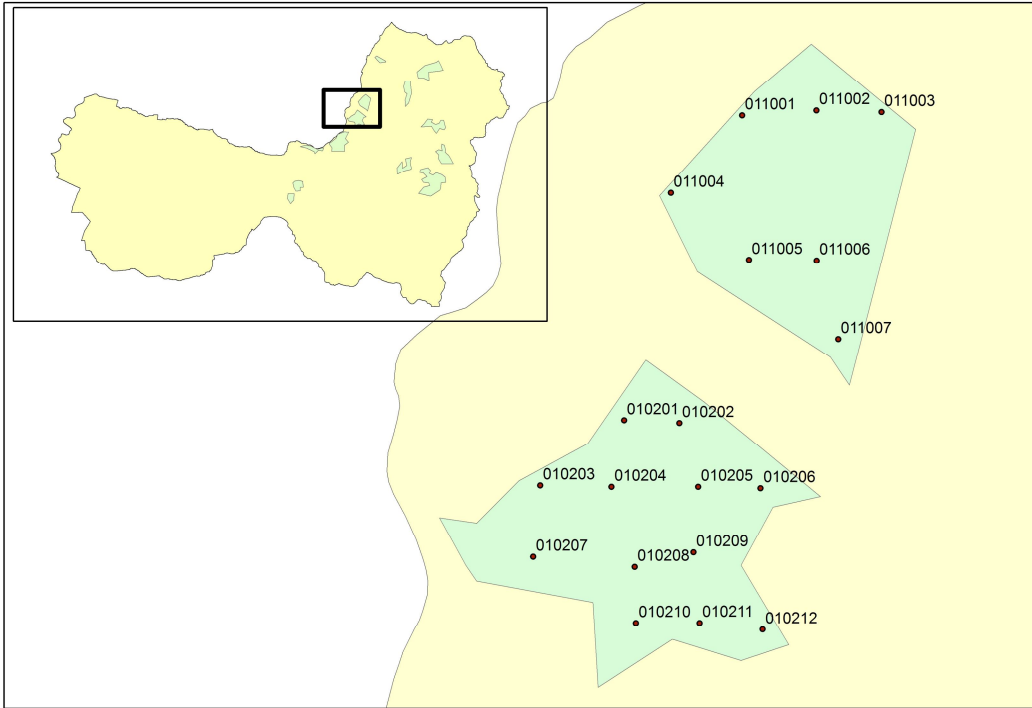
Anexo 6. Población rural y urbana desde 1985 al 2020 estimada en los municipios que pertenecen a las cuencas de los ríos Tuluá y Amalme

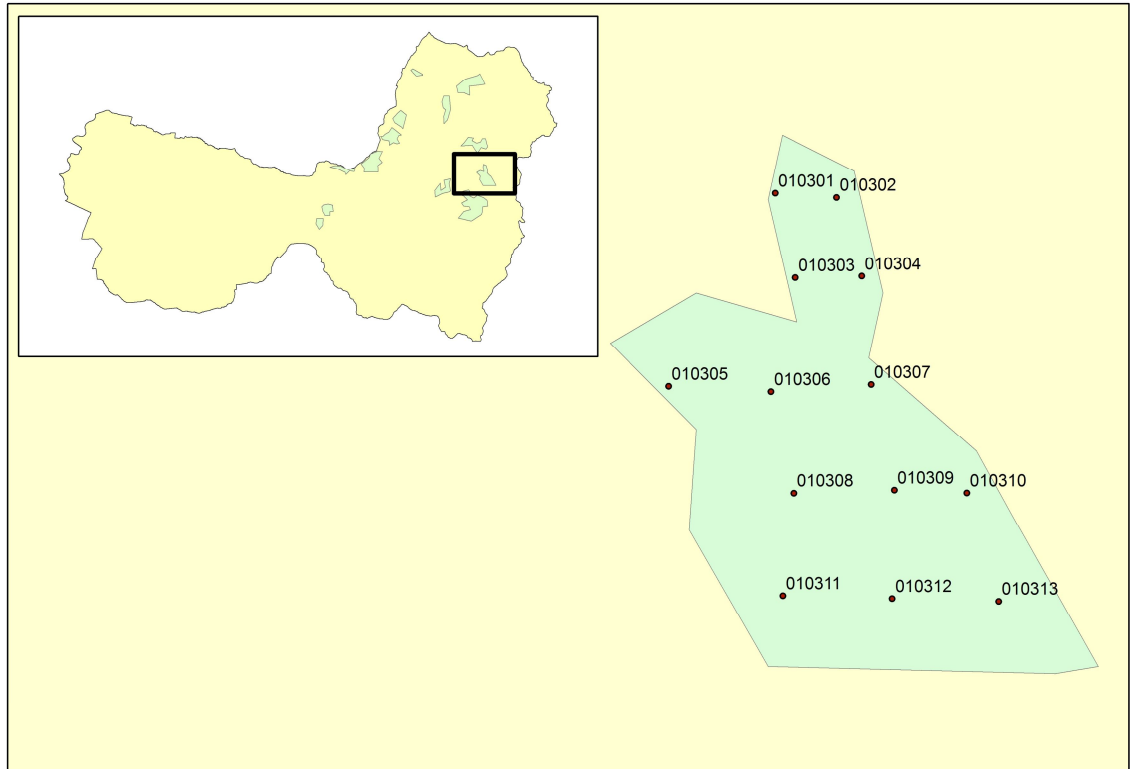
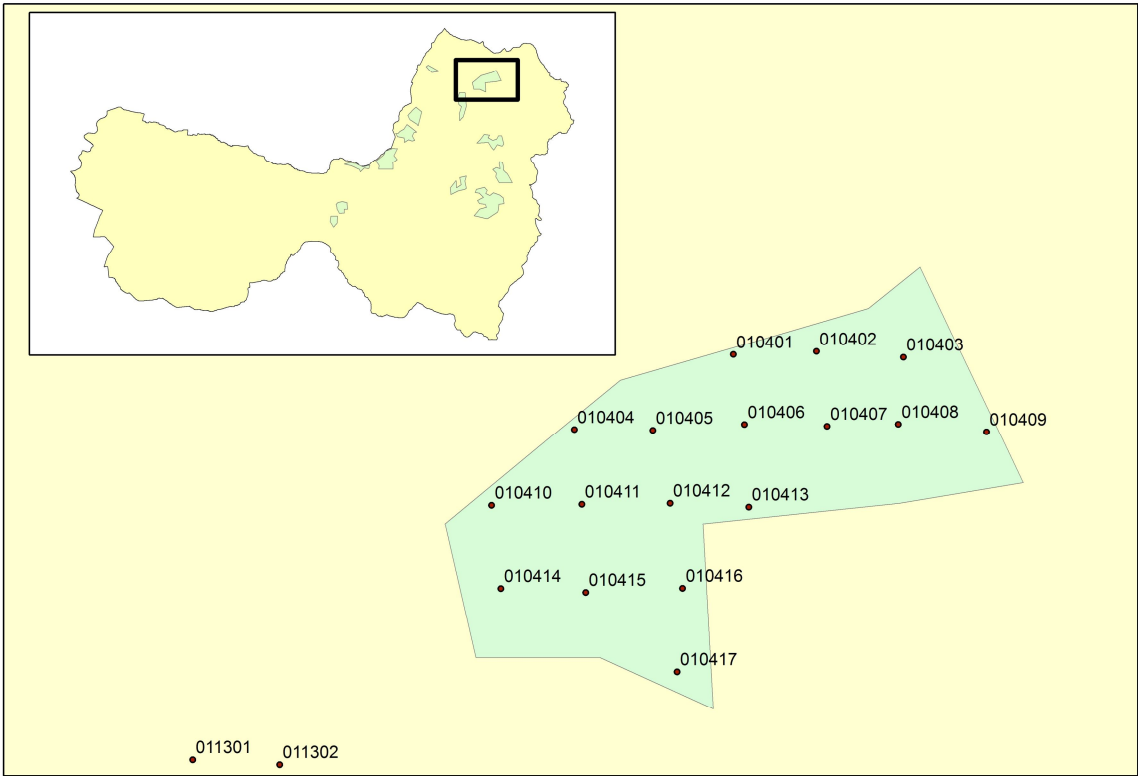
AÑO	POBLACIÓN RURAL (habitantes)					POBLACIÓN URBANA (Habitantes)				
	BUGA	EL CERRITO	SAN PEDRO	TULUÁ	PALMIRA	BUGA	EL CERRITO	SAN PEDRO	TULUÁ	PALMIRA
1986	11.784	16.767	7.983	21.571	39.072	84.809	24.148	3.566	101.423	177.657
1987	11.841	16.939	7.953	21.399	38.911	86.629	24.719	3.707	103.128	180.188
1988	11.900	17.112	7.923	21.229	38.750	88.489	25.304	3.853	104.861	182.755
1989	11.958	17.287	7.892	21.060	38.590	90.388	25.902	4.005	106.624	185.360
1990	12.017	17.463	7.862	20.893	38.431	92.328	26.515	4.163	108.416	188.001
1991	12.076	17.642	7.832	20.726	38.272	94.310	27.142	4.327	110.239	190.680
1992	12.135	17.822	7.802	20.562	38.114	96.334	27.783	4.498	112.092	193.396
1993	12.195	18.004	7.773	20.398	37.956	98.401	28.440	4.676	113.976	196.152
1994	12.372	18.260	7.902	20.817	39.219	101.225	28.829	4.868	119.076	198.683
1995	12.553	18.516	8.033	21.245	40.527	102.590	29.208	4.916	122.639	201.183
1996	12.736	18.776	8.167	21.682	41.878	103.973	29.592	4.964	126.308	203.716
1997	12.922	19.039	8.302	22.128	43.275	105.374	29.981	5.013	130.087	206.280
1998	13.111	19.306	8.440	22.582	44.718	106.795	30.375	5.063	133.979	208.876
1999	13.302	19.577	8.580	23.047	46.209	108.234	30.774	5.113	137.988	211.505
2000	13.496	19.851	8.723	23.520	47.750	109.693	31.178	5.164	142.116	214.167
2001	13.693	20.129	8.868	24.004	49.343	111.172	31.588	5.215	146.368	216.863
2002	13.893	20.412	9.015	24.497	50.989	112.670	32.003	5.266	150.747	219.593
2003	14.096	20.698	9.165	25.001	52.689	114.189	32.424	5.318	155.258	222.356
2004	14.302	20.988	9.317	25.515	54.446	115.728	32.850	5.371	159.903	225.155
2005	14.510	21.282	9.472	26.039	56.262	117.288	33.282	5.424	164.687	227.989
2006	14.995	21.348	9.647	26.350	56.741	99.843	33.534	6.107	163.032	229.718

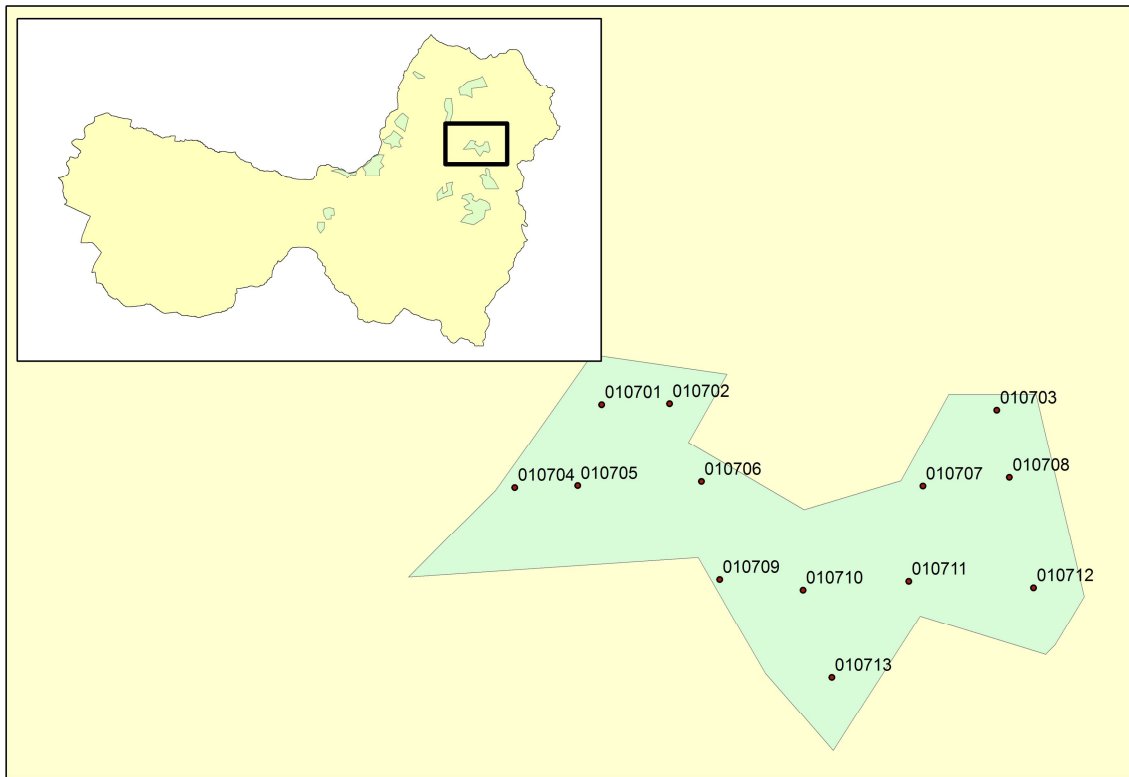
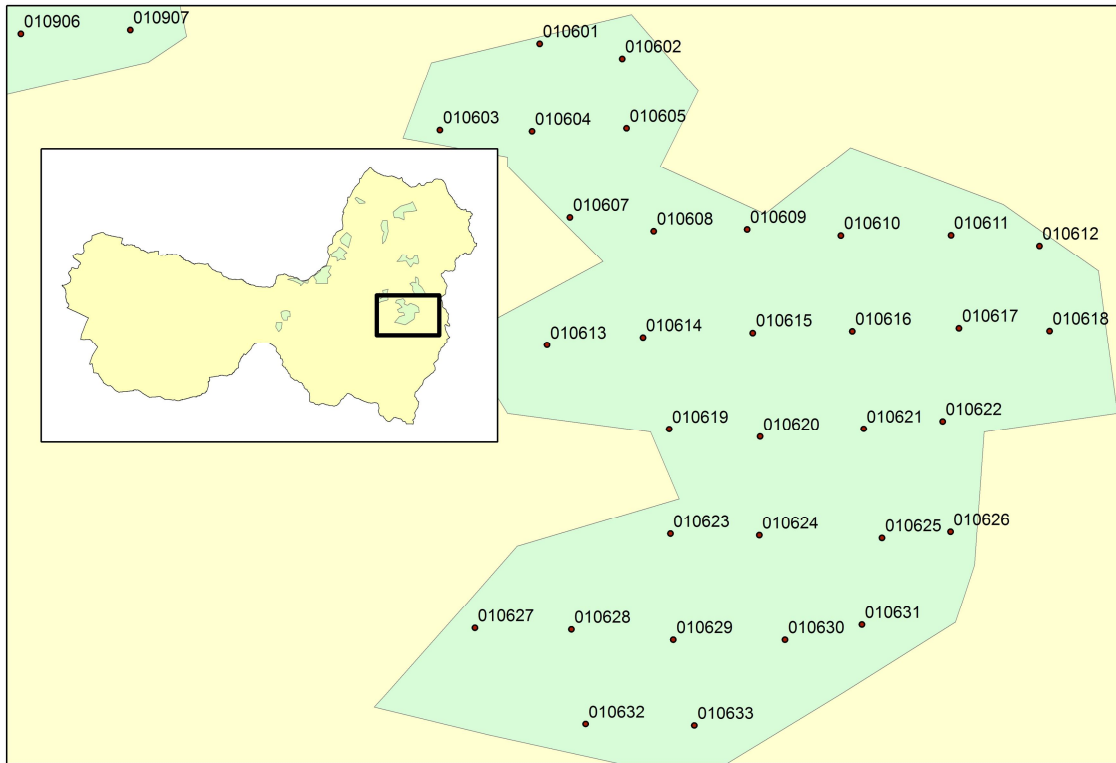
AÑO	POBLACIÓN RURAL (habitantes)					POBLACIÓN URBANA (Habitantes)				
	BUGA	EL CERRITO	SAN PEDRO	TULUÁ	PALMIRA	BUGA	EL CERRITO	SAN PEDRO	TULUÁ	PALMIRA
2007	15.496	21.400	9.826	26.664	57.136	99.793	33.767	6.234	65.170	231.326
2008	16.013	21.453	10.008	26.981	57.535	99.743	34.002	6.364	167.337	232.944
2009	16.548	21.505	10.194	27.303	57.936	99.693	34.238	6.497	169.531	234.574
2010	17.101	21.558	10.383	27.628	58.340	99.643	34.476	6.633	171.754	236.215
2011	17.672	21.610	10.575	27.958	58.747	99.593	34.716	6.771	174.007	237.868
2012	18.262	21.663	10.771	28.291	59.156	99.543	34.957	6.912	176.289	239.532
2013	18.872	21.716	10.971	28.628	59.569	99.493	35.200	7.056	178.601	241.208
2014	19.502	21.769	11.175	28.969	59.984	99.444	35.445	7.204	180.943	242.896
2015	20.154	21.822	11.382	29.314	60.402	99.394	35.692	7.354	183.316	244.596
2016	20.827	21.876	11.593	29.664	60.823	99.793	35.940	6.234	165.170	246.307
2017	21.522	21.929	11.808	30.017	61.248	99.344	36.190	7.507	185.720	248.031
2018	22.241	21.983	12.026	30.375	61.675	99.294	36.441	7.664	188.155	249.766
2019	22.984	22.037	12.249	30.737	62.105	99.244	36.695	7.824	190.623	251.514
2020	23.751	22.090	12.476	31.103	62.538	99.195	36.950	7.987	193.123	253.274

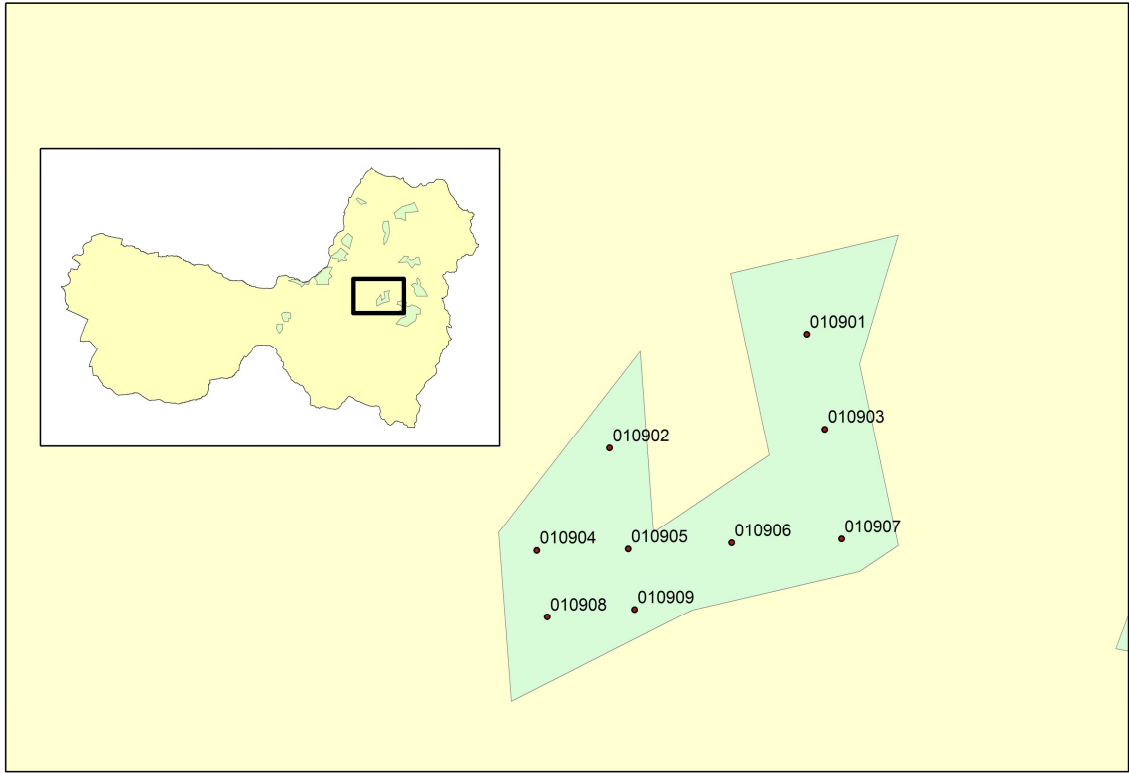
**Anexo 7. Localización en la cuenca del río Amaine de los píxel de NDVI
Oconsiderados en el estudio**

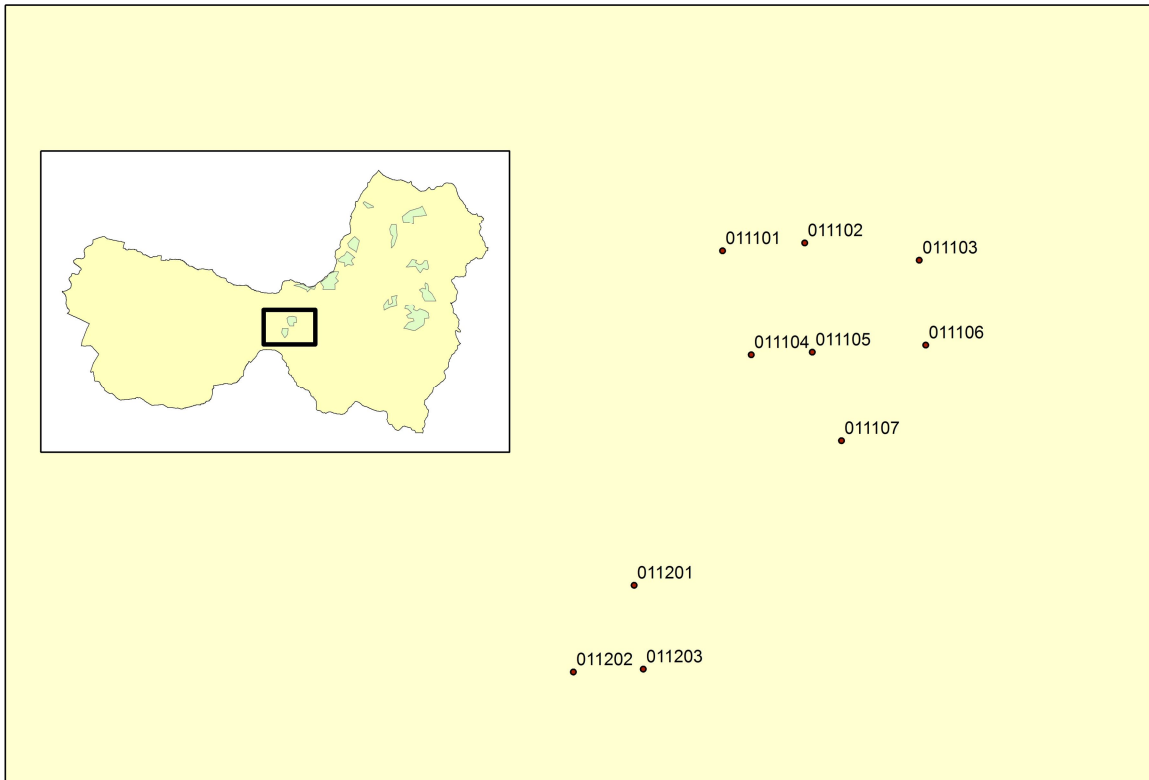
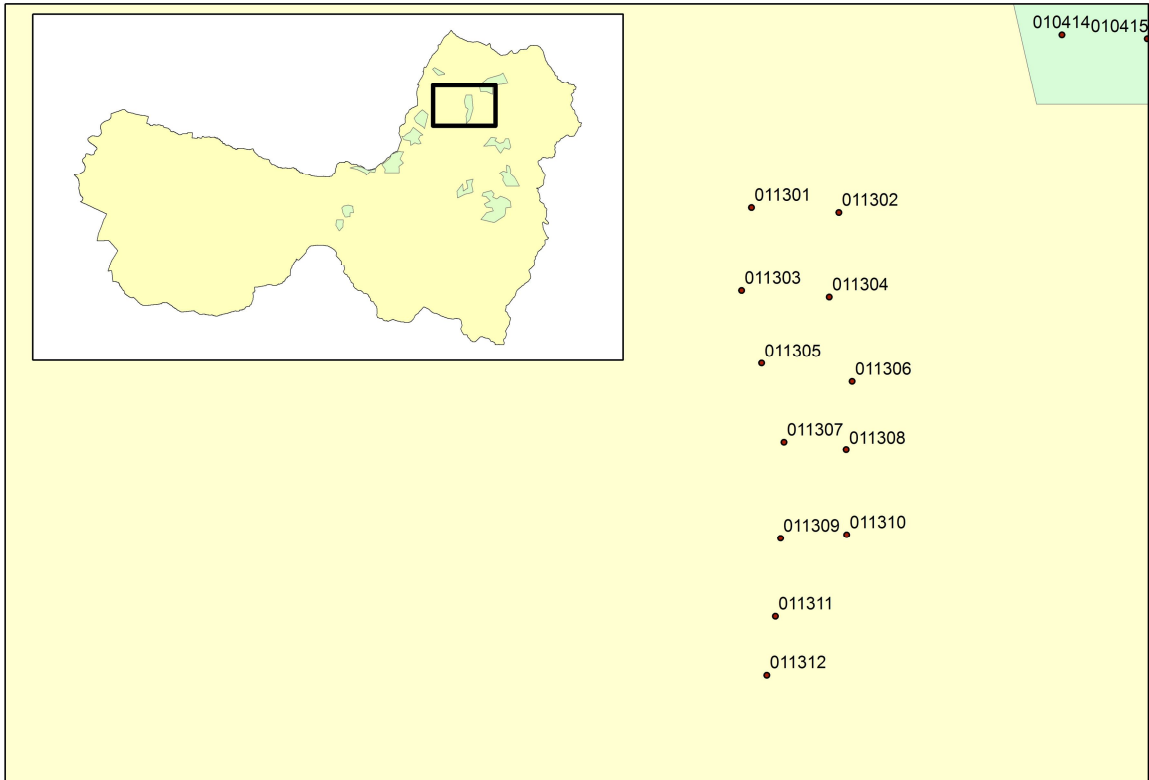












Anexo 8. Validación cruzada de los métodos de interpolación de la precipitación media mensual en la cuenca alta del río Cauca

	INTERPOLACIÓN	MODELO	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
MEAM		Spherical	24,37	17	11,93	3,624	9,765
	KO	Exponential	26,41	16,73	11,87	3,645	9,441
		Gaussian	24,04	16,82	11,75	3,464	7,325
		Spherical	19,86	13,18	7,94	2,734	5,832
	KS	Exponential	21,53	11,99	7,425	2,401	5,629
		Gaussian	20,42	11,27	7,411	2,765	5,215
		Spherical	2,432	-4,02	-6,821	-3,887	-6,373
	KU	Exponential	3,963	-3,154	-6,339	0,804	-7169
		Gaussian	5,654	-4,334	-8,981	-4,212	-10,6
		Spherical	29,91	15,1	10,45	3,187	10,34
	CKO(ALT)	Exponential	31,17	15,81	10,97	3,396	10,24
		Gaussian	29,63	14,44	9,837	3,122	10,1
		Spherical	32,76	17,42	11,89	3,497	8,65
	CKO(ORI)	Exponential	34,37	16,57	11,58	3,629	9,838
		Gaussian	32,06	16,81	11,73	3,43	9,181
		Spherical	-26,44	3,353	-5,491	-3,438	-3,203
	CKU(ALT)	Exponential	-26,51	-0,1139	-5,314	0,879	-2,432
		Gaussian	-27,74	3,691	-8,083	-3,864	-1,12
		Spherical	-30,85	0,999	-6,826	-3,873	-8,9
	CKU(ORI)	Exponential	-30,83	-1,461	-6,345	0,7209	-8,782
	Gaussian	-31,43	2,496	1,056	-4,187	-11,4	
IDP	-		1,492	-0,0423	2,328	1,428	1,026
RMS		Spherical	427,9	222,6	178,9	87,11	173,1
	KO	Exponential	420,6	213,6	180,2	85,73	166,4
		Gaussian	433,8	222,7	178,3	87,69	157
		Spherical	474,8	201,4	176,3	95,74	162,2
	KS	Exponential	476,2	201,6	177,1	96,57	162,4
		Gaussian	476,8	202,4	176,7	96,03	163
		Spherical	-312,1	90,36	111,1	66,55	127,9
	KU	Exponential	-304,5	87,76	107,3	74,26	130
		Gaussian	-315,5	90,39	118,3	67,36	142,3
		Spherical	484,9	212,5	182	91,02	165,7
	CKO(ALT)	Exponential	473,6	209,4	181,6	89,35	166,7
		Gaussian	519,9	214,6	183,4	91,27	164,7
		Spherical	508,9	225	179,4	86,36	173,9
	CKO(ORI)	Exponential	490,4	215	184,7	86,42	169,2
		Gaussian	514,5	225	178,9	87,85	176,8
		Spherical	389	107,2	109,6	66,27	102,2

	INTERPOLACIÓN	MODELO	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
	CKU(ALT)	Exponential	388,5	104,3	104,3	74,15	94,86
		Gaussian	398	109,9	118,2	66,71	95,1
		Spherical	392,3	105,4	111	72,71	133,8
	CKU(ORI)	Exponential	394,2	104,2	107,1	74,17	134,3
		Gaussian	398,7	100,7	110,2	67,21	140,5
	IDP	-	319,1	91,72	109,5	65,78	115,6
RMSS		Spherical	0,986	1,046	1,122	1,337	1,066
	KO	Exponential	0,984	1,031	1,116	1,329	1,032
		Gaussian	0,999	1,06	1,113	1,343	1,037
		Spherical	-1,099	1,089	1,171	1,377	1,165
	KS	Exponential	-1,089	1,109	1,163	1,402	1,14
		Gaussian	-1,109	1,134	1,174	1,379	1,175
		Spherical	-0,907	0,9649	1,079	1,279	1,074
	KU	Exponential	-0,919	0,9497	1,056	1,281	1,056
		Gaussian	-0,9265	0,9612	1,063	1,265	1,1
		Spherical	0,9508	1,013	1,076	1,313	1,015
	CKO(ALT)	Exponential	0,9391	0,9904	1,077	1,305	1,009
		Gaussian	0,971	1,039	1,082	1,326	1,023
		Spherical	1,000	1,049	1,128	1,356	1,131
	CKO(ORI)	Exponential	0,982	1,025	1,085	1,33	1,079
		Gaussian	1,03	1,054	1,12	1,382	1,116
		Spherical	0,9833	1,038	1,075	1,283	1,043
	CKU(ALT)	Exponential	0,9684	1,026	1,049	1,284	1,025
		Gaussian	1,003	1,049	1,064	1,263	1,06
		Spherical	0,9954	1,05	1,079	1,284	1,142
	CKU(ORI)	Exponential	0,984	1,049	1,056	1,281	1,092
	Gaussian	1,01	1,067	1,066	1,261	1,13	
Mean Standardized		Spherical	-0,0056	-0,012	-0,0044	-0,039	-0,020
	KO	Exponential	0,0039	-0,009	-0,0062	-0,038	-0,016
		Gaussian	-0,0039	-0,016	-0,0049	-0,034	-0,020
		Spherical	-0,0154	-0,009	-0,020	-0,037	-0,030
	KS	Exponential	-0,009	-0,016	-0,021	-0,049	-0,025
		Gaussian	-0,015	-0,026	-0,024	-0,039	-0,036
		Spherical	-0,019	-0,047	-0,040	-0,089	-0,049
	KU	Exponential	-0,919	-0,032	-0,039	-0,068	-0,045
		Gaussian	-0,9265	-0,03	-0,029	-0,084	-0,048
		Spherical	0,00004	-0,015	-0,012	-0,036	-0,014
	CKO(ALT)	Exponential	-0,0016	-0,0086	-0,006	-0,037	-0,007
		Gaussian	-0,0016	-0,015	-0,012	-0,046	-0,010
		Spherical	-0,014	-0,011	-0,0020	-0,088	-0,024
	CKO(ORI)	Exponential	-0,005	-0,0121	-0,0050	-0,070	-0,014
		Gaussian	-0,011	-0,0139	-0,0109	-0,084	-0,022
		Spherical	-0,002	-0,0363	-0,036	-0,050	-0,0375

	INTERPOLACIÓN	MODELO	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
	CKU(ALT)	Exponential	0,0020	-0,0193	-0,035	-0,075	-0,0333
		Gaussian	-0,0039	-0,0003	-0,033	-0,048	-0,0331
		Spherical	-0,020	-0,048	-0,040	-0,037	-0,049
	CKU(ORI)	Exponential	-0,0205	-0,034	-0,041	-0,039	-0,046
		Gaussian	-0,0255	-0,035	-0,026	-0,035	-0,042

Convenciones

Métodos de Interpolación: Inverso de la Distancia Ponderada (IDP), Kriging Ordinario (KO), Kriging Universal (KU), Cokriging Ordinario (CKO), Cokriging Universal (CKU)

Indicadores de la validación:

- Error medio estandarizado (meam): debe estar lo más cerca de cero.
- Error cuadrático medio (RMS): debe ser el menor posible
- Error cuadrático medio estandarizado (RMSS) debe estar próximo a uno

Anexo 9. Pruebas estadísticas para el análisis con estaciones de temperatura, días lluvia y precipitación

ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
Acuetuluá	0,632	0,524	No	88,99	0,02	0,647	No	0,647	No	0,414	No
Alegrías	0,749	0,451	No	121,47	0,01	0,514	No	0,513	No	0,683	No
Auji	-0,066	0,944	No	63,47	-0,03	0,127	No	0,127	No	0,102	No
Austria	-3,081	0,002	Si	190,95	-0,17	0,008	Si	0,008	Si	0,008	Si
Bellavista	0,001	0,001	Si	123,43	-0,08	0,134	No	0,134	No	0,475	No
Boloblanco	-0,028	0,974	No	106,66	-0,06	0,165	No	0,165	No	0,052	Si
Buenavista	0,379	0,701	No	89,14	0,02	0,999	No	0,998	No	0,683	No
Buenos aires	1,475	0,139	Si	98,85	0,05	0,133	No	0,133	No	0,221	No
Brasilia	0,791	0,426	No	108,00	0,00	0,799	No	0,799	No	0,838	No
Cañaveralejo	0,553	0,577	No	102,57	0,03	0,806	No	0,805	No	0,540	No
Chambú	-1,447	0,147	Si	106,47	0,02	0,766	No	0,765	No	0,414	No
Col. san Juan	-1,072	0,281	No	87,44	-0,03	0,513	No	0,513	No	0,307	No
Col. san Luis	0,056	0,951	No	83,59	0,01	0,866	No	0,866	No	0,540	No
Cristales	0,684	0,491	No	117,21	0,05	0,780	No	0,779	No	0,610	No
Cruces	0,164	0,096	Si	109,03	0,05	0,216	No	0,216	No	0,153	No
Dapa	1,321	0,185	Si	85,48	0,04	0,319	No	0,319	No	0,221	No
Dos quebradas	1,803	0,071	Si	115,65	0,00	0,826	No	0,826	No	0,221	No
El aguacatal	2,295	0,021	Si	72,69	0,06	0,211	No	0,211	No	0,083	Si
El aguacate	1,747	0,080	Si	86,17	0,05	0,082	Si	0,081	Si	0,262	No

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
El águila	-0,286	0,772	No	177,36	0,01	0,456	No	0,456	No	0,838	No
El caney	3,020	0,003	Si	90,78	0,14	0,002	Si	0,001	Si	0,025	Si
El castillo	0,777	0,434	No	134,87	0,02	0,772	No	0,772	No	0,838	No
El diluvio	2,023	0,043	Si	149,66	0,03	0,696	No	0,696	No	1,000	No
El Granario	-4,181	0,000	Si	226,69	-0,14	0,002	Si	0,002	Si	0,032	Si
El lucero	-0,459	0,643	No	89,88	-0,03	0,066	Si	0,066	Si	0,153	No
El orégano	1,845	0,064	Si	70,35	0,06	0,118	No	0,117	No	0,126	No
El oso	-2,552	0,011	Si	116,50	-0,06	0,004	Si	0,004	Si	0,014	Si
El palacio	-0,815	0,415	No	131,41	-0,02	0,312	No	0,311	No	0,838	No
El porvenir	-0,398	0,687	No	80,27	0,01	0,731	No	0,730	No	0,919	No
El retiro	0,515	0,603	No	106,68	0,02	0,815	No	0,815	No	0,126	No
El topacio	1,063	0,286	No	211,73	0,02	0,913	No	0,912	No	0,919	No
El trapiche	-1,901	0,057	Si	135,77	-0,07	0,181	No	0,180	No	0,153	No
El Vesubio	5,825	0,000	Si	65,52	0,12	0,003	Si	0,003	Si	0,083	Si
Garzonero	-1,386	0,164	Si	98,06	-0,02	0,404	No	0,404	No	0,759	No
Herradura	0,389	0,694	No	71,23	0,01	0,965	No	0,965	No	0,838	No
Ing. la quinta	-1,313	0,188	Si	81,66	-0,04	0,198	No	0,198	No	0,838	No
Irlanda	-0,066	0,944	No	180,92	-0,02	0,915	No	0,915	No	0,307	No
Jambaló	-6,082	0,000	Si	132,00	-0,21	0,000	Si	-	Si	0,004	Si
La argentina	0,304	0,757	No	211,74	0,04	0,904	No	0,903	No	0,221	No
La balsa	1,264	0,204	No	150,34	0,05	0,425	No	0,425	No	0,683	No
La calera	-1,119	0,261	No	132,36	-0,02	0,321	No	0,321	No	0,610	No

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
La ceja	0,712	0,474	No	76,99	0,03	0,575	No	0,574	No	0,414	No
La despensa	-4,741	0,000	Si	79,51	-0,14	-	Si	-	Si	-	Si
La fonda	-1,138	0,253	No	169,33	-0,03	0,207	No	0,207	No	0,610	No
La quiebra	1,752	0,079	Si	86,88	0,02	0,360	No	0,359	No	1,000	No
Las brisas	-1,213	0,224	No	149,92	-0,06	0,137	No	0,136	No	0,358	No
La diana	-0,319	0,747	No	100,90	-0,02	0,511	No	0,510	No	0,475	No
La gitana	2,215	0,026	Si	122,80	0,07	0,191	No	0,191	No	0,221	No
La magdalena	2,969	0,003	Si	97,70	0,08	0,028	Si	0,028	Si	0,126	No
La Patagonia	0,468	0,636	No	205,52	0,05	0,615	No	0,614	No	0,759	No
La primavera	-1,381	0,166	Si	145,13	-0,04	0,234	No	0,233	No	0,759	No
La selva	1,016	0,307	No	121,70	0,05	0,721	No	0,721	No	0,414	No
La soledad	-1,817	0,069	Si	145,50	-0,03	0,490	No	0,490	No	0,540	No
La teresita	-0,361	0,715	No	132,63	0,01	0,675	No	0,675	No	1,000	No
Los Alpes	-2,903	0,004	Si	163,13	-0,10	0,061	Si	0,061	Si	0,066	Si
Mandiva	0,239	0,808	No	157,30	-0,01	0,625	No	0,625	No	1,000	No
Miravalles	1,040	0,296	No	111,13	0,03	0,368	No	0,368	No	0,540	No
Montebello	-0,070	0,940	No	88,44	0,00	0,988	No	0,988	No	0,919	No
Montecristo	-0,707	0,477	No	113,01	-0,05	0,279	No	0,279	No	0,221	No
Monte loro	0,080	0,933	No	103,69	0,01	0,988	No	0,987	No	0,919	No
Patio bonito	-2,590	0,010	Si	122,41	-0,09	0,006	Si	0,005	Si	-	Si
Penamona	-0,225	0,819	No	286,54	0,08	0,311	No	0,311	No	0,475	No
Peñas blancas	2,107	0,035	Si	127,01	0,14	0,116	No	0,116	No	0,014	Si

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
Planta Nima	-0,646	0,515	No	133,92	-0,05	0,335	No	0,335	No	0,153	No
Planta río Cali	0,745	0,454	No	91,50	0,00	0,993	No	0,993	No	0,838	No
Planta río Cauca	2,206	0,027	Si	67,11	0,07	0,168	No	0,168	No	0,066	Si
Oda nueva	4,852	0,000	Si	78,45	0,16	0,001	Si	0,001	Si	-	Si
Riofrio	-0,763	0,443	No	94,83	-0,03	0,453	No	0,452	No	0,610	No
Sabanazo	0,229	0,815	No	81,29	0,03	0,517	No	0,517	No	0,610	No
San Antonio	-0,454	0,646	No	234,63	-0,01	0,948	No	0,948	No	0,838	No
San Emigdio	-0,534	0,590	No	129,61	-0,02	0,794	No	0,794	No	0,414	No
San pablo	-0,112	0,907	No	114,34	0,02	0,266	No	0,265	No	0,307	No
San Vicente	-1,512	0,129	Si	220,73	-0,03	0,328	No	0,328	No	0,838	No
Santa Inés	-0,328	0,740	No	98,03	-0,02	0,901	No	0,901	No	0,414	No
Tenjo	-3,315	0,001	Si	166,09	-0,12	0,026	Si	0,026	Si	0,221	No
Tesorito	-1,733	0,080	Si	92,25	-0,05	0,321	No	0,321	No	0,540	No
Tominio	0,281	0,775	No	134,84	0,02	0,838	No	0,838	No	1,000	No
Toribio	-0,286	0,772	No	177,36	0,01	0,135	No	0,135	No	0,358	No
Venus	3,278	0,001	Si	142,26	0,16	0,070	Si	0,070	Si	0,008	Si
Vijes	-1,588	0,111	Si	78,34	-0,03	0,307	No	0,306	No	0,126	No
Villacolombia	2,907	0,004	Si	183,37	0,15	0,125	No	0,124	No	0,221	No
Villamaría	-0,862	0,386	No	98,45	-0,04	0,214	No	0,214	No	0,083	Si
Yanaconas	1,334	0,181	Si	113,70	0,02	0,560	No	0,559	No	0,610	No
Alcalá	-0,309	0,753	No	158,86	0,01	0,593	No	0,593	No	0,604	No
Angosturas	-2,234	0,025	Si	124,15	-0,08	0,040	Si	0,040	Si	0,358	No

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
Bugalagrande	0,721	0,468	No	94,81	0,01	0,839	No	0,839	No	0,919	No
Cajones	-0,903	0,364	No	125,81	-0,06	0,181	No	0,181	No	0,097	Si
Caseteja	-0,314	0,750	No	104,40	0,00	0,985	No	0,984	No	0,756	No
Ciat Quilichao	-0,658	0,508	No	143,17	-0,06	0,288	No	0,288	No	0,078	Si
Coconuco	-4,130	0,000	Si	145,36	-0,09	0,030	Si	0,030	Si	0,610	No
Corinto	-1,689	0,090	Si	127,59	-0,08	0,068	Si	0,068	Si	0,062	Si
El alcázar	-0,337	0,732	No	111,93	-0,04	0,440	No	0,440	No	0,683	No
El paraiso	2,561	0,010	Si	100,06	0,07	0,210	No	0,210	No	0,153	No
El placer	1,428	0,152	Si	99,53	0,06	0,328	No	0,328	No	0,540	No
El tambo	-0,595	0,549	No	157,13	-0,06	0,250	No	0,250	No	0,307	No
Florida	1,831	0,066	Si	93,59	0,07	0,511	No	0,510	No	0,254	No
Galicia	2,797	0,005	Si	91,72	0,08	0,056	Si	0,056	Si	0,254	No
Guacari	-0,663	0,504	No	81,64	-0,03	0,217	No	0,217	No	0,178	No
Ing. manuelita	-0,160	0,869	No	84,52	-0,01	0,506	No	0,506	No	0,527	No
Ing. pichichi	-2,735	0,006	Si	80,43	-0,05	0,023	Si	0,023	Si	0,083	Si
La camelia	-1,713	0,086	Si	124,71	0,03	0,925	No	0,925	No	0,407	No
Lloreda	-2,407	0,016	Si	91,87	-0,08	0,030	Si	0,030	Si	0,014	Si
Pardo	-1,948	0,051	Si	132,89	-0,07	0,257	No	0,256	No	0,262	No
Piendamo	-2,294	0,022	Si	177,25	-0,14	0,055	Si	0,055	Si	0,052	Si
Pto frazadas	0,080	0,933	No	135,70	0,00	0,935	No	0,934	No	0,759	No
Pto molina	5,390	0,000	Si	67,60	0,15	0,000	Si	-	Si	-	Si
Tenerife	0,666	0,502	No	80,50	-0,01	0,653	No	0,653	No	0,668	No

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
Zaragoza	1,216	0,000	Si	79,00	0,10	0,008	Si	0,008	Si	0,049	Si

ESTACIONES DE DÍAS LLUVIA

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
Aguacatal	-0,66	0,5067	No	9	0,1	0,48	No	0,475	No	0,261	No
Alegrías	2,73	0,0062	Si	9	0,0	0,00	Si	0,001	Si	0,002	Si
Auji	0,00	0,9925	No	6	0,0	0,63	No	0,631	No	0,919	No
Austria	1,40	0,1596	No	9	0,0	0,44	No	0,437	No	0,305	No
Bellavista	2,03	0,0422	Si	10	0,0	0,01	Si	0,007	Si	0,024	Si
Boloblanco	-2,10	0,0349	Si	11	0,0	0,00	Si	0,001	Si	0,006	Si
Brasilia	0,08	0,9286	No	12	0,0	0,77	No	0,765	No	0,609	No
Buenavista	-2,07	0,0376	Si	8	0,0	0,01	Si	0,012	Si	0,010	Si
Buenos Aires	3,92	0,0001	Si	8	0,0	0,00	Si	0,001	Si	0,003	Si
Bugalagrande	-0,04	0,9623	No	6	0,0	0,40	No	0,396	No	0,182	No
Cruces	-2,53	0,0113	Si	7	0,0	0,02	Si	0,019	Si	0,023	Si
Dapa	1,48	0,1378	Si	7	0,0	0,79	No	0,789	No	0,405	No
Dos quebradas	0,49	0,6180	No	12	0,0	0,94	No	0,936	No	0,918	No
Aguacate	0,27	0,7809	No	7	0,0	0,14	No	0,139	No	0,261	No
El águila	0,57	0,5657	No	11	-0,1	0,92	No	0,916	No	0,475	No
El alcázar	-0,90	0,3652	No	7	0,0	0,02	Si	0,023	Si	0,100	Si
El diluvio	-1,61	0,1059	Si	14	0,0	0,29	No	0,289	No	0,413	No

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
El espejo	1,96	0,0493	Si	5	0,0	0,19	No	0,188	No	0,261	No
El Granario	-7,69	0,0000	Si	12	0,1	-	Si	-	Si	-	Si
El lucero	-3,64	0,0003	Si	5	0,1	0,00	Si	0,001	Si	0,002	Si
El orégano	0,53	0,5941	No	8	0,0	0,07	Si	0,067	Si	0,019	Si
El oso	0,99	0,3212	No	6	0,2	0,31	No	0,314	No	0,759	No
El palacio	-1,89	0,0588	Si	8	-0,1	0,00	Si	0,002	Si	0,010	Si
El porvenir	2,17	0,0298	Si	8	0,2	0,32	No	0,315	No	0,919	No
El retiro	4,96	0,0000	Si	9	0,1	0,00	Si	0,002	Si	0,001	Si
El Vesubio	1,47	0,1404	Si	7	0,1	0,66	No	0,657	No	0,683	No
El caney	4,15	0,0000	Si	8	0,0	-	Si	-	Si	-	Si
El trapiche	-5,20	0,0000	Si	8	0,2	0,00	Si	-	Si	0,001	Si
Ing. La quinta	-3,48	0,0005	Si	4	0,0	0,00	Si	0,001	Si	0,002	Si
Jambaló	-3,36	0,0008	Si	7	0,0	0,03	Si	0,034	Si	0,065	Si
La Argentina	1,33	0,1830	No	12	0,0	0,02	Si	0,016	Si	0,081	Si
La calera	0,94	0,3442	No	7	0,0	0,58	No	0,584	No	0,306	No
La despensa	-5,82	0,0000	Si	4	0,0	0,00	Si	-	Si	0,001	Si
la fonda	-1,36	0,1708	No	12	-0,1	0,23	No	0,232	No	0,357	No
La gitana	2,14	0,0319	Si	13	-0,1	0,30	No	0,304	No	0,539	No
La herradura	-2,71	0,0066	Si	5	0,0	0,05	Si	0,054	Si	0,408	No
La Patagonia	0,68	0,4925	No	14	0,0	0,12	No	0,116	No	0,083	Si
La primavera	1,33	0,1818	No	11	0,1	0,22	No	0,221	No	0,185	No
La quiebra	2,91	0,0035	Si	9	0,0	0,12	No	0,117	No	0,153	No

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
La selva	2,43	0,0150	Si	9	0,0	0,04	Si	0,039	Si	0,184	No
La balsa	-5,31	0,0000	Si	9	0,0	0,00	Si	-	Si	-	Si
La ceja	-0,09	0,9251	No	10	0,0	0,40	No	0,401	No	0,606	No
Las brisas	-0,55	0,5784	No	10	0,0	0,90	No	0,898	No	0,096	Si
Las peñas	6,36	0,0000	Si	10	0,0	-	Si	-	Si	0,001	Si
la soledad	-2,68	0,0073	Si	10	0,0	0,02	Si	0,025	Si	0,082	Si
Los Alpes	-1,92	0,0538	Si	15	0,0	0,88	No	0,875	No	0,918	No
Los bancos	0,63	0,5255	No	9	0,0	0,66	No	0,662	No	0,539	No
Los cristales	2,35	0,0183	Si	9	0,0	0,05	Si	0,048	Si	0,100	Si
Miravalle	2,11	0,0348	Si	11	0,0	0,12	No	0,120	No	0,682	No
Mondomo	-2,17	0,0295	Si	9	-0,2	0,09	Si	0,092	Si	0,065	Si
Montebello	1,77	0,0755	Si	8	0,0	0,80	No	0,795	No	0,756	No
Montecristo	-2,21	0,0269	Si	8	0,0	0,13	No	0,130	No	0,473	No
Pan de azúcar	-2,86	0,0042	Si	13	-0,2	0,00	Si	-	Si	0,041	Si
Patio bonito	-3,22	0,0013	Si	10	0,0	0,13	No	0,130	No	0,410	No
Peñas blancas	0,24	0,8105	No	12	0,0	0,56	No	0,564	No	0,184	No
Planta Nima	-0,61	0,5401	No	7	0,0	0,60	No	0,604	No	0,919	No
Planta río Cali	0,82	0,4074	No	10	0,0	0,77	No	0,766	No	0,357	No
Planta río cauca	0,71	0,4736	No	8	-0,1	0,99	No	0,989	No	0,836	No
Puerto molina	3,43	0,0006	Si	8	0,1	0,00	Si	0,003	Si	0,024	Si
Quebrada nueva	2,44	0,0146	Si	6	0,1	0,06	Si	0,058	Si	0,358	No
Riofrio	-1,73	0,0824	Si	6	0,0	0,64	No	0,641	No	0,757	No

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
San Vicente	6,91	0,0000	Si	12	0,0	-	Si	-	Si	-	Si
Tacueyo	-6,60	0,0000	Si	10	-0,2	-	Si	-	Si	-	Si
Tenjo	-1,86	0,0622	Si	7	0,0	0,04	Si	0,039	Si	0,414	No
Tesorito	-0,78	0,4352	No	11	0,0	0,77	No	0,773	No	0,683	No
Tominio	3,50	0,0005	Si	12	-0,2	0,01	Si	0,010	Si	0,032	Si
Toribio	5,92	0,0000	Si	9	-0,2	-	Si	-	Si	-	Si
Venus	6,97	0,0000	Si	15	0,0	-	Si	-	Si	-	Si
Villacolombia	1,90	0,0567	Si	12	0,0	0,22	No	0,219	No	0,539	No
Villamaría	0,46	0,6406	No	8	0,0	0,52	No	0,524	No	0,759	No
Zabaletas	0,58	0,5554	No	7	0,0	1,00	No	1,000	No	1,000	No

ESTACIONES DE TEMPERATURA

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
Acuetulúa	9,36	0,000	Si	23,67	0,004	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si
Apto Bonilla	1,51	0,129	Si	23,70	0,000	0,083	Si	0,083	Si	0,026	Si
Barragán	5,40	0,000	Si	11,40	0,001	0,000	Si	0,000	Si	0,004	Si
Bosque Yotoco	0,14	0,884	No	19,10	0,000	0,004	Si	0,004	Si	0,016	Si
C. Admon Unión	0,30	0,763	No	24,30	0,000	1,000	No	0,182	No	0,124	No
Ciat Palmira	4,17	0,000	Si	24,07	0,001	0,100	Si	0,100	Si	0,282	No
Ciat Quilichao	-1,80	0,071	Si	23,89	0,000	0,925	No	0,924	No	0,838	No
Cumbarco	8,98	0,000	Si	18,12	0,003	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si

Estación	Mann-Kendall			Theil-Sen		Mann-Whitney		Kruskal-Wallis		Test de la mediana	
	Z	p-value	$\alpha = 0,1$	Intercep.	β .Slope	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$	p-value	$\alpha = 0,1$
El Topacio	2,80	0,005	Si	19,08	0,002	0,017	Si	0,017	Si	0,034	Si
Garzonero	3,87	0,000	Si	23,83	0,007	0,001	Si	0,000	Si	0,056	Si
Granja Exp ICA	-5,10	0,000	Si	24,20	-0,002	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si
Hda San Marcos	-0,15	0,882	No	23,30	0,000	0,984	No	0,984	No	1,000	No
Ing. Manuelita	3,98	0,000	Si	23,47	0,002	0,001	Si	0,001	Si	0,004	Si
Ing. Bengala	4,55	0,000	Si	23,80	0,001	0,001	Si	0,001	Si	0,006	Si
Ing. Central Castilla	16,75	0,000	Si	23,46	0,006	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si
Ing. Del Cauca	3,67	0,000	Si	23,60	0,003	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si
Ing. Providencia	-2,95	0,003	Si	23,77	-0,001	0,004	Si	0,025	Si	0,389	No
Japio	3,85	0,000	Si	23,24	0,002	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si
La Sirena	-0,65	0,508	No	13,17	0,000	0,271	No	0,271	No	0,887	No
La Teresita	9,18	0,000	Si	15,96	0,006	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si
Miranda	6,41	0,000	Si	22,93	0,002	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si
Paletara	9,98	0,000	Si	10,29	0,006	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si
Tenerife	1,98	0,047	Si	13,55	-0,001	0,008	Si	0,008	Si	0,016	Si
Univalle	6,17	0,000	Si	24,00	0,002	0,000	Si	0,000	Si	0,000	Si

Anexo 10. Clasificación y estadísticos descriptivos de la precipitación diaria de cada estación pluviométrica

NOMBRE	COORDNORTE	COORDESTE	ORIENTACIÓN	ALTURA	Cluster	PROMEDIO (mm)	Desv. Est. (mm)	Primer cuartil	Tercer cuartil
AEPTO A. BONILLA	884024	1077512	214,16	968,03	1	2,4	1,1	1,5	3,0
AUJI	893269	1108987	92,00	1796,20	1	2,3	1,5	1,6	3,0
AUSTRIA	889583	1108991	91,27	1819,07	2	4,7	3,0	3,0	7,0
BELLAVISTA	893282	1120099	63,40	3678,53	1	2,9	1,6	1,9	4,2
CASETEJA	876684	1112709	96,11	3615,89	1	3,0	1,4	1,7	4,0
CIAT PALMIRA	878501	1084924	250,74	981,09	1	2,5	1,1	1,7	3,3
COSTA RICA	906157	1094159	46,59	1269,12	2	5,5	2,6	4,1	7,6
EL CASTILLO	896944	1097872	226,72	1345,17	2	4,5	2,7	3,0	6,9
EL PARAÍSO	895101	1097873	278,17	1310,22	2	4,3	2,7	2,5	6,8
GRANJA EXP ICA	878501	1084924	250,74	981,09	1	2,8	1,4	2,0	3,5
GUACARÍ	907990	1083048	161,36	975,64	1	2,1	0,8	1,5	2,8
ING LA QUINTA	869282	1081227	78,85	978,68	1	2,6	1,3	1,7	3,3
ING MANUELITA	885877	1088622	229,12	1033,96	1	2,7	1,0	1,7	3,2
ING PICHICHI	909838	1088601	206,24	1026,58	1	2,0	1,1	1,2	2,8
ING PROVIDENCIA	891406	1088617	234,47	1029,02	1	2,6	1,1	1,8	3,2
JUANCHITO	852699	1088650	190,31	948,20	1	1,8	0,9	1,3	2,6
LA CEJA	902496	1118236	205,05	2618,32	2	2,8	1,4	1,9	3,8
LA SELVA	904321	1101568	184,79	2227,46	1	4,3	2,3	3,2	5,9
LAS JUNTAS	908007	1101564	164,52	2227,28	1	3,2	1,9	2,3	4,8
LOS MINCHOS	869300	1101602	308,56	1390,94	1	3,3	1,9	1,9	5,0
MATAPALO	889550	1071952	254,78	949,49	1	2,3	1,3	1,2	3,0
SAN EMIGDIO	884042	1097884	43,71	1306,04	2	3,9	2,2	2,5	5,3

SAN NICOLAS	882202	1101590	251,37	1998,02	2	4,3	2,6	2,9	6,1
SANTA INES	892656	1058935	85,59	1668,66	2	6,0	3,1	4,1	7,4
SANTA TERESA	876688	1116414	278,25	3671,32	1	3,5	2,0	2,1	4,1
TENERIFE	904331	1110826	145,48	2674,21	1	2,8	1,4	1,8	4,1
TENJO	880359	1101592	34,22	1927,93	2	4,2	2,4	3,1	6,5