INFORME FINAL DE PASANTÍA

"*Modelamiento Espacial, en la Elaboración de Mapas para el Departamento del Cauca, Sobre Riesgo Agroclimático por Inundaciones (Escala 1:25.000) y Sequía a Escala 1:100.000*".

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC.
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – CIAF.

Estudiante:
CARLOS ANDRÉS PEÑALOZA FORERO.
COD. 20061010018.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERIA FORESTAL.

Fecha:
13 de Septiembre del 2016.

"*Modelamiento Espacial, en la Elaboración de Mapas para el Departamento del Cauca, Sobre Riesgo Agroclimático por Inundaciones (Escala 1:25.000) y Sequía a Escala 1:100.000*".

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI – IGAC.
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INFORMACIÓN GEOGRÁFICA – CIAF.

Estudiante:
CARLOS ANDRÉS PEÑALOZA FORERO.
COD. 20061010018.

Director externo:
HÉCTOR MAURICIO RAMÍREZ DAZA.
Ing. Forestal. Msc. Geografía.

Director interno:
JUAN CARLOS ALARCÓN HINCAPIÉ.
Ing. Catastral. Profesor Asociado.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES.
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERIA FORESTAL.

Fecha:
13 de Septiembre del 2016.

"*La Fortuna rechaza los ruegos de los cobardes*"
OVIDIO

AGRADECIMIENTOS

Con todo mi cariño, a mi querida Señora Madre María Forero, quien me apoyó incondicionalmente, y a cada momento, para el logro de ésta meta.

Deseo expresar mis agradecimientos, a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y al proyecto curricular de Ingeniería Forestal junto a sus excelentes docentes; por otra parte, a todos y cada uno de los integrantes del Grupo de Percepción Remota y Aplicaciones geográficas del Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica – CIAF, por su compañerismo y conocimientos brindados, durante la realización de las prácticas, en especial al Ing. MSc. Héctor Mauricio Ramírez Daza y al Ing. MSc. Jaime Silva, por haberme dado la oportunidad, el gusto y el privilegio, de realizar éste trabajo de grado, en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

También a la Subdirección de Agrología del IGAC, por el préstamo de material técnico, concerniente a los municipios de estudio del presente trabajo.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Director externo:
HÉCTOR MAURICIO RAMÍREZ DAZA.
Ing. Forestal. MSc. Geografía.

Director interno:
JUAN CARLOS ALARCÓN H.
Ing. Catastral. Profesor Asociado.

Jurado:
GERMÁN HURTADO PEÑA.
Ing. Forestal. Consultor Catedrático

CALIFICACIÓN: _____

Jurado:
ORLANDO RIAÑO MELO.
Ing. Sistemas. MSc. Geomática.

CALIFICACIÓN: _____

FECHA DE SUSTENTACIÓN: _____

"Modelamiento Espacial, en la Elaboración de Mapas para el Departamento del Cauca, Sobre Riesgo Agroclimático por Inundaciones (Escala 1:25.000) y Sequía a Escala 1:100.000".

ABSTRACT

The work shows, the technical support provided to the group CIAF, Remote Sensing during the practices in Institute Geographic Agustín Codazzi - IGAC, in the implementation of technical assistance project to CORPOICA in remote sensing, spatial analysis and modeling, of Cauca department for three priority municipalities: El Tambo, Patía (El Bordo) and Mercaderes; about threat of drought on a scale of 1:100,000 and the dynamic expansion and contraction of water bodies to scale 1:25,000, by the digital image processing of remote sensing and using spectral indices. In addition the analysis of the information obtained is supplemented, with a Multitemporal Study, from 1990 to 2014, by Landsat Satellite Images, to evaluate soil cover; and finally, maps is performed, scale 1:100.000, suggesting forest species to be implemented in the areas affected by drought, according to the characteristics of: relief, slope, climate, geology, coverage, soil, capacity and uses of soil, for each of the aforementioned municipalities of Cauca.

Key Words: *Dynamic Water, Index Normalized Difference Vegetation, Study Multitemporary, Forest Species*.

RESUMEN

El trabajo muestra, el apoyo técnico, brindado al grupo de Percepción Remota del CIAF, durante las prácticas realizadas en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, en la ejecución del proyecto de asistencia técnica a CORPOICA en percepción remota, análisis y modelamiento espacial, del departamento del Cauca, para tres municipios priorizados, siendo estos: El Tambo, Patía (El Bordo) y Mercaderes; sobre la amenaza de sequía a escala 1:100.000 y la dinámica de expansión y contracción de cuerpos de agua a escala 1:25.000, mediante el procesamiento digital de imágenes de sensores remotos y el empleo de índices espectrales. Además se complementa el análisis de la información obtenida, mediante un Estudio Multitemporal, del año 1990 al año 2014, por medio de Imágenes Satelitales Landsat para evaluar la cobertura terrestre; y por último, se efectúan salidas cartográficas, a escala 1:100.000, sugiriendo especies forestales a ser implementadas, en las zonas afectadas por sequía, de acuerdo a las características de: relieve, pendiente, clima, geología, cobertura, suelos, capacidad y usos del suelo, para cada uno de los municipios mencionados del departamento del Cauca.

Palabras Clave: *Dinámica Hídrica, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, Estudio Multitemporal, Especies Forestales*.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS 3
   2.1. OBJETIVO GENERAL 3
   2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS 3
3. METODOLOGÍA 4
   3.1. FASE DE PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES: 5
      3.1.1. Etapa de búsqueda y selección de información geoespacial. 5
      3.1.2. Etapa de corrección de imágenes. 5
   3.2. FASE DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL: 5
      3.2.1. Etapa de cálculo de índices espectrales e interpretación visual. 6
   3.3. FASE DE POS-PROCESAMIENTO: 7
      3.3.1. Etapa de análisis de resultados. 7
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS 8
   4.1. RESULTADOS SOBRE DINÁMICA HÍDRICA: 8
      4.4.1. EL TAMBO: 10
      4.4.2. PATÍA (EL BORDO): 13
      4.4.3. MERCADERES: 18
   4.2. ANALISIS DE RESULTADOS SOBRE DINÁMICA HÍDRICA: 23
      4.2.1. EL TAMBO: 24
      4.2.2. PATÍA (EL BORDO): 26
      4.2.3. MERCADERES: 27
   4.3. RESULTADOS SOBRE SEQUÍA: 29
      4.3.1. EL TAMBO: 31
      4.3.2. PATÍA (EL BORDO): 34
      4.3.3. MERCADERES: 36
   4.4. ANALISIS DE RESULTADOS SOBRE SEQUÍA: 38
      4.4.1. EL TAMBO: 39
      4.4.2. PATÍA (EL BORDO): 41
      4.4.3. MERCADERES: 42
   4.5. RESULTADOS DEL ESTUDIO MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES: 43
      4.5.1. EL TAMBO: 45
      4.5.2. PATÍA (EL BORDO): 48
      4.5.3. MERCADERES: 51

4.6. ANÁLISIS SOBRE EL ESTUDIO MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES: 54
4.6.1. EL TAMBO: 55
4.6.2. PATÍA (EL BORDO): 56
4.6.3. MERCADERES: 57
4.7. RESULTADOS SOBRE EL MAPA DE ESPECIES FORESTALES POTENCIALES: 58
4.7.1. EL TAMBO: 60
4.7.2. PATÍA (EL BORDO): 62
4.7.3. MERCADERES: 64
4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS SOBRE EL MAPA DE ESPECIES FORESTALES POTENCIALES: 66
4.8.1. EL TAMBO: 67
4.8.2. PATÍA (EL BORDO): 68
4.8.3. MERCADERES: 69
5. CONCLUSIONES 71
6. RECOMENDACIONES 72
7. ANEXOS 73
8. BIBLIOGRAFÍA 90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales empleadas para la dinámica hídrica de cada municipio. 8
Tabla 2. Año de la Cartografía Base y porcentaje de Área efectiva disponible para cada imagen. 9
Tabla 3. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio de El Tambo. 10
Tabla 4. Expansión. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio de Patía (El Bordo) del 07/01/2003. 13
Tabla 5. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio de Patía (El Bordo) del 22/07/2010. 14
Tabla 6. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio de Mercaderes del 07/01/2003. 18
Tabla 7. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio Mercaderes del 31/01/2010. 19
Tabla 8. Comparación entre municipios de los resultados totales de la dinámica de agua. 23
Tabla 9. Características de las imágenes satelitales empleadas para sequía de cada municipio. 29
Tabla 10. Relación entre el área del municipio y la disponibilidad de información en cada imagen. 30
Tabla 11. Resultados del grado de sequía para las dos opciones de El Tambo. 31
Tabla 12. Resultados del grado de sequía para Patía (El Bordo). 34
Tabla 13. Resultados del grado de sequía para Mercaderes. 36
Tabla 14. Comparación entre las anomalías por sequía para los municipios del Cauca. 38
Tabla 15. Características de las imágenes satelitales utilizadas para el estudio multitemporal. 43
Tabla 16. Área efectiva disponible de las imágenes empleadas para la evaluación multitemporal. 44
Tabla 17. Coberturas Corine Land Cover obtenidas para el municipio de El Tambo. 45
Tabla 18. Coberturas Corine Land Cover obtenidas para el municipio de Patía (El Bordo). 48

Tabla 19. Coberturas Corine Land Cover obtenidas para el municipio de Mercaderes. 51
Tabla 20. Tasa de cambio anual para cada cobertura de los municipios de estudio. 54
Tabla 21. Área de reducción y ganancia del estudio multitemporal de cada municipio. 54
Tabla 22. Variables de restricción utilizadas como criterio para el establecimiento de las especies. 58
Tabla 23. Requerimientos ambientales de las especies potenciales para cada uno de los municipios priorizados del Cauca. 59
Tabla 24. Comparación entre las especies de mayor potencialidad y área disponible de los municipios. 66
Tabla 25. Software de teledetección usado. 74

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema sobre la metodología empleada. 4
Ilustración 2. Intersección entre la Cartografía Base y el gráfico vectorial obtenido de las Imágenes Satelitales, generando así las áreas de expansión, contracción e invariabilidad hídrica. 6
Ilustración 3. Fecha de captura de las imágenes satelitales para los municipios. 9
Ilustración 4. Extensión municipios cubiertos por la imagen y sin información por la atmósfera. 9
Ilustración 5. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de El Tambo. 11
Ilustración 6. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de Patía (El Bordo) del 07/01/2003. 14
Ilustración 7. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de Patía (El Bordo) del 22/07/2010. 15
Ilustración 8. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de Mercaderes del 07/01/2003. 19
Ilustración 9. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de Mercaderes del 31/01/2010. 20
Ilustración 10. Comparación en hectáreas de la dinámica hídrica de los municipios caucanos. 23
Ilustración 11. Presencia de minería a cielo abierto en los Rios Hondo y Cauca del Tambo. 24
Ilustración 12. Comparación con otra imagen reciente y de mayor resolución, de la minería en el Rio Quilacé del Tambo. 24
Ilustración 13. Fenómeno de expansión vinculada a arreglos agroforestales en el Tambo. 25
Ilustración 14. Tanques piscícolas junto a cuerpos de agua de origen natural en el municipio de El Tambo. 26
Ilustración 15. Actividades de minería en el Río Quilacé para el municipio de Patía (El Bordo) 22/07/2010. 27
Ilustración 16. Desecación de cuerpos de agua cercanos al Río Patía en el Patía (El bordo) 07/01/2003. 27
Ilustración 17. Comparación de la reducción en los cuerpos de agua en la zona entre Monteredondo, Hato Viejo y Sombrerillos en Mercaderes para el 31/01/2010 y 2013. 28
Ilustración 18. Zona de contracción hídrica próxima a infraestructuras en Mercaderes 31/01/2010. 28
Ilustración 19. Tabla de colores según el porcentaje obtenido del índice DELTA NDVI. 29
Ilustración 20. Imágenes y evento de sequía presentado en cada fecha para los municipios. 30
Ilustración 21. Comparación en hectáreas de la extensión del municipio, la escena y sin información. 30
Ilustración 22. Anomalía por sequía para El Tambo Opción 1. 31
Ilustración 23. Anomalía por sequía para El Tambo Opción 2. 31
Ilustración 24. Anomalía por sequía para Patía (El Bordo). 34
Ilustración 25. Anomalía por sequía para Mercaderes. 36
Ilustración 26. Comparación entre municipios de los resultados totales de la dinámica de agua. 38
Ilustración 27. Área de importancia ecológica en el Tambo afectada de anomalía de sequía Severa. 39
Ilustración 28. Afectación de grado severo en la parte Sureste de El Tambo. 40
Ilustración 29. Anomalía de grado Estable en las zonas más escarpadas de Patía (El Bordo). 41

Ilustración 30. Comparación entre la desecación hídrica y la anomalía de sequía estable en el mismo mes y año para Mercaderes del 31/01/2010. 42
Ilustración 31. Fecha de las imágenes del estudio multitemporal para cada municipio. 44
Ilustración 32. Comparación entre el Área efectiva de las imágenes para la evaluación multitemporal. 44
Ilustración 33. Comparación de las Zonas Urbanizadas identificadas para El Tambo. 45
Ilustración 34. Comparación de las Zonas Urbanizadas identificadas para Patía (El Bordo). 48
Ilustración 35. Comparación de las Zonas Urbanizadas identificadas para Mercaderes. 51
Ilustración 36. Comparación entre las coberturas de estudio para El Tambo. 55
Ilustración 37. Comparación entre las coberturas de estudio para Patía (El Bordo). 56
Ilustración 38. Comparación entre las coberturas del estudio multitemporal para Mercaderes. 57
Ilustración 39. Especies potenciales y área disponible del municipio El Tambo. 60
Ilustración 40. Especies potenciales y área disponible del municipio de Patía (El Bordo). 62
Ilustración 41. Especies potenciales y área disponible del municipio de Mercaderes. 64

INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Dinámica hídrica del Tambo, imágenes 402027000000209 y 402027000000210 – (Fecha 31/01/2010). 12
Mapa 2. Dinámica hídrica del Patía (El Bordo), Imagen 402021000000025 – (Fecha 7/1/2003). 16
Mapa 3. Dinámica hídrica del Patía (El Bordo), Imagen 402027000000314 – (Fecha 22/07/2010). 17
Mapa 4. Dinámica hídrica de Mercaderes, Imagen 402021000000025 – (Fecha 07/01/2003). 21
Mapa 5. Dinámica hídrica de Mercaderes, Imagen 402027000000211 – (Fecha 31/01/2010). 22
Mapa 6. Anomalía de Sequía para El Tambo, imágenes Landsat comparadas Niño-Normal Opción 1. (Fechas 24/08/2001-12/09/2002) 32
Mapa 7. Anomalía de Sequía para El Tambo, imágenes Landsat comparadas Niño-Normal Opción 2. (Fechas 24/08/2001-04/08/2014) 33
Mapa 8. Anomalía de Sequía para Patía (El Bordo), imágenes Landsat comparadas Niño-Normal (Fechas 24/08/2001-20/08/2014) 35
Mapa 9. Anomalía de Sequía para Mercaderes, imágenes Landsat comparadas Niño-Normal (Fechas 29/01/2010-22/01/1990). 37
Mapa 10. Cobertura del Municipio de El Tambo, imagen LE70090582001236EDC00 - (Fecha 24 de Agosto del 2001). 46
Mapa 11. Cobertura del Municipio de El Tambo, imagen LC80090582014232LGN00 - (Fecha 20 de Agosto del 2014). 47
Mapa 12. Cobertura del Municipio de Patía (El Bordo), imagen LE70090592001236EDC00 - (Fecha 24 de Agosto del 2001). 49
Mapa 13. Cobertura del Municipio de Patía (El Bordo), imagen LC80090592014232LGN00 - (Fecha 20 de Agosto del 2014). 50
Mapa 14. Cobertura del Municipio de Mercaderes, imagen LT40090591990206XXX02 - (Fecha 25 de Julio de 1990). 52
Mapa 15. Cobertura del Municipio de Mercaderes, imagen LE70090592010021EDC00 - (Fecha 21 de Junio del 2010). 53
Mapa 16. Mapa de especies forestales potenciales para el municipio priorizado de El Tambo. 61
Mapa 17. Mapa de especies forestales potenciales para el municipio priorizado de Patía (El Bordo). 63
Mapa 18. Mapa de especies forestales potenciales para el municipio priorizado de Mercaderes. 65
Mapa 19. Relieve del municipio de El Tambo. 75
Mapa 20. Relieve del municipio de Patía (El Bordo). 76
Mapa 21. Relieve del municipio de Mercaderes. 77
Mapa 22. Mapa de pendientes del municipio de El Tambo. 78

Mapa 23. Mapa de pendientes del municipio de Patía (El Bordo). 79
Mapa 24. Mapa de pendientes del municipio de Mercaderes. 80
Mapa 25. Mapa climático del municipio de El Tambo. 81
Mapa 26. Mapa climático del municipio de Patía (El Bordo). 82
Mapa 27. Mapa climático del municipio de Mercaderes. 83
Mapa 28. Mapa geológico del municipio de El Tambo. 84
Mapa 29. Mapa geológico del municipio de Patía (El bordo). 85
Mapa 30. Mapa geológico del municipio de Mercaderes. 86
Mapa 31. Mapa de suelos para el municipio de El Tambo. 87
Mapa 32. Mapa de suelos para el municipio de Patía (El Bordo). 88
Mapa 33. Mapa de suelos para el municipio de Mercaderes. 89

1. INTRODUCCIÓN

El país en los últimos años, ha vivido un recrudecimiento en su variabilidad climática, como lo manifestado en el 2010 y 2011, donde el fenómeno invernal de la Niña por su magnitud e intensidad, ocasionó inundaciones y remociones en masa históricas (CEPAL. & BID, 2012); por otra parte, eventos como la sequía, acaecida durante 1997 y 1998, por efecto del fenómeno de El Niño, causante de desabastecimiento hídrico, incendios, muerte tanto de fauna silvestre como doméstica y además pérdidas económicas al sector agrícola y pecuario del país (UNGRD, 2014); constituyen una de las mayores amenazas, para la población que habita, las zonas más vulnerables del territorio colombiano.

Esta problemática tiene gran impacto para muchos departamentos colombianos, entre los que se cuenta el departamento del Cauca, donde en municipios como el Patía, aumentan los niveles de pobreza como consecuencia de los fenómenos de sequía, causantes de la disminución productiva de los suelos y de las tierras disponibles para realizar labores, principalmente de tipo agrícola (INCODER, 2012), a su vez actividades como la ganadería extensiva, incrementan la incidencia de erosión del suelo; por tal motivo, es preciso contar con bases de datos geoespaciales, que contribuyan a la toma de decisiones, y a la planificación del territorio, especialmente de las zonas más vulnerables, frente a éstos fenómenos naturales.

Con tal necesidad, el Gobierno colombiano crea en el año 2011, el Fondo Adaptación, para la recuperación, reconstrucción y reactivación socioeconómica de zonas afectadas, por el fenómeno de La Niña del 2010 y 2011; para éste propósito, con la orden de servicios 4386, es encomendado al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), como entidad pública encargada de generar la información agrologica, catastral y geográfica oficial del país; mediante su Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográfica (CIAF), dar apoyo técnico en percepción remota, análisis y modelamiento espacial, para inundaciones a escala 1:25.000 y para sequía a escala 1:100.000, en la generación de mapas de riesgo agroclimático por parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA).

Para llevar a cabo este propósito, fueron priorizados los municipios del país, según su mayor grado de vulnerabilidad, siendo un total de dieciocho departamentos; en el año 2013 la primera fase del proyecto, comprendió al Atlántico, Bolívar, Huila, Boyacá, Antioquia, Norte de Santander, Nariño, Córdoba y Cundinamarca; y para el año 2015 la segunda fase contempló al Chocó, Tolima, Guajira, Cesar, Magdalena, Santander, Sucre, Valle del Cauca y el Cauca; siendo éste último departamento mencionado, con sus municipios priorizados: El Tambo, Patía (El Bordo), y Mercaderes, el objeto de estudio del presente trabajo.

En este escrito se expone, la descripción de la metodología empleada, seguida de los resultados obtenidos y de los análisis realizados, para cada uno de los municipios priorizados del Cauca; se presenta en primera medida la cuantificación y espacialización de la dinámica hídrica durante fenómenos de La Niña y de El Niño, en relación a épocas con condiciones normales o promedio, es decir sin fenómenos de sequía ni invernal; posteriormente se muestran datos derivados de una categorización obtenida al comparar Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), para años con fenómeno de El Niño, respecto a otros años sin dicho fenómeno climático.

Con estos resultados obtenidos, del apoyo técnico brindado al proyecto del grupo de Percepción Remota y aplicaciones Geográficas del CIAF, en su asistencia técnica a CORPOICA, surgió la necesidad de contemplar otras variables, con el propósito de efectuar un análisis más amplio y formular recomendaciones, para los municipios de estudio; decidiéndose por iniciativa propia, complementar dicha información derivada del apoyo al proyecto, mediante la realización de un Estudio Multitemporal, en las mismas épocas de evaluación de sequía: del año 1990 al año 2010 para el municipio de Mercaderes, y del año 2001 al 2014 para los municipios de El Tambo y Patía (El Bordo), por medio de Imágenes Satelitales Landsat 4, 7 y 8.

Adicionalmente a esto, fueron elaborados mapas a escala 1:100.000, para cada uno de los municipios, recomendando la implementación de especies forestales potenciales, para las zonas afectadas por anomalía de sequía tipo Severa y de tipo Moderada, de acuerdo a la clasificación obtenida, de la comparación entre los índices NDVI y los resultados de dinámica hídrica; fundamentando dicha implementación, según las características de: relieve, pendiente, clima, geología, suelo, capacidad y usos del suelo, entre otras, de los municipios priorizados para el departamento del Cauca.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Apoyar técnicamente, al grupo de Percepción Remota y aplicaciones Geográficas del Centro de Investigación y Desarrollo en Información Geográficas (CIAF), en la ejecución del proyecto de asistencia técnica a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) en lo concerniente a percepción remota, análisis y modelamiento espacial para el departamento del Cauca, con el fin de elaborar mapas de riesgo agroclimático por parte de la Corporación.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Realizar el análisis de la dinámica de expansión y contracción de cuerpos de agua a escala 1:25.000, a partir de imágenes de sensores remotos, en las áreas priorizadas por CORPOICA, para el departamento del Cauca.

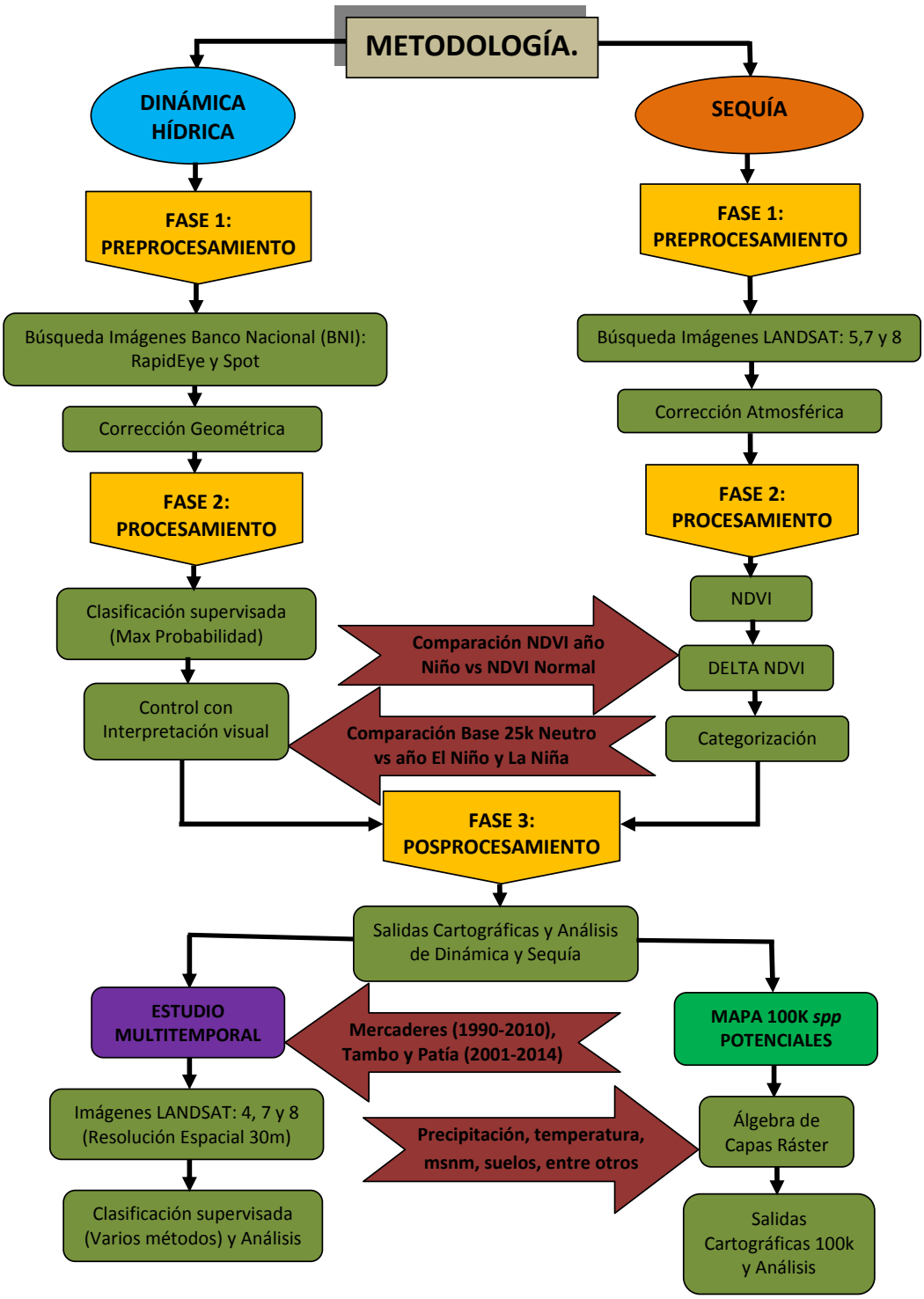
2. Efectuar análisis sobre la amenaza por sequía a escala 1:100.000, a partir de la utilización de índices espectrales derivados del procesamiento de imágenes de sensores remotos, para la distribución espacial y severidad de las sequías en la vegetación, en los tres municipios priorizados por CORPOICA.

3. Realizar un estudio multitemporal del año 1990 al año 2010 para el municipio de Mercaderes, y del año 2001 al 2014 para los municipios de El Tambo y Patía (El Bordo), mediante el uso de Imágenes Satelitales tipo Landsat; para determinar los cambios en la cobertura, de los municipios priorizados del departamento del Cauca.

4. Sugerir especies de tipo forestal, mediante la elaboración de mapas a escala 1:100.000, para las zonas afectadas de mayor grado de anomalía de sequía, según los resultados obtenidos y de acuerdo a las características de: relieve, pendiente, clima, geología, cobertura, suelos y usos del suelo, de los municipios objeto de estudio.

3. METODOLOGÍA

Ilustración 1. Esquema sobre la metodología empleada.



3.1. FASE DE PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES:

Esta fase consistió en la búsqueda de información espacial, en el Banco Nacional de Imágenes (BNI) del Instituto, de acuerdo a fechas determinadas por CORPOICA, elegidas bajo el criterio de **Índice de Severidad de Sequía de Palmer** (PDSI); el cual es un indicador, que basado en datos obtenidos en estaciones meteorológicas, principalmente con la precipitación y la temperatura, mide la *sequía* expresada con *valores negativos*, mientras que las condiciones de *humedad* presentan números *positivos*.

Dichas imágenes, fueron empleadas en la evaluación de la dinámica hídrica, para comparar las superficies de agua, en fenómeno de sequía e invernal, respecto a la Cartografía Base Oficial a escala 1:25.000 obtenida en épocas sin fenómeno. Por otra parte, para evaluar las condiciones secas, se obtuvieron imágenes satelitales tipo Landsat, en el *web site* del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS); de manera semejante, según fechas elegidas por la Corporación, de un año seco, y un año neutro o sin fenómeno de El Niño, para ser luego cotejados sus **Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada** (NDVI), mediante procesamiento digital de imágenes.

3.1.1. Etapa de búsqueda y selección de información geoespacial.

I. Obtención de las imágenes Landsat 5, 7 y 8 de la pagina: http://earthexplorer.usgs.gov/; y solicitud de las imágenes RapidEye y Spot, según su disponibilidad en el BNI: http://bni.igac.gov.co/home/srv/es/main.home; y solicitud de la Cartografía Base Oficial, del departamento del Cauca a escala 1:25.000.

3.1.2. Etapa de corrección de imágenes.

I. Corrección geométrica con el *software ILWIS*, mediante Puntos de control sobre las imágenes empleadas, para evaluar la dinámica hídrica.
II. Correcciones atmosféricas mediante el módulo *ATCOR* del *software PCI Geomática*, a las imágenes Landsat, para la evaluación de sequía y para el estudio multitemporal.

3.2. FASE DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL:

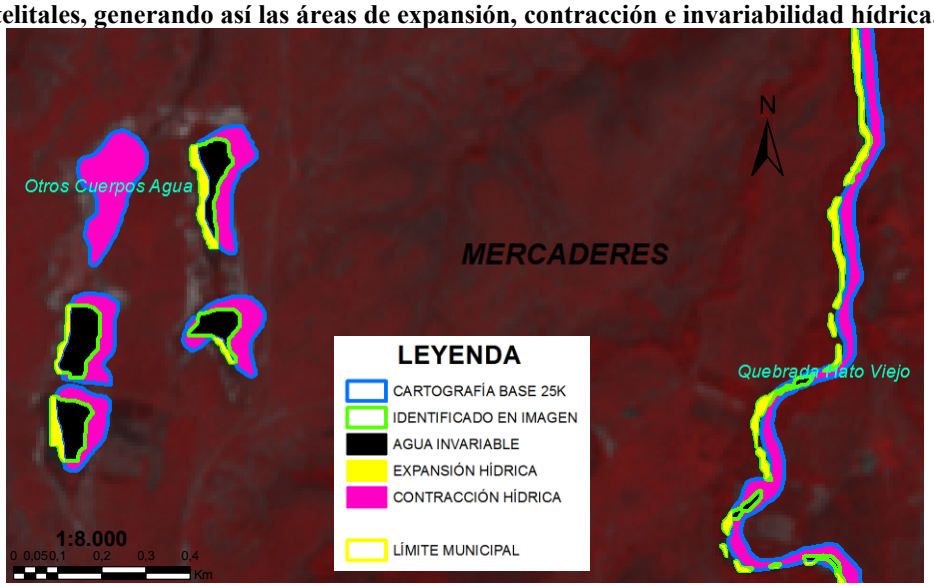
La siguiente fase constituyo, la valoración de la dinámica hídrica, aplicando Clasificación supervisada, principalmente con el método de Máxima Probabilidad, empleando *software* como: *Arc GIS* y *PCI Geomática*; para la discriminación de cuerpos de agua y márgenes hídricas, en un Área efectiva (Es decir, el área del municipio sin influencia atmosférica, y abarcada con la imagen satelital, ya que en la mayoría de casos no se cubrió la totalidad del municipio); posteriormente se realizó control con interpretación visual sobre las mismas, incluyendo enmascaramiento de bruma, sombras y nubes; de manera semejante se realizó para la evaluación de las condiciones secas, a diferencia de la aplicación de índices espectrales.

3.2.1. Etapa de cálculo de índices espectrales e interpretación visual.

I. Se realizó el enmascaramiento para bruma, sombras y nubes, mediante algoritmo de bandas usando el *software PCI Geomática* y el control visual con el *software Arc GIS*, sobre el Área efectiva de cada imagen, tanto para la evaluación de dinámica de agua como para sequía.

II. Con la discriminación de los cuerpos de agua y redes hídricas, y la obtención de sus gráficos vectoriales de cada imagen satelital, junto a la identificación de topónimos, se procedió a realizar la comparación, con el vector de la Cartografía Base a escala 1:25.000, mediante la intersección entre dichos vectores. La (Ilustración 2) muestra más en detalle, lo descrito anteriormente.

Ilustración 2. Intersección entre la Cartografía Base y el gráfico vectorial obtenido de las Imágenes Satelitales, generando así las áreas de expansión, contracción e invariabilidad hídrica.



III. Para la evaluación de sequía, se procedió a calcular el NDVI, que relaciona los Niveles digitales (ND) del Rojo (R) e Infrarojo cercano (IRC), tal como se muestra:

NDVI = ((IRC - R)/ (IRC + R)). (Rouse et al., 1974)

IV. Posteriormente, para continuar con la evaluación de sequía, se calculó la relación **Delta de Vegetación de Diferencia Normalizada** (DELTA NDVI), para todas las imágenes satelitales Landsat; y así obtener la comparación digital, entre el NDVI de las imágenes de año neutro respecto al NDVI de las de fenómeno El Niño, para finalmente clasificar en porcentaje, la anomalía de sequía (Anexo 7.1).

DELTA NDVI = (NDVI Sequía/ NDVI Normal)*100 - 100. (IGAC, 2014)

3.3. FASE DE POS-PROCESAMIENTO:

En esta última fase, se relacionaron los resultados derivados de la dinámica de agua y sequía, con un estudio multitemporal mediante Imágenes Satelitales Landsat 4, 7 y 8, todas con resolución espacial de 30 m; además, se propuso un Mapa de especies potenciales, para los municipios, en las zonas afectadas por anomalía de sequía tipo Severa y Moderada, junto a los requerimientos ambientales de las especies.

3.3.1. Etapa de análisis de resultados.

I. Se realizó la organización de las salidas cartográficas, derivadas de la dinámica hídrica y de la evaluación de sequía; para su respectivo análisis cualitativo y cuantitativo, sobre la expansión-contracción hídrica y sobre las anomalías de sequía, obtenidas del procesamiento de imágenes.

II. Se categorizó la cobertura según la metodología **Corine Land Cover Colombia** (CLC), mediante varios métodos de Clasificación Supervisada, especialmente el de *Máxima Probabilidad*, además de interpretación visual, obteniendo seis clases:

1. **Territorios Artificializados:**
   - **1.1. Zonas urbanizadas**
2. **Territorios Agrícolas:**
   - **2.1. Cultivos transitorios**
   - **2.2. Cultivos permanentes**
   - **2.3. Pastos**
3. **Bosques y Áreas Naturales:**
   - **3.1. Bosques**
   - **3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva**
   - **3.3. Áreas abiertas sin o con poca vegetación.**

Posteriormente, se contrastaron las áreas obtenidas, según las fechas elegidas coincidentes con los años del índice DELTA NDVI aplicado; y finalmente, se empleó la relación propuesta por la FAO, (1996) para determinar la **Tasa de Cambio Anual** (TDA) de la cobertura:

$$\mathbf{TDA = (S2/\ S1)^{1/n} - 1.}$$

Donde S1 y S2 son las superficies de la cobertura, con su fecha inicial y final respectivamente, y n es el número de años entre ambas fechas.

III. Se realizó una Superposición Ráster, mediante algebra de capas de: hidrología, suelos y capacidad de uso (Obtenidas de la Subdirección de Agrología del IGAC), además información de precipitación, temperatura, relieve, geología, cobertura y usos del suelo (Obtenidas de otras bases de datos cartográficas de libre acceso, de entidades nacionales e internacionales); logrando así determinar las áreas más adecuadas, para la implementación de especies forestales, en las zonas mayormente afectadas por sequía de cada municipio.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. RESULTADOS SOBRE DINÁMICA HÍDRICA:

OBJETIVO:

1. Realizar el análisis de la dinámica de expansión y contracción de cuerpos de agua a escala 1:25.000, a partir de imágenes de sensores remotos, en las áreas priorizadas por CORPOICA, para el departamento del Cauca.

META:

Salidas cartográficas y base de datos geoespaciales en formato digital, sobre los resultados del procesamiento de imágenes realizado para inundación; además del análisis, espacialización y cuantificación, del comportamiento evidenciado sobre la expansión, contracción y desecación hídrica, de cada uno de los municipios priorizados por CORPOICA para el departamento del Cauca.

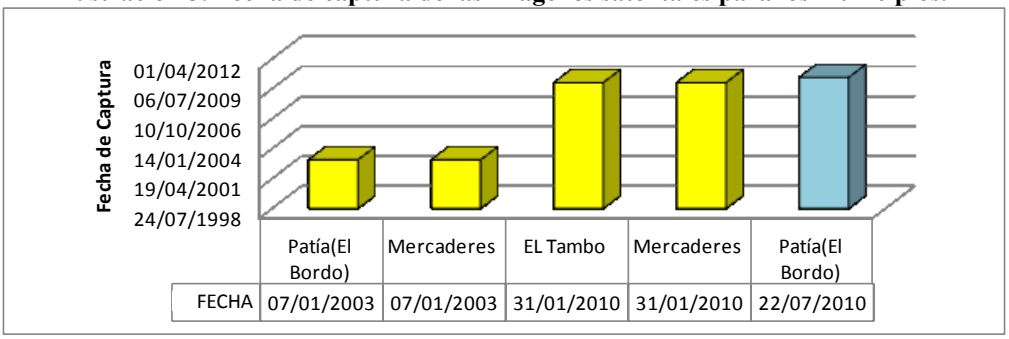
Se emplearon un total de cinco imágenes, procedentes de los satélites: Spot y RapidEye, disponibles en el Banco Nacional de Imágenes del IGAC, para realizar el análisis de la dinámica de expansión y contracción de cuerpos de agua y márgenes hídricas; las imágenes señaladas por CORPOICA, correspondieron a los años 2003 y 2010, de las cuales una imagen solamente, coincidió con fenómeno de La Niña, las restantes fueron de evento El Niño (Ilustración 3). Las características principales de cada una de ellas se resumen en la (Tabla 1).

Tabla 1. Características de las imágenes satelitales empleadas para la dinámica hídrica de cada municipio.

MUNICIPIO	IMAGEN N°	CÓDIGO ORTHO	FECHA	EVENTO	SATÉLITE	IMAGEN (RESOLUCIÓN)	
						ESPACIAL(m)	ESPECTRAL (Bandas)
EL Tambo	1	402027000000209	31/01/2010	Niño	RapidEye	2 Imágenes (7, 7)	1-3 y la otra 1-5
	2	402027000000210		Niño	RapidEye	6, 6	1-3
Patía (El Bordo)	3	402027000000314	22/07/2010	Niña	RapidEye	7, 7	1-3
	4	402021000000025	07/01/2003	Niño	Spot	5, 5 y 10, 10	2 Imágenes (1-4)
Mercaderes	5	402027000000211	31/01/2010	Niño	RapidEye	6, 6	1-3
	6	402021000000025	07/01/2003	Niño	Spot	5, 5 y 10, 10	2 Imágenes (1-4)

A continuación se muestran las fechas de captura, de la totalidad de imágenes satelitales implementadas, de cada uno de los municipios, resaltando en color azul la imágen de satélite correspondiente al evento La Niña y en color amarillo, las correspondientes al fenómeno de El Niño:

Ilustración 3. Fecha de captura de las imágenes satelitales para los municipios.



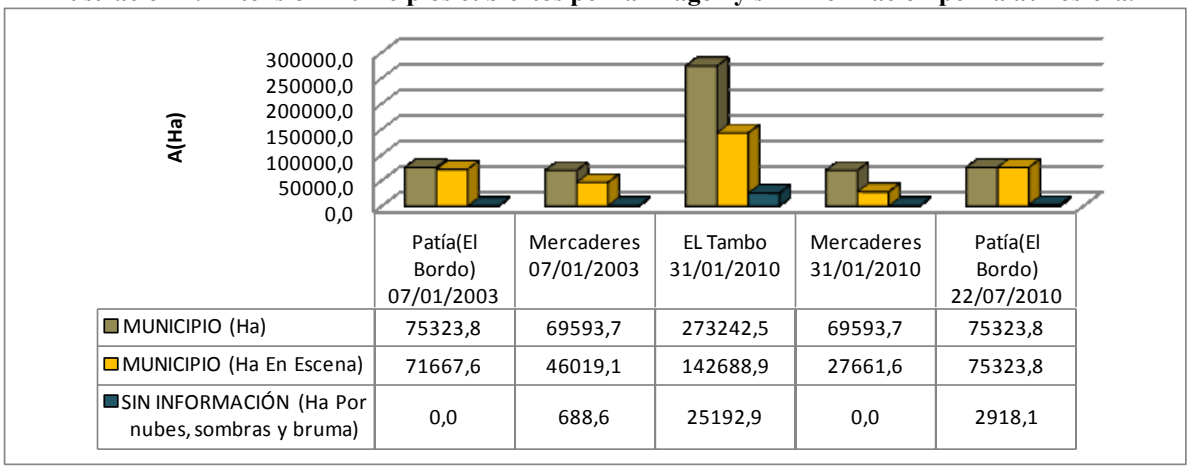
No fue posible obtener un cubrimiento total por parte de las imágenes satelitales, para la mayoría de los municipios, debido a la disponibilidad de las mismas en el BNI del IGAC; para el municipio de Patía (El Bordo), se pudo contar con la mayor Área efectiva, o sea el área del municipio en la escena sin presencia de nubes, sombras y/o bruma densa, siendo ésta superficie del 96,1% para la imagen del 22/07/2010 y 95,1% para la del 07/01/2003, para Mercaderes de 39,7% para el 31/01/2010 y 65,1% con la 07/01/2003, mientras que para El Tambo fue de 43%.

En la (Tabla 2.), se detallan las fechas de captura de la Cartografía Base a escala 1:25.000, la cual fue registrada en años normales o sin fenómeno de La Niña ni de El Niño, periodo comprendido entre los años 2003 a 2010.

Tabla 2. Año de la Cartografía Base y porcentaje de Área efectiva disponible para cada imagen.

MUNICIPIO	FECHA	CARTOGRAFÍA BASE (Año Neutro)	ÁREA						
			MUNICIPIO (Ha)	MUNICIPIO (En Escena)		SIN INFORMACIÓN (Por nubes, sombras y bruma)		EFECTIVA	
				Ha	%	Ha	%	Ha	%
EL Tambo	31/01/2010	2006, 2009, 2010	273242,5	142688,9	52,2	25192,9	17,7	117495,9	43,0
Patía (El Bordo)	22/07/2010	2003, 2009, 2010	75323,8	75323,8	100,0	2918,1	3,9	72405,8	96,1
	07/01/2003			71667,6	95,1	0,0	0,0	71667,6	95,1
Mercaderes	31/01/2010	2007, 2010	69593,7	27661,6	39,7	0,0	0,0	27661,6	39,7
	07/01/2003			46019,1	66,1	688,6	1,5	45330,6	65,1

Ilustración 4. Extensión municipios cubiertos por la imagen y sin información por la atmósfera.



4.4.1. EL TAMBO:

El municipio cuenta con una extensión total de 273.242 ha, de las cuales 142.689 ha fueron abarcadas por la imagen de satélite, es decir 52,2%, sin embargo ésta área presentó 25.193 ha, o sea un 17,7% de impedimento de visibilidad, por efectos debidos a la atmósfera; siendo caracterizadas en cuanto a márgenes hídricas y espejos de agua, un total de 117.496 ha, es decir un equivalente a 43% de Área efectiva en disposición, para poder realizar la extracción o delimitación de aguas.

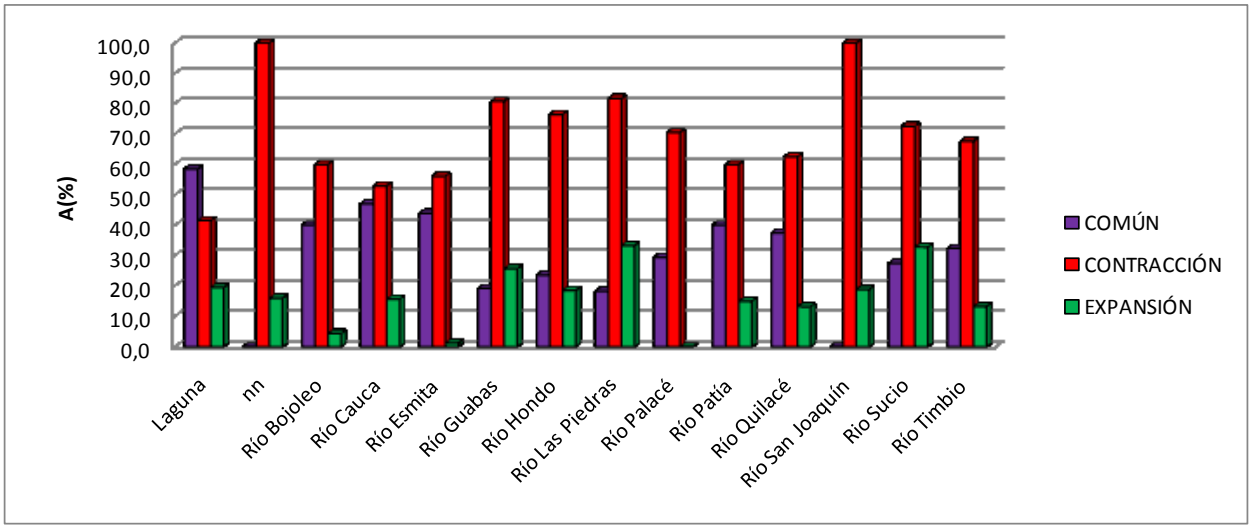
Se emplearon dos imágenes del satélite RapidEye, pero que correspondían a una misma fecha, siendo esta del 31/01/2010, las cuales fueron captadas, durante la presencia de fenómeno El Niño (Tabla 1.); estas dos imágenes satelitales, cubrían áreas distintas del mismo municipio, posibilitando así por tanto, la elaboración de un mosaico, con el que se consiguió una única imagen; por otro lado, la Cartografía Base, fue la información considerada como de época normal, ya que fue obtenida en un periodo tipo neutro, con ausencia de fenómeno, durante los años 2006, 2009 y 2010.

A continuación se presentan los datos cuantitativos, acerca de la expansión y contracción hídrica para el municipio, también se muestran la proporción de desecación o desaparición total hídrica, la común o no variable, la cuantificada por la Cartografía Base y la total identificada, sobre el Área efectiva. (Tabla 3).

Tabla 3. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio de El Tambo.

DEPARTAMENTO DEL CAUCA		ÁREA (Ha y %)							
N°	NOMBRE	HIDROGRAFÍA IMAGEN	HIDROGRAFÍA BASE	COMÚN		CONTRACCIÓN		EXPANSIÓN	
		Ha	Ha	Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Laguna	10,3	13,2	7,7	58,4	5,5	41,6	2,6	19,5
2	nn	0,3	1,9	0,0	0,0	1,9	100,0	0,3	16,0
3	Río Bojoleo	0,5	1,2	0,5	40,0	0,7	60,0	0,1	4,3
4	Río Cauca	7,0	11,2	5,3	47,1	5,9	52,9	1,8	15,7
5	Río Esmita	13,5	29,9	13,1	43,9	16,8	56,1	0,4	1,2
6	Río Guabas	4,8	10,7	2,0	19,2	8,6	80,8	2,7	25,7
7	Río Hondo	7,4	17,5	4,1	23,5	13,4	76,5	3,3	18,5
8	Río Las Piedras	2,1	4,1	0,8	18,3	3,4	81,7	1,4	33,3
9	Río Palacé	0,0	0,0	0,0	29,4	0,0	70,6	0,0	0,0
10	Río Patía	10,0	18,2	7,3	40,1	10,9	59,9	2,7	15,0
11	Río Quilacé	42,1	83,2	31,1	37,4	52,0	62,6	10,9	13,2
12	Río San Joaquín	0,5	2,5	0,0	0,0	2,5	100,0	0,5	18,8
13	Rio Sucio	18,7	31,0	8,5	27,4	22,5	72,6	10,2	32,8
14	Río Timbio	42,9	94,0	30,4	32,4	63,6	67,6	12,4	13,2
	SUBTOTAL El Tambo	**160,0**	**318,6**	**110,9**	**34,8**	**207,8**	**65,2**	**138,0**	**43,3**

Ilustración 5. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de El Tambo.

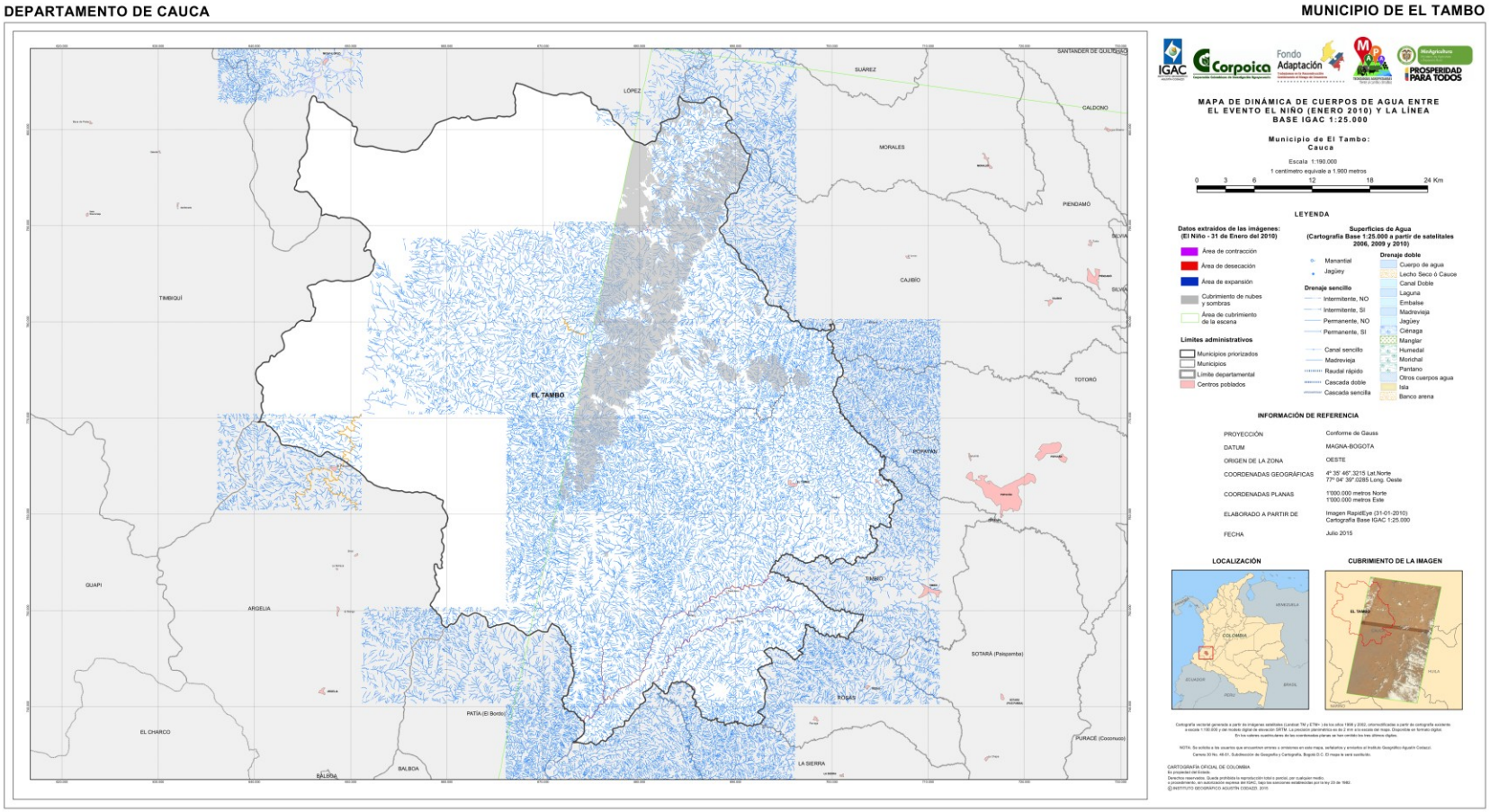


En cuanto a la espacialización de dicho fenómeno, se puede decir que la mayor contracción se presentó en el Río San Joaquín y en uno de sus afluentes tributantes; por otra parte, el municipio presentó una estabilidad, en cuanto a la invariabilidad hídrica, de los cuerpos de agua tipo Lagunas, mientras que la mayor expansión de espejos de agua, se presentó en los Ríos Las Piedras y Rio Sucio.

En definitiva, se identificaron en la única imagen satelital empleada, un total de 249 ha, de las cuales 160 ha fueron comparables, en virtud de su extensión respecto de la Cartografía Base, cuya magnitud sobre el Área efectiva fue de 318,6 ha, ya que en algunos sectores no se presentaba su cuantificación; en lo concerniente a la comparación realizada, se pudo encontrar que no se presentó desecación o desaparición completa de cuerpos hídricos ni de afluentes, en dicha fecha; la contracción hídrica fue de 207,8 ha equivalentes al 65,2% de la Cartografía Base, se mantuvieron igual un total de 110,9 ha equivalentes a 34,8% de superficies de agua, y una expansión de 49,1 ha un 15,4%; por tanto el comportamiento de contracción hídrica, fue la manifestación predominante.

Seguidamente se presenta la salida cartográfica, para el municipio de El Tambo, sobre el comportamiento de la dinámica hídrica, de los datos anteriormente expuestos y donde se puede observar, la proporción de área cubierta por la escena de la imagen y la cubierta por nubes, sobras y bruma (Mapa 1).

Mapa 1. Dinámica hídrica del Tambo, imágenes 402027000000209 y 402027000000210 – (Fecha 31/01/2010).



4.4.2. PATÍA (EL BORDO):

Su superficie total tiene una extensión de 75.323,8 ha, fue el municipio con mayor Área efectiva, se usaron dos imágenes satelitales, una con información durante el fenómeno El Niño y otra imagen obtenida en evento La Niña; la primera imagen abarcó sobre la escena un total de 71.667,6 ha, equivalentes al 95,1% respecto del municipio, con ausencia de nubosidad o bruma, que dificultaran la identificación; en cuanto a la otra imagen de fenómeno Niña, se obtuvo un cubrimiento del 100%, aunque se presentó un total de 2918 ha sin información por factores atmosféricos, es decir el 3,9%.

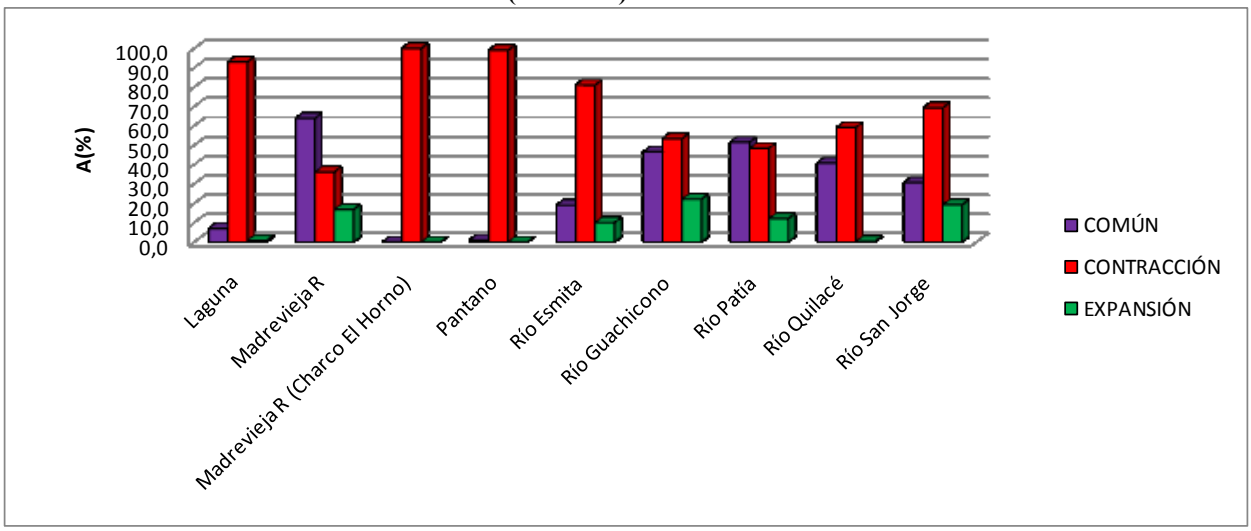
La fecha de la obtención de las imágenes, fue del 07/01/2003 para la correspondiente a la de fenómeno de sequía, y perteneciente al satélite Spot, mientras que la otra imagen obtenida del satélite RapidEye, fue captada el 22/07/2010 durante la época invernal; en cuanto a la Cartografía Base concernió a los años 2003, 2009 y 2010, siendo éstos años neutros o promedio, o sea sin evento La Niña ni El Niño.

Así, con la información de éstas fechas, se pudieron obtener los resultados de dinámica hídrica para el municipio de Patía (El Bordo), fruto de la comparación, de la hidrología base, respecto a la hidrografía obtenida del procesamiento de las imágenes de satélite y de la interpretación visual de éstas; para la fecha del 07/01/2003 o sea, para la fecha de El Niño, se presentó desecación total de cuerpos de agua, los cuales son mostrados en color rojo, tal como se observa en la (Tabla 4), es decir las superficies hídricas en que su contracción fue del 100%, siendo en total para esta fecha de 45,7 ha, de pérdidas de dichas superficies.

Tabla 4. Expansión. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio de Patía (El Bordo) del 07/01/2003.

DEPARTAMENTO DEL CAUCA		ÁREA (Ha y %)							
N°	NOMBRE	HIDROGRAFÍA IMAGEN	HIDROGRAFÍA BASE	COMÚN		CONTRACCIÓN		EXPANSIÓN	
		Ha	Ha	Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Laguna	5,6	71,4	5,0	7,0	66,4	93,0	0,6	0,8
2	Madrevieja R	10,9	13,6	8,7	63,8	4,9	36,2	2,3	16,8
3	Madrevieja R (Charco El Horno)	0,0	7,9	0,0	0,0	7,9	100,0	0,0	0,0
4	Pantano	0,2	23,9	0,2	1,0	23,6	99,0	0,0	0,0
5	Río Esmita	0,7	2,6	0,5	19,0	2,1	81,0	0,3	10,0
6	Río Guachicono	70,8	103,0	48,0	46,6	55,0	53,4	22,8	22,1
7	Río Patía	183,6	288,2	148,7	51,6	139,5	48,4	34,9	12,1
8	Río Quilacé	8,4	20,4	8,3	40,8	12,1	59,2	0,1	0,3
9	Río San Jorge	50,0	100,0	30,7	30,7	69,3	69,3	19,3	19,3
	SUBTOTAL Patía (El Bordo)	**330,2**	**631,0**	**250,1**	**39,6**	**380,8**	**60,4**	**112,7**	**17,9**

Ilustración 6. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de Patía (El Bordo) del 07/01/2003.

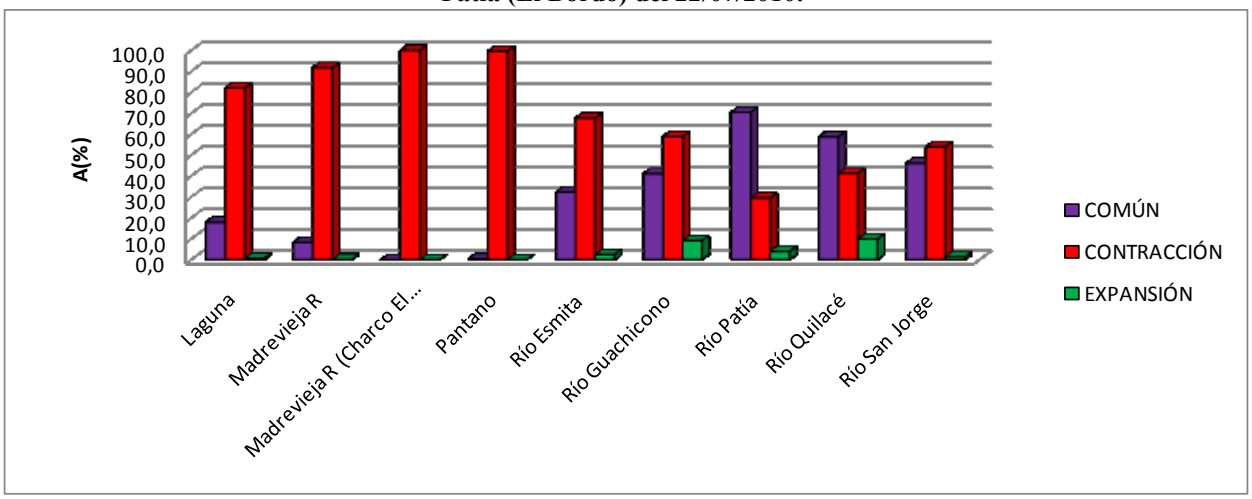


Es de resaltar que el Rio Patía y el cuerpo de agua denominado como Madrevieja R, mantuvieron su espejo hídrico, en comparación con la desecación presentada para los demás componentes acuáticos del municipio, para la imagen obtenida durante el año 2003 en sequía; por otra parte, con la imagen del 22/07/2010, es decir de la del fenómeno de La Niña, se pudieron obtener los resultados, que aparecen en la (Tabla 5.), de igual manera los datos en rojo son la desaparición total hídrica siendo ésta de 28,5 ha, comparada con la Cartografía o hidrografía Base:

Tabla 5. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio de Patía (El Bordo) del 22/07/2010.

DEPARTAMENTO DEL CAUCA		ÁREA (Ha y %)							
N°	NOMBRE	HIDROGRAFÍA IMAGEN	HIDROGRAFÍA BASE	COMÚN		CONTRACCIÓN		EXPANSIÓN	
		Ha	Ha	Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Laguna	13,2	71,4	12,8	17,9	58,6	82,1	0,4	0,6
2	Madrevieja R	1,1	13,6	1,1	8,3	12,4	91,7	0,0	0,0
3	Madrevieja R (Charco El Horno)	0,0	7,9	0,0	0,0	7,9	100,0	0,0	0,0
4	Pantano	0,1	23,9	0,1	0,4	23,8	99,6	0,0	0,0
5	Río Esmita	0,9	2,6	0,8	32,4	1,7	67,6	0,1	2,5
6	Río Guachicono	51,8	103,0	42,4	41,2	60,6	58,8	9,4	9,1
7	Río Patía	214,6	288,2	203,1	70,5	85,1	29,5	11,5	4,0
8	Río Quilacé	14,0	20,4	12,0	58,7	8,4	41,3	2,0	9,9
9	Río San Jorge	47,5	100,0	46,1	46,1	53,9	53,9	1,4	1,4
	SUBTOTAL Patía (El Bordo)	**343,2**	**630,9**	**318,4**	**50,5**	**312,5**	**49,5**	**58,2**	**9,2**

Ilustración 7. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de Patía (El Bordo) del 22/07/2010.

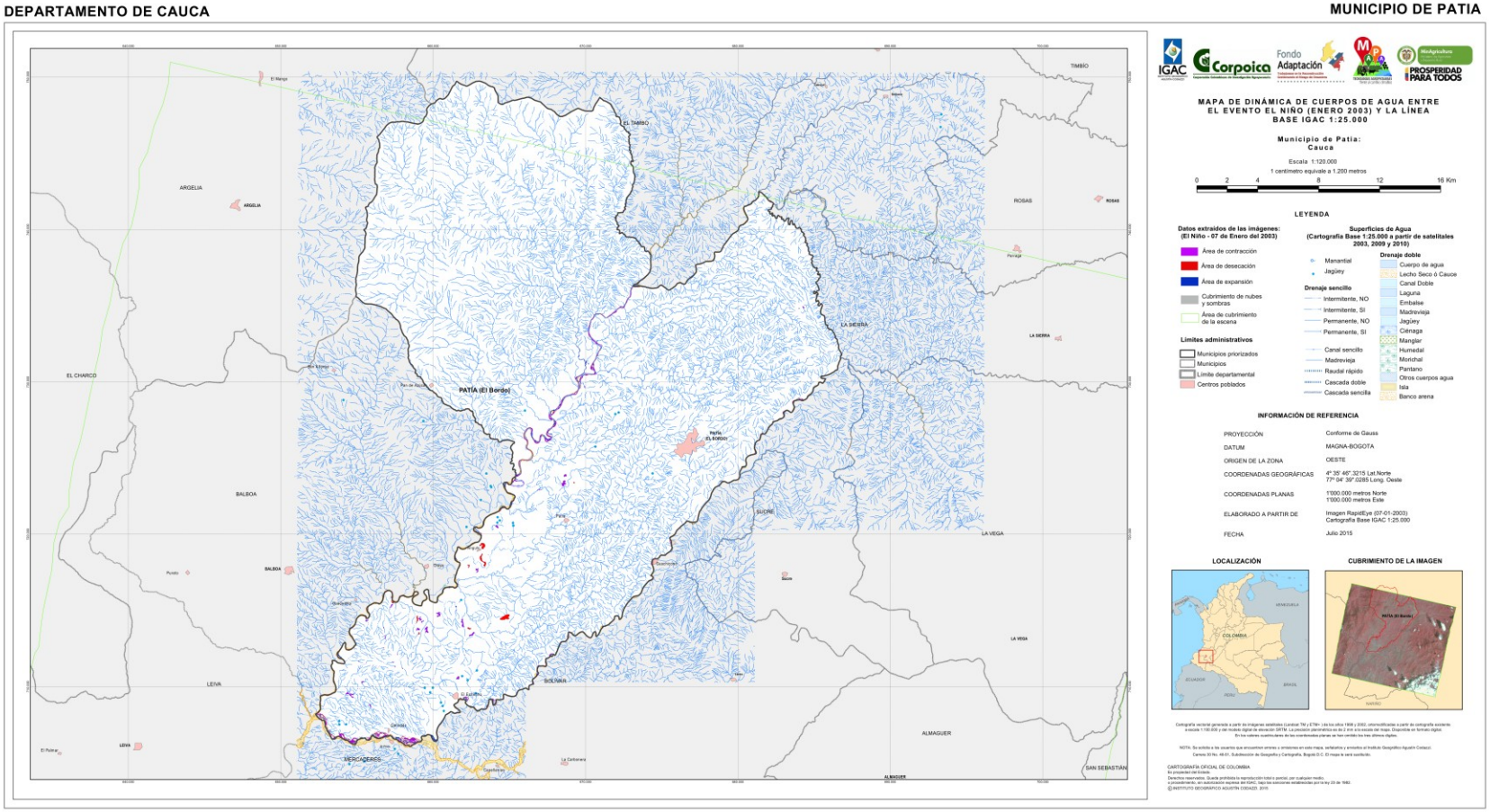


De manera similar a la imagen del año 2003 usada para este municipio del Cauca, en éste año 2010 el Rio Patía, mantuvo un área mayor sin variación, comparada con la contracción acaecida; igualmente sucedió para el Rio Quilacé, cuya invariabilidad hídrica, fue mayor que la contracción, contrastando con los demás afluentes y cuerpos hídricos pertenecientes del municipio.

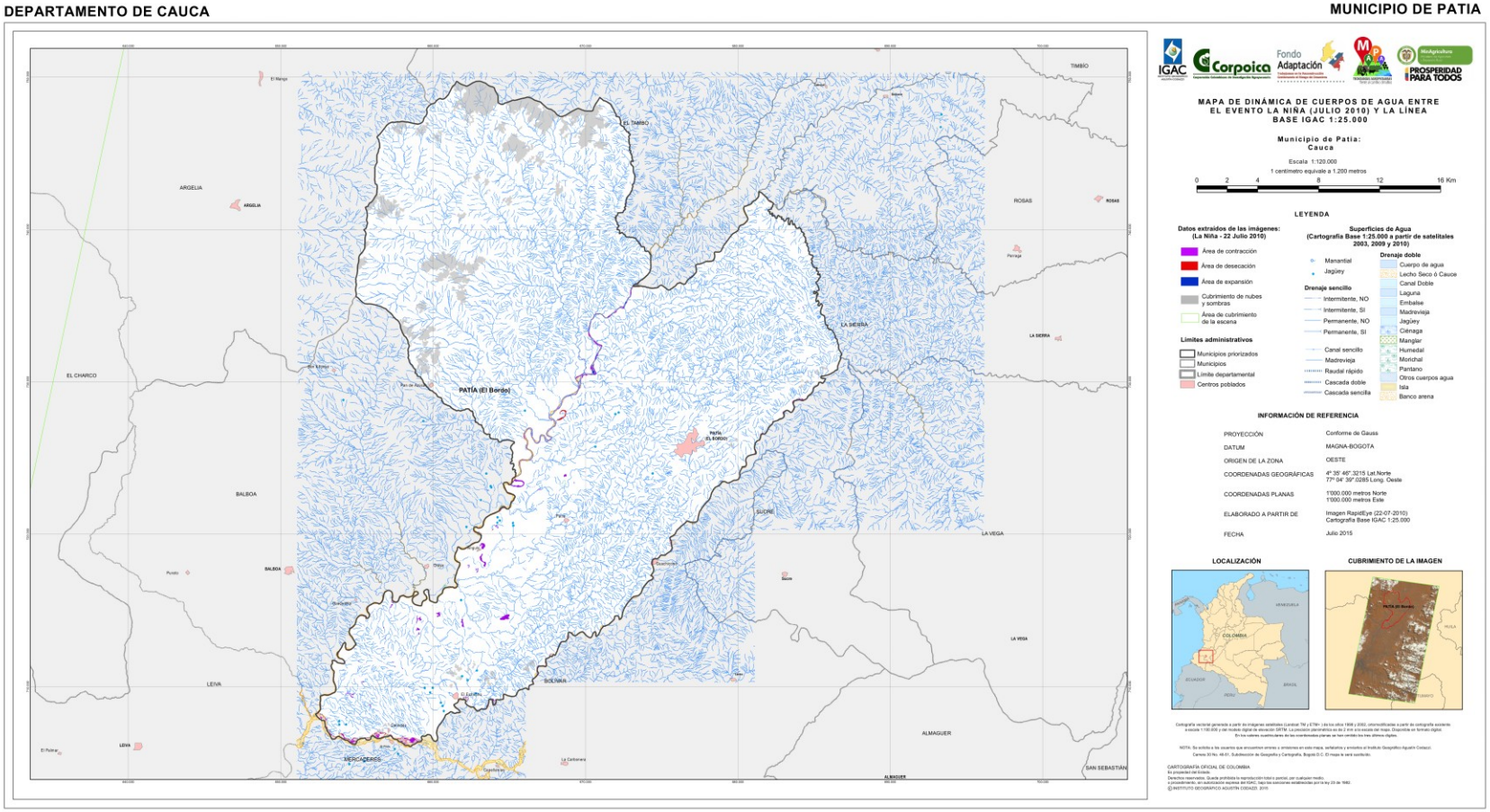
En resumen, fueron identificadas 739,4 ha, para ambas imágenes, tanto de sequía como invernal, de las cuales 637,4 ha fueron contrastadas con las 1.261,9 ha de la Cartografía Base, indicando ya de por sí, la predominancia de un efecto de contracción hídrica, confirmado con las 74,3 ha en total para el municipio de perdida completa o desaparición de espejos de agua; la contracción total, cotejada con la base fue del 693,3 ha, es decir un 54,9%, la expansión hídrica fue tan solo de 104,9 ha o el 8,3%, mientras que no hubo variación en un total de 568,5 ha o sea el 45,1%.

A continuación, se muestran ambos mapas obtenidos en cada fecha, para el municipio del Patía (El Bordo), concerniente a su dinámica de expansión y contracción, tanto de márgenes hídricas como de cuerpos de agua; y de donde se obtuvo, la información anteriormente expuesta. (Mapas 2 y 3).

Mapa 2. Dinámica hídrica del Patía (El Bordo), Imagen 402021000000025 – (Fecha 7/1/2003).



Mapa 3. Dinámica hídrica del Patía (El Bordo), Imagen 402027000000314 – (Fecha 22/07/2010).



4.4.3. MERCADERES:

Este municipio es el menor en extensión, de los tres priorizados para el departamento del Cauca, siendo su área total de 69.593,7 ha, de las cuales fueron analizadas 45.330,6 ha un 65,1% y 27.661,6 ha el 39,7%, de Área efectiva, correspondientes a dos imágenes de satélite, ambas obtenidas durante época de sequía; la primera de ellas abarcó al municipio en 46.019,1 ha o sea el 66,1%, presentando un total de 688,5 ha un 1,5% sin información por nubosidad y bruma densa; mientras que para la otra imagen de satélite empleada, se contó con información total, o sea sin la presencia de factores atmosféricos, que dificultaran la evaluación, no obstante el cubrimiento por parte de la escena, estuvo limitada a un área total de 27.661,6 ha representando una proporción del 39,7%.

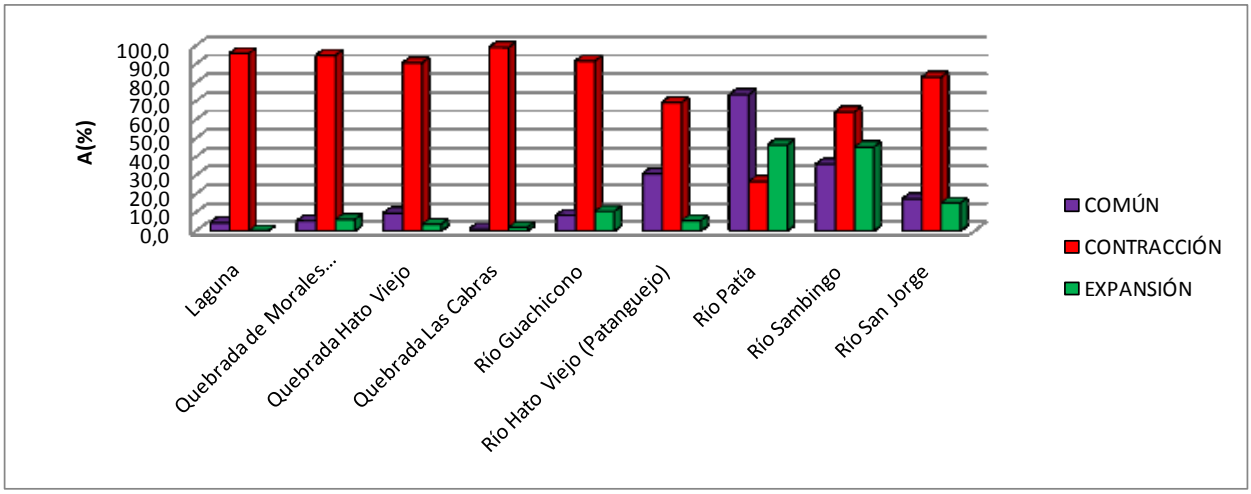
Las imágenes empleadas fueron tipo Spot, para la más antigua, con fecha del 07/01/2003 y la imagen satelital con información más reciente, de tipo RapidEye la cual fue obtenida, el 31/01/2010; por otra parte, los años de captura de la Cartografía Base, usada para realizar las comparaciones puntuales para el municipio, fue captada durante épocas normales o promedio, durante los años 2007 a 2010.

Los resultados de dichas comparaciones, obtenidas con la intersección de capas vectoriales, para la fecha del 07/01/2003, son presentados a continuación (Tabla 6); pudiéndose evidenciar, para este año, la mayor contracción de agua, en la Quebrada Las Cabras, las mayores expansiones hídricas en los ríos Sambingo y Patía, donde además en este último afluente, se presentó la mayor invariabilidad en su espejo de agua (73,4%), denominada en la tabla como área común, a estas superficies que se mantuvieron igual.

Tabla 6. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio de Mercaderes del 07/01/2003.

DEPARTAMENTO DEL CAUCA		ÁREA (Ha y %)							
N°	NOMBRE	HIDROGRAFÍA IMAGEN	HIDROGRAFÍA BASE	COMÚN		CONTRACCIÓN		EXPANSIÓN	
		Ha	Ha	Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Laguna	0,1	2,7	0,1	4,3	2,5	95,7	0,0	0,0
2	Quebrada de Morales (Majasea)	2,4	21,5	1,1	5,3	20,3	94,7	1,3	6,1
3	Quebrada Hato Viejo	3,0	22,8	2,2	9,5	20,6	90,5	0,8	3,5
4	Quebrada Las Cabras	0,1	2,2	0,0	1,1	2,1	98,9	0,0	1,9
5	Río Guachicono	1,0	5,4	0,5	8,4	4,9	91,6	0,6	10,5
6	Río Hato Viejo (Patanguejo)	21,1	58,3	17,9	30,8	40,4	69,2	3,2	5,5
7	Río Patía	157,2	131,5	96,5	73,4	35,0	26,6	60,8	46,2
8	Río Sambingo	38,0	46,9	16,8	35,9	30,1	64,1	21,2	45,2
9	Río San Jorge	38,9	120,8	20,8	17,2	100,1	82,8	18,1	15,0
	SUBTOTAL Mercaderes	**261,9**	**411,9**	**155,9**	**37,8**	**256,0**	**62,2**	**111,1**	**27,0**

Ilustración 8. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de Mercaderes del 07/01/2003.

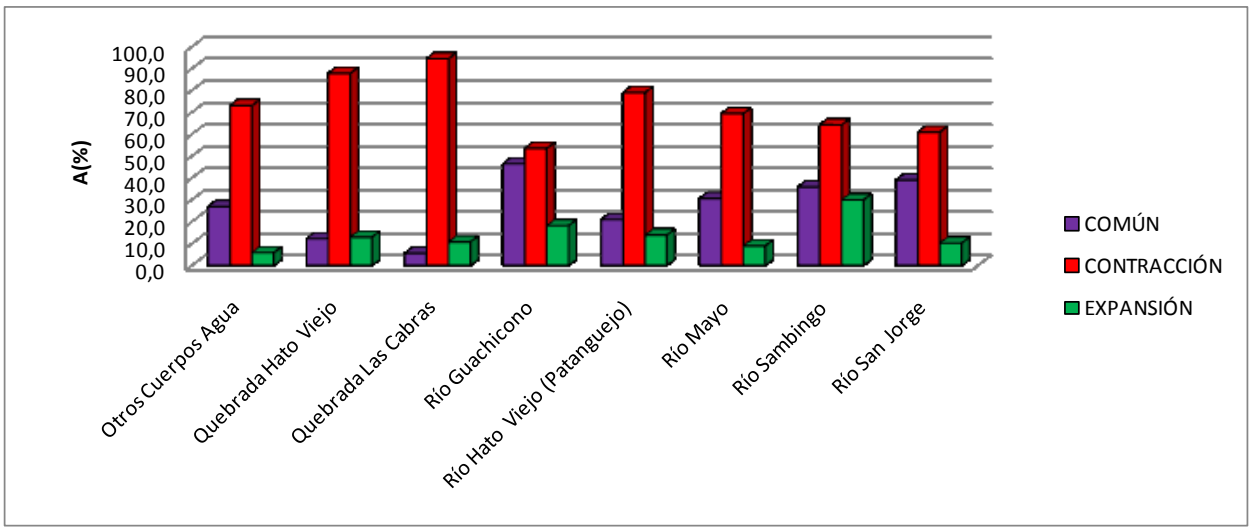


Por otra parte, con la imagen satelital del 31/01/2010, se presentó desecación completa de cuerpos de agua, siendo esta de 1,4 ha; la mayor invariabilidad hídrica fue para el Rio Guachicono, la mayor contracción para la Quebrada Las Cabras y la mayor expansión para el Rio Sambingo, comportándose de igual manera que en el año 2003, según lo evidenciado en la (Tabla 7).

Tabla 7. Hidrografía identificada, Cartografía Base, e invariabilidad, junto a la Contracción y Expansión para el municipio Mercaderes del 31/01/2010.

DEPARTAMENTO DEL CAUCA		ÁREA (Ha y %)							
N°	NOMBRE	HIDROGRAFÍA IMAGEN	HIDROGRAFÍA BASE	COMÚN		CONTRACCIÓN		EXPANSIÓN	
		Ha	Ha	Ha	%	Ha	%	Ha	%
1	Otros Cuerpos Agua	3,9	12,0	3,2	26,9	8,7	73,1	0,7	5,8
2	Quebrada Hato Viejo	10,3	40,8	5,0	12,2	35,8	87,8	5,3	13,0
3	Quebrada Las Cabras	0,4	2,2	0,1	5,5	2,0	94,5	0,2	10,8
4	Río Guachicono	1,8	2,7	1,3	46,5	1,5	53,5	0,5	18,2
5	Río Hato Viejo (Patanguejo)	20,3	58,3	12,2	21,0	46,0	79,0	8,1	13,9
6	Río Mayo	4,4	11,0	3,4	30,6	7,7	69,4	1,0	8,9
7	Río Sambingo	33,7	51,2	18,3	35,8	32,9	64,2	15,3	29,9
8	Río San Jorge	13,2	26,8	10,4	39,0	16,3	61,0	2,7	10,2
	SUBTOTAL Mercaderes	**87,9**	**205,0**	**54,0**	**26,3**	**151,0**	**73,7**	**52,7**	**25,7**

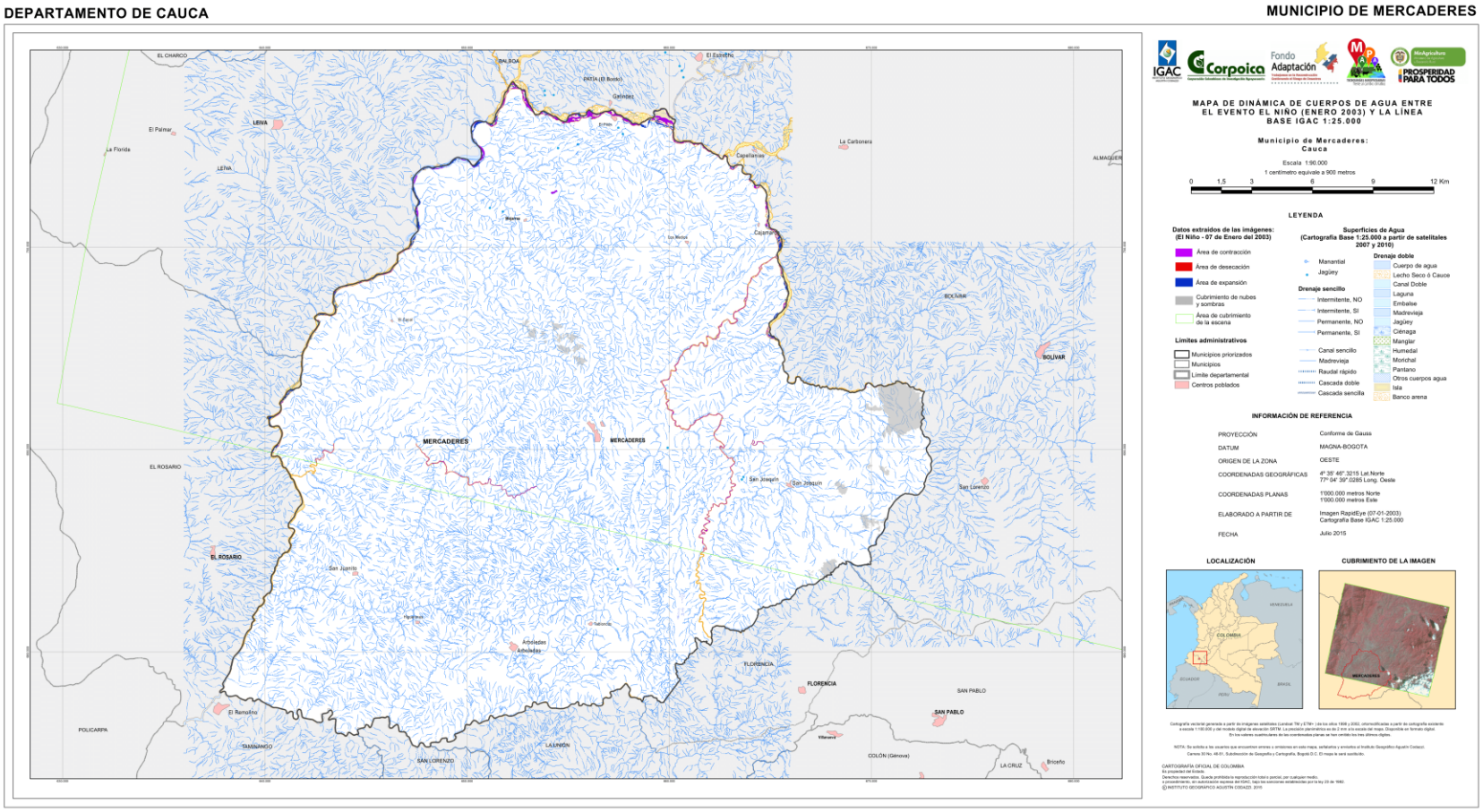
Ilustración 9. Comparación entre la invariabilidad hídrica, la Contracción y Expansión para el municipio de Mercaderes del 31/01/2010.



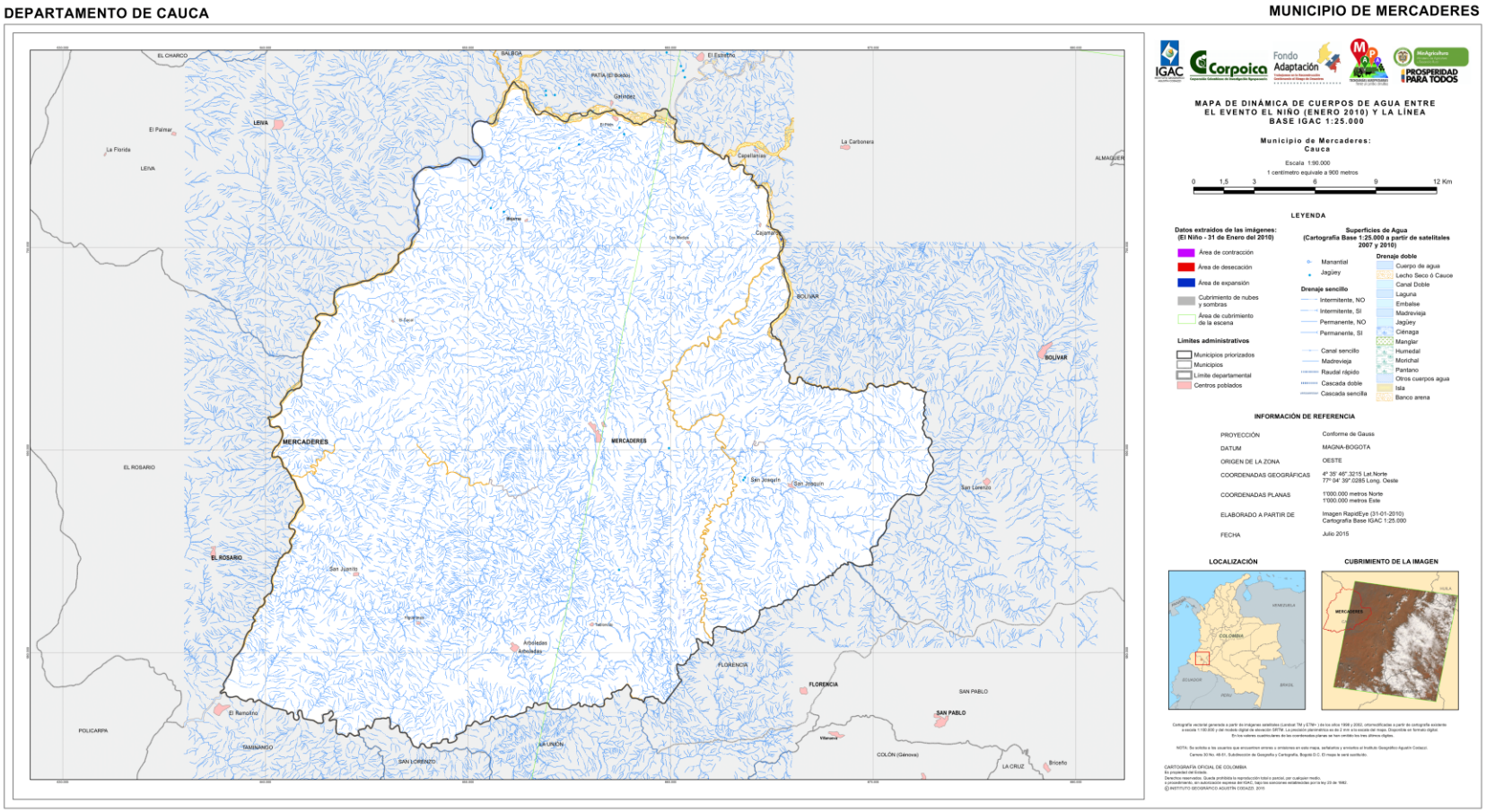
En definitiva el municipio de Mercaderes, presentó un comportamiento de contracción hídrica, evidenciada con la delimitación de un total de 373,7 ha, de márgenes hídricas y cuerpos de agua, con las dos imágenes satelitales empleadas, comparadas 349,7 ha con 616,9 ha de la hidrografía Base; pudiéndose determinar tal predominio de contracción con 407 ha (66%), en donde están incluidas la desecación o desaparición completa de cuerpos de agua en 1,4 ha, la invariabilidad fue de 209 ha (34%), y la expansión apenas de 139,8 ha (22,7%).

A continuación, se presentan las salidas cartográficas obtenidas, en lo concerniente a la dinámica de márgenes hídricas y espejos de agua, obtenidas para el municipio priorizado de Mercaderes. (Mapas 4 y 5).

Mapa 4. Dinámica hídrica de Mercaderes, Imagen 402021000000025 – (Fecha 07/01/2003).



Mapa 5. Dinámica hídrica de Mercaderes, Imagen 402027000000211 – (Fecha 31/01/2010).



4.2. ANALISIS DE RESULTADOS SOBRE DINÁMICA HÍDRICA:

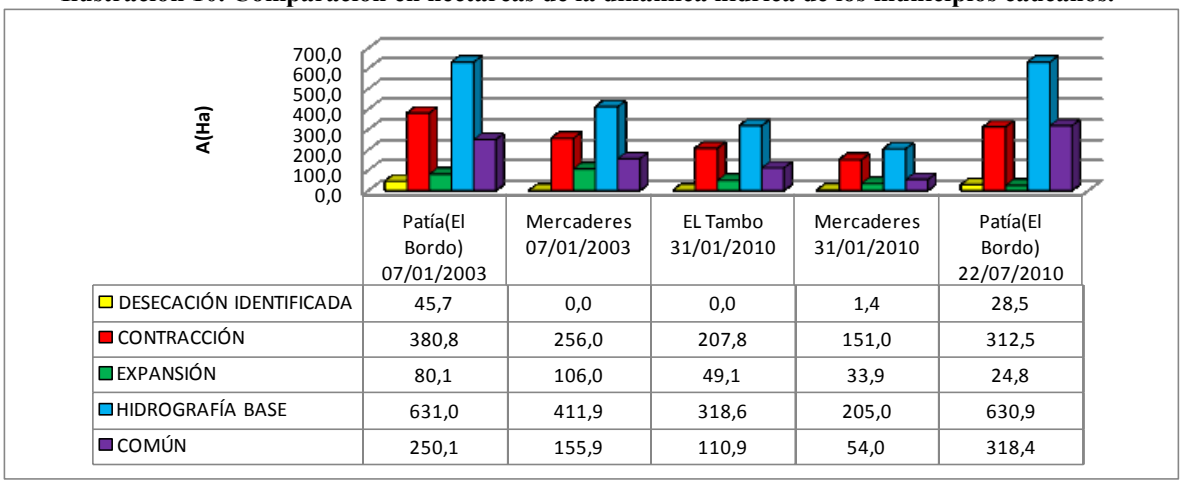
A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos, para cada uno de los municipios; de manera general, se observó una importante contracción hídrica, en la comparación puntual realizada, de los años 2003 y 2010, en relación a la Cartografía Base, (Tabla 8), la desecación se presentó solo en los municipios de: Patía (El Bordo) mayor en fenómeno de sequía que en época invernal, y en Mercaderes.

Esta reducción hídrica, se explica en parte a que todas las imágenes satelitales empleadas, correspondieron a fenómeno de El Niño o de sequía, no obstante con la imagen del 22/07/2010 de Patía (El Bordo), la cual presentó comportamiento similar a las demás, y catalogada como año con fenómeno de La Niña, aunque presentó la mayor invariabilidad hídrica, pero menor expansión, su contracción igualmente fue la menor; indicando la coherencia de los datos, solo que poco contrastantes, ya que de acuerdo a los valores PDSI, que estuvieron entre 1,2 y 3,5, indican una transición de época neutra a invernal según la categoría de Palmer, lo que sugiere que para obtener una mayor diferencia, es preciso la elección de imágenes, en fechas donde el valor PSDI, sea <4 o sea: "Extremadamente húmedo", con un fenómeno de La Niña pleno.

Tabla 8. Comparación entre municipios de los resultados totales de la dinámica de agua.

MUNICIPIO	FECHA	ÁREA								
		DESECACIÓN IDENTIFICADA	HIDROGRAFÍA IMAGEN	HIDROGRAFÍA BASE	COMÚN		CONTRACCIÓN		EXPANSIÓN	
		Ha	Ha	Ha	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Patía(El Bordo)	07/01/2003	45,7	330,2	631,0	250,1	39,6	380,8	60,4	112,7	17,9
Mercaderes	07/01/2003	0,0	261,9	411,9	155,9	37,8	256,0	62,2	111,1	27,0
EL Tambo	31/01/2010	0,0	160,0	318,6	110,9	34,8	207,8	65,2	138,0	43,3
Mercaderes	31/01/2010	1,4	87,9	205,0	54,0	26,3	151,0	73,7	52,7	25,7
Patía(El Bordo)	22/07/2010	28,5	343,2	630,9	318,4	50,5	312,5	49,5	58,2	9,2
TOTAL (Ha)		**75,7**	**1183,2**	**2197,4**	**889,3**	**40,5**	**1308,1**	**59,5**	**472,6**	**21,5**

Ilustración 10. Comparación en hectáreas de la dinámica hídrica de los municipios caucanos.



4.2.1. EL TAMBO:

Las altitudes promedio de 1700 msnm, las temperaturas medias de 18,4°C y las precipitaciones totales de 2.001 mm/ año (IDEAM, 2005); facilitan la presencia de Nubes, sombras y bruma densa, causantes de la dificultad para la obtención de información del municipio, por lo que una opción a futuro, sería implementar imágenes de mayor resolución espacial, disminuyendo en parte los factores atmosféricos; por tanto los resultados, estuvieron limitados a un 43% de Área efectiva a ser comparada con la Cartografía Base, y por usar una sola fecha de comparación.

Por otra parte, el predominio de la contracción hídrica, se puede explicar en gran medida, con la interpretación visual de los restantes elementos en la imagen satelital; de tal modo, se evidenciaron zonas de explotación minera a cielo abierto, en llanuras aluviales del Río Hondo (Longitud 76°45'55,045"W con latitud 2°31'0,549"N), Río Cauca (Longitud 76°46'26,133"W y latitud 2°34'59,954"N) y Río Quilacé (Longitud 76°57'55,069"W con latitud 2°13'44,158"N); tal como se muestra en las (Ilustraciones 11 y 12), se ven grandes excavaciones del terreno, ocupadas por aguas subterráneas en estas zonas naturalmente anegadas y por las precipitaciones.

Ilustración 11. Presencia de minería a cielo abierto en los Rios Hondo y Cauca del Tambo.

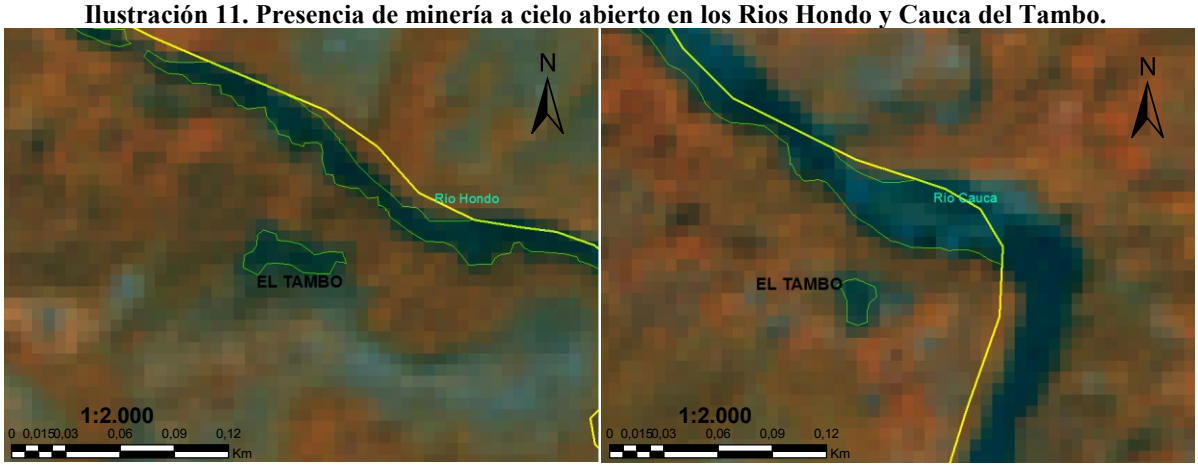
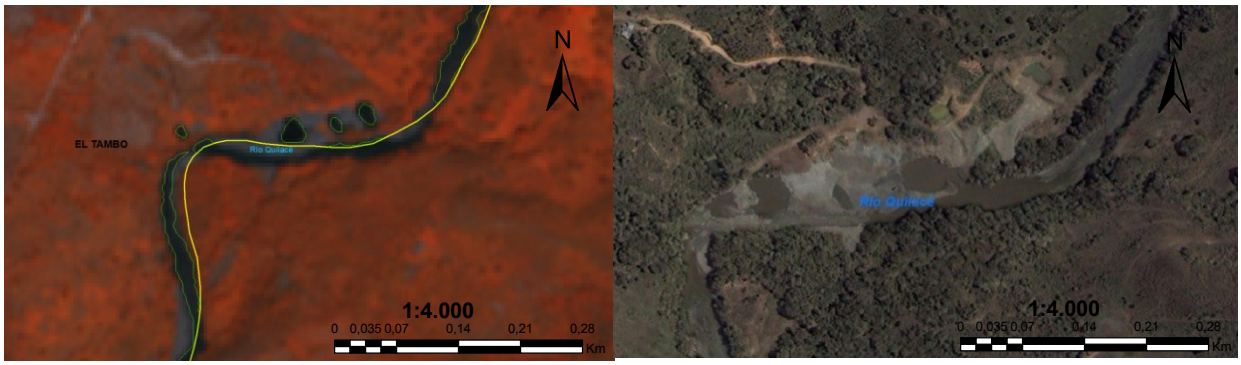


Ilustración 12. Comparación con otra imagen reciente y de mayor resolución, de la minería en el Rio Quilacé del Tambo.

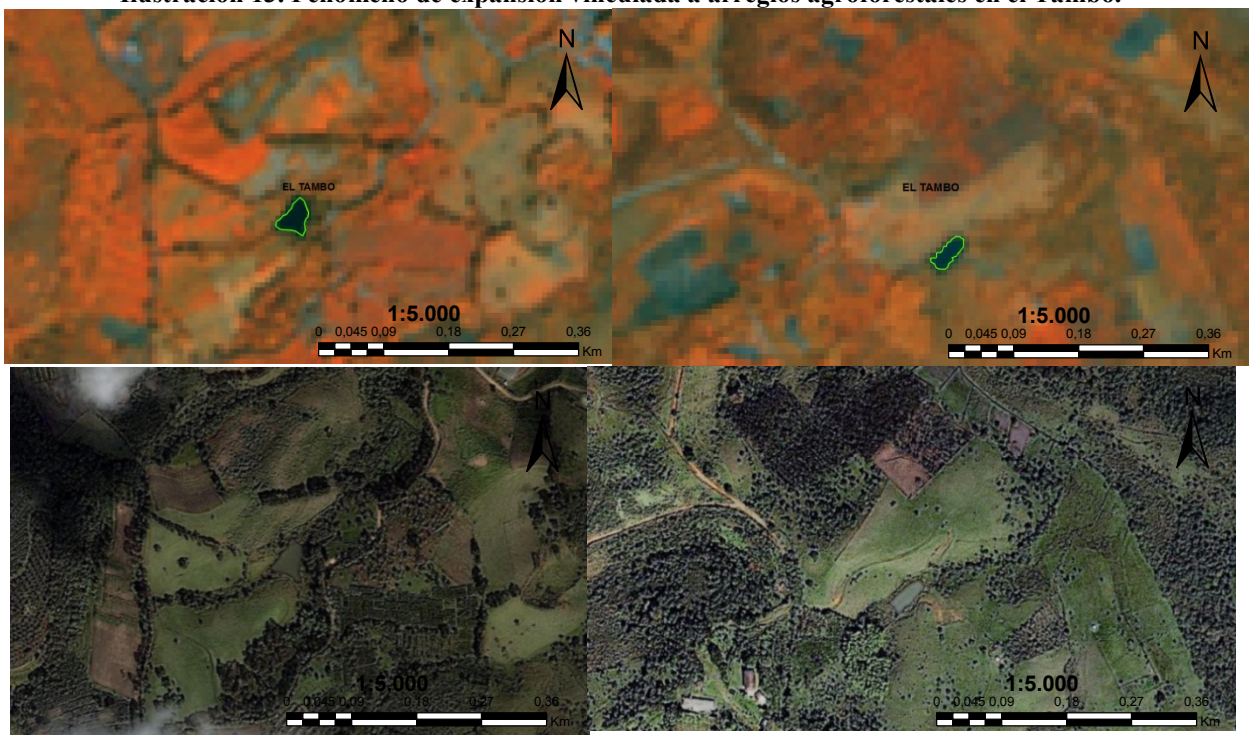


Fuente derecha: *SASGIS*, (2015).

Como lo asevera (Heras, 2009) la minería está directamente vinculada a procesos de erosión del suelo, con la consecuente reducción de la cobertura y por tanto, de la perdida de la capacidad del entorno para su regulación hídrica; por lo cual esta actividad puede estar asociada directamente, a los fenómenos de contracción de aguas evidenciadas en el municipio.

Por otro lado, algunas zonas ubicadas al Oeste longitud 76°44'27,6"W con latitud 2°23'56,4" Norte y longitud 76°43'40,151"W con latitud 2°25'58,095"N, se presentaron fenómenos de expansión, con la aparición de nuevos cuerpos de agua, precisamente algunos ubicados en lugares donde hay establecidos arreglos agroforestales (Presencia de cultivos permanentes con barreras rompevientos), estos sistemas aun en la actualidad se conservan, junto a los cuerpos de agua, sin aparente disminución hídrica, esto se puede constatar en la (Ilustración 18), donde se comparan dos de estos sitios distintos.

Ilustración 13. Fenómeno de expansión vinculada a arreglos agroforestales en el Tambo.



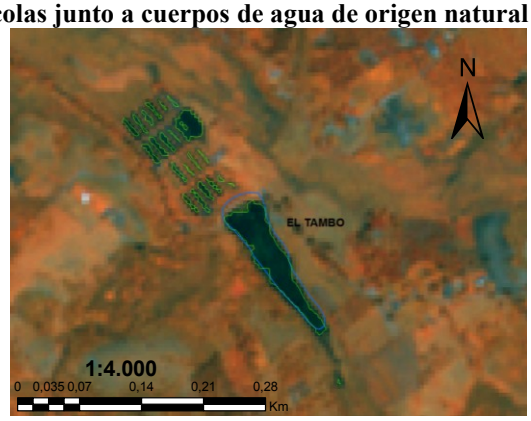
Fuente abajo: Base Map - ESRI, (2015).

Esta situación como lo afirma (Beer, et al., 2003), puede deberse a la capacidad que tienen los Sistemas Agroforestales (SAF), para mantener el recurso hídrico, tanto en cantidad como en calidad, mejorando la retención de agua por parte del suelo, disminuyendo la escorrentía y evitando su erosión; logrando así la conservación de estos cuerpos de agua.

Además de eso, ubicado a latitud 2°27'14.64"N y longitud 76°45'3.90"W, se lograron identificar cuerpos de agua de origen artificial, empleados en prácticas de tipo piscícola, junto a zonas de asentamientos humanos, próximos a vías y cultivos, tal como se muestra en la

(Ilustración 14); además de esto, se observa un cuerpo de agua natural, pudiéndose suponer, que es empleado en parte, para abastecer el agua requerida, para dicha actividad.

Ilustración 14. Tanques piscícolas junto a cuerpos de agua de origen natural en el municipio de El Tambo.



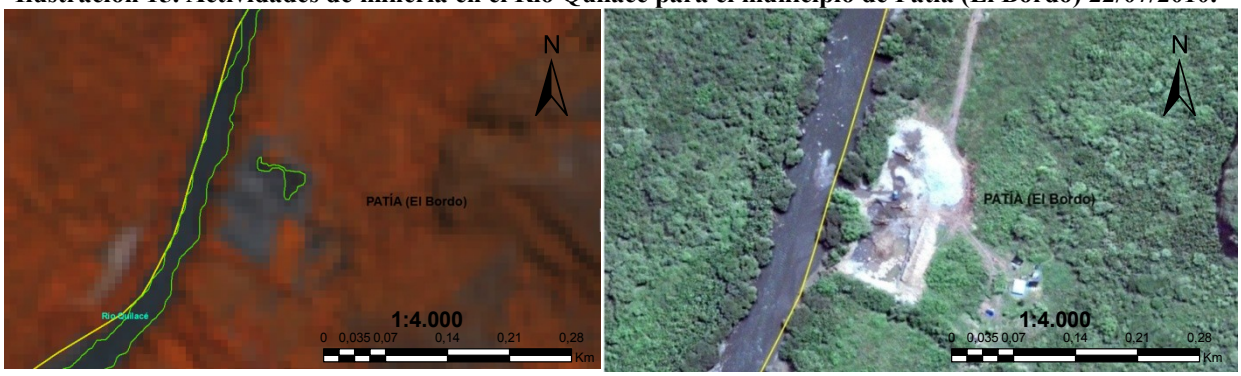
Por otra parte, en cuanto a los valores del índice PDSI mensual de referencia para el municipio, con esta única imagen satelital dispuesta, éstos oscilaron entre -5,6 y -0,5, indicando según la clasificación de Palmer (Scian, 1997) citado por (IDEAM, 2006), que corresponde a una fecha con "Sequía extrema a Sequía incipiente", concordando con el tipo de evento, siendo este de El Niño, y también con la predominancia de la contracción encontrada, según los datos obtenidos.

4.2.2. PATÍA (EL BORDO):

En contraste con el municipio anteriormente descrito, esta región con altitudes de 580 msnm, precipitaciones de 1856 mm/ año y temperaturas promedio de 26,4°C (IDEAM, 2005), posibilita un cielo despejado la mayor parte del año, por lo que fue el municipio con mayor Área efectiva analizada 96,1% y 95,1%; sin embargo, las fuertes temperaturas pudieron ser un factor determinante para que el municipio, respecto a los demás evaluados, presentara la mayor desecación de cuerpos de agua, siendo esta un total de 45,7 ha, y coincidiendo con la menor expansión hídrica evidenciada respecto de los demás.

Al igual que en el municipio de El Tambo, se presentan actividades de minería a cielo abierto, a longitud 76°57'6,611"W y latitud 2°14'32,973"N, tal como se puede observar en la (Ilustración 15), donde con el empleo de otra imagen satelital de apoyo, de mayor resolución espacial, es visible el deterioro ambiental, generado principalmente por el establecimiento de campamentos, el uso de maquinaria pesada empleada para dicha labor, y además el desvió de una parte del cauce, sobre las márgenes del Río Quilacé, con una visible erosión incipiente, como consecuencia de tal intervención.

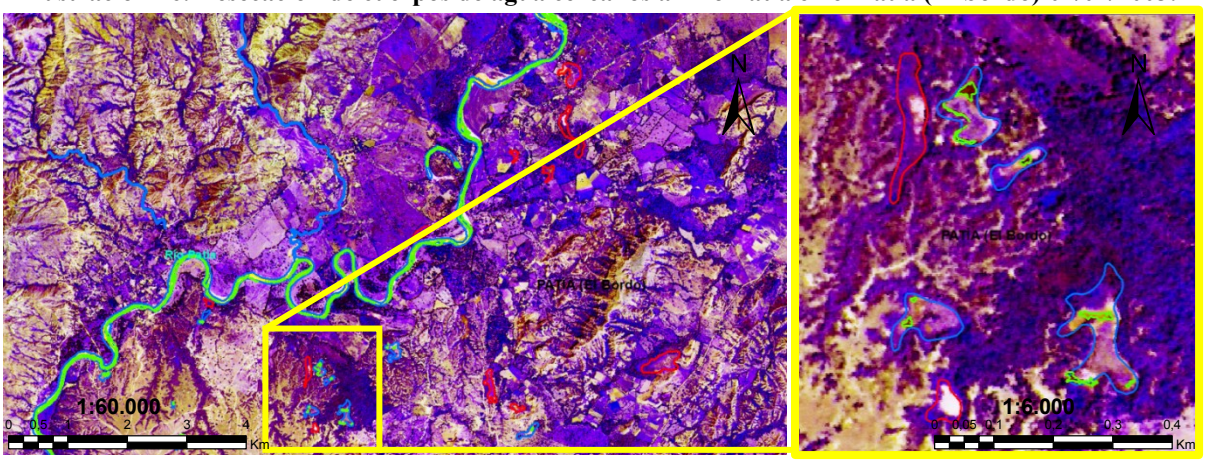
Ilustración 15. Actividades de minería en el Río Quilacé para el municipio de Patía (El Bordo) 22/07/2010.



Fuente abajo: *SASGIS*, (2015).

Por otra parte, en las proximidades del Río Patía, parte Sur del municipio, se presenta una importante reducción de los cuerpos de agua y desecación total de Lagunas, Madreviejas y Pantanos; junto a importantes asentamientos humanos con gran actividad agrícola, lo cual sugiere la relación directa con dicho fenómeno (Ilustración 16).

Ilustración 16. Desecación de cuerpos de agua cercanos al Río Patía en el Patía (El bordo) 07/01/2003.



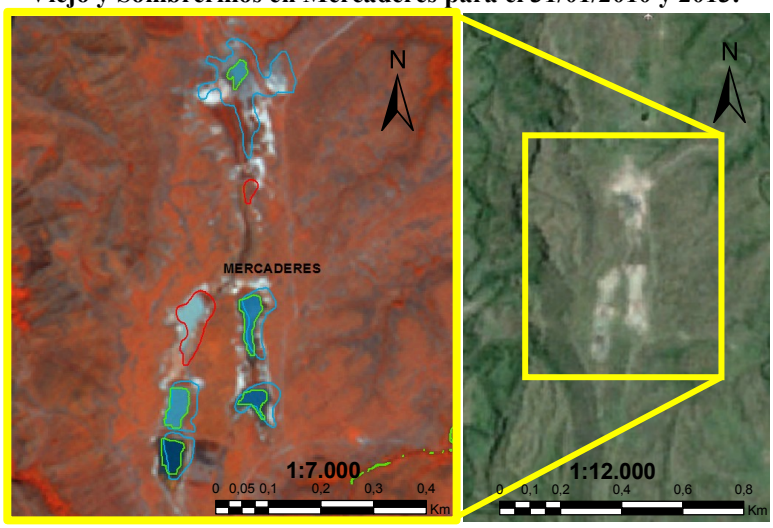
En cuanto a los valores de PSDI, con la imagen satelital del 22/07/2010, estuvieron comprendidos entre 1,2 y 3,5, siendo de categoría "Ligeramente húmedo a Muy húmedo"; mientras que con la imagen de fenómeno El Niño de fecha 07/01/2003 estos valores fluctuaron de -4,7 a -2,3, indicando una categoría de Palmer tipo: "Sequía extrema a Sequía moderada"; estos resultados discutidos en parte, al inicio de este capítulo, muestran coherencia en cuanto a la imagen de fenómeno de sequía, con la fuerte contracción y desecación evidenciada.

4.2.3. MERCADERES:

Apoyado en imágenes más recientes del año 2013, (Ilustración 17) se observa a longitud 77°7'34,829"W y latitud 1°43'15,384"N, entre los sitios de Monteredondo, Hato Viejo y

Sombrerillos, la disminución hídrica paulatina y progresiva, según la alta reflectancia manifestada en tonos claros y colores desaturados (Chuvieco, E., 1995) de los cuerpos de agua, comparada con la fecha de la imagen dispuesta para evaluar la dinámica hídrica del 2010, la cual indicó la desecación de 1,4 ha y la menor superficie que se mantuvo invariable, de los tres municipios; manifestando por tanto, que varios cuerpos acuíferos, han sido reemplazados por vegetación incipiente y suelo desnudo en la actualidad.

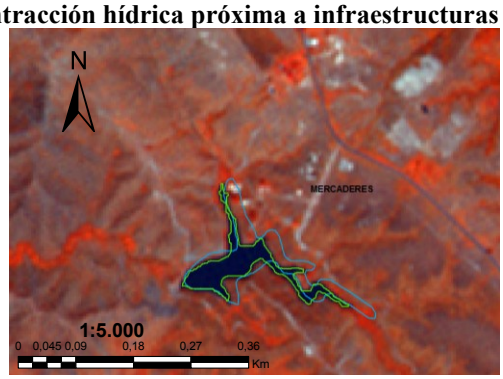
Ilustración 17. Comparación de la reducción en los cuerpos de agua en la zona entre Monteredondo, Hato Viejo y Sombrerillos en Mercaderes para el 31/01/2010 y 2013.



Fuente derecha: Google Earth, (2013).

Por otra parte, a longitud 77°8'55,499"W con latitud 1°43'45,568"N, o a longitud 77°5'28,717"W y latitud 1°46'54,54"N, se puede observar la desaparición casi que completa o parcial, de espejos de agua, y una fuerte tendencia a la contracción hídrica, mayormente en las zonas de gran actividad económica, con presencia de latifundios o próximas a redes viales (Ilustración 18).

Ilustración 18. Zona de contracción hídrica próxima a infraestructuras en Mercaderes 31/01/2010.



Los valores PSDI para el 31/01/2010, fueron de -4,9 a -0,6, siendo de categoría: “Sequía extrema a Sequía incipiente”; y para el 07/01/2003 oscilando entre -4,7 a -2,3, siendo de tipo: “Sequía extrema a Sequía moderada”, ambas fechas durante fenómeno de Sequía; lo cual es coherente con la fuerte tendencia a la contracción hídrica y desecación en el municipio.

4.3. RESULTADOS SOBRE SEQUÍA:

OBJETIVO:

2. Efectuar análisis sobre la amenaza por sequía a escala 1:100.000, a partir de la utilización de índices espectrales derivados del procesamiento de imágenes de sensores remotos, para la distribución espacial y severidad de las sequías en la vegetación, en los tres municipios priorizados por CORPOICA.

META:

Salidas cartográficas y base de datos geoespaciales en formato digital, sobre los resultados de la aplicación de índices espectrales, derivados del procesamiento de imágenes de sensores remotos, para la distribución espacial y severidad de las sequías en la vegetación; además del análisis, espacialización y cuantificación, del comportamiento evidenciado, para cada uno de los municipios priorizados por CORPOICA para el departamento del Cauca.

Para realizar el análisis de sequía, se utilizaron un total de siete imágenes, todas del satélite Landsat, de los años 1990, 2001, 2002, 2010 y 2014, elegidos de acuerdo al índice PSDI, semejante a lo realizado en evaluación de dinámica hídrica, según la presencia de fenómeno El Niño y de su ausencia o año normal, para realizar la comparación entre índices NDVI.

Tabla 9. Características de las imágenes satelitales empleadas para sequía de cada municipio.

MUNICIPIO (Comparación)	IMÁGEN N°	CÓDIGO	LANDSAT	EVENTO	FECHA
Mercaderes Normal	1	LT50090591990022CPE03	5	NORMAL	22/01/1990
Tambo Opc1 Sequía	2 (Opcion 1)	LE70090582001236EDC00	7	NIÑO	24/08/2001
Tambo Opc 2 Sequía	3 (Opcion 2)	LE70090582001236EDC00	7	NIÑO	24/08/2001
Patía (El Bordo) Sequía	4	LE70090592001236EDC00	7	NIÑO	24/08/2001
Tambo Opc1 Normal	5 (Opcion 1)	LE70090582002255EDC00	7	NORMAL	12/09/2002
Mercaderes Sequía	6	LT50090592010029CHM01	5	NIÑO	29/01/2010
Tambo Opc 2 Normal	7 (Opcion 2)	LC80090582014216LGN00	8	NORMAL	04/08/2014
Patía (El Bordo) Normal	8	LC80090592014232LGN00	8	NORMAL	20/08/2014

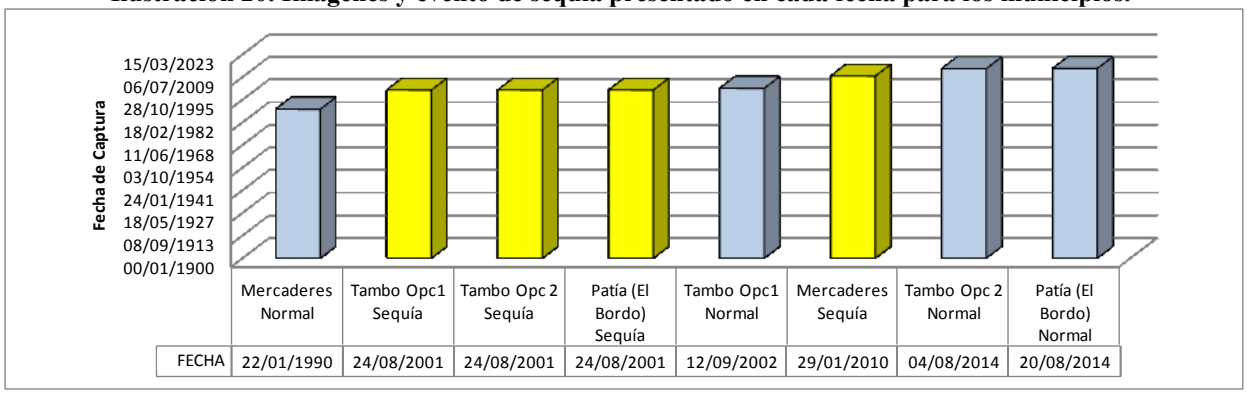
La categorización del grado de anomalía por sequía, fueron establecidas seis clases, como se aprecia en la tabla de colores (Ilustración 19), la primera en blanco o Sin Dato, corresponde a las zonas con nubes, sombra o bruma densa; seguido de tonalidades que van del verde al rojo, siendo éste último color, la mayor anomalía o de grado Severo:

Ilustración 19. Tabla de colores según el porcentaje obtenido del índice DELTA NDVI.

ANOMALÍA DELTA NDVI (%)	
Sin Dato	
Menor a 5% (Estable)	
Entre 5% y 9% (Muy leve)	
Entre 10% y 14% (Leve)	
Entre 15% y 24% (Moderado)	
Mayor a 25% (Severo)	

A continuación se muestran las fechas de las imágenes satelitales, para cada uno de los municipios, resaltando en color amarillo el evento de sequía y en azul el año normal:

Ilustración 20. Imágenes y evento de sequía presentado en cada fecha para los municipios.

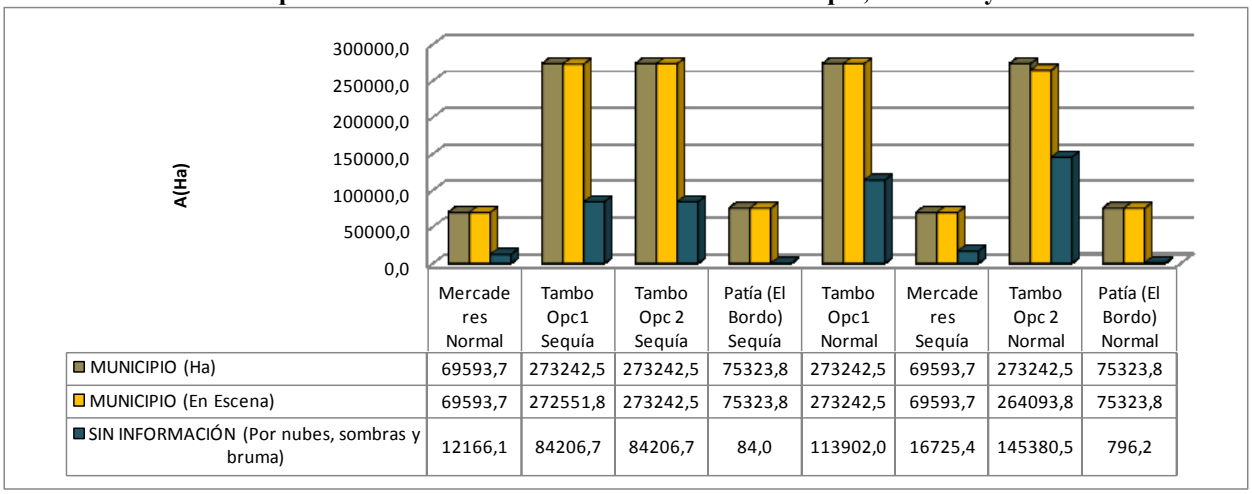


El cubrimiento del municipio con la imagen satelital, la presencia de nubes, sombras y/o bruma, denominado como Área Sin Información y el Área efectiva, de todas las imágenes empleadas, para los municipios de estudio, son exhibidas a continuación (Tabla 10).

Tabla 10. Relación entre el área del municipio y la disponibilidad de información en cada imagen.

MUNICIPIO (Comparación)	IMÁGEN N°	ÁREA					
		MUNICIPIO (En Escena)		SIN INFORMACIÓN		EFECTIVA	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
Mercaderes Normal	1	69593,7	100,0	12166,1	17,5	57427,6	82,5
Tambo Opc1 Sequía	2 (Opcion 1)	272551,8	99,7	84206,7	30,9	188345,1	68,9
Tambo Opc 2 Sequía	3 (Opcion 2)	273242,5	100,0	84206,7	30,8	189035,8	69,2
Patía (El Bordo) Sequía	4	75323,8	100,0	84,0	0,1	75239,8	99,9
Tambo Opc1 Normal	5 (Opcion 1)	273242,5	100,0	113902,0	41,7	159340,5	58,3
Mercaderes Sequía	6	69593,7	100,0	16725,4	24,0	52868,3	76,0
Tambo Opc 2 Normal	7 (Opcion 2)	264093,8	96,7	145380,5	55,0	118713,4	43,4
Patía (El Bordo) Normal	8	75323,8	100,0	796,2	1,1	74527,6	98,9
TOTAL (Ha)	8	1372965,8	99,3	457467,7	33,3	915498,1	66,2

Ilustración 21. Comparación en hectáreas de la extensión del municipio, la escena y sin información.



4.3.1. EL TAMBO:

Se dispuso para el municipio, de dos opciones a contrastar: una única imagen de época seca (año 2001), comparada con dos distintas fechas de época normal (años 2002 y 2014); esto debido a la dificultad para obtener imágenes despejadas de nubes, sombras y/o bruma densa, especialmente para las épocas normales, cuya porción de área sin información por este aspecto fue de 41,7% y 55% respectivamente, y para la época seca de 30,8%; además, por la falta de cubrimiento total de la escena para el municipio, donde con la Opción 2 de la época normal fue de 96,7% y con la Opción 1 del 100%, pero para sequía fue de 99,7%; de modo que el Área efectiva para sequía fue apenas de 68,9%, y para las normales de 58,3% y 43,4%. (Tabla 10).

A continuación se presentan los datos obtenidos en hectáreas y porcentaje, del grado de severidad de sequía, con la aplicación de los índices espectrales (Tabla 11).

Tabla 11. Resultados del grado de sequía para las dos opciones de El Tambo.

MUNICIPIO	ÁREA	CATEGORÍA					
		Sin Dato	Estable	Muy Leve	Leve	Moderada	Severa
El Tambo Opción 1	Ha	121500,2	102225,7	9074,5	8381,2	12751,6	19309,3
	%	44,5	37,4	3,3	3,1	4,7	7,1
El Tambo Opción 2	Ha	130548,7	56034,5	5926,3	6549,5	14317,2	59866,4
	%	47,8	20,5	2,2	2,4	5,2	21,9

Ilustración 22. Anomalía por sequía para El Tambo Opción 1.

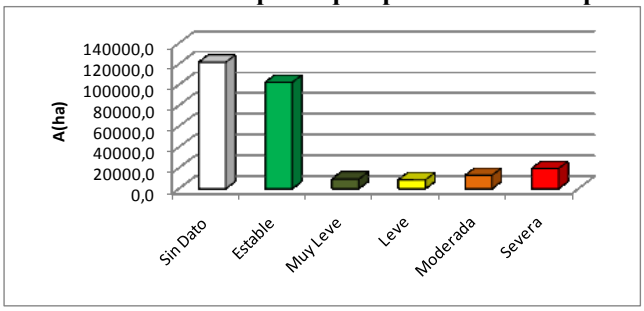
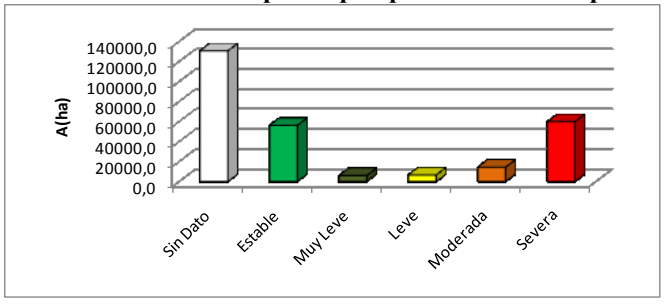
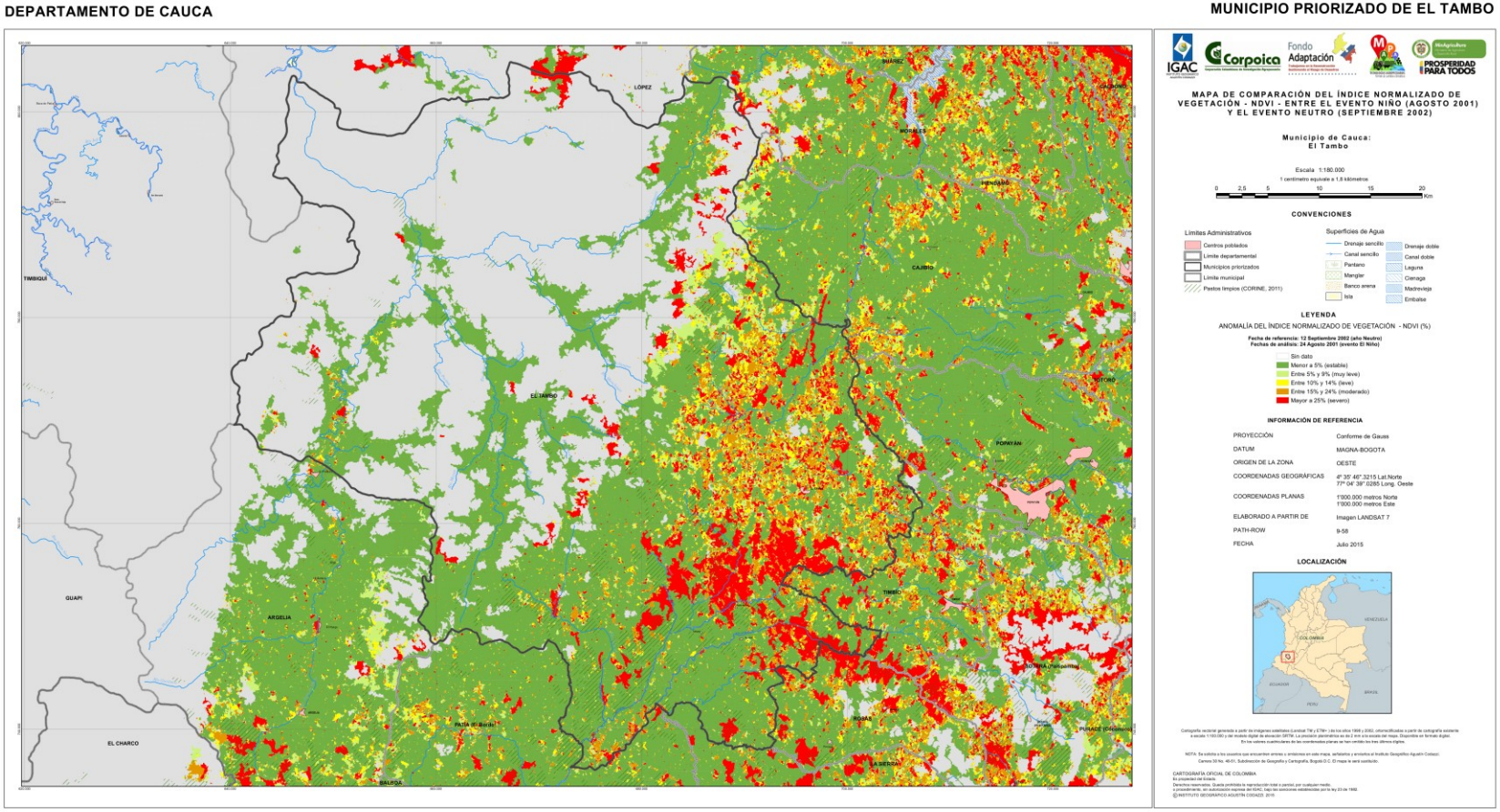


Ilustración 23. Anomalía por sequía para El Tambo Opción 2.



Se evidenció, la predominancia de la sequía de grado Estable 37,4% para la opción 1, mientras que con la opción 2 fue de tipo Severa con 21,9%, muy cercana a Estable con 20,5%; los menores porcentajes fueron respectivamente de Leve (3,1%) y Muy Leve (2,2%); se presentan en (Mapas 6 y 7), las salidas cartográficas, obtenidas para el municipio de El Tambo.

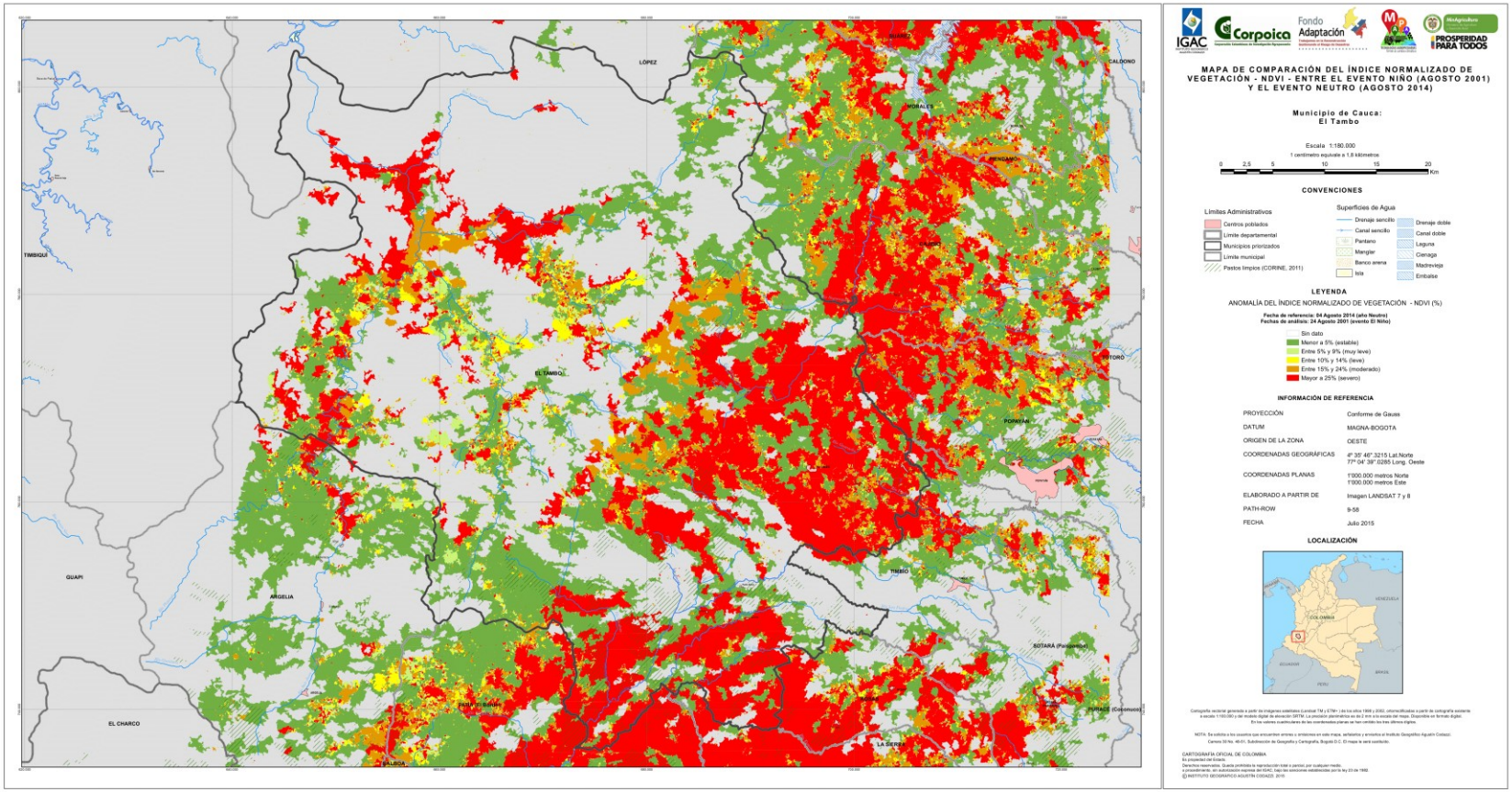
Mapa 6. Anomalía de Sequía para El Tambo, imágenes Landsat comparadas Niño-Normal Opción 1. (Fechas 24/08/2001-12/09/2002).



Mapa 7. Anomalía de Sequía para El Tambo, imágenes Landsat comparadas Niño-Normal Opción 2. (Fechas 24/08/2001-04/08/2014).

DEPARTAMENTO DE CAUCA

MUNICIPIO PRIORIZADO DE EL TAMBO



4.3.2. PATÍA (EL BORDO):

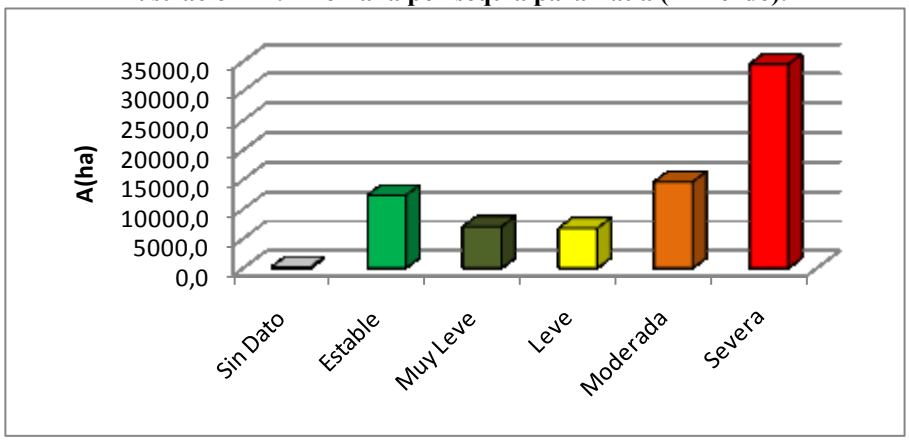
Fue el municipio con la mayor Área efectiva disponible, siendo ésta de 99,9% para la imagen de fenómeno El Niño (año 2001) y 98,9 para la época normal (año 2014), el cubrimiento por parte de la escena en ambos casos fue del 100%, y debido a efectos atmosféricos fue de 0,1% y 1,1% respectivamente.

Los resultados generados de la aplicación de los índices para evaluar el porcentaje de sequía, del municipio se presentan en la (Tabla 13), las categorías son expuestas tanto en hectáreas, como en porcentaje respecto a la extensión total del municipio.

Tabla 12. Resultados del grado de sequía para Patía (El Bordo).

MUNICIPIO	ÁREA	CATEGORÍA					
		Sin Dato	Estable	Muy Leve	Leve	Moderada	Severa
Patía (El Bordo)	Ha	150,7	12316,1	7006,5	6729,6	14603,8	34517,1
	%	0,2	16,4	9,3	8,9	19,4	45,8

Ilustración 24. Anomalía por sequía para Patía (El Bordo).



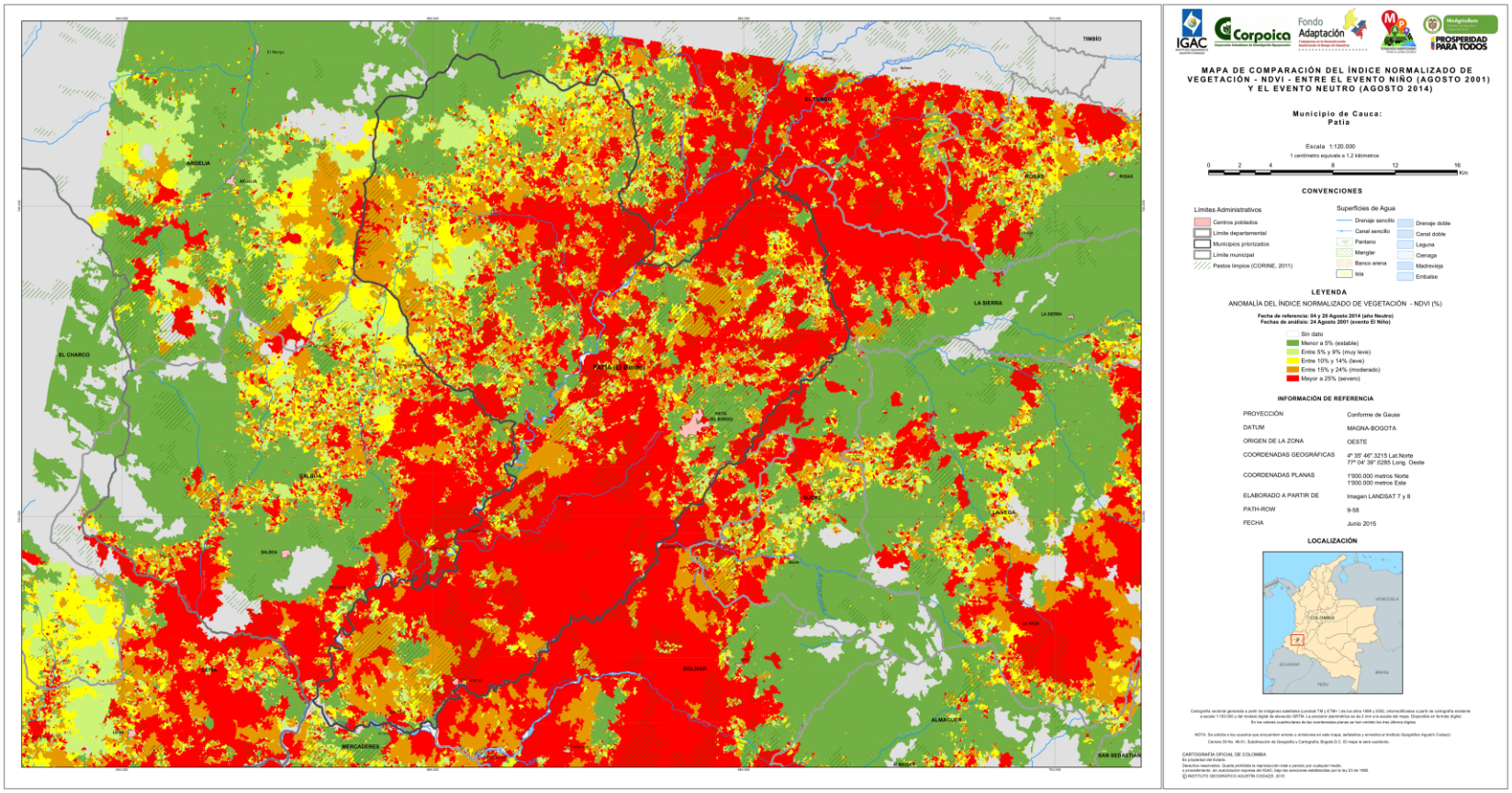
Es evidente, la predominancia del grado de anomalía Severa para el municipio siendo cercana a la mitad, con un 45,8%, seguido por la anomalía tipo Moderada siendo de 19,4% y muy cerca de la de grado Estable con 16,4%; por otra parte, la imposibilidad de obtención de información fue apenas del 0,2%, de acuerdo a la aplicación del índice espectral.

A continuación se muestra la salida cartográfica, para el municipio de Patía (El Bordo), sobre la categorización realizada para evaluar el grado de sequía, con la cual se obtuvieron los datos cuantitativos anteriormente revelados (Mapa 8).

Mapa 8. Anomalía de Sequía para Patía (El Bordo), imágenes Landsat comparadas Niño-Normal (Fechas 24/08/2001-20/08/2014).

DEPARTAMENTO DE CAUCA

MUNICIPIO PRIORIZADO DE PATIA



4.3.3. MERCADERES:

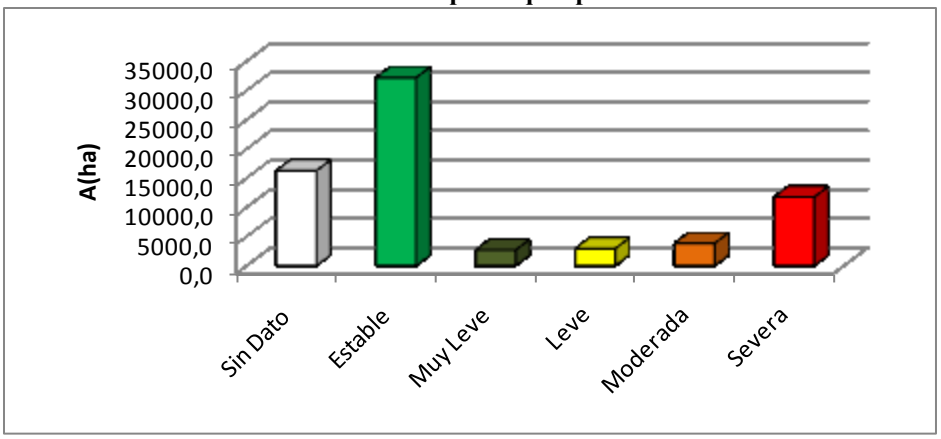
Se obtuvo el cubrimiento total del municipio con las escenas de las imágenes satelitales empleadas, tanto para sequía como para la época normal, la primera de ellas correspondiente al año 1990 y la otra, sin fenómeno de El Niño, del año 2010; en cuanto a la presencia de nubes, sombras y/o bruma densa, para la época seca fue de 24% y para la promedio fue del 17,5%; a su vez el Área efectiva, respectivamente a disposición, comprendió un 76% y 82,5% (Tabla 10).

Los datos cuantitativos, generados del procesamiento de las imágenes de satélite descritas, se presentan por área y porción según el grado de sequía obtenido (Tabla 14).

Tabla 13. Resultados del grado de sequía para Mercaderes.

MUNICIPIO	ÁREA	CATEGORÍA					
		Sin Dato	Estable	Muy Leve	Leve	Moderada	Severa
Mercaderes	Ha	16265,2	32165,9	2672,0	2912,4	3835,2	11743,0
	%	23,4	46,2	3,8	4,2	5,5	16,9

Ilustración 25. Anomalía por sequía para Mercaderes.



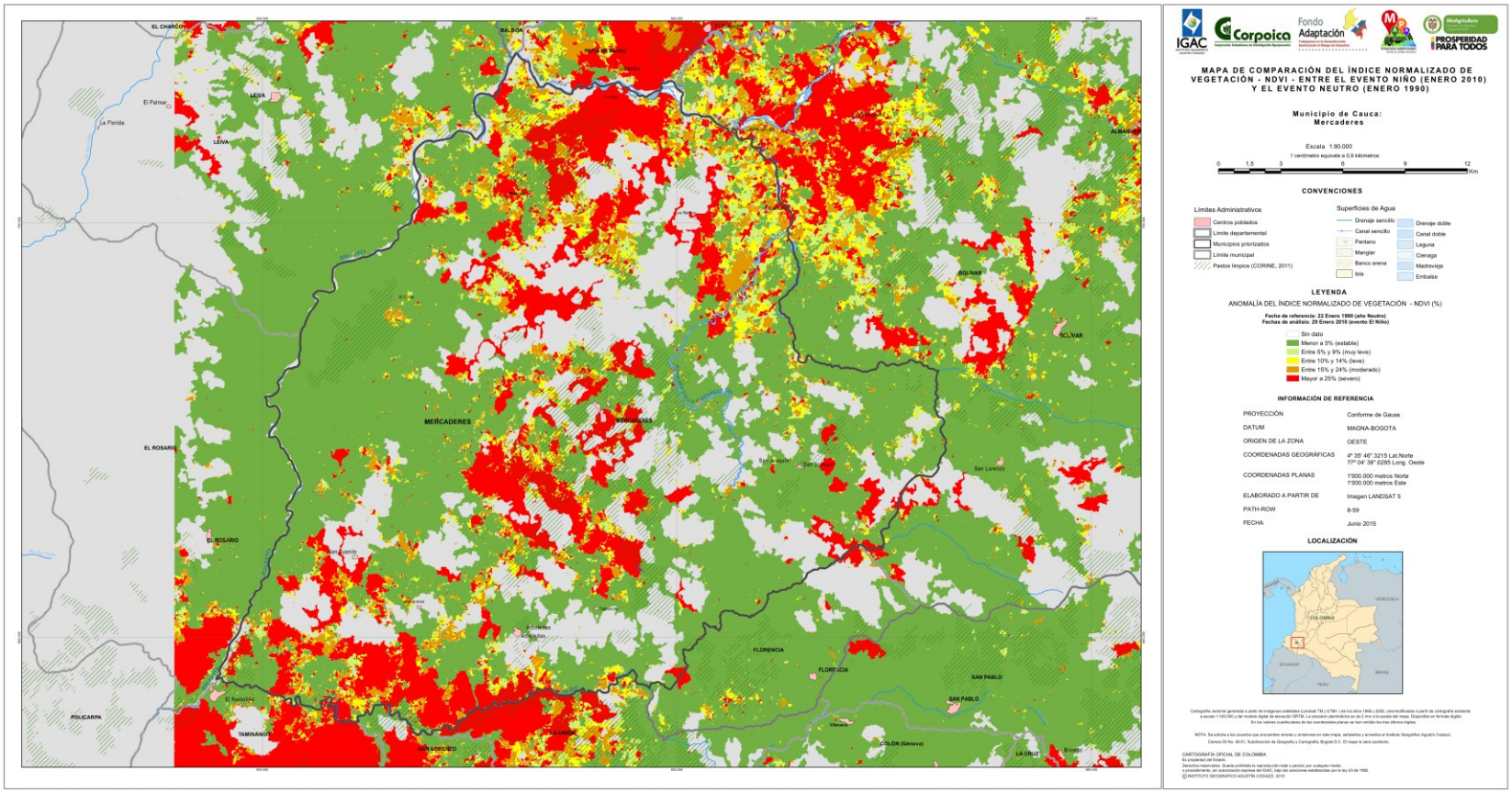
El índice espectral, indica una estabilidad del 46,2% para la totalidad del municipio analizado de acuerdo a los años comparados, la ausencia de información fue de 23,4% y la anomalía de grado Severo fue de 16,9% y el menor porcentaje fue de grado Muy Leve con 3,8%.

En seguida se presenta la salida cartográfica, obtenida en relación al porcentaje de anomalía por sequía, conseguida para el municipio de Mercaderes. (Mapa 9).

Mapa 9. Anomalía de Sequía para Mercaderes, imágenes Landsat comparadas Niño-Normal (Fechas 29/01/2010-22/01/1990).

DEPARTAMENTO DE CAUCA

MUNICIPIO PRIORIZADO DE MERCADERES



4.4. ANALISIS DE RESULTADOS SOBRE SEQUÍA:

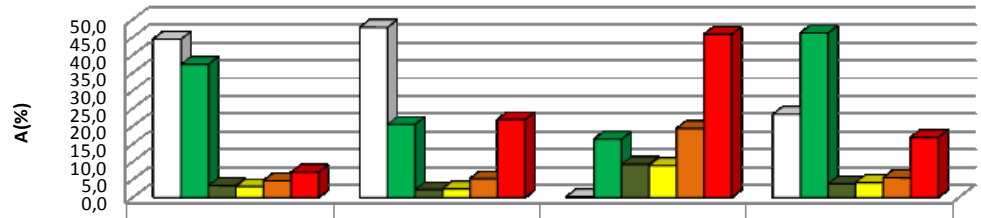
Se discuten a continuación los datos obtenidos de la clasificación DELTA NDVI, o la comparación realizada entre los valores de NDVI de fecha en sequía, con los de NDVI en fecha normal, para evaluar el grado de anomalía de sequía, de cada municipio de estudio, del departamento del Cauca.

Los mayores porcentajes de anomalía de grado Severo, se presentaron para el municipio de Patía (El Bordo) y para El Tambo con la segunda opción, siendo de 45,8% y 21,9% respectivamente (Tabla 14); es decir, mayor al 25%, (de acuerdo a la clasificación establecida), de porcentaje de pérdida en la capacidad fotosintética de la vegetación (Meneses, 2012; Gilabert, J. et al. 1997), ya que el NDVI = (IRC-R)/(IRC+R), [-1,0 y 1,0], es negativo cuando menor es la presencia de la cobertura vegetal, al no absorber el meristemo el espectro del Rojo (0,6-0,7 µm), para procesos fotosintéticos, por tanto, los ND del Rojo serían mayores; mientras que de lo contrario se absorberían, siendo mayor los ND del Infrarojo cercano (0,7-1,3 µm) (Meneses L., 2012).

Tabla 14. Comparación entre las anomalías por sequía para los municipios del Cauca.

MUNICIPIO	ÁREA	CATEGORÍA					
		Sin Dato	Estable	Muy Leve	Leve	Moderada	Severa
El Tambo Opción 1	Ha	121500,2	102225,7	9074,5	8381,2	12751,6	19309,3
	%	44,5	37,4	3,3	3,1	4,7	7,1
El Tambo Opción 2	Ha	130548,7	56034,5	5926,3	6549,5	14317,2	59866,4
	%	47,8	20,5	2,2	2,4	5,2	21,9
Patía (El Bordo)	Ha	150,7	12316,1	7006,5	6729,6	14603,8	34517,1
	%	0,2	16,4	9,3	8,9	19,4	45,8
Mercaderes	Ha	16265,2	32165,9	2672,0	2912,4	3835,2	11743,0
	%	23,4	46,2	3,8	4,2	5,5	16,9

Ilustración 26. Comparación entre municipios de los resultados totales de la dinámica de agua.



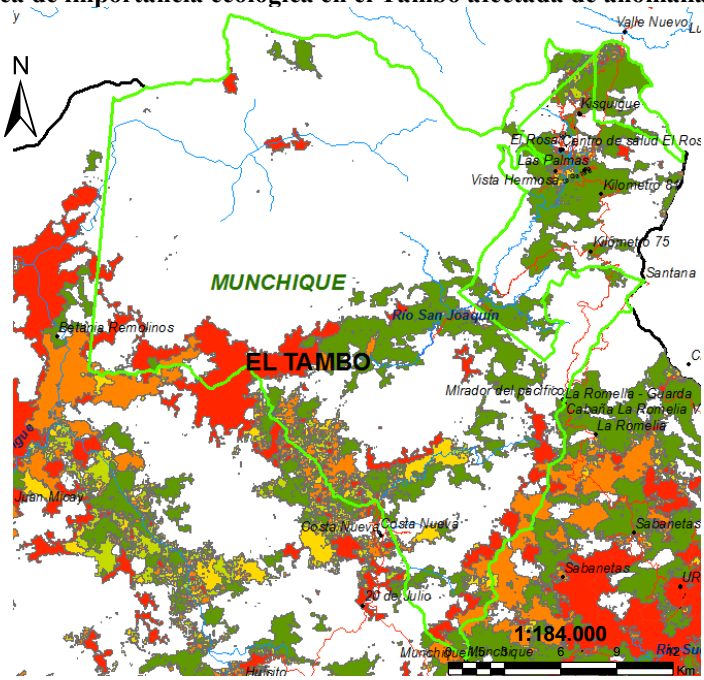
	El Tambo (2001-2002*)	El Tambo (2001-2014*)	Patía (El Bordo) (2001-2014*)	Mercaderes (1990*-2010)
Sin Dato	44,5	47,8	0,2	23,4
Estable	37,4	20,5	16,4	46,2
Muy Leve	3,3	2,2	9,3	3,8
Leve	3,1	2,4	8,9	4,2
Moderada	4,7	5,2	19,4	5,5
Severa	7,1	21,9	45,8	16,9

*Año Normal.

4.4.1. EL TAMBO:

Se pudo constatar que el municipio presentó anomalía Severa de sequía, en las periférias de una de sus zonas de importancia ecológica: el *Parque Nacional Natural Munchique* (Cuya extensión total es de 51.485,1 ha), pudiéndose observar en mayor proporción, mediante la comparación realizada entre los índices NDVI de la Opción 2 (años 2001-2002*), del municipio, mostrada en la (Ilustración 27) en color rojo, indicando la pérdida o degradación de la cobertura vegetal en este sitio; esto podría ser efecto, en los últimos años, de incursiones antrópicas; pues como lo menciona (PBOT, 2001), en las inmediaciones de esta zona protegida, se presentan obras civiles ilegales, además de haber en su interior, cultivos ilícitos y minería a cielo abierto para la explotación de oro.

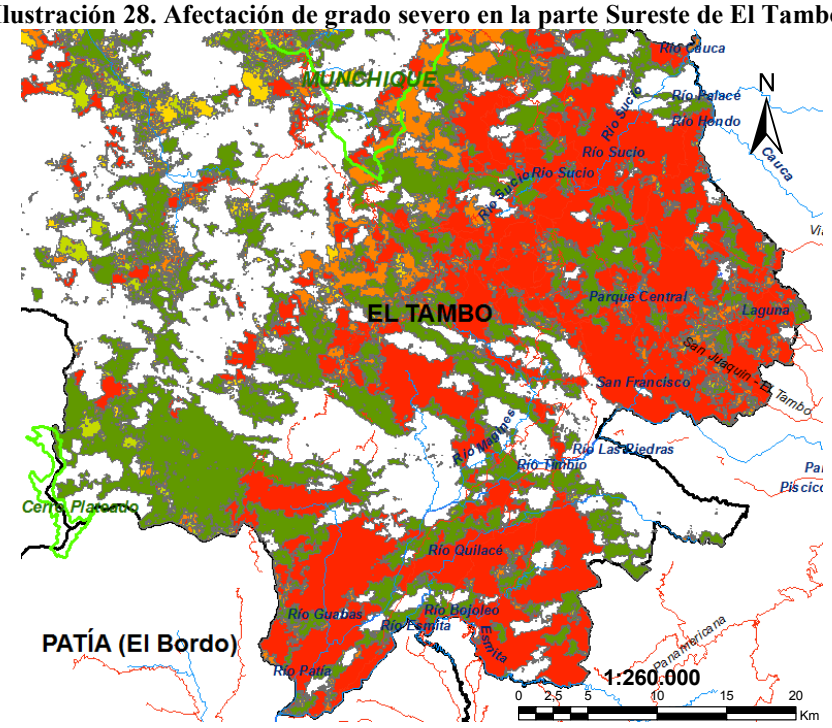
Ilustración 27. Área de importancia ecológica en el Tambo afectada de anomalía de sequía Severa.



Fuente: IAVH (2014); OSM (2015).

Sin embargo, la mayor severidad por sequía, se encuentra en la parte Sureste del municipio (Ilustración 28), principalmente en las partes de menor cota altitudinal, y donde se ubica la mayor proporción de la población, siendo por tal motivo, una zona más intervenida; por otra parte, es de grado Estable, mostrada en color verde en las ilustraciones, para las partes de mayor altitud sobre el nivel del mar, donde la presencia humana es menor y en la cual se conserva en mayor medida la vegetación boscosa.

Ilustración 28. Afectación de grado severo en la parte Sureste de El Tambo.



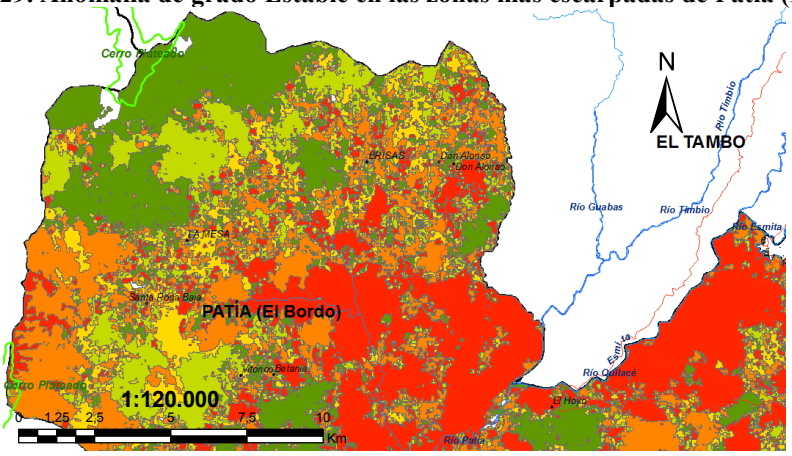
En cuanto a una comparación entre ambas opciones, la Opción 1 presentó mayor anomalía de grado Estable, que lo sucedido con la Opción 2, donde se presentaron unos porcentajes muy próximos, entre la anomalía de grado Severo y la Estable: posiblemente explicado en parte, a que la primera opción, evaluó un solo año: del 2001 al 2002, mientras que con la segunda opción se evaluaron 13 años, del año 2001 al año 2014, consiguiéndose así presentar, mayor variación en la vegetación de esta última y por tanto, exhibió un mayor cambio, entre los índices NDVI de sequía y normal.

Sin embargo, el índice PDSI para la imagen de sequía, (opciones 1 y 2) tuvo un valor de -4,2 a 0,1, siendo de categoría: "Sequía extrema a Normal"; para la imagen de fecha neutra de la opción 1, fue de -1,8 a 1,6 indicando: "Sequía reducida a Ligeramente Húmedo"; para la segunda opción normal, no se tienen valores PSDI, por lo que se optó por usar el ***Índice Multivariado del ENSO*** (MEI), el cual indica en valores positivos el fenómeno de El Niño y en negativos el evento Niña, siendo este para el año 2014, en los meses de Julio-Agosto y Agosto-Septiembre, respectivamente de 0.9 y 0.6, indicando una transición a sequía, al presentar valores positivos y <0.5 (Guevara, 2008), sugiriendo alta presencia de fenómeno El Niño y explicando en gran medida, el predominio de la anomalía Severa, al no haber *contraste*, ya que los valores de NDVI son mayores, cuando se obtienen con fenómeno de la Niña por la humedad, y menores cuando hay fenómeno El Niño (Meneses L., 2012).

4.4.2. PATÍA (EL BORDO):

El municipio presentó anomalía de tipo Estable seguida de Muy Leve, en las zonas de mayor cota entre los 1900-3200 msnm, específicamente en la región Norte, y donde se ubica *El Complejo de Paramos de Cerro Plateado* (En total 424,8 ha compartidas con El Tambo), como se aprecia en la (Ilustración 29); se puede explicar en parte, al ser zonas donde la temperatura es menor, según la relación con el gradiente altitudinal, siendo mayores las precipitaciones la mayor parte del año, mayor cobertura y mas evapotranspiración, además de ser una zona escarpada, protegida y menos accesible; por otra parte, coincidió la anomalía Severa, con las zonas afectadas por minería a cielo abierto, en las proximidades del Rio Quilacé.

Ilustración 29. Anomalía de grado Estable en las zonas más escarpadas de Patía (El Bordo).



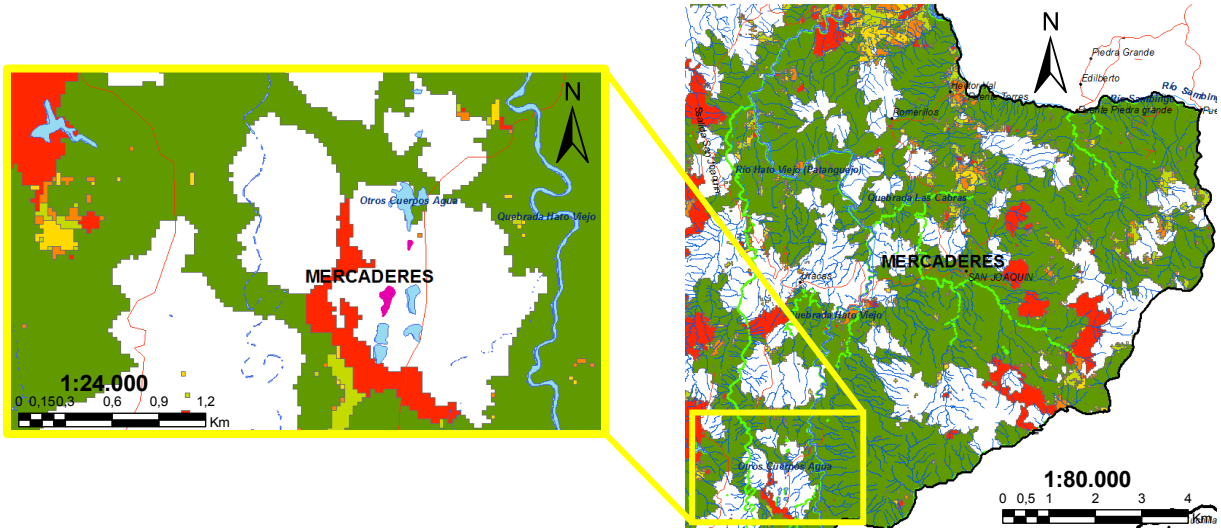
En contraste las zonas de baja altitud, es decir en la parte Sur del municipio, entre los 600-900 msnm, se encontró un predominio de anomalía de grado Severo, en el llamado Valle del Patía, donde se tiene una gran intervención agrícola y pecuaria, explicando en parte dicho comportamiento; esta manifestación coincidió con los resultados de dinámica hídrica, al ser el municipio de menor expansión de agua y donde además toda la desecación se ubicó geográficamente en dicha zona.

Los valores de PSDI de Palmer, para este municipio con la imagen perteneciente a la fecha de fenómeno El Niño, fue de -5,1 y 0,1, siendo categorizada como: "Sequía extrema a Normal"; en cuanto a los valores de la imagen satelital de fecha neutra o sin fenómeno de Sequía, estos no fueron suministrados, siendo por tanto necesario el empleo del índice MEI, que para los meses de Julio-Agosto y Agosto-Septiembre del año 2014 respectivamente fueron de 0.9 y 0.6, indicando una transición a sequía; posiblemente, por tal razón la predominancia de la anomalía de grado Severa observada, para la mayor parte del municipio.

4.4.3. MERCADERES:

Para éste municipio fue posible realizar una comparación, tanto de la dinámica hídrica como con el índice de sequía, para el año 2010, donde ambas imágenes correspondían al mes de enero y con apenas un día de diferencia de captura entre ellas; la zona donde se presentó la desecación de cuerpos de agua, en la dinámica hídrica (Ilustración 30), entre los sitios de Monteredondo, Hato Viejo y Sombrerillos; concuerda con anomalía de tipo Severa; sin embargo muchas quebradas, aumentaron su superficie de agua generando una expansión de las mismas (Mostrado en color verde claro en la ilustración), además el municipio presentó, una invariabilidad o estabilidad hídrica con valores próximos a la expansión, coincidiendo con el porcentaje mayor de anomalía de tipo Estable; pudiéndose inferir la efectividad del índice NDVI junto a la importancia de la cobertura vegetal, para el mantenimiento del recurso hídrico.

Ilustración 30. Comparación entre la desecación hídrica y la anomalía de sequía estable en el mismo mes y año para Mercaderes del 31/01/2010.



Los datos obtenidos, concernientes a los valores de PSDI, indicaron que con la imagen del año seco éstos datos fueron de -4,9 y -2,3, señalando una categoría Palmer de: “Sequía extrema a Sequía Moderada”; por otro lado, para la fecha sin fenómeno de El Niño o neutro, se obtuvieron valores entre -2,5 a 2,1, indicando un comportamiento de tipo: “Sequía moderada a Moderadamente húmedo”; sugiriendo según la categorización, la elección de imágenes en una fecha, que corresponda exactamente a una época neutra, es decir de -0.4 a 0.4, sin ningún tipo de fenómeno, que pueda sesgar los datos generados.

4.5. RESULTADOS DEL ESTUDIO MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES:

OBJETIVO:

3. Realizar un estudio multitemporal del año 1990 al año 2010 para el municipio de Mercaderes, y del año 2001 al 2014 para los municipios de El Tambo y Patía (El Bordo), mediante el uso de Imágenes Satelitales tipo Landsat; para determinar los cambios en la cobertura, de los municipios priorizados del departamento del Cauca.

META:

Mapas en formato ráster y vectorial, obtenidos de la clasificación digital y la interpretación visual, sobre la cobertura presente en las distintas fechas seleccionadas; además de la cuantificación, identificación y análisis del comportamiento evidenciado, para cada uno de los municipios priorizados, pertenecientes al departamento del Cauca.

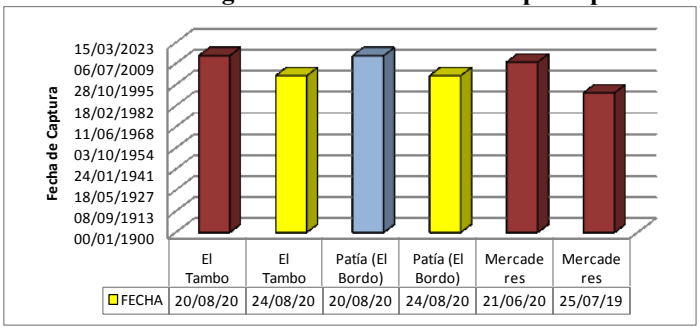
Empleando un total de seis imágenes satelitales Landsat, todas con resolución espacial de 30 m, la mitad de ellas usadas en la obtención del índice de comparación DELTA NDVI, ya que las restantes de evaluación de condiciones secas, fueron descartadas por exceso de nubes, en la (Ilustración 31) se muestran, en amarillo y azul las imágenes usadas en la evaluación de sequía, mientras que en color rojo, las fechas de las imágenes adicionales empleadas, pero pertenecientes al mismo año de la evaluación de sequía (Tabla 15).

Tabla 15. Características de las imágenes satelitales utilizadas para el estudio multitemporal.

MUNICIPIO (Comparación)	IMÁGEN N°	CÓDIGO	PLATAFORMA	EVENTO	FECHA
El Tambo	1	LC80090582014232LGN00	LANDSAT 8	INDETERMINADO	20/08/2014
	2	LE70090582001236EDC00	LANDSAT 7	NIÑO	24/08/2001
Patía (El Bordo)	3	LC80090592014232LGN00	LANDSAT 8	NORMAL	20/08/2014
	4	LE70090592001236EDC00	LANDSAT 7	NIÑO	24/08/2001
Mercaderes	5	LE70090592010021EDC00	LANDSAT 7	INDETERMINADO	21/06/2010
	6	LT40090591990206XXX02	LANDSAT 4	INDETERMINADO	25/07/1990

Como se observa, el número de años evaluado para el municipio de El Tambo fue de 13 años (2001-2014), igual que para Patía (El Bordo), mientras que para Mercaderes, comprendió un total de 20 años (1990-2010); uno de los propósitos, fue contrastar los resultados obtenidos, de la dinámica hídrica y de la anomalía NDVI en dichas fechas. Por otro lado, para la cuantificación hidrográfica, se utilizó cartografía de apoyo en formato *shape file*, suministrada por el IGAC, ya que su cuantificación, no sería precisa, con el uso de las imágenes satelitales dispuestas, debido al bajo nivel de detalle, con los tamaños de celda de las imágenes destinadas.

Ilustración 31. Fecha de las imágenes del estudio multitemporal para cada municipio.

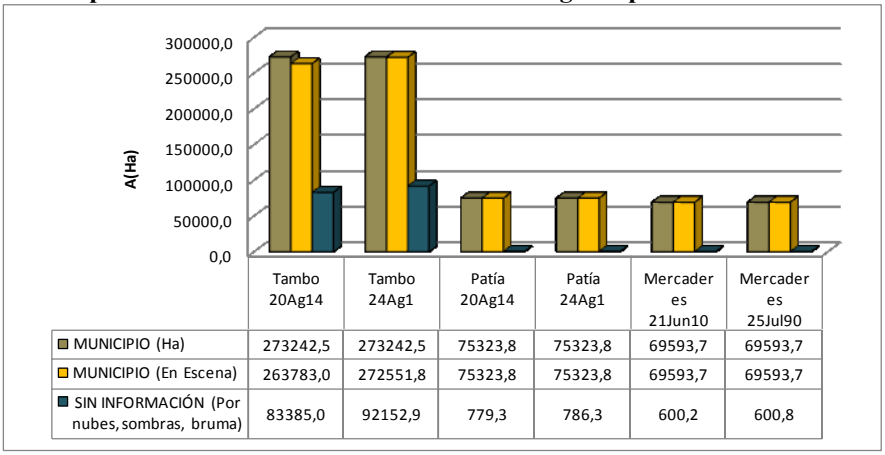


En cuanto a la cantidad de Área efectiva, para realizar la comparación de las coberturas, la dificultad se presentó para las imágenes del municipio El Tambo, siendo ésta del 66%, no obstante para los restantes municipios, disponiendo de un 99% (Tabla 16).

Tabla 16. Área efectiva disponible de las imágenes empleadas para la evaluación multitemporal.

MUNICIPIO (Comparación)	FECHA	ÁREA					
		MUNICIPIO (En Escena)		SIN INFORMACIÓN (Por nubes, sombras, bruma)		EFECTIVA	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%
El Tambo	20/08/2014	263783,0	96,5	83385,0	31,6	180398,1	66,0
	24/08/2001	272551,8	99,7	92152,9	33,8	180398,9	66,0
Patía (El Bordo)	20/08/2014	75323,8	100,0	779,3	1,0	74544,5	99,0
	24/08/2001	75323,8	100,0	786,3	1,0	74537,5	99,0
Mercaderes	21/06/2010	69593,7	100,0	600,2	0,9	68993,4	99,1
	25/07/1990	69593,7	100,0	600,8	0,9	68992,9	99,1

Ilustración 32. Comparación entre el Área efectiva de las imágenes para la evaluación multitemporal.

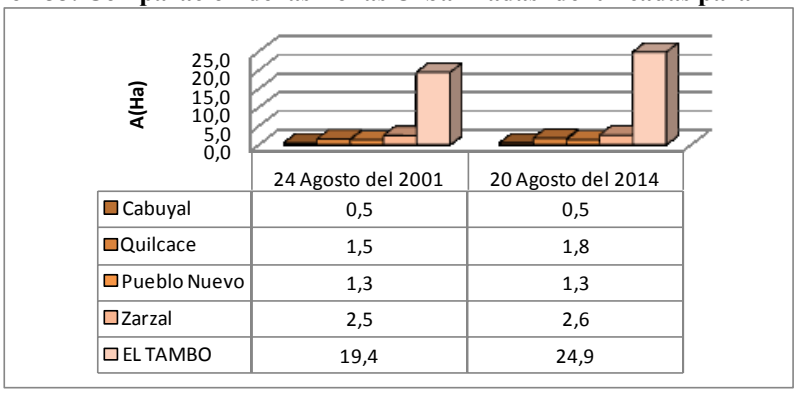


La cartografía de apoyo, para la exclusión de cuerpos de agua y afluentes hídricos, comprendió un total de 342,5 ha para el municipio de El Tambo, 442,8 ha para Patía (El Bordo) y 472,3 ha para Mercaderes, dichas áreas fueron obtenidas de la Cartografía Base del IGAC a escala 1:100.000; a continuación se muestran los resultados obtenidos, de cada uno de los municipios, junto a la vectorización generada, para la obtención de las áreas, de las coberturas presentes, en las distintas fechas.

4.5.1. EL TAMBO:

El estudio multitemporal realizado, para el municipio, permitió obtener los siguientes datos generados, a partir de lo interpretado visualmente en las imágenes dispuestas, para la determinación de las zonas urbanas y para las áreas cultivadas; las restantes coberturas, fueron obtenidas a partir de la clasificación supervisada de las imágenes de satélite; en primera medida, las áreas con cultivos transitorios y permanentes, fueron de 73,4 ha (0,03%) para la fecha inicial y 112,2 ha (0,04%) para la época más reciente; mientras que la cobertura de Zonas Urbanas, cambio de 25,2 ha en dicho año 2001, a 31,1 ha para el año 2014 (Ilustración 33), su cabecera municipal, fue la que presentó una mayor expansión.

Ilustración 33. Comparación de las Zonas Urbanizadas identificadas para El Tambo.



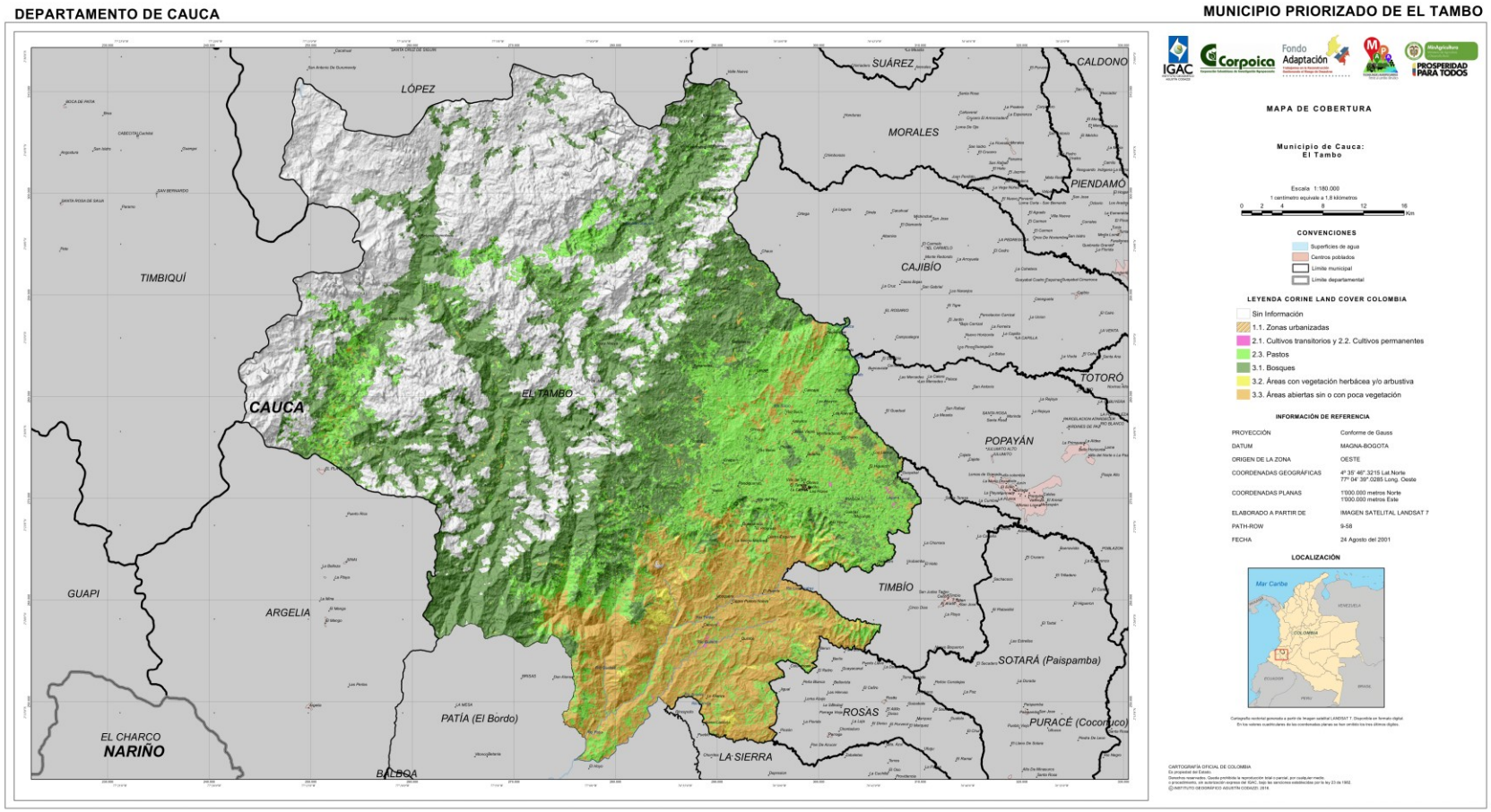
Por otro lado, entre los años 2001 a 2014, la cobertura boscosa, fue la dominante en el municipio con un total de 84.641,4 ha (31,1%) y 62.884,2 ha (23,8%) respectivamente, seguida por la cobertura de pastos con 56.171,0 ha (20,6%) y 62.209,1 ha (23,6%) (Tabla 17).

Tabla 17. Coberturas Corine Land Cover obtenidas para el municipio de El Tambo.

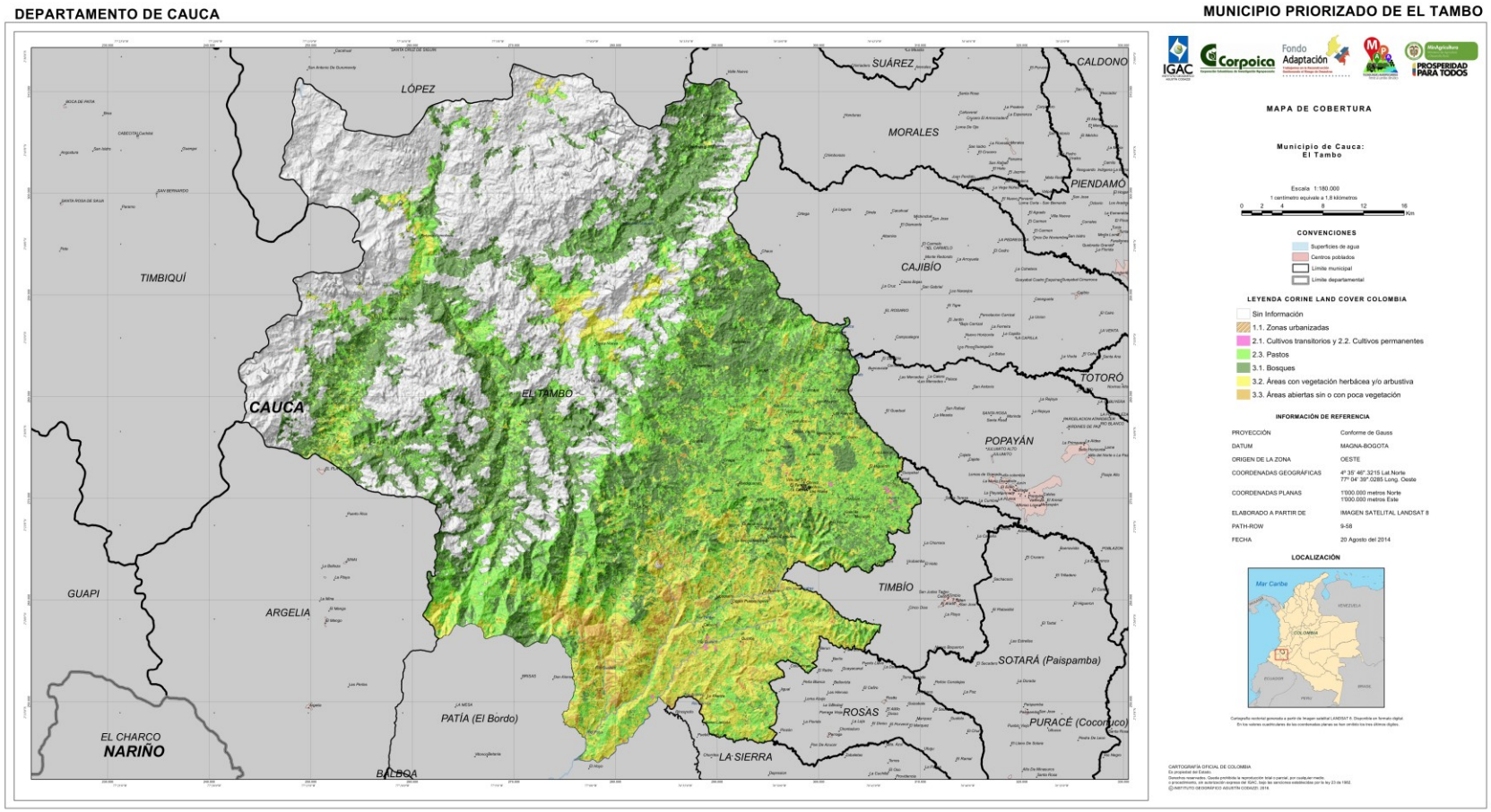
MUNICIPIO (Comparación)	FECHA	ÁREA											
		BOSQUES		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA		PASTOS		CULTIVOS TRANSITORIOS Y CULTIVOS PERMANENTES		ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN		ZONAS URBANIZADAS	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
El Tambo	20/08/2014	62884,2	23,8	41911,2	15,9	62209,1	23,6	112,2	0,04	12907,9	4,9	31,1	0,01
	24/08/2001	84641,4	31,1	3019,7	1,1	56171,0	20,6	73,4	0,03	36125,6	13,3	25,2	0,01

En menor proporción, que las anteriormente mencionadas, se observaron las coberturas del municipio de áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y las áreas abiertas sin o con poca vegetación, siendo de 41.911,2 ha (15,9%) y 12.907,9 ha (4,9%) para la fecha final y 3.019,7 ha (1,1%) y 36.125,6 ha (13,3%) en la fecha inicial de la evaluación realizada; en los (Mapas 10 y 11) se presentan ambas salidas cartográficas obtenidas para el municipio.

Mapa 10. Cobertura del Municipio de El Tambo, imagen LE70090582001236EDC00 - (Fecha 24 de Agosto del 2001).



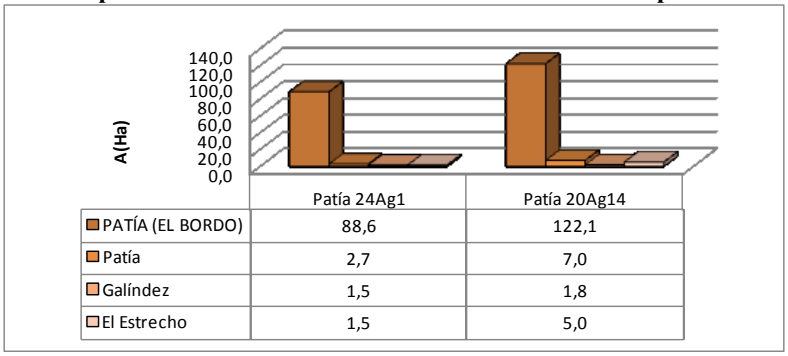
Mapa 11. Cobertura del Municipio de El Tambo, imagen LC80090582014232LGN00 - (Fecha 20 de Agosto del 2014).



4.5.2. PATÍA (EL BORDO):

El municipio evidenció entre los años 2001 y 2014, para sus zonas urbanizadas un total de 94,3 ha (0,1%) para el primer año y 136 ha (0,2%), para la segunda fecha del estudio multitemporal, el mayor incremento ocurrió para su casco urbano principal, de las zonas identificadas, aumentando 33,5 ha en dicho periodo (Ilustración 34); por otra parte, las zonas cultivadas para el municipio en la primera fecha fue de 1.531,3 ha (2%) y para la segunda del año 2014, fue de un total de 2.053,5 ha (2,7%) (Tabla 18).

Ilustración 34. Comparación de las Zonas Urbanizadas identificadas para Patía (El Bordo).



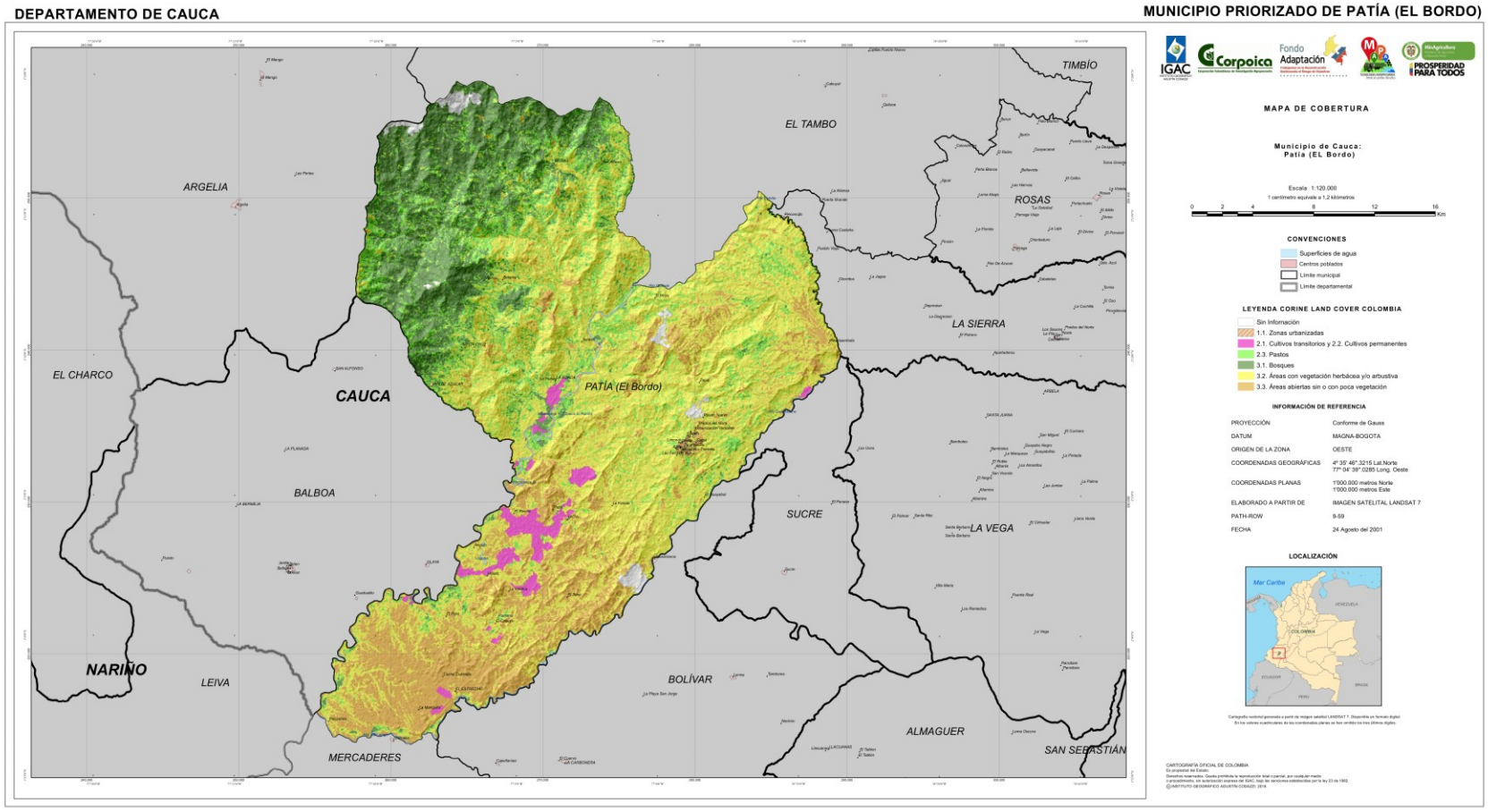
La mayor cobertura para ambas fechas, fue la de áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva con 35.229,2 ha (46,8%) para la primera fecha y 23.446 ha (31,1%) para la última fecha (Tabla 18); seguidamente el mayor número de zonas del municipio, respectivamente fue para la cobertura de áreas abiertas sin o con poca vegetación 16.129,1 ha (21,4%) en el año 2001, pero durante el año 2014 fue para la cobertura de pastos con 17.917,1 ha (23,8%).

Tabla 18. Coberturas Corine Land Cover obtenidas para el municipio de Patía (El Bordo).

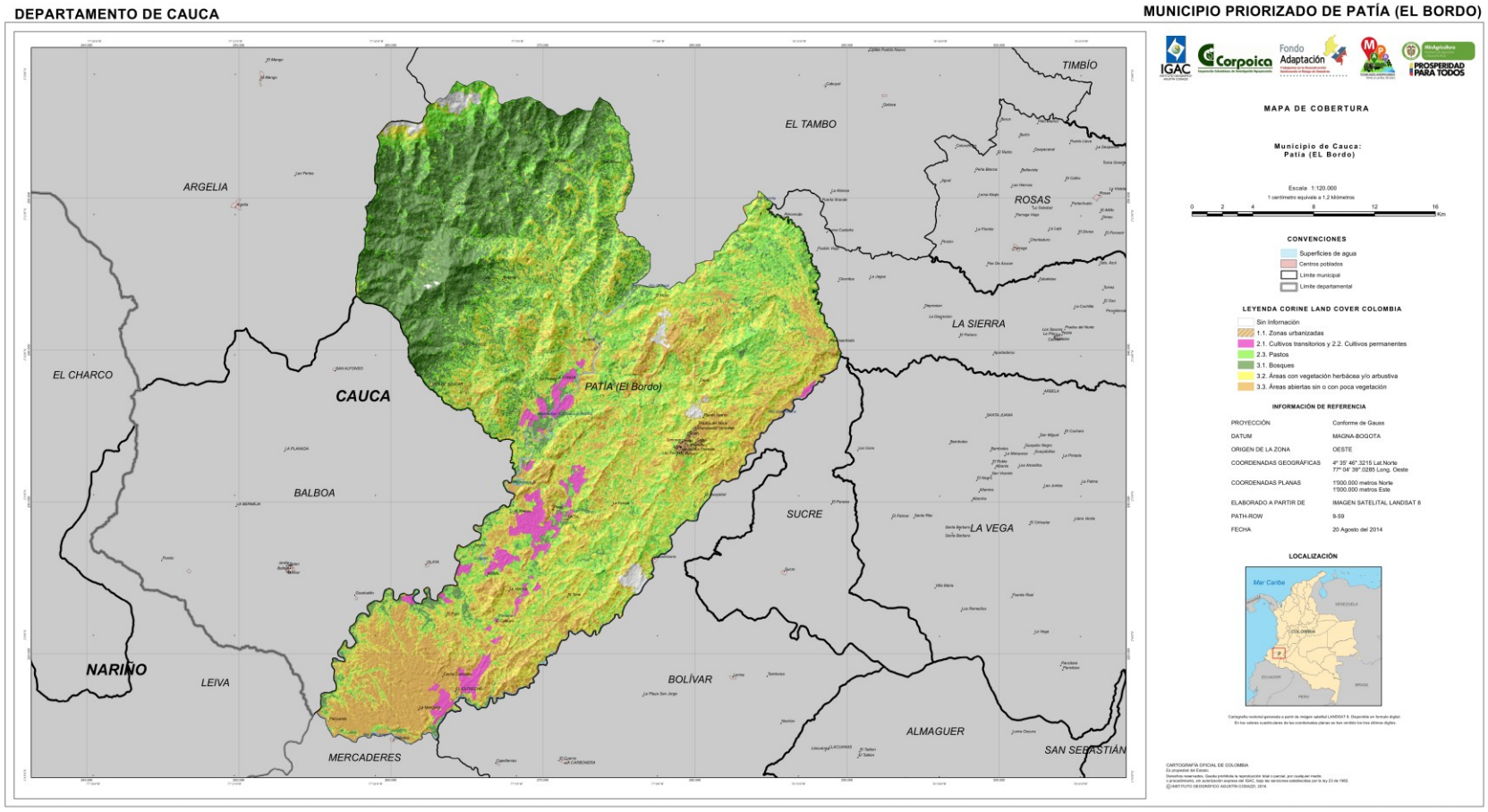
MUNICIPIO (Comparación)	FECHA	ÁREA											
		BOSQUES		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA		PASTOS		CULTIVOS TRANSITORIOS Y CULTIVOS PERMANENTES		ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN		ZONAS URBANIZADAS	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Patía (El Bordo)	20/08/2014	14129,7	18,8	23446,0	31,1	17917,1	23,8	2053,5	2,7	16419,4	21,8	136,0	0,2
	24/08/2001	10117,9	13,4	35229,2	46,8	10992,9	14,6	1531,3	2,0	16129,1	21,4	94,3	0,1

En ese mismo orden de ideas, las menores coberturas para cada fecha, fue de pastos con 10.992,9 ha (14,6%) y en ultimo para bosques 10.117,9 ha (13,4%) durante el año 2001; para la otra imagen de la fecha del 2014, fueron para las áreas abiertas sin o con poca vegetación siendo de 16.419,4 ha (21,8%) y finalmente, la menor cobertura fue para los bosques, con 14.129,7 ha (18,8%); los mapas obtenidos tanto para el año final e inicial, se muestran a continuación (Mapas 12 y 13).

Mapa 12. Cobertura del Municipio de Patía (El Bordo), imagen LE70090592001236EDC00 - (Fecha 24 de Agosto del 2001).



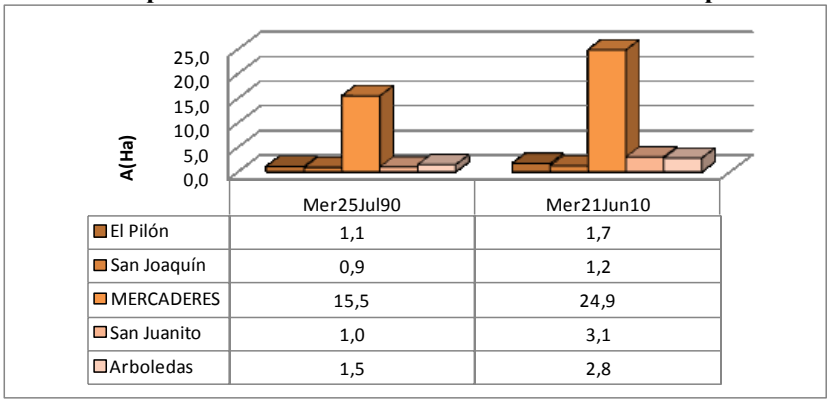
Mapa 13. Cobertura del Municipio de Patía (El Bordo), imagen LC80090592014232LGN00 - (Fecha 20 de Agosto del 2014).



4.5.3. MERCADERES:

Este último municipio de estudio, en cuanto a la cobertura de zonas urbanizadas se refiere, mostró durante los veinte años evaluados, un total de 20 ha (0,03%) para el año 1990, y para el año 2010 una extensión de 33,7 ha (0,05%), destacando la mayor expansion urbana, para el casco de Mercaderes (Ilustración 35); en cuanto a lo concerniente a cultivos transitorios y/o permanentes, para la primera fecha fue de 120,7 ha (0,2%) y para la última fecha de 181,4 ha (0,3%) (Tabla 19).

Ilustración 35. Comparación de las Zonas Urbanizadas identificadas para Mercaderes.



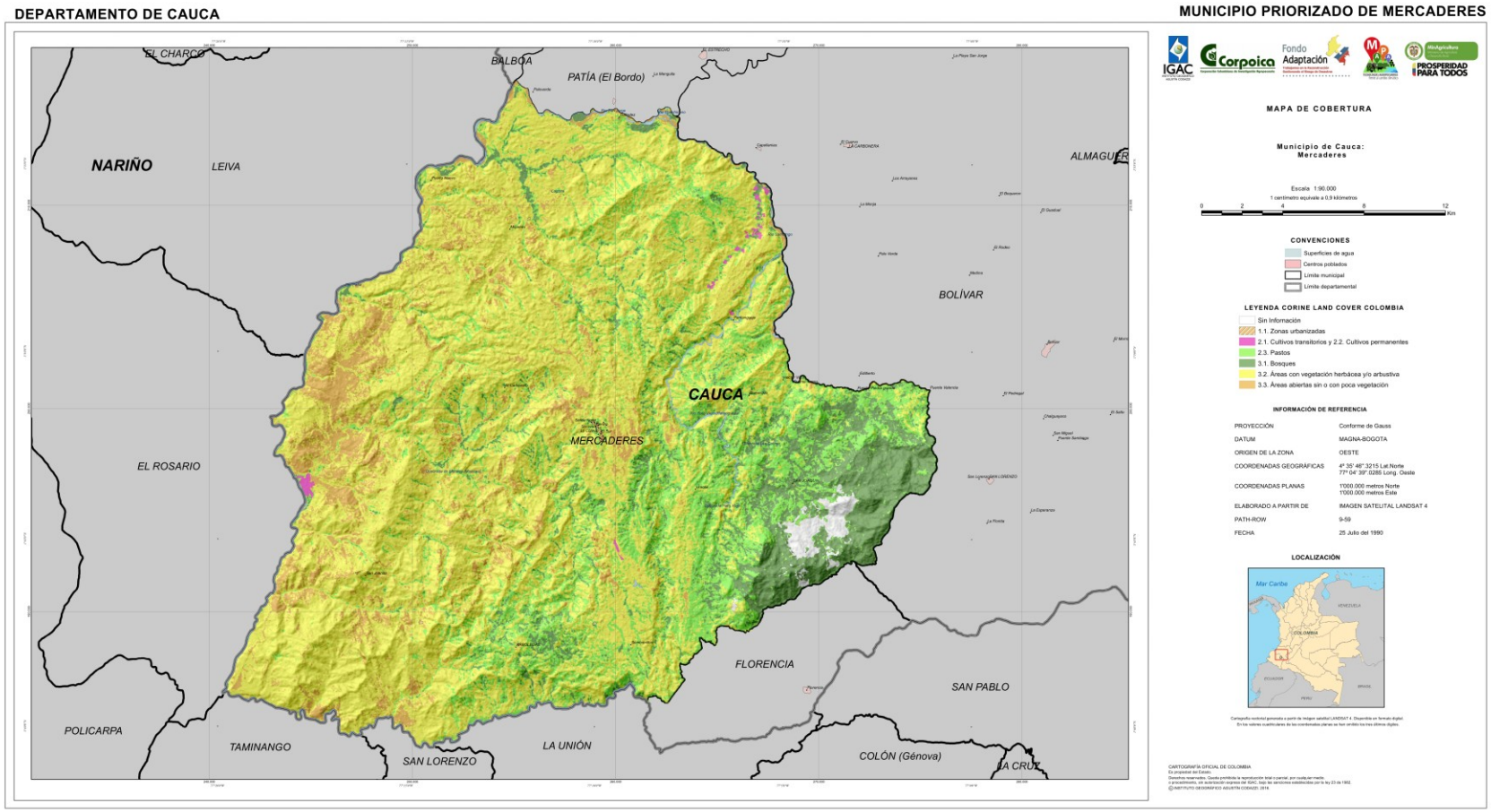
Por otra parte las mayores áreas encontradas para ambas fechas, fue para la cobertura de zonas con vegetación herbácea y/o arbustiva, durante el año 1990 siendo de 42.433,2 ha (61%) y para la otra fecha con 35.278,3 ha (50,7%); seguida en extensión por las áreas con pastos siendo de 11.964,8 ha (17,2%) y 13.442,4 ha (19,3%) respectivamente para las fechas.

Tabla 19. Coberturas Corine Land Cover obtenidas para el municipio de Mercaderes.

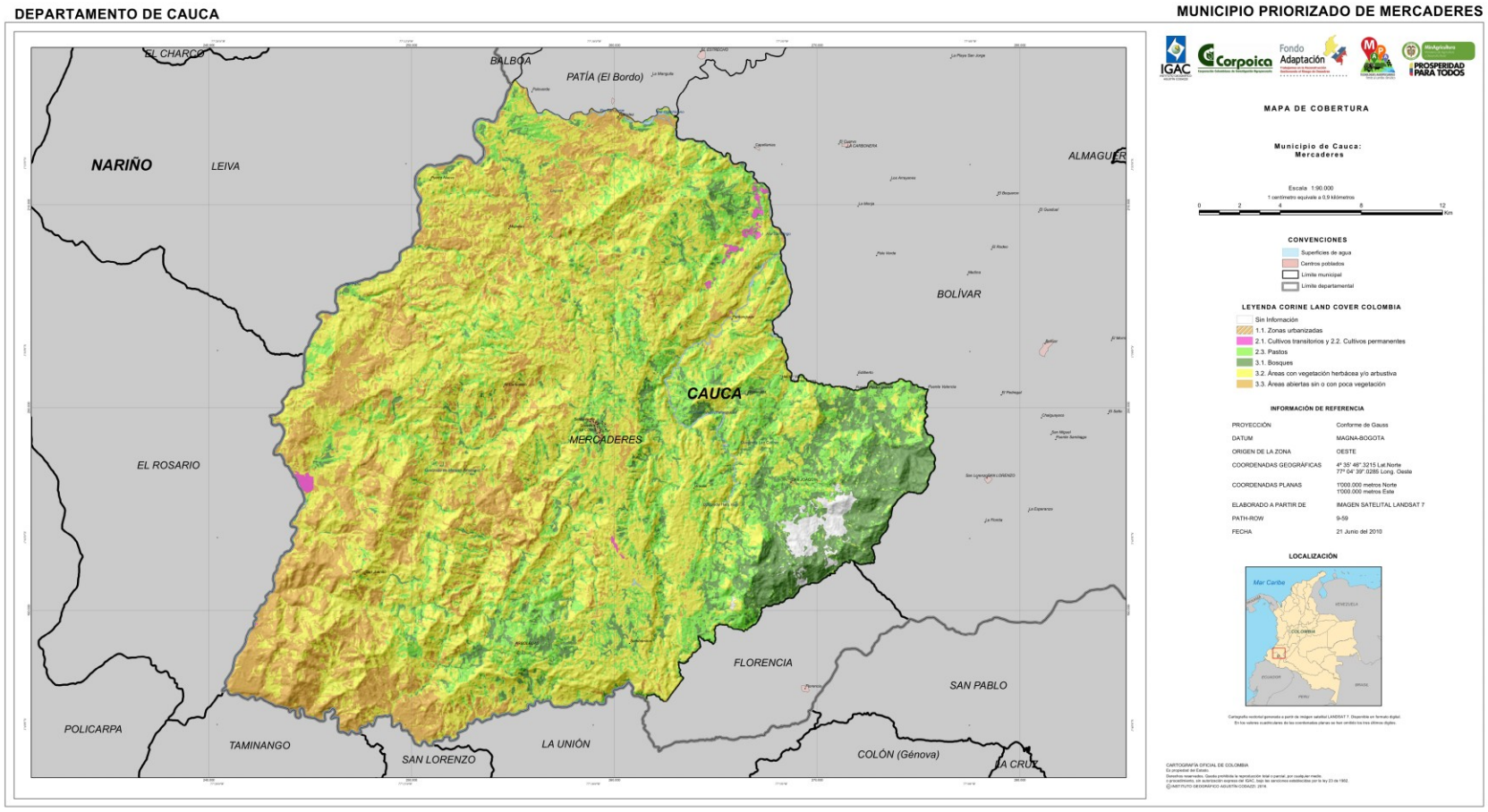
MUNICIPIO (Comparación)	FECHA	ÁREA											
		BOSQUES		ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA		PASTOS		CULTIVOS TRANSITORIOS Y CULTIVOS PERMANENTES		ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN		ZONAS URBANIZADAS	
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%
Mercaderes	21/06/2010	6933,5	10,0	35278,3	50,7	13442,4	19,3	181,4	0,3	12651,9	18,2	33,7	0,05
	25/07/1990	5411,7	7,8	42433,2	61,0	11964,8	17,2	120,7	0,2	8570,2	12,3	20,0	0,03

Finalmente, las coberturas con menor predominio en el municipio durante las fechas establecidas, fue para las áreas abiertas sin o con poca vegetación, siendo ésta de 8.570,2 ha (12,3%) y para los bosques con 5411,7 ha (7,8%) durante el año 1990; e igualmente para la imagen del año 2010, con 12651,9 ha (18,2%) y 6933,5 ha (10%); en los (Mapas 14 y 15) se presentan ambas salidas cartográficas, derivadas de la clasificación realizada para este municipio de estudio.

Mapa 14. Cobertura del Municipio de Mercaderes, imagen LT40090591990206XXX02 - (Fecha 25 de Julio de 1990).



Mapa 15. Cobertura del Municipio de Mercaderes, imagen LE70090592010021EDC00 - (Fecha 21 de Junio del 2010).



4.6. ANÁLISIS SOBRE EL ESTUDIO MULTITEMPORAL MEDIANTE IMÁGENES SATELITALES:

En esta sección se presenta la discusión, sobre el estudio multitemporal de la cobertura, para cada uno de los municipios priorizados, del departamento del Cauca, durante los mismos años, en los que se realizó la comparación, entre los índices NDVI, de una fecha con evento de sequía, respecto a otra fecha, sin presencia del fenómeno.

Según la **Tasa de Cambio Anual** (TDA), propuesta por la (FAO, 1996) e implementada para cuantificar la variación en el uso del suelo; se puede afirmar de manera general, que todas las coberturas de cultivos, pastos y zonas urbanizadas, presentaron incremento en todos los municipios; ya que según la relación usada, los mayores valores positivos, indican una mayor ganancia de dichas coberturas, mientras que los mayores valores negativos, por el contrario, indican la pérdida o reducción de su superficie, tal como se evidencia, para las restantes coberturas identificadas (Tabla 20).

Tabla 20. Tasa de cambio anual para cada cobertura de los municipios de estudio.

MUNICIPIO	TDA = ((S2/ S1)^(1/n))-1					
	BOSQUES	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	PASTOS	CULTIVOS TRANSITORIOS Y CULTIVOS PERMANENTES	ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	ZONAS URBANIZADAS
El Tambo	-0,023	0,224	0,008	0,033	-0,076	0,016
Patía (El Bordo)	0,017	-0,020	0,025	0,015	0,001	0,018
Mercaderes	0,019	-0,014	0,009	0,032	0,030	0,041

Los cambios en extensión se cuantifican en la (Tabla 21), donde se observa las mayores áreas de pérdida con signo negativo y las positivas indican cuanto aumentó dicha cobertura, estos datos coinciden con los valores mostrados de la TDA en la (Tabla 20).

Tabla 21. Área de reducción y ganancia del estudio multitemporal de cada municipio.

MUNICIPIO	ÁREA DE PERDIDAS E INCREMENTOS (Ha)					
	BOSQUES	ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	PASTOS	CULTIVOS TRANSITORIOS Y CULTIVOS PERMANENTES	ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	ZONAS URBANIZADAS
El Tambo	-21757,3	38891,4	6038,2	38,8	-23217,7	5,8
Patía (El Bordo)	4011,8	-11783,1	6924,2	522,2	290,4	41,7
Mercaderes	1521,8	-7154,9	1477,6	60,7	4081,7	13,7

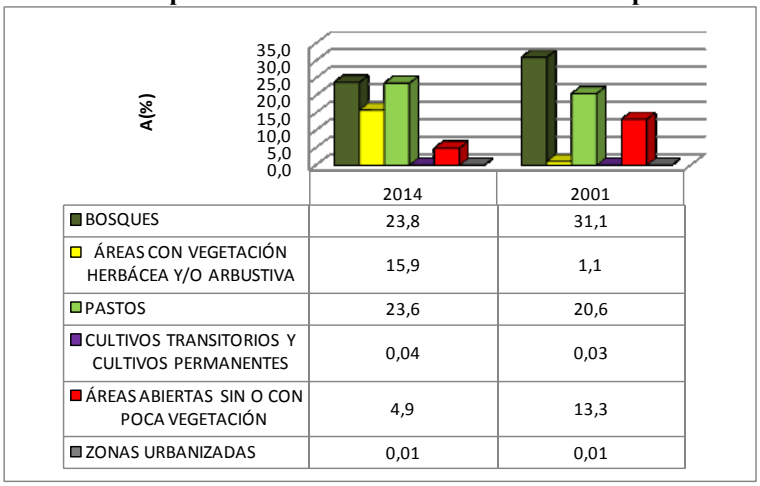
A continuación se discuten en detalle, los datos obtenidos para cada municipio, y se tratan las particularidades de cada uno de estos.

4.6.1. EL TAMBO:

La importante reducción en este municipio de su cobertura boscosa, durante los 13 años evaluados (2001-2014), perdiendo en este lapso de tiempo, alrededor de 21.757,3 ha, dicho efecto puede deberse a que según (IGAC, 2009), se presentan cada vez más, establecimientos de colonos, los cuales realizan quemas para estimular el crecimiento de pastos tiernos, además de la eliminación de la vegetación arbórea tanto de páramo como de subpáramo, buscando establecer allí cultivos de papa, generando así deterioro del ambiente.

Esto anterior, de acuerdo a los datos obtenidos (Ilustración 36), se ratifica con el incremento a la par, de las áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva, junto al aumento de pastos y cultivos; evidenciando una paulatina transformación en el uso del suelo en El Tambo, ya que además, de acuerdo al (PBOT, 2010), el municipio viene sufriendo procesos de deforestación, para extracción maderera y para la explotación de otros productos del bosque, siendo reemplazadas éstas zonas antes boscosas, por potreros para expansión de la frontera agrícola, pero también para establecer cultivos ilícitos, mayormente de amapola y coca (IGAC, 2009).

Ilustración 36. Comparación entre las coberturas de estudio para El Tambo.



	2014	2001
BOSQUES	23,8	31,1
ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	15,9	1,1
PASTOS	23,6	20,6
CULTIVOS TRANSITORIOS Y CULTIVOS PERMANENTES	0,04	0,03
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	4,9	13,3
ZONAS URBANIZADAS	0,01	0,01

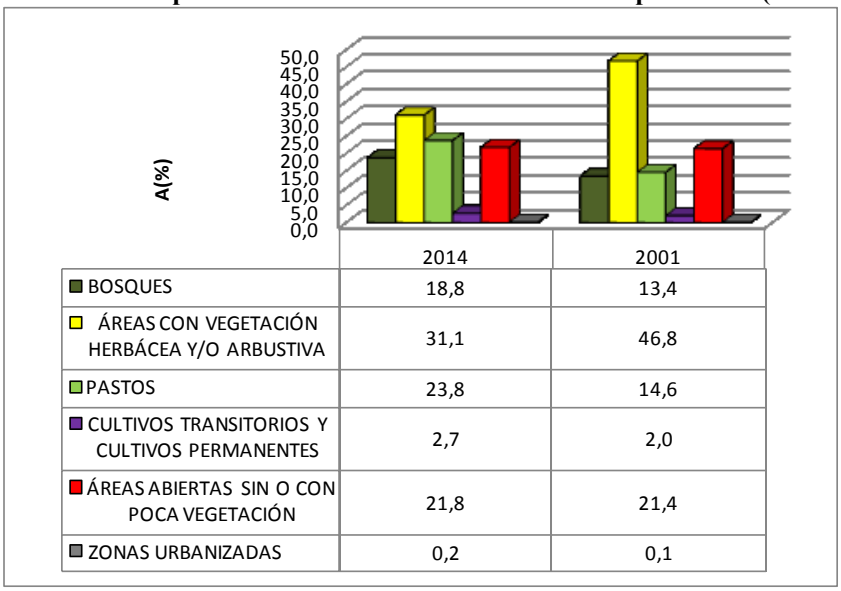
Por otra parte, estos datos obtenidos concuerdan con los valores del DELTA NDVI derivados del análisis de sequía, donde se observó el predominio en mayor proporción, de la categoría de anomalía de sequía tipo Severa; principalmente, en su parte Sureste, lugar donde se mantuvo la presencia de zonas abiertas sin o con poca vegetación; además en dicha zona, se presentan las más altas temperaturas promedio del municipio (Mayores a 24ºC) (SIAC, 2012), siendo por tanto, más susceptibles a presentarse fenómenos erosivos y/o de desertización en tales sitios.

En cuanto a las zonas urbanizadas, su expansión se puede deber en parte al desplazamiento por parte de la población rural y de otras regiones del país, hacia los núcleos urbanos del municipio, por el conflicto armado que se vivió particularmente en la zona, recrudecido a partir del año 2004 (PIU, 2011).

4.6.2. PATÍA (EL BORDO):

El municipio aunque presentó un aumento en sus áreas con bosques, dicho incremento esta sectorizado, básicamente restringido a su parte Norte, mientras que la parte Sur del mismo, incrementó sus áreas abiertas sin o con poca vegetación; además se cuantificó un aumento importante de los pastizales (Ilustración 37), seguramente para el establecimiento de actividades de ganadería, que como lo afirma (Ramírez E. et al., 2010), la expansión de la frontera agrícola en la cuenca del río Patía en las últimas décadas, causa gran impacto ambiental, junto a actividades de minería en esta misma zona.

Ilustración 37. Comparación entre las coberturas de estudio para Patía (El Bordo).



	2014	2001
BOSQUES	18,8	13,4
ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	31,1	46,8
PASTOS	23,8	14,6
CULTIVOS TRANSITORIOS Y CULTIVOS PERMANENTES	2,7	2,0
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	21,8	21,4
ZONAS URBANIZADAS	0,2	0,1

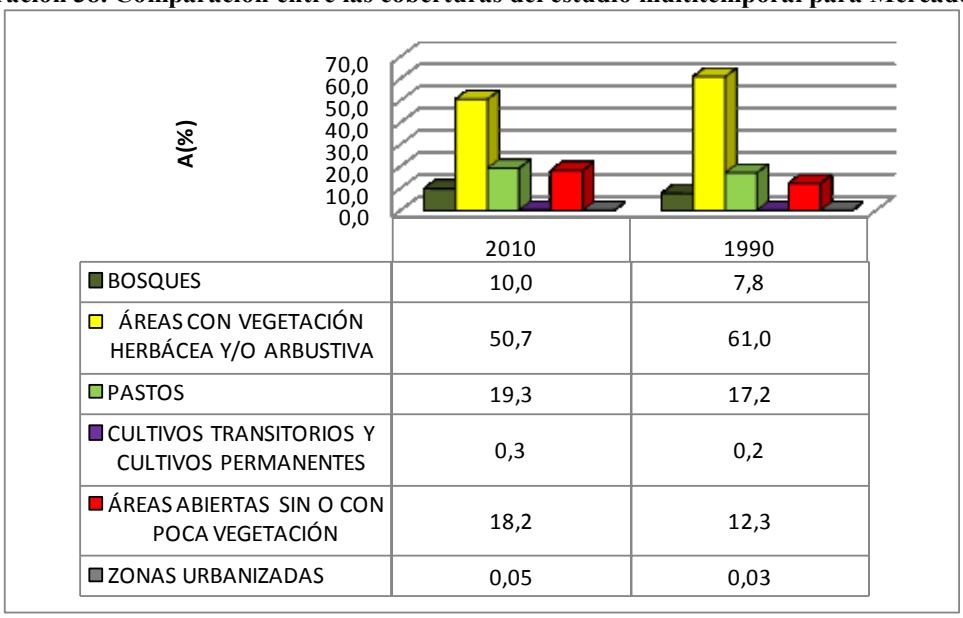
En cuanto a la relación del grado de anomalía, derivada de la comparación entre los índices NDVI, concuerda la mayor proporción obtenida, de grado Severo, en la zona Sur del municipio, lugar donde presenta la mayor extensión de suelo desnudo, y que además corresponde a una zona altamente intervenida; concordando en gran medida, con la desecación exhibida en el análisis de dinámica de afluentes y cuerpos de agua (2003-2010); y el incremento presentado en la cobertura de zonas urbanizadas, que se pudieron identificar mediante este estudio multitemporal, que comprendió los mismos años que para El Tambo, y siendo en total 13 años.

Por otra parte, los cultivos transitorios y permanentes, presentaron el mayor crecimiento, comparado con los tres municipios de estudio, esto quizá se puede deber, como lo afirma (IGAC, 2009) a que en los últimos años, las actividades agrícolas sobre la cuenca del río Patía, se concentran mayormente en cultivos de: fique, caña panelera, maíz, especies frutales y café; pero además, se presenta un predominio de cultivos de pastos mejorados, sobretodo en terrazas aluviales, para fines de ganadería extensiva y semi-extensiva.

4.6.3. MERCADERES:

El municipio presentó en los 20 años (1990-2010), del estudio realizado, una ampliación de la superficie boscosa, sin embargo no es un aumento significativo, comparado a la par, con el incremento de las áreas abiertas sin o con poca vegetación, acompañado de la disminución de áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva y la ampliación de las zonas con pastizales (Ilustración 38).

Ilustración 38. Comparación entre las coberturas del estudio multitemporal para Mercaderes.



	2010	1990
BOSQUES	10,0	7,8
ÁREAS CON VEGETACIÓN HERBÁCEA Y/O ARBUSTIVA	50,7	61,0
PASTOS	19,3	17,2
CULTIVOS TRANSITORIOS Y CULTIVOS PERMANENTES	0,3	0,2
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	18,2	12,3
ZONAS URBANIZADAS	0,05	0,03

Esto anterior afirma lo obtenido en la comparación del NDVI, para estas mismas fechas del estudio multitemporal, donde se determinó una anomalía de tipo Estable; es decir no se presentó un cambio sustancial de la cobertura, en tal periodo de tiempo, tal como lo indican los datos obtenidos de la cobertura del municipio; por otra parte, el aumento de las áreas urbanizadas tuvo ampliación, al igual que las cultivadas, muy semejante a lo sucedido en los demás municipios pero en menor proporción.

Sin embargo, es preciso mencionar que la pérdida de cobertura vegetal, se encuentra sectorizada, y vinculada con la desecación de cuerpos de agua, tal como se pudo determinar, con la evaluación de la expansión-contracción hídrica del municipio; pero que su deterioro se concentra en su parte Sur mayormente, donde en los últimos años, ha incrementado la presencia de minería ilegal de oro, y que recientemente esto se manifestó con la desaparición completa del Río Sambingo, junto a 360 ha de bosque nativo, siendo así, el primer río en desaparecer completamente en el país, por causas relacionadas directamente de la minería (SEMANA, 1 de Enero de 2016).

4.7. RESULTADOS SOBRE EL MAPA DE ESPECIES FORESTALES POTENCIALES:

OBJETIVO:

4. Sugerir especies de tipo forestal, mediante la elaboración de mapas a escala 1:100.000, para las zonas afectadas de mayor grado de anomalía de sequía, según los resultados obtenidos y de acuerdo a las características de: relieve, pendiente, clima, geología, cobertura, suelos y usos del suelo, de los municipios objeto de estudio.

META:

Mapas en formato ráster, elaborados mediante algebra de capas, a partir de mapas a escala 1:100.000, con sus respectivas salidas cartográficas vectoriales, cuantificando e identificando, las áreas aptas con la justificación de las especies a implementar, en cada uno de los municipios priorizados, del departamento del Cauca.

Los resultados que se presentan a continuación, estuvieron basados en primer lugar, en los datos obtenidos con la comparación NDVI, para las zonas que presentaron mayores grados de anomalía, siendo estas de grado Severa y Moderada; en segunda medida, otro criterio fue el uso actual del suelo, donde se descartaron las zonas con vegetación boscosa y las zonas urbanizadas, mediante la clasificación e interpretación de imágenes Sentinel-2 del año 2015; por otra parte descartando las áreas protegidas, redes viales, además de las zonas con superficies de agua, todas estos últimos aspectos basados en la Cartografía Base a escala 1:100.000 (Tabla 22). La localización potencial, de cada una de las especies, todas forestales, fueron determinadas según sus necesidades ambientales, teniendo en cuenta aspectos como: precipitación, temperatura, altura sobre el nivel del mar, pendiente, drenaje, profundidad, textura y pH del suelo. (Tabla 23).

Tabla 22. Variables de restricción utilizadas como criterio para el establecimiento de las especies.

N°	VARIABLES DE RESTRICCIÓN 100K		
	CRITERIO	CAPAS	FUENTE
1	DELTA NDVI (Sequia Severa y Moderada)	Clasificación DELTA NDVI: Anomalía Sequia Severa y Moderada	Procesamiento imágenes LANDSAT 5, 7 Y 8
2	PRECIPITACIÓN	Estaciones metereológicas y Shapes files	IDEAM y SIAC
3	TEMPERATURA		
4	CLIMA		
5	PENDIENTES	Raster Global Digital Elevation Model (GDEM)	ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER (ASTER)
6	TOPOGRAFÍA		
7	ALTITUD		
8	SUELOS	Shapes files: Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento del Cauca	IGAC - Subdirección de Agrología
9	CAPACIDAD DE USO DEL SUELO		
10	USOS DEL SUELO	Imágenes satelitales	SENTINEL 2
11	GEOLOGÍA	Planchas Mapas pdf: Cauca	SGC
12	ECOLOGÍA	Shapes files: Áreas protegidas	IAVH y Parques Nacionales
13	REDES VIALES	Shapes files: Cartografía base	IGAC y OSM
14	RED HÍDRICA Y CUERPOS DE AGUA	Shapes files superficies de agua: Cartografía base	IGAC

Tabla 23. Requerimientos ambientales de las especies potenciales para cada uno de los municipios priorizados del Cauca.

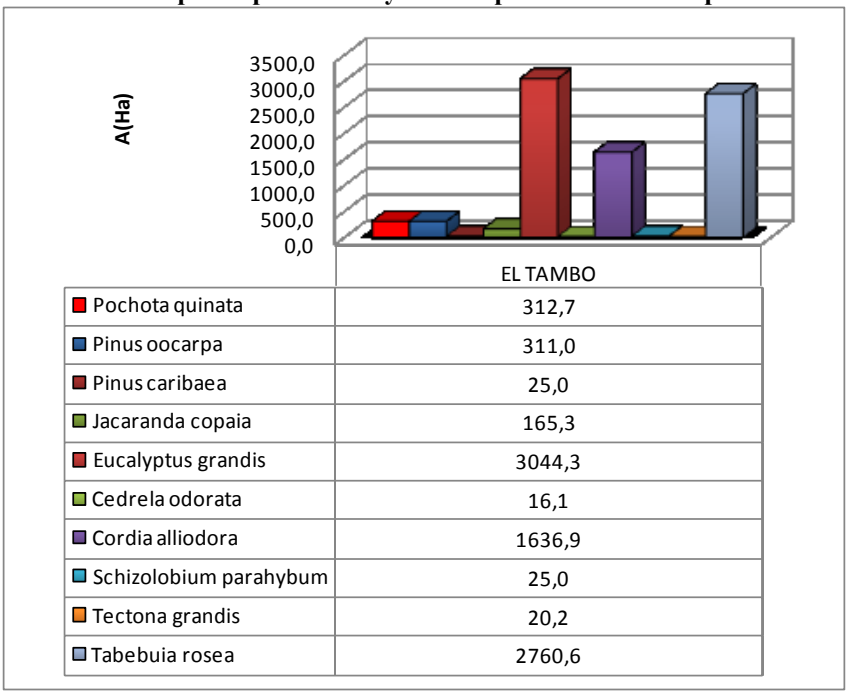
MUNICIPIO	N°	SPP	FACTOR AMBIENTAL								
			CONDICIONES CLIMÁTICAS				CONDICIONES FISIOGRÁFICAS	CONDICIONES EDÁFICAS			
		Nombre Científico	ALTITUD (msnm)	TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIÓN (mm/ año)	ZONA DE VIDA	PENDIENTE (%)	DRENAJE	TEXTURA	PH	PROFUNDIDAD
El Tambo	1	***T rosea***	0 a 1900	Mayor 18	1200 a 2500	bs-T, bh-PM	15 a 25	Moderado a Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Superficial a Profundo
	2	***C alliodora***	0 a 1900	Mayor 18	1500 a 3000	bh-T, bh-PM	20 a 35	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Profundo
	3	***P caribaea***	0 A 1500	Mayor 24	500 a 3000	bs-T, bmh-PM,	10 a 25	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	4	***P oocarpa***	300 a 2200	Mayor 18	500 a 2500	bms-T, bh-T	20 a 50	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	5	***S parahybum***	100 a 1400	Mayor 24	1500 a 2500	bs-T, bh-T, bh-	10 a 25	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	6	***T grandis***	0 a 1000	Mayor 18	1000 a 4000	bs-T, bh-T	15 a 25	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	7	***C odorata***	0 a 1500	Mayor 24	1500 a 2500	bs-T, bh-PM	20 a 30	Bien	Fina	Casi Neutro	Superficial a Profundo
	8	***J copaia***	0 a 1200	18 a 24	1000 a 2500	bs-T, bh-PM	15 a 25	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Superficial a Profundo
	9	***P quinata***	0 a 800	Mayor 24	1000 a 3000	bs-T, bh-T	10 a 25	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Superficial a Profundo
	10	***E grandis***	100 a 1800	Mayor 18	1000 a 3000	bh-PM, bh-T	20 a 50	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Profundo
Patía (El Bordo)	1	***P oocarpa***	300 a 2200	Mayor 18	500 a 2500	bms-T, bh-T	20 a 50	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	2	***P quinata***	0 a 800	Mayor 24	1000 a 3000	bs-T, bh-T	10 a 25	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Superficial a Profundo
	3	***P caribaea***	0 A 1500	Mayor 24	500 a 3000	bs-T, bmh-PM,	10 a 25	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	4	***G arborea***	0 a 1000	Mayor 24	1000 a 2000	bs-T	15 a 25	Moderado a Bien	Fina	Moderado alcalino	Profundo
	5	***C alliodora***	0 a 1900	Mayor 18	1500 a 3000	bh-T, bh-PM	20 a 35	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Profundo
	6	***J copaia***	0 a 1200	18 a 24	1000 a 2500	bs-T, bh-PM	15 a 25	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Superficial a Profundo
	7	***E pellita***	0 a 700	Mayor 24	500 a 3000	bs-T, bh-T	15 a 25	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Profundo
	8	***E grandis***	100 a 1800	Mayor 18	1000 a 3000	bh-PM, bh-T	20 a 50	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Profundo
	9	***T rosea***	0 a 1900	Mayor 18	1200 a 2500	bs-T, bh-PM	15 a 25	Moderado a Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Superficial a Profundo
	10	***S parahybum***	100 a 1400	Mayor 24	1500 a 2500	bs-T, bh-T, bh-	10 a 25	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	11	***T grandis***	0 a 1000	Mayor 18	1000 a 4000	bs-T, bh-T	15 a 25	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
Mercaderes	1	***P caribaea***	0 A 1500	Mayor 24	500 a 3000	bs-T, bmh-PM,	10 a 25	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	2	***P oocarpa***	300 a 2200	Mayor 18	500 a 2500	bms-T, bh-T	20 a 50	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	3	***P quinata***	0 a 800	Mayor 24	1000 a 3000	bs-T, bh-T	10 a 25	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Superficial a Profundo
	4	***S parahybum***	100 a 1400	Mayor 24	1500 a 2500	bs-T, bh-T, bh-	10 a 25	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo
	5	***G arborea***	0 a 1000	Mayor 24	1000 a 2000	bs-T	15 a 25	Moderado a Bien	Fina	Moderado alcalino	Profundo
	6	***T grandis***	0 a 1000	Mayor 18	1000 a 4000	bs-T, bh-T	15 a 25	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Profundo
	7	***E pellita***	0 a 700	Mayor 24	500 a 3000	bs-T, bh-T	15 a 25	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Profundo
	8	***E grandis***	100 a 1800	Mayor 18	1000 a 3000	bh-PM, bh-T	20 a 50	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Superficial a Profundo
	9	***T rosea***	0 a 1900	Mayor 18	1200 a 2500	bs-T, bh-PM	15 a 25	Moderado a Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Superficial a Profundo
	10	***J copaia***	0 a 1200	18 a 24	1000 a 2500	bs-T, bh-PM	15 a 25	Bien	Fina	Casi Neutro	Superficial a Profundo
	11	***C odorata***	0 a 1500	Mayor 24	1500 a 2500	bs-T, bh-PM	20 a 30	Bien	Fina	Ligeramente Ácido	Profundo
	12	***C alliodora***	0 a 1900	Mayor 18	1500 a 3000	bh-T, bh-PM	20 a 35	Bien	Fina	Casi Neutro	Profundo
	13	***E tereticornis***	0 a 1000	Mayor 24	1000 a 2000	bs-T	20 a 35	Bien	Gruesa a Fina	Casi Neutro	Profundo

Fuente: Adaptado de (CONIF, 1998).

4.7.1. EL TAMBO:

Este municipio estuvo un tanto circunscrito, en cuanto a área disponible, que cumpliera con las condiciones definidas, en gran parte por la escasa información obtenida en la comparación NDVI de análisis de sequía realizado; en cuanto a las especies forestales seleccionadas, que sí cumplieron con los criterios establecidos, y con las condiciones ambientales del lugar, se obtuvieron un total de diez, las cuales se presentan en la (Ilustración 39), junto al área disponible de cada una de ellas, para el municipio de El Tambo.

Ilustración 39. Especies potenciales y área disponible del municipio El Tambo.

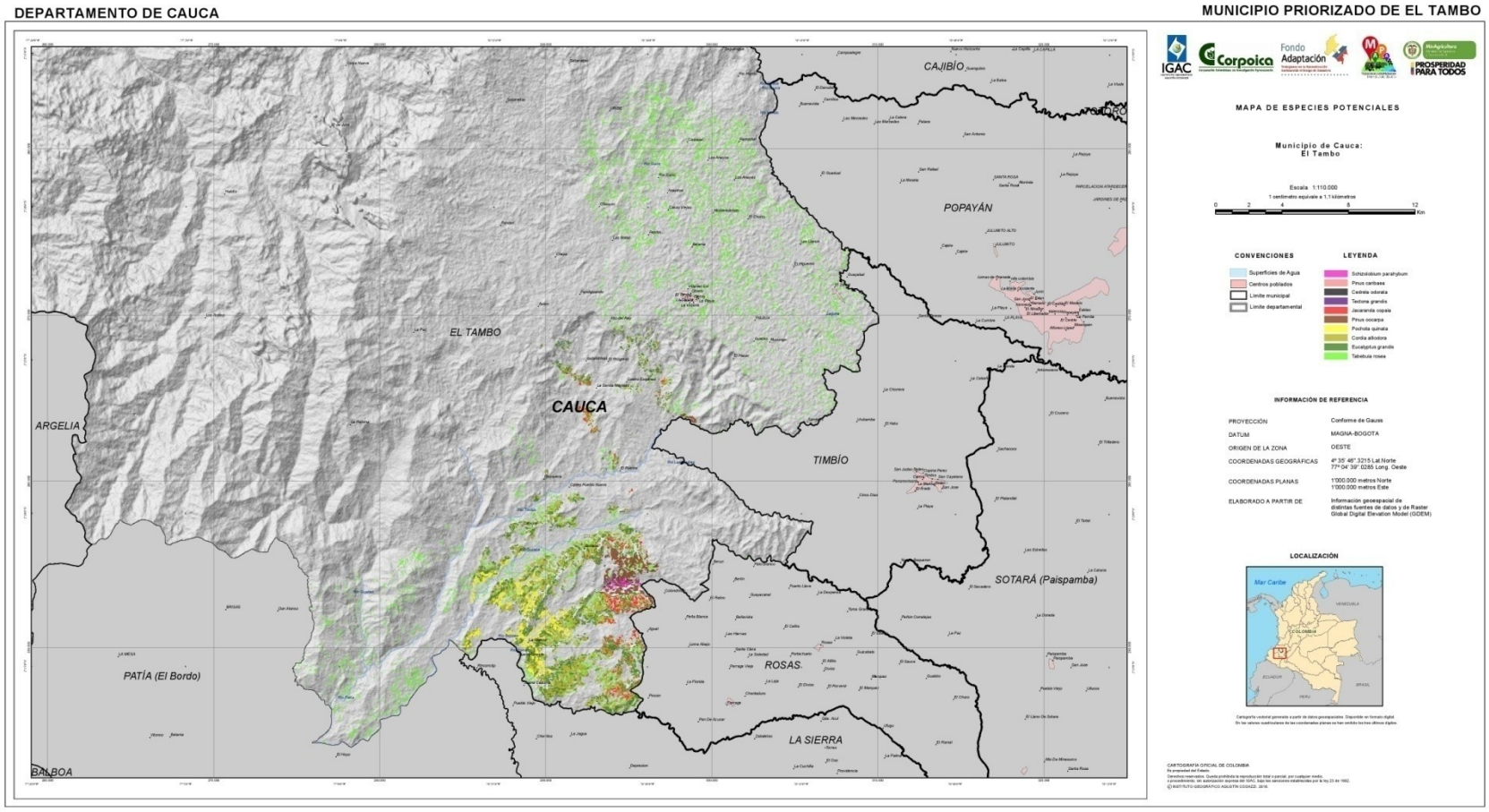


	EL TAMBO
Pochota quinata	312,7
Pinus oocarpa	311,0
Pinus caribaea	25,0
Jacaranda copaia	165,3
Eucalyptus grandis	3044,3
Cedrela odorata	16,1
Cordia alliodora	1636,9
Schizolobium parahybum	25,0
Tectona grandis	20,2
Tabebuia rosea	2760,6

Como se observa, la mayor área obtenida corresponde a la especie *Eucalyptus grandis*, con un total de 3.044,3 ha, seguida por *Tabebuia rosea* con 2.760,6 ha y *Cordia alliodora* con 1.636,9 ha; mientras que las menores extensiones de superficie se presentaron para las especies: *Pinus caribaea* y *Schizolobium parahybum* ambas con 25 ha, junto a *Tectona grandis* y *Cedrela odorata*, con un total de 20,2 ha y 16,1 ha respectivamente.

La ubicación de estas especies, se concentró mayormente para la parte Sureste del municipio, donde es preciso mencionar se sitúa la mayor proporción, de suelo desnudo o suelo en proceso de degradación, de acuerdo a la interpretación realizada, en la imagen satelital Sentinel-2 del año 2015; la salida cartográfica obtenida, se presenta a continuación en el (Mapa 16).

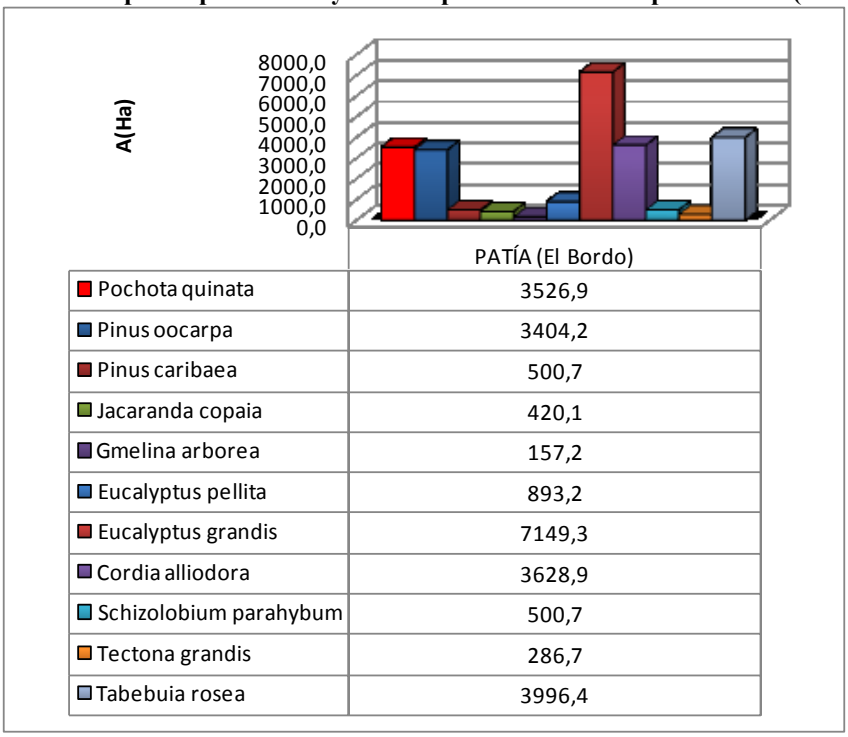
Mapa 16. Mapa de especies forestales potenciales para el municipio priorizado de El Tambo.



4.7.2. PATÍA (EL BORDO):

El municipio cuenta con la mayor proporción de área, que cumple con las condiciones básicas para la implementación de las especies, comparado con los demás municipios de estudio; lo cual es importante, ya sea para adelantar procesos de plantación, restauración o como componente de Sistemas Agroforestales; de tal modo que para El Patía, se obtuvieron un total de once especies potenciales, los nombres de estas plantas, con la superficie delimitada, para cada una de ellas, son presentadas en la (Ilustración 40).

Ilustración 40. Especies potenciales y área disponible del municipio de Patía (El Bordo).

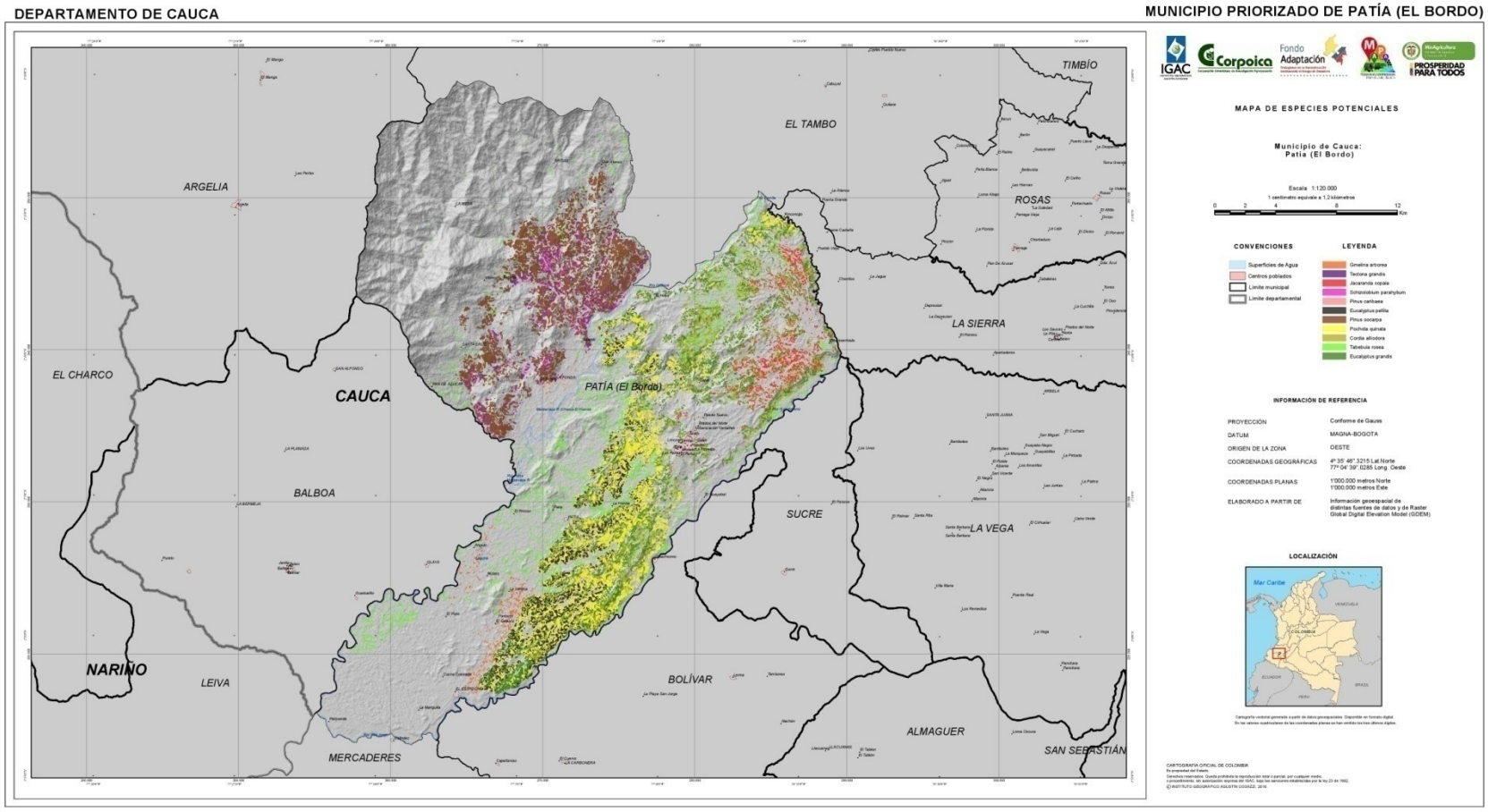


	PATÍA (El Bordo)
Pochota quinata	3526,9
Pinus oocarpa	3404,2
Pinus caribaea	500,7
Jacaranda copaia	420,1
Gmelina arborea	157,2
Eucalyptus pellita	893,2
Eucalyptus grandis	7149,3
Cordia alliodora	3628,9
Schizolobium parahybum	500,7
Tectona grandis	286,7
Tabebuia rosea	3996,4

La mayor área disponible corresponde a la especie *Eucalyptus grandis* con 7.149,3 ha, seguida por las especies: *Tabebuia rosea* con 3.996,4 ha, *Cordia alliodora* con 3.628,9 ha, *Pochota quinata* con 3.526,9 ha y *Pinus oocarpa* con 3.404,2 ha; el área para otras especies, pero en menor proporción son para: *Pinus caribaea* y *Schizolobium parahybum* ambas con 500,7 ha, mientras que las más pequeñas extensiones son para: *Tectona grandis* con 286,7 ha y *Gmelina arborea* en 157,2 ha.

La ubicación de la mayoría de las especies evaluadas, coincide con zonas degradadas; para este municipio, la mayor parte de las especies se concentró en la zona Este; la salida cartográfica generada, de la anterior información expuesta, se presenta seguidamente en el (Mapa 17).

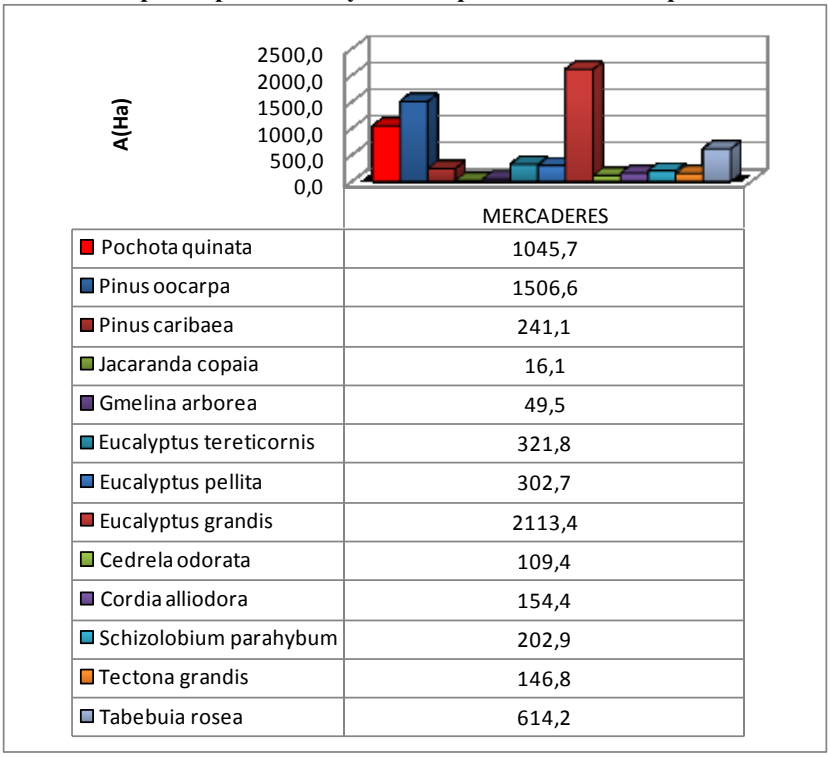
Mapa 17. Mapa de especies forestales potenciales para el municipio priorizado de Patía (El Bordo).



4.7.3. MERCADERES:

Este municipio contó con la mayor abundancia de especies, con potencialidad a ser implementadas, comparado con los restantes dos municipios de estudio para el departamento del Cauca; en total fueron trece, las que se ajustaron de acuerdo a las restricciones establecidas, junto a las características ambientales de Mercaderes; el nombre de las plantas, con su área respectiva, son mostrados en la (Ilustración 41).

Ilustración 41. Especies potenciales y área disponible del municipio de Mercaderes.

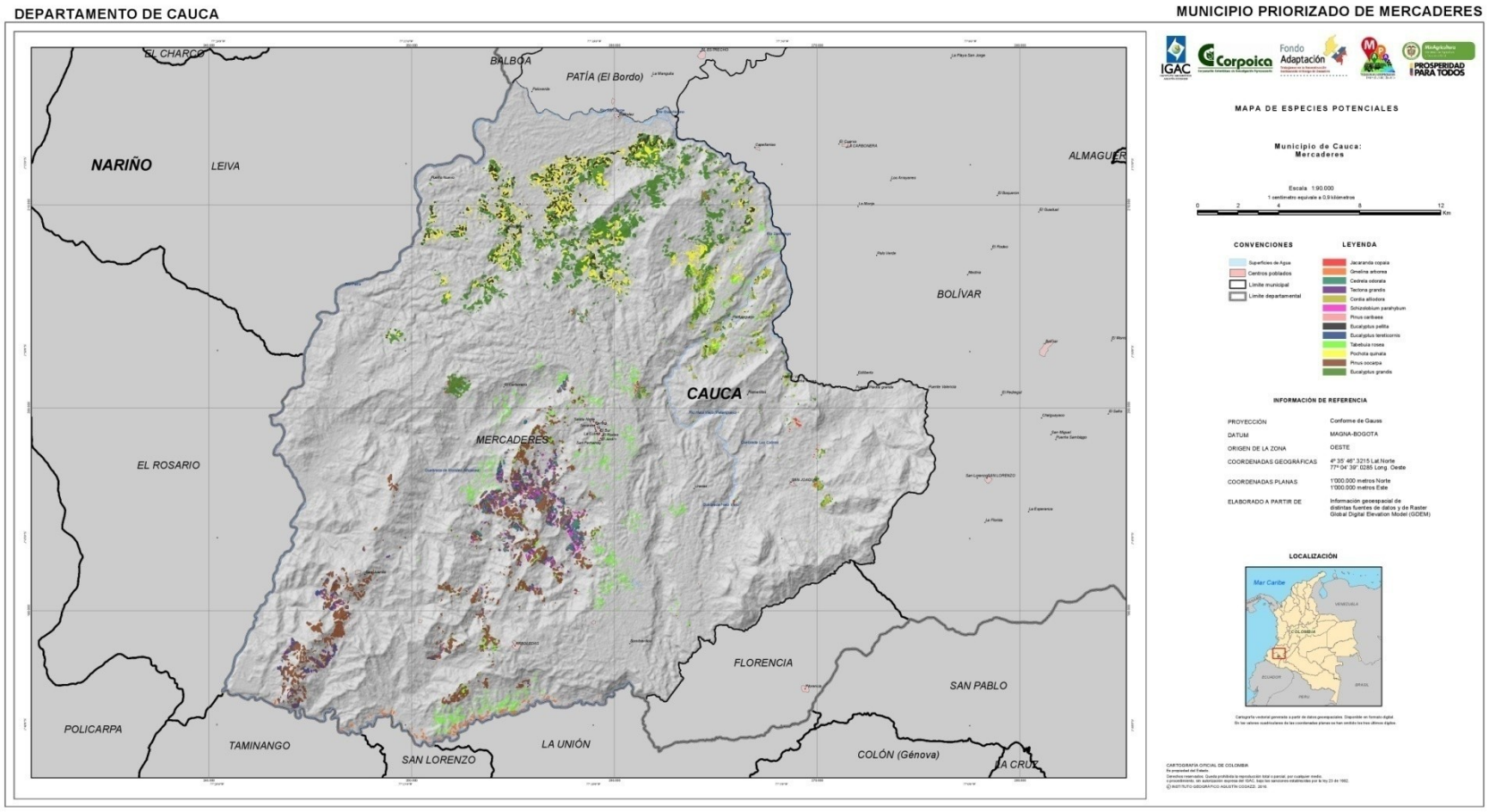


	MERCADERES
Pochota quinata	1045,7
Pinus oocarpa	1506,6
Pinus caribaea	241,1
Jacaranda copaia	16,1
Gmelina arborea	49,5
Eucalyptus tereticornis	321,8
Eucalyptus pellita	302,7
Eucalyptus grandis	2113,4
Cedrela odorata	109,4
Cordia alliodora	154,4
Schizolobium parahybum	202,9
Tectona grandis	146,8
Tabebuia rosea	614,2

Destaca la especie *Eucalyptus grandis*, en una extensión total de 2.113,4 ha, seguida por *Pinus oocarpa* en 1.506,6 ha y *Pochota quinata* con 1.045,7 ha; en cuanto a las menores superficies, aptas para el establecimiento de especies arbóreas, se cuenta con 614,2 ha para la especie *Tabebuia rosea*, 321,8 para *Eucalyptus terreticornis* y 302,7 ha para *Eucalyptus pellita*; por otro lado, las menores superficies respectivamente son de 49,5 ha y 16,1 ha, para las especies *Gmelina arborea* y *Jacaranda copaia*.

Se obtuvo, una distribución uniforme de las mismas, tanto en la parte Norte, Centro y Sur del municipio; la salida cartográfica, sobre las especies potenciales forestales, para el municipio de Mercaderes, se muestra a continuación en el (Mapa 18).

Mapa 18. Mapa de especies forestales potenciales para el municipio priorizado de Mercaderes.



4.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS SOBRE EL MAPA DE ESPECIES FORESTALES POTENCIALES:

El propósito de este capítulo final, es relacionar los resultados obtenidos, de los análisis de dinámica hídrica, de sequía y del estudio multitemporal realizado, junto a las características del lugar y la idoneidad de usar las especies potenciales seleccionadas, que presentan la mayor extensión en superficie e identificadas como aptas para su posible uso; mostrando algunos de los principales beneficios ecológicos y económicos para la región, con su implementación sostenible, como medida para contrarrestar y evitar la desaparición de las superficies de agua, conservando la flora y por ende, también protegiendo la fauna, y además mejorando en parte las condiciones de los pobladores, que habitan las zonas más afectadas, buscando así dar otras opciones distintas a la ganadería extensiva y a la minería, actividades que como se ha podido evidenciar hasta este punto, han generado deterioro ambiental para estos municipios del Cauca en la actualidad.

El total de área en condiciones, según los datos obtenidos de la superposición de capas raster, o las restricciones definidas para el establecimiento de las especies arbóreas, sugeridas para los municipios de estudio, fue de un total de 26.000,6 ha; de las cuales Patía (El Bordo) contó con la mayor extensión, siendo esta de 15.266,9 ha, mientras que para El Tambo en segundo lugar fue de 5.776,5 ha, y por ultimo para Mercaderes con la menor extensión en superficie siendo de 4.957,2 ha.

Sin embargo, de la totalidad de especies, para las zonas de estudio del departamento, se presentó un mayor predominio en extensión para la especie: *Eucalyptus grandis* y en segundo lugar para *Tabebuia rosea*, excepto para Mercaderes que fue con la especie *Pinus oocarpa* (Tabla 24); por tal motivo estas serían las especies de mayor potencialidad a ser implementadas, en las zonas más afectadas de la región, y de las cuales se tratará a continuación; adicionalmente cabe mencionar que dicha elección, tiene en cuenta que estas son especies, que poseen Paquete Tecnológico Forestal en el país, permitiendo así garantizar su viabilidad económica y sustentabilidad, mediante una serie de conocimientos, técnicas y tecnologías, comprobadas científicamente (Obregón C., 2005).

Tabla 24. Comparación entre las especies de mayor potencialidad y área disponible de los municipios.

N°	FAMILIA	*Nombre Científico*	Nombre Común	Área (Ha)		
				EL TAMBO	PATÍA (El Bordo)	MERCADERES
1	MYRTACEAE	Eucalyptus grandis	Eucalipto	3044,3	7149,3	2113,4
2	BIGNONIACEAE	*Tabebuia rosea*	Flormorado	2760,6	3996,4	614,2
3	PINACEAE	*Pinus oocarpa*	Pino	311,0	3404,2	1506,6

4.8.1. EL TAMBO:

***Eucalyptus grandis* "Eucalípto"**:

Su ubicación comprende la zona Sureste del municipio, coincide esencialmente sobre parches de suelo desnudo y lugares donde actualmente existen pastizales, probablemente en uso para ganadería, por lo cual la implementación en estos terrenos, de esta especie, podría contribuir principalmente en funciones de reforestación o restauración de estas zonas degradadas; ya que concuerdan con coberturas de "áreas abiertas sin o con poca vegetación", de acuerdo al estudio multitemporal, y en donde además cabe recordar, corresponde a una de las zonas la cual presentó en la misma fecha, anomalía de sequía de tipo Severa y Moderada, según el análisis de sequía realizado.

En cuanto a las características específicas de este lugar, se puede decir según (IGAC, 2009), que sus suelos corresponden a asociaciones entre Molisoles e Inceptisoles (Anexo: Mapa 31), los cuales presentan una fertilidad alta a baja; y (SIAC, 2012) pertenecientes a climas de tipo cálido semihúmedo (Anexo: Mapa 25); por otro lado, la geología es dominada por rocas porfiríticas y afaníticas, además este es un terreno de lomas y colinas, lo cual hace de esta zona ser susceptible a presentar fenómenos de erosión.

Por tanto, esta especie, puede contribuir en gran medida, a controlar la alta propensión a la erosión en esta zona de El Tambo, que la cual según el mapa de Capacidad de Uso del municipio, el manejo recomendado de este sitio en específico, es conservar la vegetación existente, realizar reforestación protectora y permitir el crecimiento vegetal, contribuyendo así a la conservación de los afluentes próximos (IGAC, 2009), es decir los ríos: Esmita y Quilacé, recordando que en este último se evidenció, con el análisis de dinámica hídrica, presencia de minería a cielo abierto (Ilustración 12).

Además, esta especie podría ser usada como componente en Sistemas Agroforestales, ya que como lo afirma (Beer, J. et al., 2003) citando a otros autores al respecto, además de mencionar varios ejemplos a nivel mundial, los SAF pueden reducir la erosión del suelo, principalmente de zonas cálidas como la propuesta, debido a que los arboles de raíces profundas (Como sucede con el *E grandis*, cuyas raíces deben ser largas para poder alcanzar portes entre los 25 a 50 m) (CONIF, 1998), al fijar nitrógeno y ciclar nutrientes desde las capas más profundas del suelo, enriquecen su superficie e incrementan la cantidad de materia orgánica.

***Tabebuia rosea* "Flormorado"**:

La especie, es apta también para la zona Sureste, pero además en la Este y Sur del municipio, esta segunda opción, se distribuye de forma dispersa, sobre lugares principalmente de suelo desnudo y también sobre lugares con pastizales e incluso de matorral; la especie se ubicaría

próxima a los afluentes, que presentaron contracciones hídricas mayores al 70%, siendo éstos los ríos Sucio junto al río Hondo al Este y el río Guabas al Sur.

En cuanto al sector Este del municipio, se concentran los suelos de orden Inseptisol en mayor medida y Andisol, mientras que su parte Sur es dominada por Inceptisoles seguido de Andisoles, Molisoles y Entisoles; estos suelos presentan una fertilidad baja, aunque igualmente su erosión es baja (IGAC, 2009); su geología en general, se compone de cenizas, granodioritas, basaltos, y cuarzodioritas (Anexo: Mapa 28), el clima es templado húmedo, para ambas zonas.

El uso recomendado para estos suelos, es la siembra de pastos mejorados con fines de ganadería semi-intensiva o para establecer sistemas de tipo agroforestales (IGAC, 2009); por otra parte, una de las características de esta especie es la gran capacidad de adaptación a distintos tipo de suelo (CONIF, 1998), por lo que sería apropiada su implementación en esta zona, donde la fertilidad del suelo es baja, lográndose así superar dicha limitante.

4.8.2. PATÍA (EL BORDO):

***Eucalyptus grandis* "Eucalípto"**:

El área para la ubicación de esta especie en el municipio, se sitúa en las partes altas al costado Sur del río Patía, el cual es un afluente que posee abundante recurso hídrico, además fue de los tres municipios de estudio, el que presentó la mayor expansión hídrica, seguido del río Sambingo, en la evaluación realizada de dinámica hídrica; es preciso mencionar que la importante magnitud obtenida de la selección de especies, se debe a que esta zona posee cualidades ambientales propicias, para el crecimiento de gran variedad tanto de flora como de fauna, pero además por ser el municipio con la mayor extensión afectada, según lo obtenido con el índice de anomalía de sequía.

La zona en específico, tiene suelos de los órdenes Molisol e Inceptisol (Anexo: Mapa 32); las lluvia son escasas lo cual genera un clima cálido semihúmedo semiárido y en algunos reducidos lugares es templado semihúmedo (Anexo: Mapa 26); en relación a su geología, ésta se encuentra dominada por material porfiritico y afanitico, aunque también por rocas sedimentarias, de tipo areniscas y lutitas, aunque muchas otras son rocas ígneas de tipo basaltos y diabasas; el relieve de esta zona, es moderadamente escarpado, pero con fuertes pendientes (Anexo: Mapa 23).

El lugar presenta restricciones debido a la erosión y los movimientos en masa, de tal modo que la opción de sembrar esta especie arbórea, puede contribuir a mantener la cohesión del terreno, y a su vez contribuir con la creación de suelo, en estas regiones someras; según (IGAC, 2009) el uso recomendado, es la conservación del suelo y del bosque, con obras biomecánicas, y una

productividad que permita la revegetalización del lugar, evitando así su desgaste; entre otras sugerencias están las de realizar prácticas de manejo con la implementación de sistemas de tipo silvopastoriles.

***Tabebuia rosea* "Flormorado"**:

Las zonas definidas contemplan, además de las mencionadas anteriormente, las partes más próximas al afluente principal, que da el nombre a la cuenca del Patía, en su parte Norte, aunque esta especie también puede ser ubicada, en la región Central-Sur del municipio del departamento caucano.

En cuanto a las características edafológicas, se puede decir que este territorio está dominado, mayormente por los órdenes de suelo de tipo Molisol e Inceptisol, pero también en menor proporción, por los de orden Entisol y Alfisol; su clima de acuerdo a (SIAC, 2012) es mayormente cálido semihúmedo y también templado semihúmedo; por otra parte, la geología es semejante, a las de la especie *E. grandis*, pero adicionalmente a que esta especie se extiende, a un relieve de plano a ondulado, de hasta 12% en pendientes (Anexo: Mapa 23), también encontrándose en este último sitio, depósitos coluvio-aluviales (Anexo: Mapa 29).

Estas zonas delimitadas para la especie, muestran el inconveniente de presentar suelos con bajo contenido de materia orgánica y con la particularidad según (IGAC, 2009), de tener bajos contenidos de fósforo; sin embargo, esta especie: *T rosea*, como lo asegura (CONIF, 1998), se caracteriza por una gran adaptabilidad a gran variedad de suelos, y específicamente a los territorios con suelos que tienen pobres cantidades de fósforo, con lo cual dicha deficiencia seria suplida mediante tal especie; finalmente estos sitios requieren de fertilización y riego, si se destinan a establecer cultivos, los cuales además deben ser rotativos, para evitar su sobrepastoreo.

4.8.3. MERCADERES:

***Eucalyptus grandis* "Eucalípto"**:

El área correspondiente para esta especie, se sitúa en la parte Norte del municipio, inmediatamente próximo al río San Jorge, el cual divide a Mercaderes del Patía (El Bordo); dicho afluente es preciso resaltar, fue uno de los que presentó la mayor contracción hídrica, siendo esta superior al 60%, según los datos obtenidos de la evaluación de la dinámica hídrica, para las dos imágenes satelitales empleadas, y pertenecientes estas a época con fenómeno de sequía.

En lo concerniente a los órdenes de suelo, en esta parte Norte del municipio se encuentran solo dos tipos, los de orden Molisol y Entisol (IGAC, 2009); la geología del lugar se compone de areniscas junto a elementos calcáreos o metamórficos, pero también cenizas volcánicas en diabasas y basaltos o sobre limolitas y areniscas, aunque puede haber ígneas afaníticas o porfiríticas y sedimentarias; en cuanto al clima, este puede ser cálido semiárido semihúmedo; y su relieve es ligeramente escarpado (Anexo: Mapa 29).

En cuanto a los suelos del lugar, éstos son en general de superficiales a hondos, con una buena capacidad de drenaje, pueden presentarse erosión moderada a severa y fertilidad alta; por tanto la especie se ajustaría a estas condiciones, la cual según (CONIF, 1998) esta especie es usada especialmente para recuperar suelos erosionados o desgastados; sus principales usos agroforestales son las cercas vivas como linderos o como barrera contra el viento para protección de cultivos, además de uso agrosilvícola, con el cual se combina junto a especies como café, maíz, fríjol y yuca.

***Pinus oocarpa* "Pino"**:

Esta especie se limita, solamente a la parte Centro y Sur del municipio, corresponde a la superficie de territorio más reducida obtenida, esto se debe en gran medida, a los resultados de la evaluación de sequía, los cuales indicaron, que el mayor grado de anomalía medida, fue de tipo Estable; además estas mismas zonas, corresponden a lugares los cuales, con el estudio multitemporal, mostraron un incremento, en las "áreas abiertas sin o con poca vegetación".

En la región se pueden encontrar los órdenes de suelo de tipo Andisol, Inceptisol y Entisol (IGAC, 2009); su parte geológica se compone de areniscas con elementos calcáreos o metamórficos y también por cenizas volcánicas sobre limolitas, areniscas, diabasas y basaltos; el clima de la zona es mayormente cálido semihúmedo y árido, aunque también hay sectores, donde es de tipo templado semihúmedo-semiárido; por otra parte, presenta un relieve ligeramente a moderadamente escarpado (Anexo: Mapa 21), y también fuertes pendientes.

Los suelos de este sector tienen baja fertilidad, presentan tendencia a generar remociones en masa, al igual que a fenómenos de erosión y también son suelos superficiales; por lo cual su uso más apropiado, es como sistemas silvopastoriles y especies forestales con funciones protectoras-productoras; el manejo apropiado debe consistir en reforestar, efectuar obras biomecánicas de conservación y evitar su sobrepastoreo (IGAC, 2009).

De tal suerte, que el *E. oocarpa*, además de ajustarse a las condiciones del lugar, haciendo uso sostenible del entorno, mediante una especie de excelente adaptación a suelos erosionados y someros o poco profundos; presenta además, otros usos como: suministro de madera de aserrío, pulpa, para aglomerados, uso Agroforestal e incluso producción de resinas (CONIF, 1998), sirviendo así de gran beneficio económico, para los pobladores de esta región del Cauca.

5. CONCLUSIONES

Se evidenció el predominio de la contracción hídrica, en todas las imágenes satelitales dispuestas, de los tres municipios priorizados del Cauca, todas obtenidas en fenómeno de El Niño, a excepción del municipio de Patía (El bordo), que se pudo contar con una imagen, obtenida durante fenómeno La Niña, aunque con valores PSDI de "Ligeramente húmedo a Muy húmedo", por tanto no siendo lo suficientemente contrastante, al no ser un pleno fenómeno invernal, para obtener una expansión hídrica, como podría esperarse; por otra parte el único municipio donde no se presentó desecación o desaparición completa de cuerpos de agua, fue para El Tambo, mientras que para Patía (El Bordo) la desecación fue importante.

La invariabilidad hídrica, prevaleció en segundo lugar en los municipios, excepto para El Tambo, donde fue mayor la expansión hídrica, aunque muy próximos sus valores, y con la dificultad de contar con información escasa debido a factores atmosféricos; respecto al municipio de Mercaderes, comparadas en una misma fecha, tanto su dinámica hídrica como su anomalía de sequía, se encontró una proximidad entre los valores de invariabilidad y expansión, coincidiendo con el mayor grado "Estable" de Sequía; sin embargo, es precisa la obtención de información con mayor número de fechas, que posibilite un análisis más fidedigno y así lograr unos datos más concluyentes al respecto.

De acuerdo a la interpretación realizada para los municipios, se encontró que la desecación critica de cuerpos de agua, para el municipio del Patía (El Bordo), está relacionada directamente con actividades agrícolas y de minería a cielo abierto; por otro lado, en los lugares con implementación de Sistemas Agroforestales, como los observados en el municipio de El Tambo, los cuerpos de agua se conservan aún en la actualidad; hay que adicionar, que de manera generalizada, fue mayor la anomalía "Severa", en las zonas de menor cota altitudinal, mientras que los lugares de mas altitud, tendieron a mostrar grados "Estables"; esto se pudo explicar basado en que las zonas más altas, están menormente habitadas y no se realizan, o en menor intensidad, actividades vinculadas con la agricultura y la ganadería.

El estudio multitemporal realizado, para los municipios de estudio, permitió validar, de algún modo, lo obtenido con la comparación de los índices DELTA NDVI, donde empleando los mismos años de su evaluación, se pudo obtener la presencia de "Áreas abiertas sin o con poca vegetación", coincidentes con los lugares, donde se sitúan los mayores porcentajes, de grado de anomalía tipo "Severa"; mientras que las zonas de tipo "Estables", se ubican en áreas donde se mantiene la cobertura de "Bosques", tal como en el *Complejo de Paramos de Cerro Plateado*; por otra parte, en todos los municipios aumento la cobertura de "Pastos", esto se explica en parte, a que en los años de evaluación del estudio, se ha incrementado, la transformación del suelo, por parte de sus pobladores, para el establecimiento de pastizales, mayormente con propósitos de ganadería semi-extensiva y extensiva.

6. RECOMENDACIONES

Es de vital importancia continuar con este tipo de proyectos, tanto para el departamento del Cauca como para los restantes municipios del territorio nacional, para que esta información obtenida, sobre la dinámica hídrica y de sequía, sea tenida en cuenta en la planificación del territorio; contando de tal manera con mayor información en distintas fechas, permitiendo así tener una serie histórica y no puntual como la realizada en el trabajo, para que estos datos permitan, una obtención de estadísticas a mediano y largo plazo.

Por otra parte, sería adecuada la implementación de imágenes satelitales, por ejemplo Sentinel-2 que siendo gratuitas y de mayor resolución espacial, o de otras fuentes, como de los **Remotely Piloted Aircraft** (RPA) o aviones controlados de forma remota, específicamente para las zonas con nubosidad excesiva, como en el caso de El Tambo; se posibilite la obtención de información, en los lugares que debido a las características climáticas del territorio, dificultan la adquisición de información; por otro lado, usar estas imágenes, de menor tamaño de pixel, para mejorar la precisión de los índices espectrales, y evaluar con mayor exactitud, la dinámica hídrica para determinar las zonas más vulnerables cuantitativa y espacialmente.

Basado en los resultados obtenidos, sobre los índices para sequía, por lo menos en los sitios con categoría de tipo Severa, no sería apropiado establecer y continuar allí, con actividades distintas a la conservación y la producción sostenible; pues como se describió de manera somera, con un par de especies con potencialidades tanto ambientales como económicas, para éstos municipios de estudio, se pueden de alguna manera contrarrestar los efectos de la variabilidad climática; de lo contrario, cualquier anomalía atmosférica, tendrá siempre consecuencias adversas, sobre un entorno en desequilibrio y en su población.

Para realizar la tercera fase del proyecto con CORPOICA, de la evaluación de la Dinámica Hídrica de contracción y expansión de márgenes y cuerpos de agua; y para la obtención de la comparación entre Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI); es imprescindible, considerar siempre las restantes variables ambientales, de los próximos municipios del país a evaluar, con el propósito de relacionarlas con los fenómenos estudiados, y así poder identificar los diferentes factores relacionados, logrando obtener una visión en conjunto, y más aproximada de los resultados que se generen.

7. ANEXOS

7.1 Algunos Algoritmos Phyton empleados:

Enmascaramiento de nubes, sombras y bruma, utilizado principalmente en el tratamiento para la dinámica hídrica; para la explicación, cambiando las letras de R G & B, por los valores de ND, del objetivo en la imagen de satélite, según el propósito, asignando el resultado por ejemplo, al cañón 4:

```
%4=0
if %1<R and %2<G and %3<B then
%4=255
endif
```

Para el tratamiento sobre las imágenes compuestas (Bandas 1-5) Landsat, para la obtención de los índices espectrales, y clasificación de sequía, en primera medida de procedió al enmascaramiento anteriormente señalado y a realizar un corte de bandas pertenecientes al Rojo e Infrarojo cercano, respectivamente como se muestra:

```
%8=0
if %7 = 0  then
%8=%3
endif

%9=0
if %7 = 0  then
%9=%4
endif
```

NDVI: %10=(%9-%8)/(%8+%9), tanto para la imagen de Sequía como para la de fecha normal.

DELTA NDVI: %3= ((NDVI SECA/ NDVI NORMAL)*100)-100

CLASIFICACIÓN:

```
if %3 = -100  then
%4 = 0
endif
if %3 >-100 and %3 < -25  then
%4 = 240
```

```
endif
if %3 >=-25 and %3 < -15  then
%4 = 180
endif
if %3 >=-15 and %3 < -10  then
%4 = 120
endif
if %3 >=-10 and %3 < -5  then
%4 = 60
endif
if %3 >=-5  then
%4 = 30
endif
```

7.2 Software más importante implementado:

A continuación se describe de manera general, (Tabal 15.) el tipo de software empleado, para los principales procedimientos empleados en la obtención de los resultados del trabajo, con su descripción y la versión del mismo.

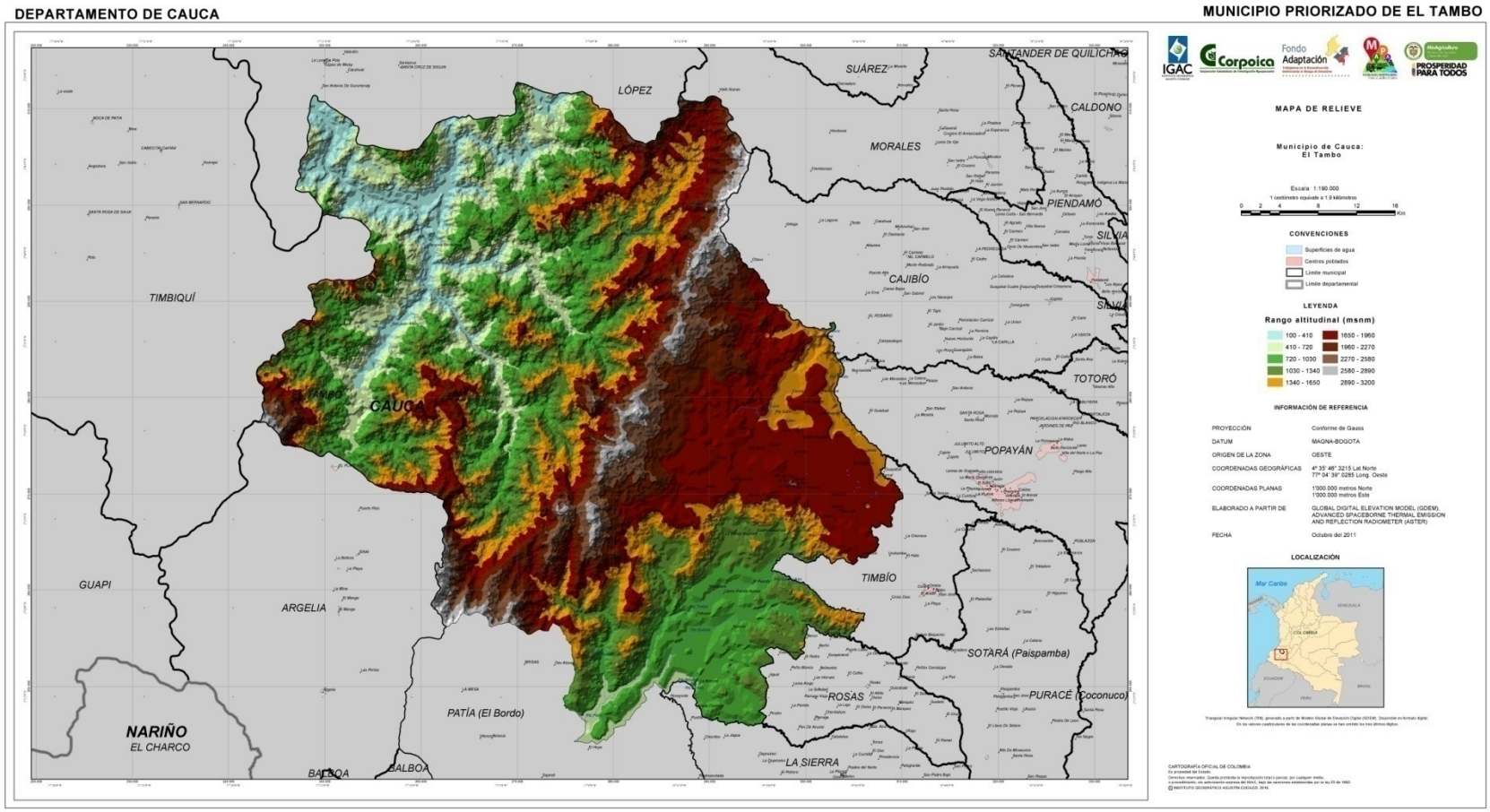
Tabla 25. Software de teledetección usado.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VERSIÓN
Arc GIS	Exploración, Edición, tratamiento, y diseño de la información geográfica.	10.0
PCI - Geomatics	Análisis y clasificación de los datos geoespaciales.	2014
ILWIS	Edición y tratamiento de las imágenes satelitales.	3.8
SAS Planet	Obtención de imágenes satelitales.	15.10.10
ENVI	Corrección de bandeamiento para algunas imágenes satelitales Landsat 7.	5.0

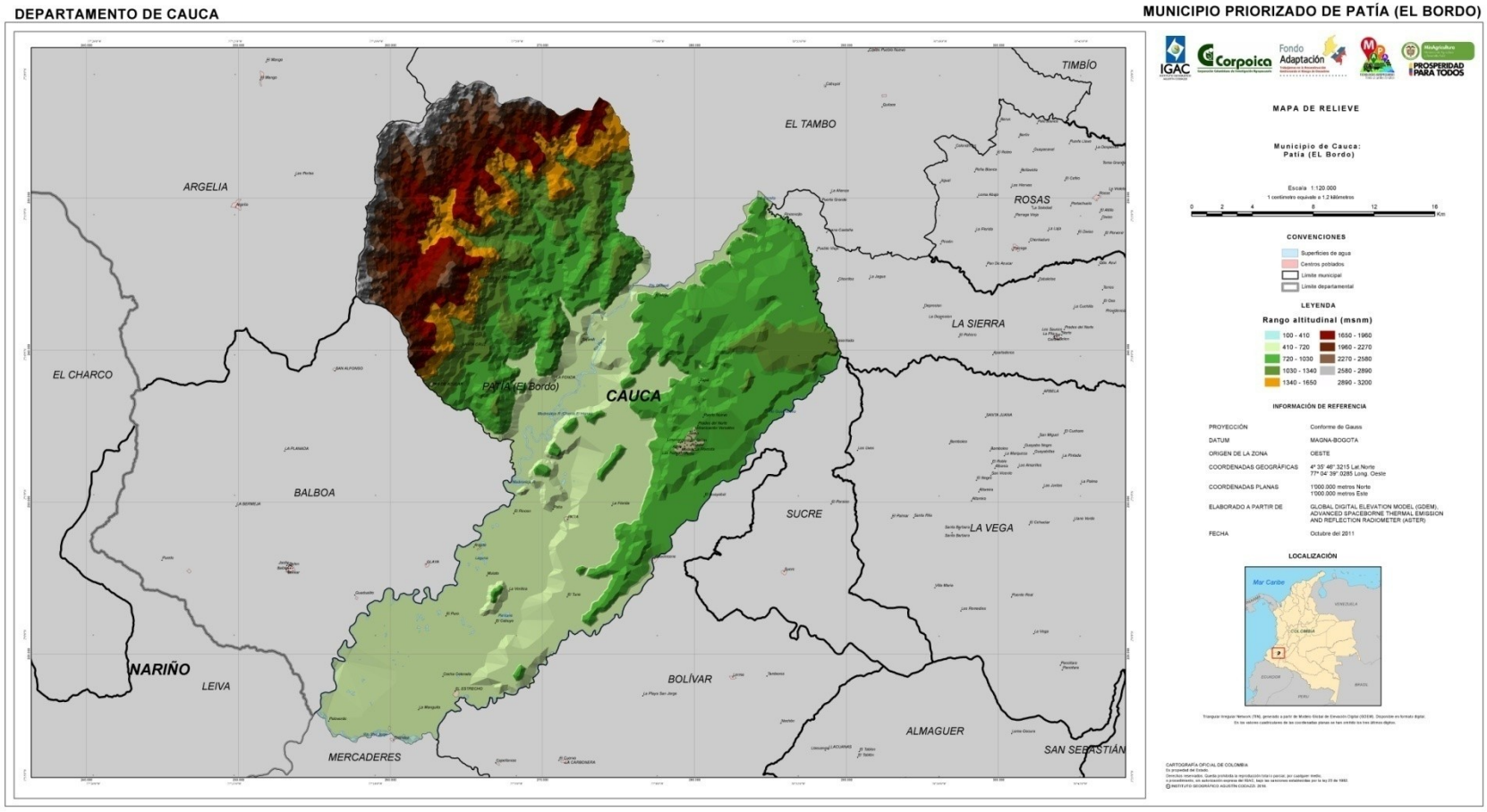
7.3 Salidas cartográficas adicionales:

En las siguientes páginas, se presentan algunas salidas cartográficas empleadas, para la obtención directa e indirecta de algunos de los resultados generados, y para varios de los análisis realizados, del presente trabajo; en orden, se muestran las salidas cartográficas de: Relieve, Pendientes, Clima, Geología y Suelos, para cada uno de los municipios priorizados del departamento del Cauca; la mencionada información fue obtenida, principalmente de distintas fuentes de datos, y otras salidas fueron derivadas de algún procedimiento adicional realizado, sobre las mismas.

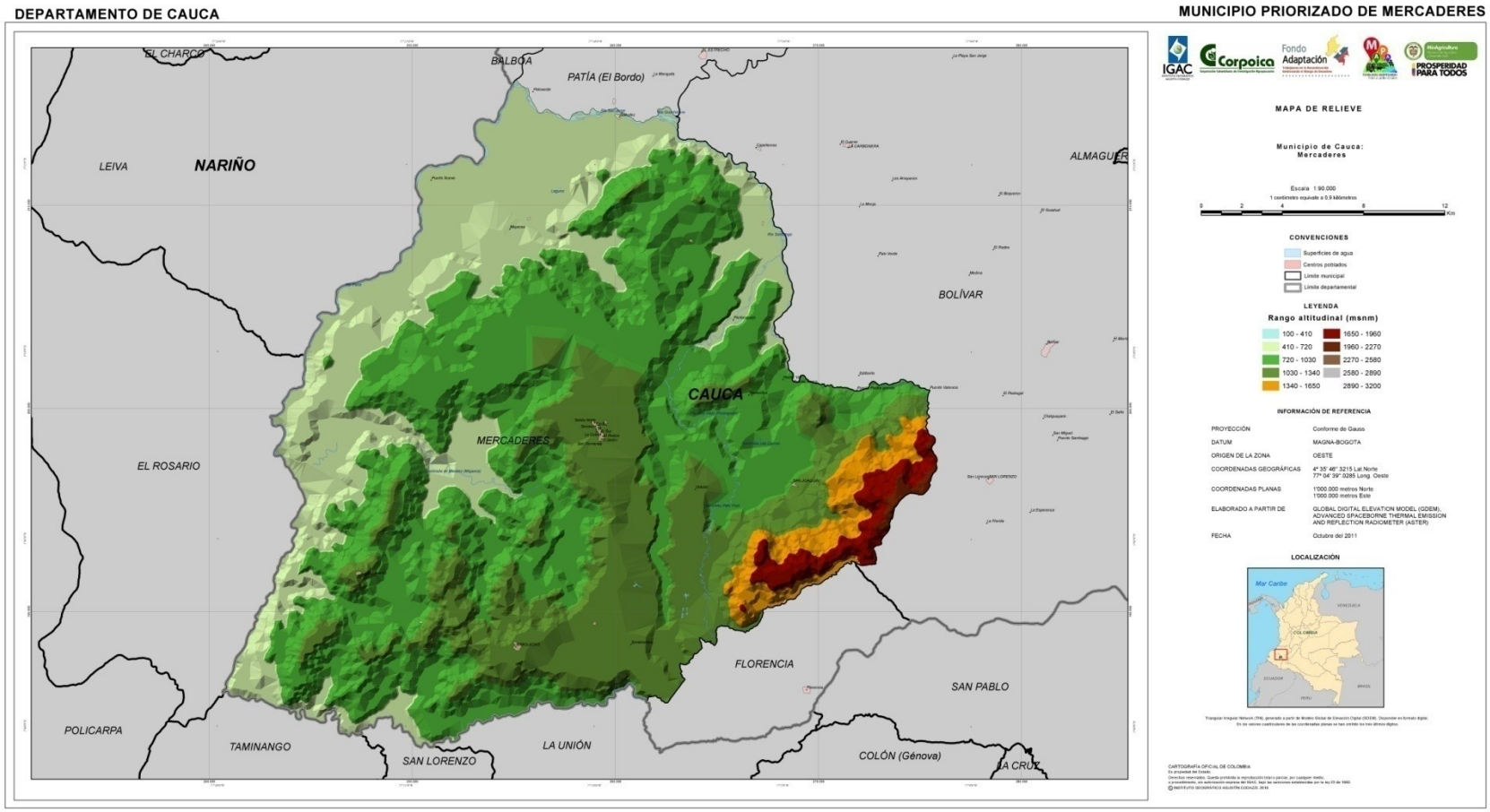
Mapa 19. Relieve del municipio de El Tambo.



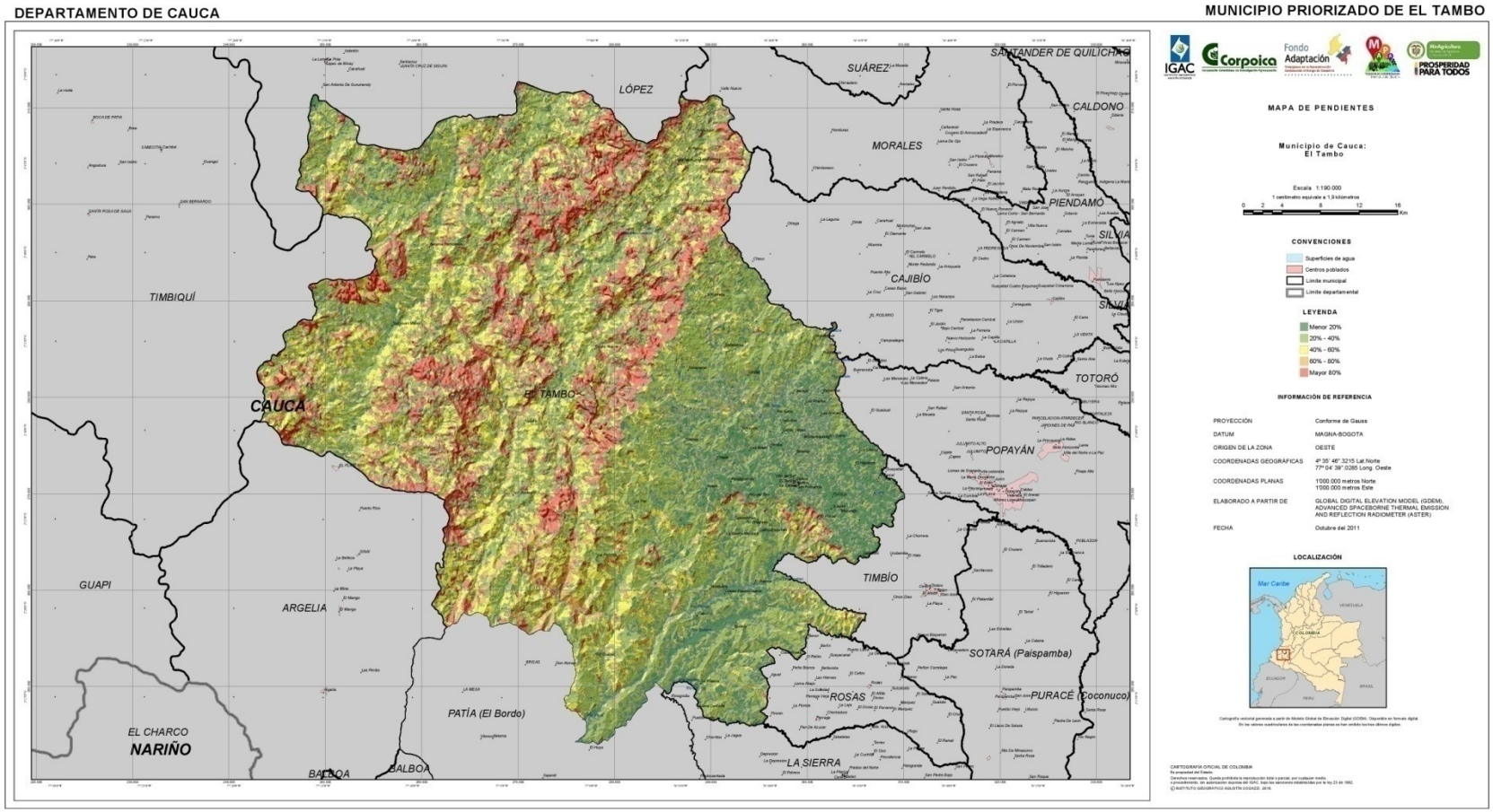
Mapa 20. Relieve del municipio de Patía (El Bordo).



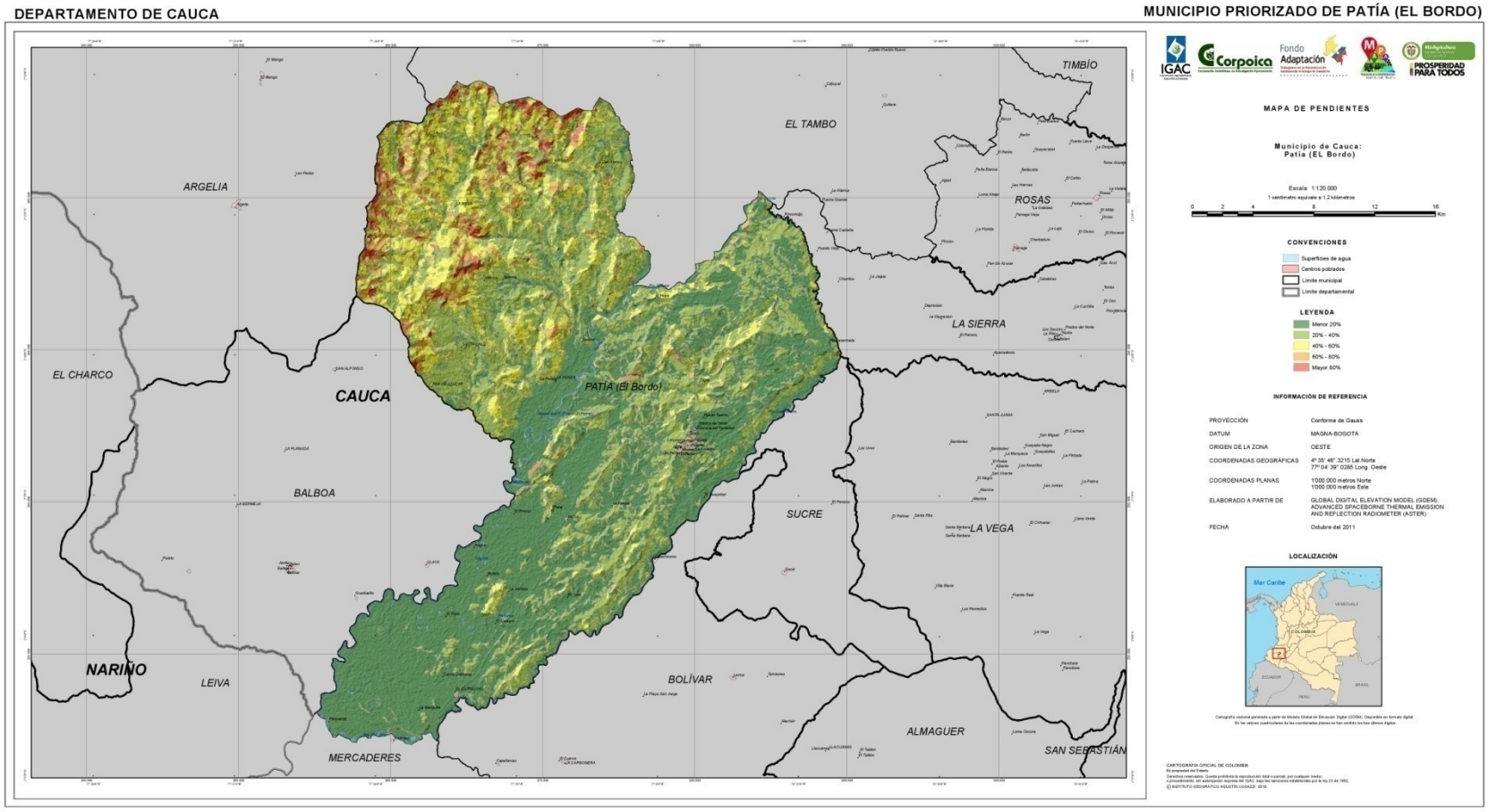
Mapa 21. Relieve del municipio de Mercaderes.



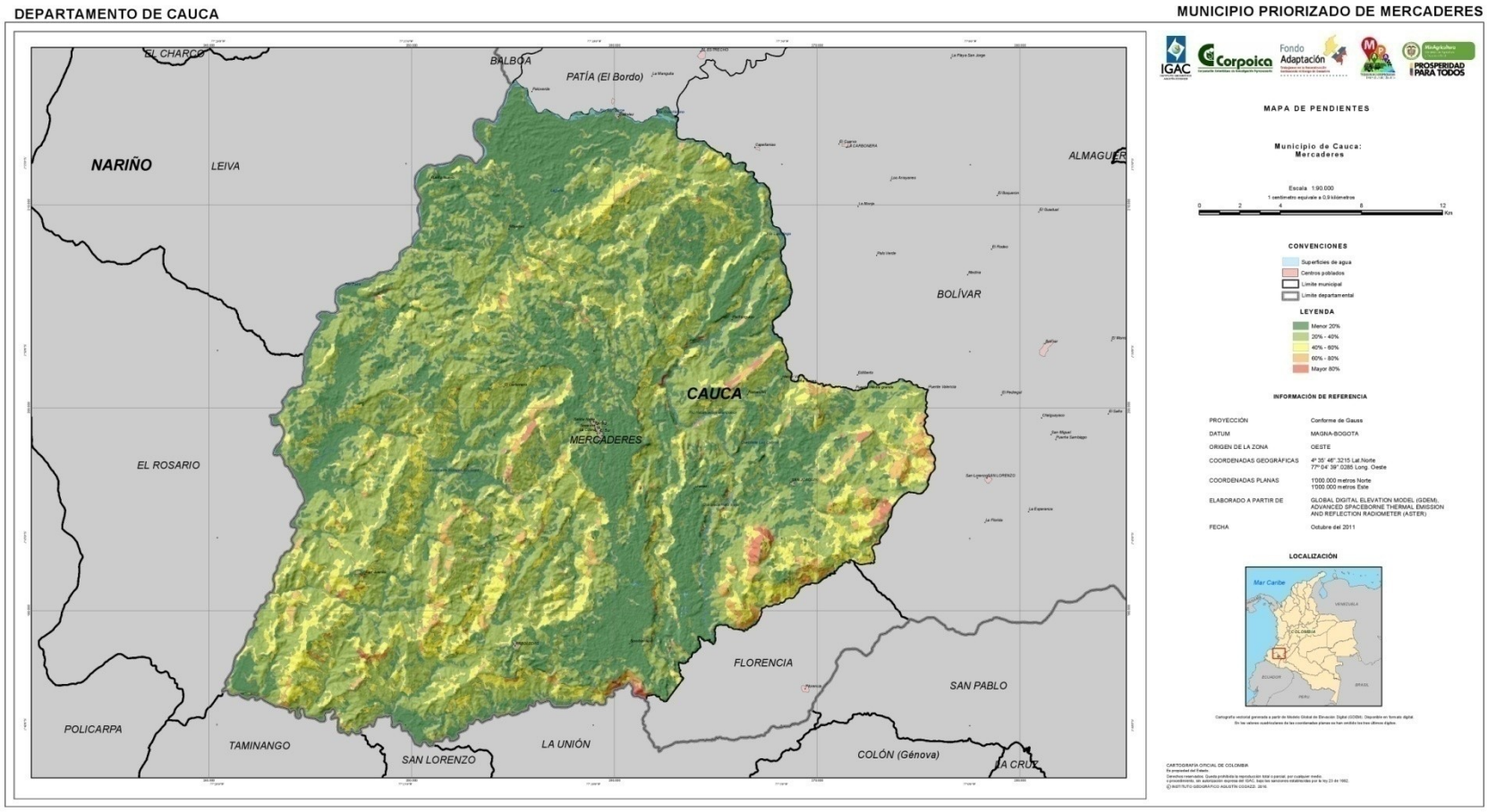
Mapa 22. Mapa de pendientes del municipio de El Tambo.



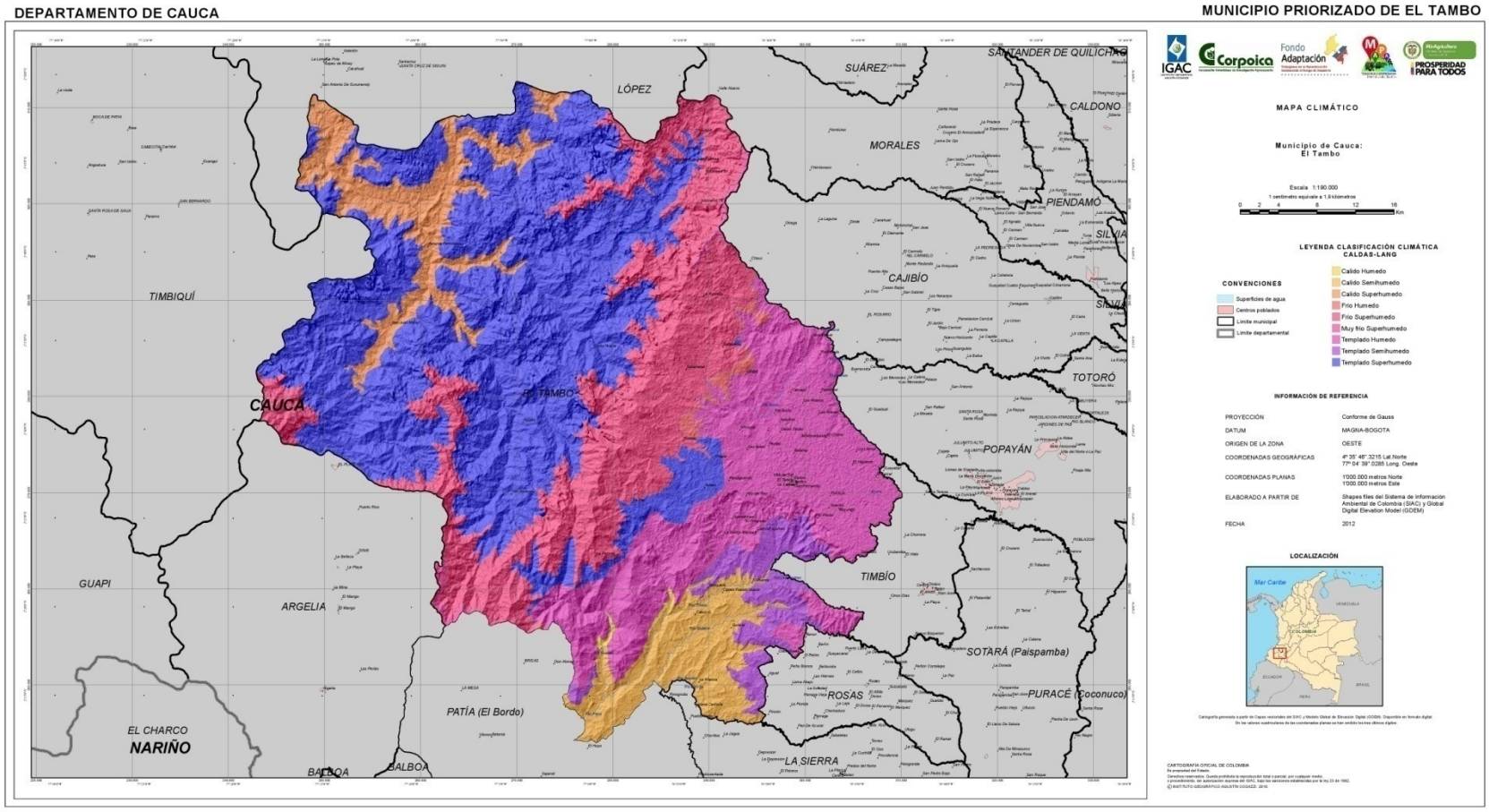
Mapa 23. Mapa de pendientes del municipio de Patía (El Bordo).



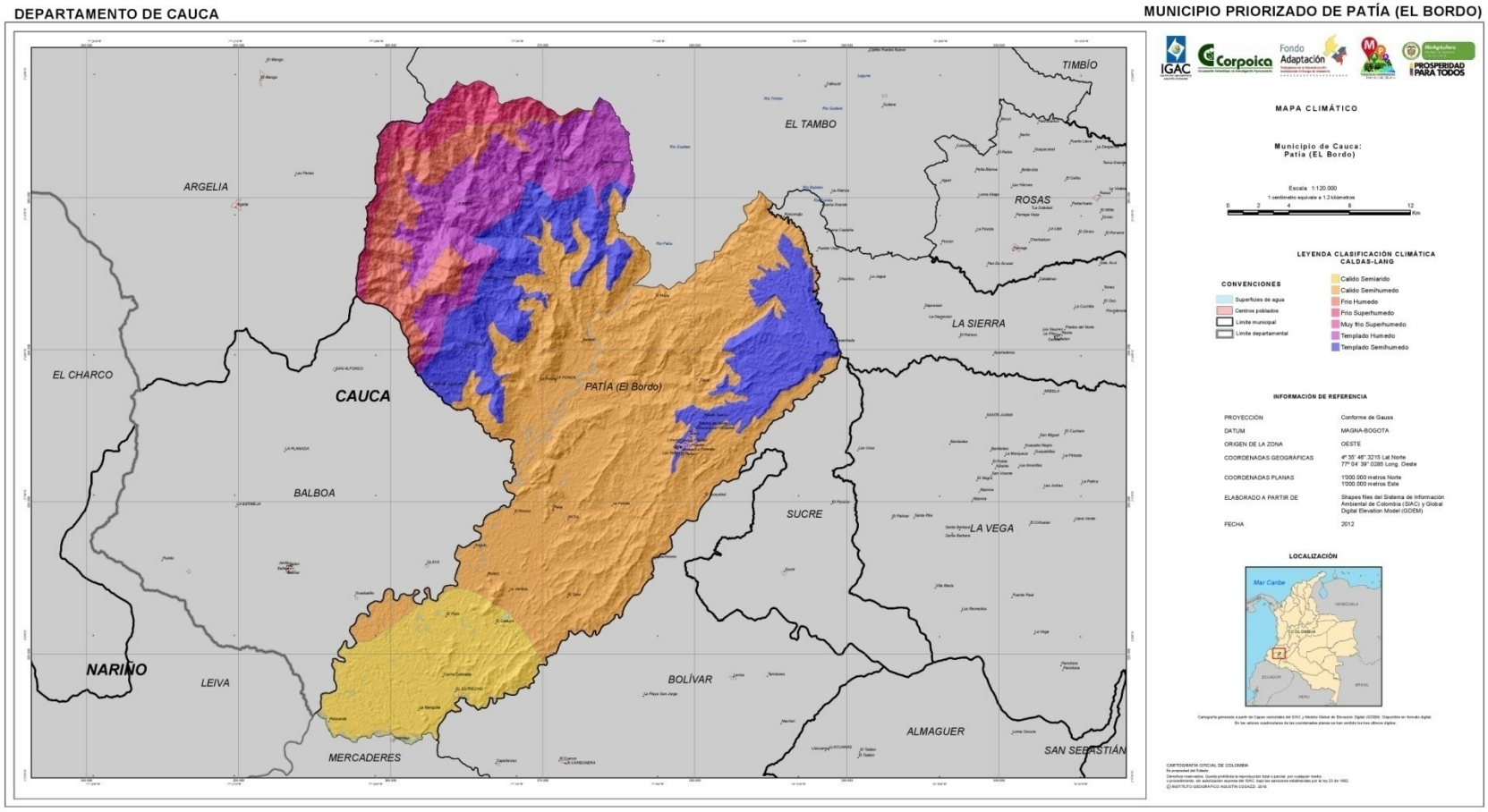
Mapa 24. Mapa de pendientes del municipio de Mercaderes.



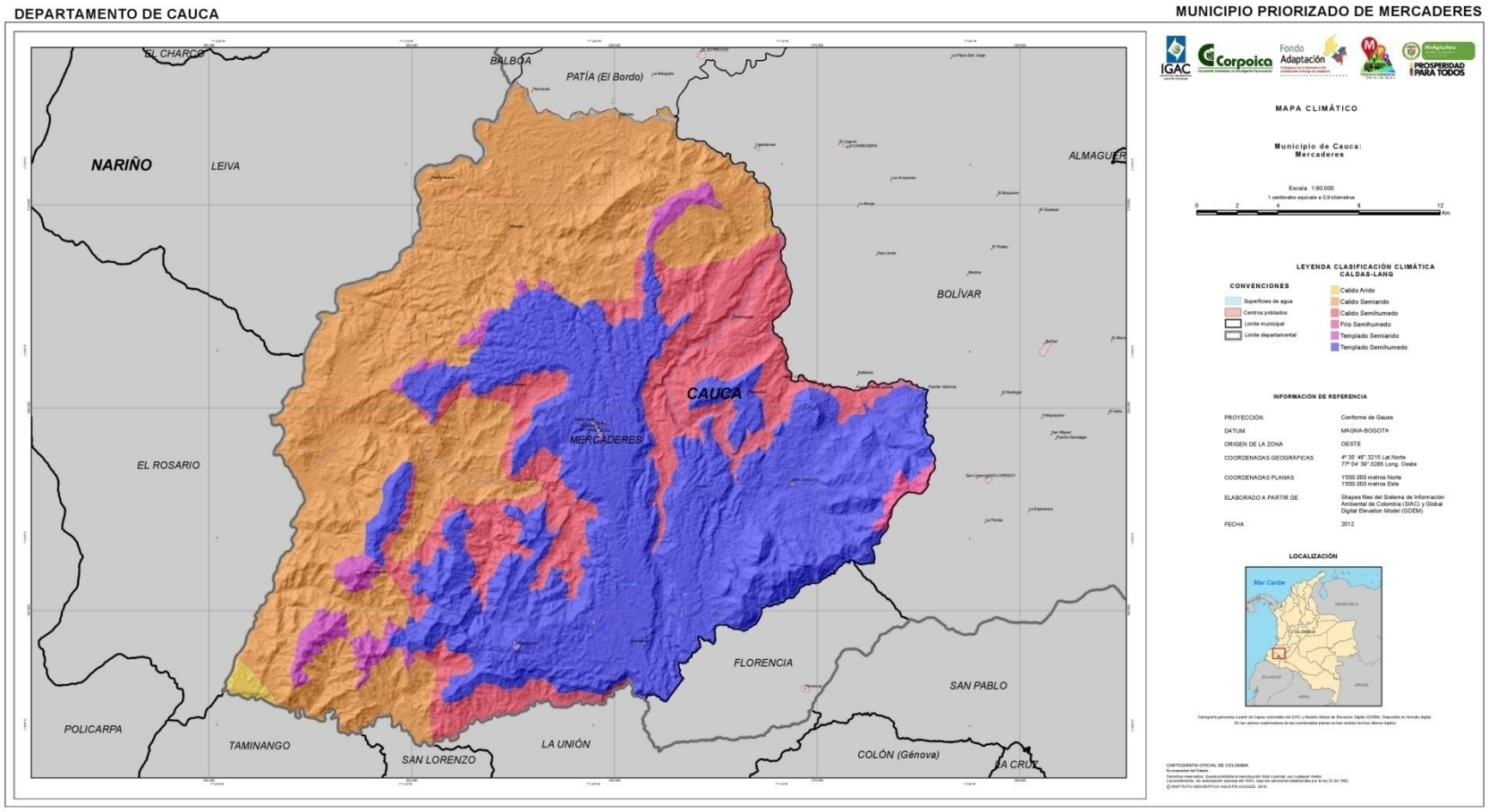
Mapa 25. Mapa climático del municipio de El Tambo.



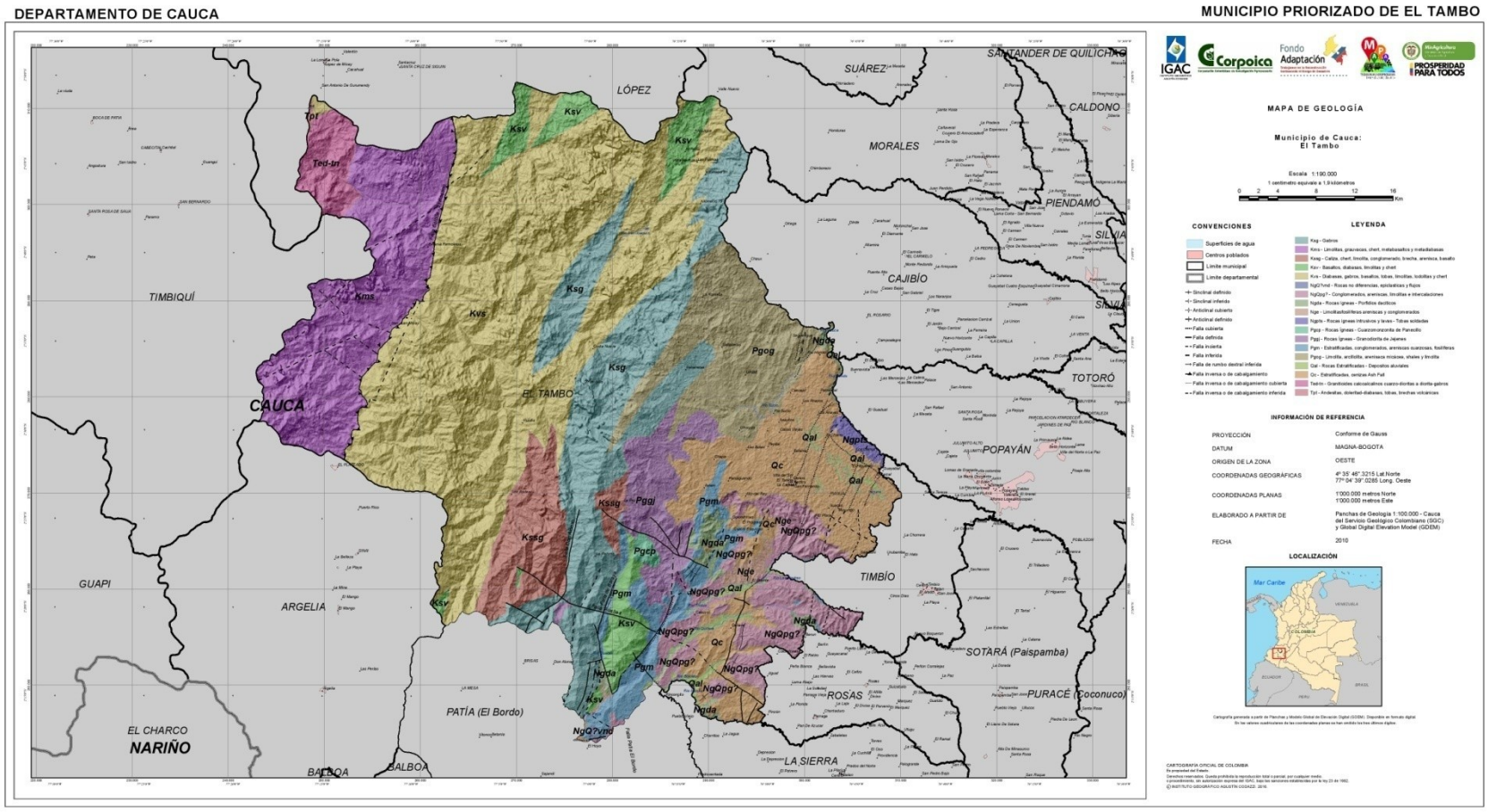
Mapa 26. Mapa climático del municipio de Patía (El Bordo).



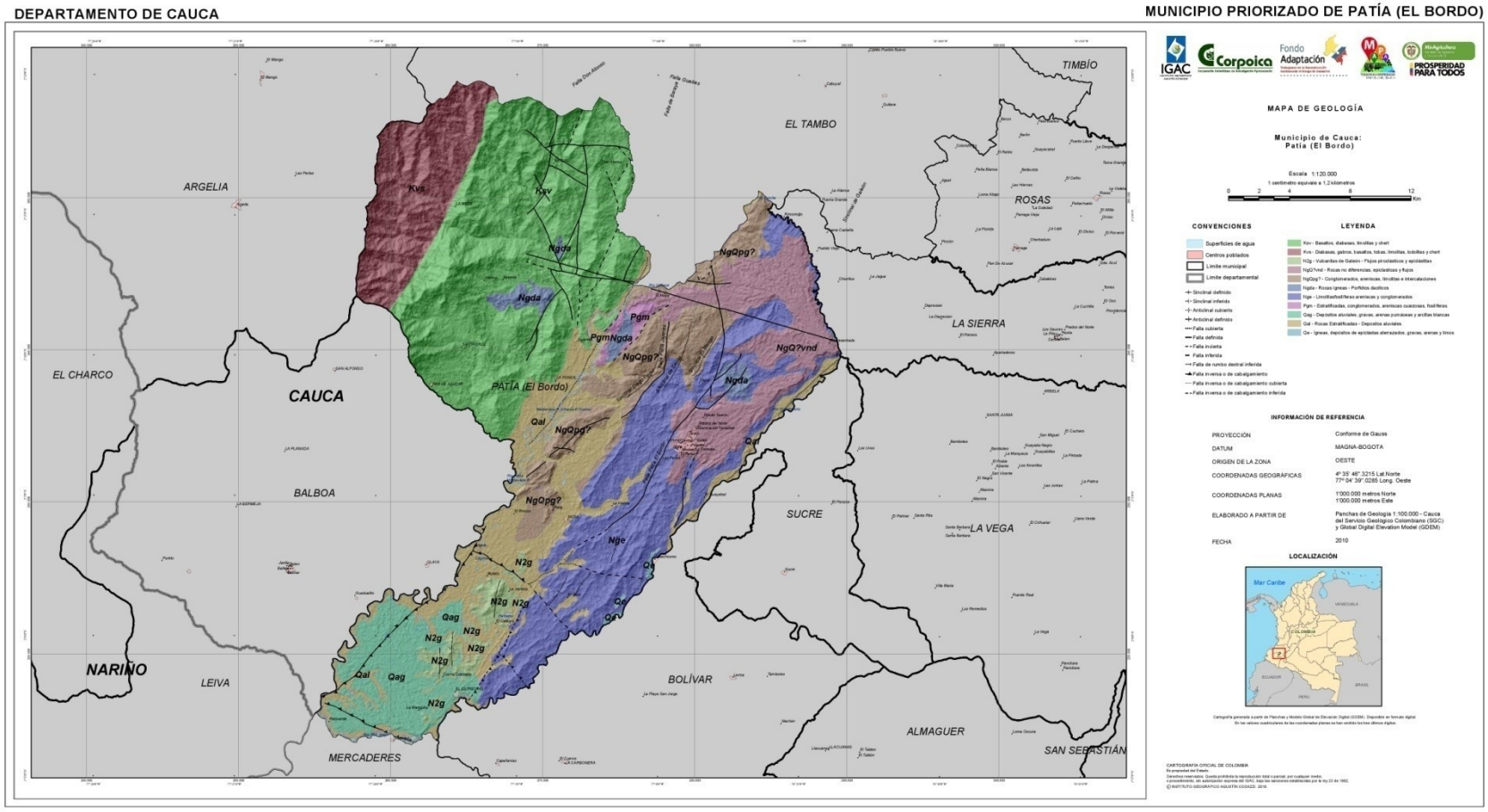
Mapa 27. Mapa climático del municipio de Mercaderes.



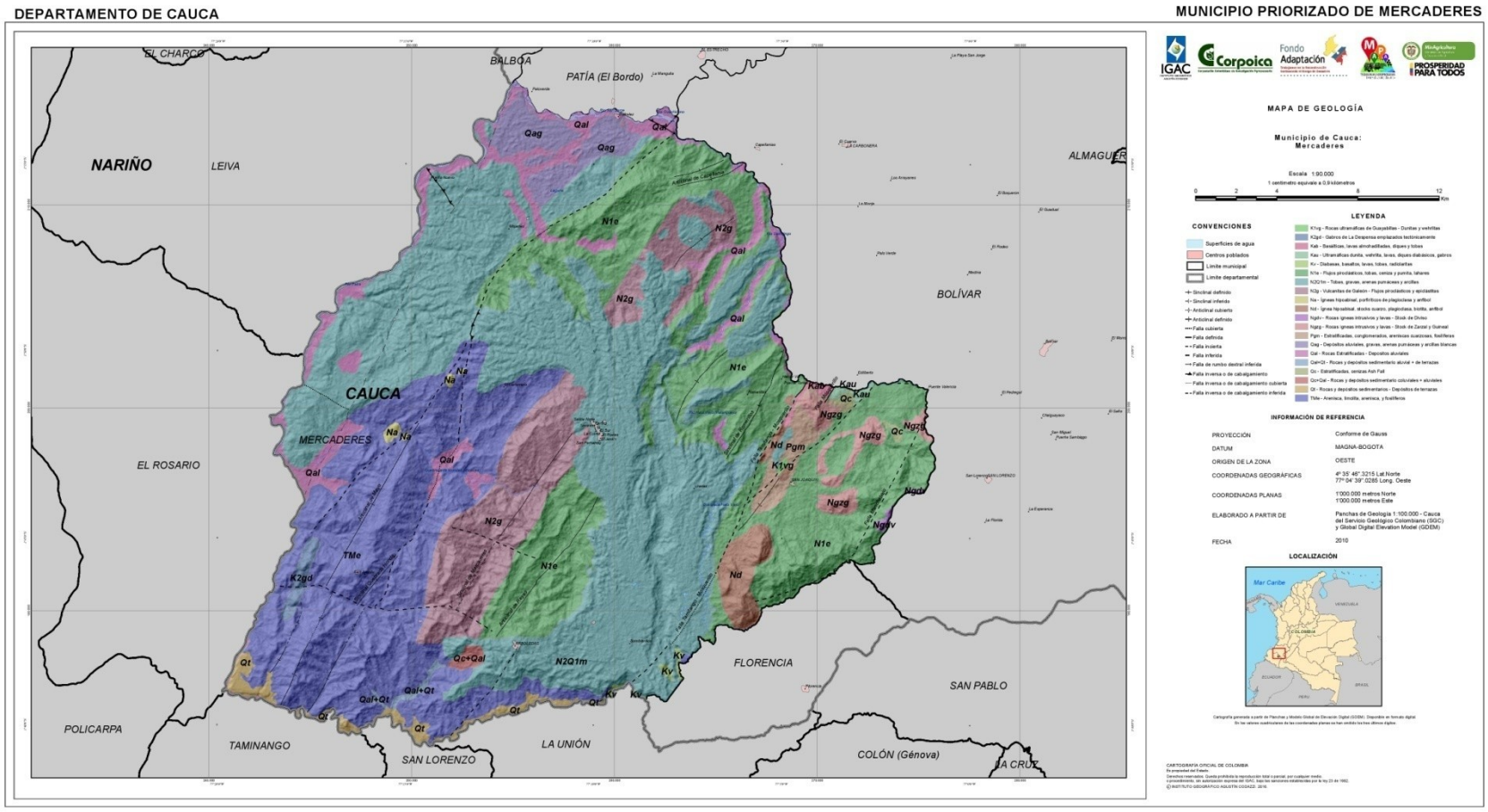
Mapa 28. Mapa geológico del municipio de El Tambo.



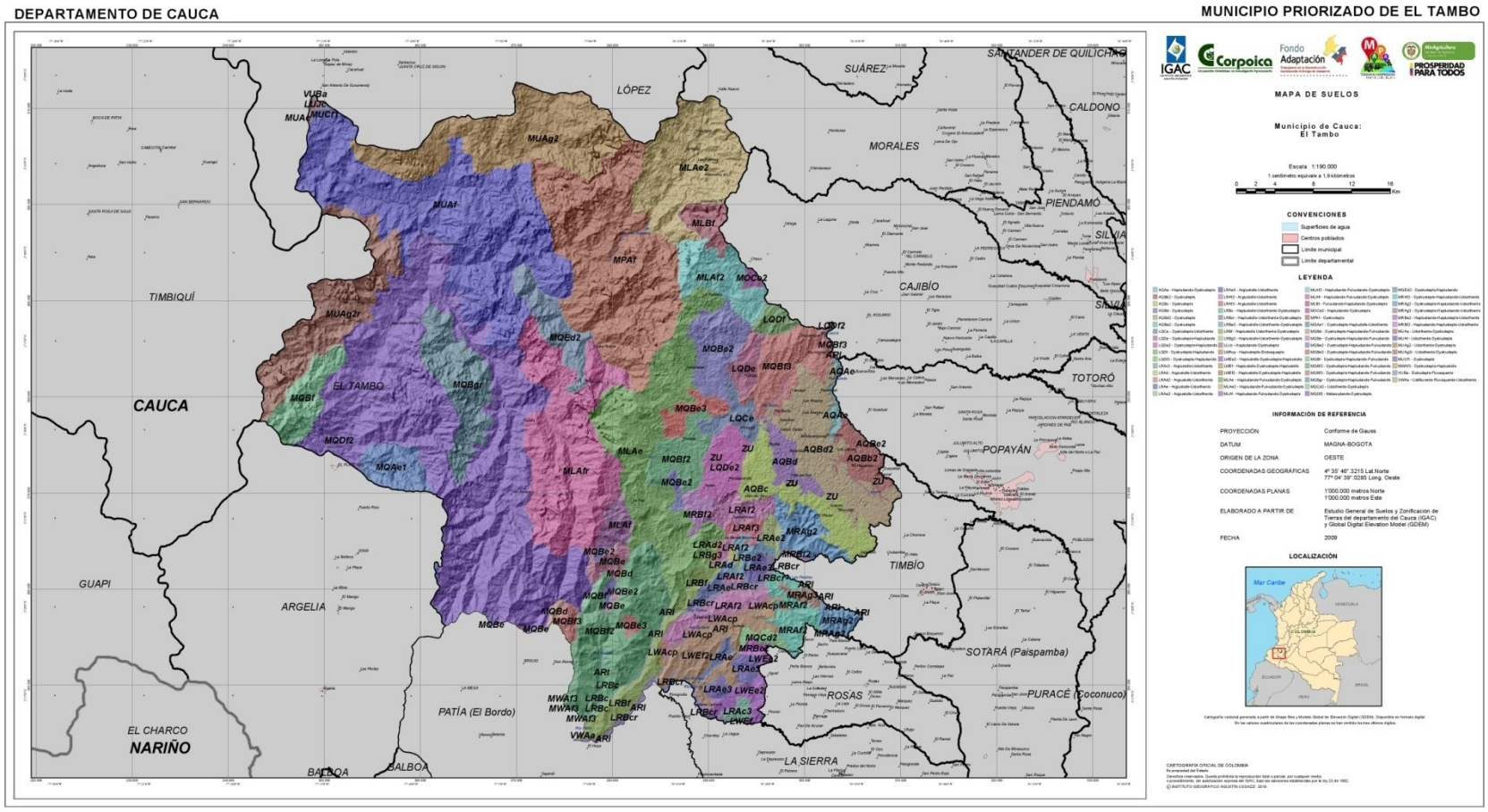
Mapa 29. Mapa geológico del municipio de Patía (El bordo).



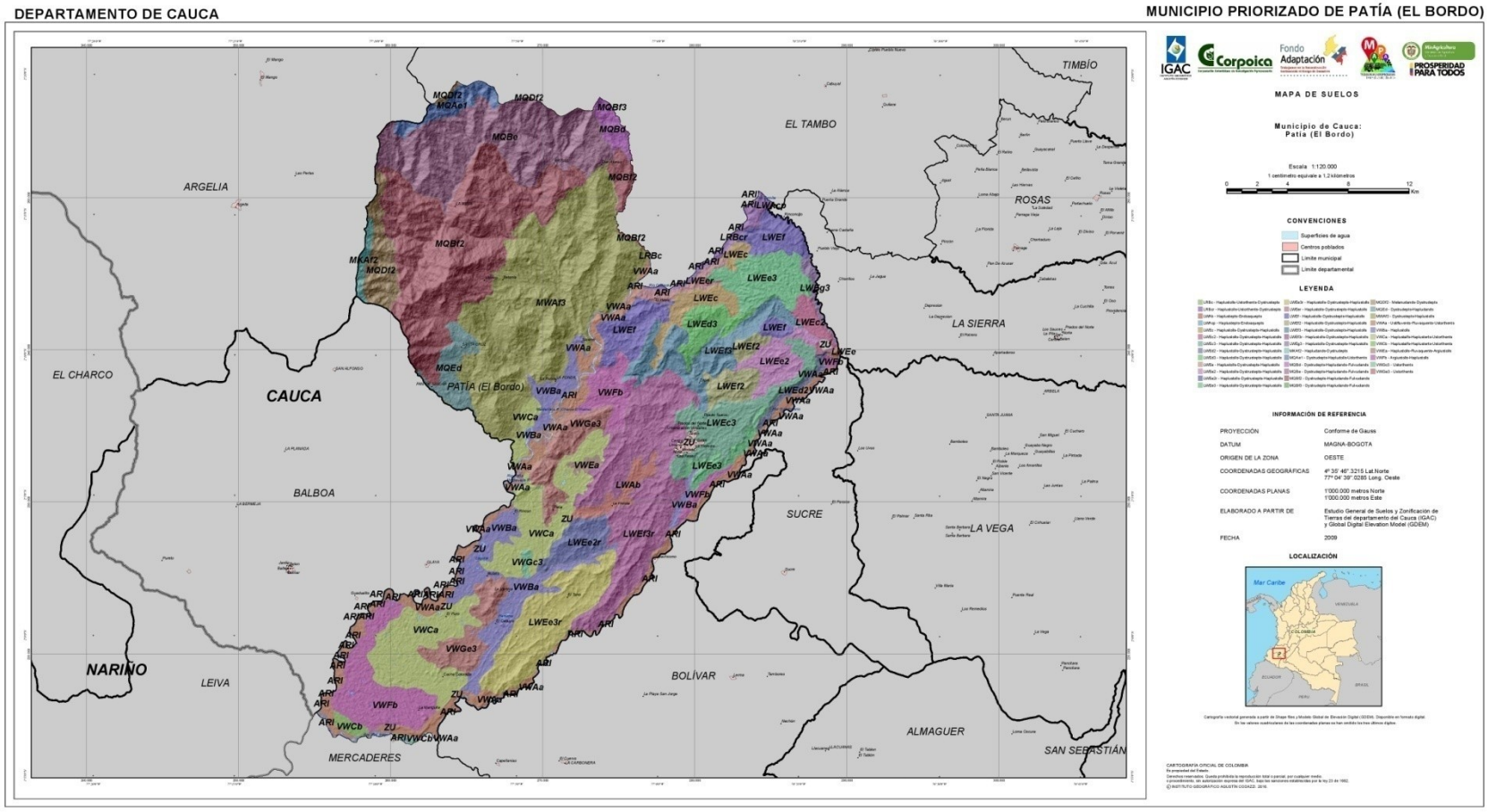
Mapa 30. Mapa geológico del municipio de Mercaderes.



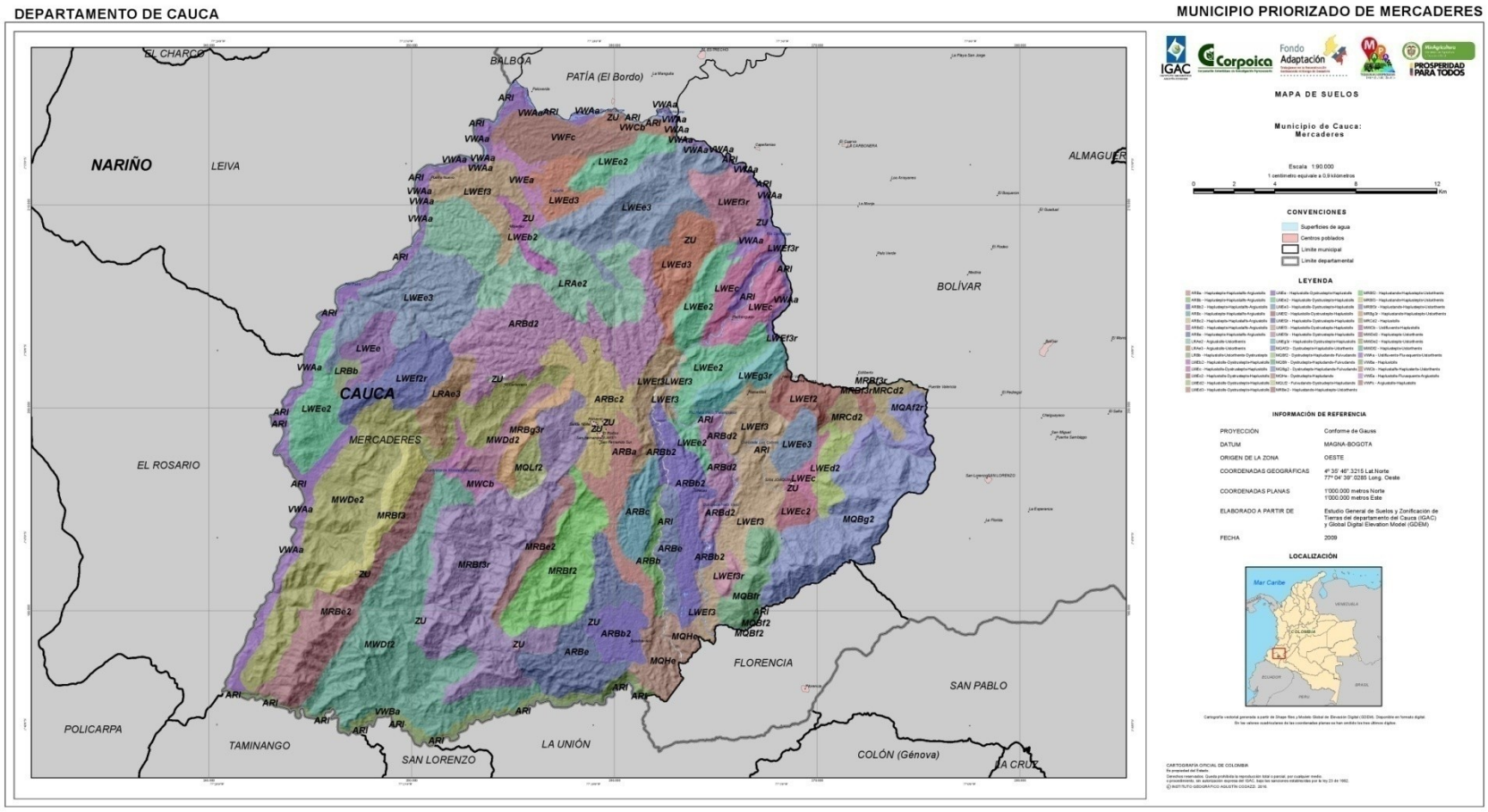
Mapa 31. Mapa de suelos para el municipio de El Tambo.



Mapa 32. Mapa de suelos para el municipio de Patía (El Bordo).



Mapa 33. Mapa de suelos para el municipio de Mercaderes.



8. BIBLIOGRAFÍA

SASGIS, (2015). Sistema de información geográfica y cartográfica de navegación Web. Recuperado de http://www.sasgis.org/.

OSM (2015). © Colaboradores de OpenStreetMap. Recuperado de http://www.openstreetmap.org/#map=5/51.500/-0.100.

SIAC (2012). Sistema de Información Ambiental de Colombia. Parques Naturales de Colombia. Recuperado de https://www.siac.gov.co/portal/default.aspx.

IAVH (2014). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia. Paramos de Colombia. Recuperado de http://www.humboldt.org.co/es/.

IGAC, (2014). Propuesta Técnico Económica. Asistencia técnica a CORPOICA en los componentes de percepción remota y análisis y modelamiento espacial para la generación de mapas de riesgo agroclimático por inundaciones (Escala 1:25.000) y sequía a escala 1:100.000. Propuesta presentada a Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-CORPOICA. Septiembre 08 de 2014. 16-19, 24.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD. (2014). Plan Nacional de Contingencia ante el fenómeno del Niño 2014-2015. Publicación digital. Recuperado de http://carsucre.gov.co/DOCS/fenomenodelnino/PLAN%20NACIONALDECONTINGENCIA.pdf. 5.

Meneses L., (2012). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de degradación del bosque. Publicación digital de Unasylva 238, Vol. 62. 40, 41 y 45.

INCODER, (2012). Instituto Colombiano de desarrollo rural. Caracterización socio-demográfica del área de desarrollo rural del alto Patía. Subgerencia de planificación e información. 5, 6.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL. & Banco Interamericano de Desarrollo – BID. (2012). Valoración de daños y pérdidas Ola invernal en Colombia 2010-2011. Publicación digital de las Naciones Unidas. Recuperado de http://www.cepal.org/colombia/noticias/documentosdetrabajo/7/49587/Libro_Ola_invernal_en_Colombia_BID_CEPAL.pdf. 14, 32.

PIU, (2011). Plan integral único de atención a la población desplazada. Municipio de El Tambo - Cauca. Recuperado de http://eltambo-cauca.gov.co/apc-aa-files/65646231623131303937306537396539/PIU_EL_TAMBO_2011.pdf.

Ramírez E. et al. (2010). Mamíferos de la cuenca alta del río Patía en el departamento del Cauca, Colombia. Boletín científico del Centro de museos de historia natural. 92 y 93.

PBOT, (2010). Plan básico de ordenamiento territorial para El Tambo. Componente General. Tomo I. Recuperado de http://eltambo-cauca.gov.co/apc-aa-files/65646231623131303937306537396539/Plan_de_Ordenamiento_Terriotorial_2011__tomo1_.pdf.

IGAC, (2009). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del departamento del Cauca. Bogotá, D. C. – Colombia. 51.

Moreno de las Heras, M. (2009). Efectos ecológicos de la erosión en laderas derivadas de la minería del carbón a cielo abierto. Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universidad de Alcalá. 11.

Guevara, J. (2008). El ABC de los índices usados en la identificación y definición cuantitativa de El Niño. Recuperado de http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1012-70892008000100005&lng=es&nrm=i.

IDEAM, (2006). Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. La Sequía en Colombia. Nota Técnica. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/NotaT%C3%A9cnicaSequía.pdf/d9ba4965-f7cd-4a2f-a875-2a38b1d6a941.

IDEAM, (2005). Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Atlas climatológico de Colombia. Bogotá, D. C. – Colombia. Tercera parte. 30.

Obregón C. (2005). Paquetes Tecnológicos Forestales, en busca de mejores condiciones productivas para el sector. Revista El Mueble & La Madera. Edición 49. Septiembre – Noviembre. Recuperado de http://revista-mm.com/ediciones/rev49/forestal.pdf.

Beer, J. et al. (2003). Servicios ambientales de los Sistemas Agroforestales. Agroforestería en las Américas, 2003, vol. 10, no 37-38. 80-87.

PBOT, (2001). Plan básico de ordenamiento territorial para El Tambo. Componente General. Recuperado de http://eltambo-cauca.gov.co/apc-aa-files/65646231623131303937306537396539/plan-basico-de-ordenamiento-territorial.pdf.

CONIF, (1998). Guía de Plantaciones Forestales Comerciales en el Cauca. Corporación Nocional de Investigación y Fomento Forestal - CONIF, el Ministerio del Medio Ambiente y lo Organización Internacional de Moderas Tropicales - OIMT. Primera Edición. Santa Fe de Bogotá. Serie de documentación N° 33, 44 y 41.

Gilabert, J. et al. (1997). Acerca de los Índices de Vegetación. Departamento de Termodinámica, Facultad de Física, Universidad de Valencia Dr. Moliner, 50. 46100 Burjassot, Valencia. Publicación digital Revista de Teledetección. 2.

Chuvieco, E. (1995). Fundamentos de teledetección espacial. Edición RIALP, S.A. Madrid, España. Segunda edición. 68 y 69.

El primer río en Colombia que desaparece por completo (1 de Enero de 2016). Revista SEMANA. Recuperado de http://www.semana.com/nacion/articulo/fenomeno-de-el-nino-se-seca-el-primer-rio-en-colombia/458485.