

**ESTUDIO MULTITEMPORAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL MUNICIPIO DE
PALMIRA DE ACUERDO AL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2001-2014**

Andrés Leonardo Vela Fonseca

Cod: 2167078

Diego Andrés Rodríguez Lugo

Cod: 2167080

Universidad Santo Tomás

Facultad de ingeniería

Especialización en Gestión Territorial y Avalúos

Bogotá D.C., Colombia

2016

**ESTUDIO MULTITEMPORAL DEL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL MUNICIPIO DE
PALMIRA DE ACUERDO AL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2001-2014**

Andrés Leonardo Vela Fonseca

Cod: 2167078

Diego Andrés Rodríguez Lugo

Cod: 2167080

**Trabajo de grado para optar por el título de:
Especialista en Gestión Territorial y Avalúos**

Universidad Santo Tomás

Facultad de ingeniería

Especialización en Gestión Territorial y Avalúos

Bogotá D.C., Colombia

2016

ABSTRACT

The territory planning is a complex process that takes several years. In Colombia, the main legal tool to the territory management is the territorial order plan (POT for its acronym in Spanish), which contains the main strategies to take advantage of the territory characteristics. Each municipality must to have a POT in accordance with its population. The POT must be articulate with the develop plan of the mayor, as well as with the regional plans, for these reasons the strategies are divided in three classes in concordance with the time to execute them (short, mid and long time). On this basis, the long strategies have an execute time of three mayor period, or in other words, 12 years to achieve its goals. Palmira is a municipality that base its economy at the sugarcane cultivation, and is important understand how is the dynamic in the territory about this culture. For this reason, was realized a multitemporal study about the areas of sugarcane, before and after of the POT, to identify the possible changes and compare them with the arguments contained in the POT, through of remote sensing techniques with Landsat imagery.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	JUSTIFICACIÓN	5
3.	OBJETIVOS	6
4.	MARCO TEÓRICO	7
4.1.	Teledetección:	7
4.2.	Corine land cover (CLC).....	8
4.3.	Plan de ordenamiento territorial.....	9
5.	LIMITANTES DE DESARROLLO.....	12
6.	IMPACTO SOCIAL Y BENEFICIARIOS.....	13
7.	METODOLOGIA.....	14
7.1.	Identificación	14
7.2.	Búsqueda y adquisición de datos raster	16
7.3.	Preparación de datos.....	20
7.4.	Interpretación de imágenes satelitales:	24
8	RESULTADOS.....	26
9	CONCLUSIONES.....	31
10	RECOMENDACIONES	33
11	BIBLIOGRAFIA	33

TABLA DE IMAGENES

Imagen 1 Localización municipio Palmira.....	16
Imagen 2 Área de estudio imagen Landsat año 1999	17
Imagen 3 Área de estudio imagen Landsat año 2014	18
Imagen 4 Imágenes Landsat 7	19
Imagen 5 Imagen satelital CBERS octubre 10 de 2004.....	20
Imagen 6 Área específica de estudio imágenes Landsat	21
Imagen 7 Combinación falso color	23
Imagen 8 Aplicación Pan-sharpened imagen 2014.	24
Imagen 9 Identificación cultivos de caña, según geometría, radiometría y textura.	25
Imagen 10 Obtención cobertura cultivo de caña año 1999 y 2014.	26
Imagen 11 Comparativo cobertura cultivo de caña años 1999-2014	27
Imagen 12 Mapa de riesgos P.O.T.	28
Imagen 13 Riesgo por movimiento de masa	28
Imagen 14 Riesgo por inundación POT.....	29
Imagen 15 Comparativo tendencia de crecimiento cobertura caña -respecto a zonas de riesgo.....	29
Imagen 16 Disminución de cultivos de mayor pendiente.	31

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Área identificada de cultivo de caña de azúcar	27
Gráfico 2 Cultivo de caña de azúcar-Zona de riesgo	30

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se centró en la necesidad de comprender la real ocupación de territorio por parte de los cultivos de azúcar con respecto a las normas alojadas en el plan de ordenamiento territorial. El estudio en la tendencia del crecimiento del cultivo de caña en el municipio de Palmira (Valle del Cauca), respecto a la reglamentación establecida mediante el acuerdo 109 de 2001 por el cual se adopta el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio, y sus modificaciones a lo largo de 14 años. La cuantificación de área del cultivo de caña azúcar presente en el municipio a lo largo de este periodo de tiempo, se realizó mediante teledetección y sistemas de información geográfica. Dichos procesos de interpretación de imágenes de satélite, requirieron de una tipificación de las características capturadas en la imagen, tales como geometría, radiometría y textura. Es muy común que las imágenes satelitales requieran de un mejoramiento de contraste o de textura de acuerdo a la información que se quiera obtener a partir de estas, para el caso del cultivo de caña de azúcar fue necesario aplicar un mejoramiento de contraste para diferenciar mejor dicha cobertura de las circundantes.

La comparación de áreas interpretadas de la cobertura objeto de las dos imágenes en el periodo de tiempo de la vigencia del plan de ordenamiento territorial, presentan un balance del cambio de dicha cobertura, contrastado con la distribución espacial de amenazas y vulnerabilidades, se obtuvo una cuantificación del resultado de la implementación de las normas consignadas en el plan de ordenamiento territorial con respecto a los planes de riesgo, revelando en una cuantificación de áreas la oportuna ejecución de dichos planes.

2. JUSTIFICACIÓN

Para tener un buen conocimiento del territorio es necesario conocer el desarrollo de este a través del tiempo. Así mismo, es indispensable conocer los diferentes escenarios por los que el territorio ha evolucionado para potenciar el adecuado y oportuno uso del mismo.

Los estudios multitemporales acerca de los cambios de cobertura de la tierra, proveen información importante referente al manejo de los recursos naturales, a las políticas y herramientas de planificación que se deben adoptar para el óptimo aprovechamiento del recurso tierra. Para este fin se imágenes Landsat que proveen datos para escalas medianas, dado que el píxel de las imágenes oscila entre 15 hasta 120 metros de acuerdo la longitud de onda, ideal para el análisis de información del territorio municipal o regional, además la constelación de satélites Landsat son una fuente gratuita de datos geográficos

Los planes de ordenamiento territorial establecen las directrices de ocupación del territorio, diseñando las estrategias a ejecutar en la vigencia del plan para optimizar el uso y destino del territorio. Tales estrategias se distinguen en de contenido estructural, las cuales tienen una vigencia de largo plazo, que se entiende como un mínimo de 3 periodos constitucionales de las administraciones municipales y distritales teniendo cuidado en todo caso de realizar una revisión al inicio de cada una de las administraciones. Las estrategias de contenido urbano tienen una vigencia de mediano plazo que corresponde a una vigencia mínima de 2 periodos constitucionales de las administraciones municipales y distritales, y los contenidos urbanos de corto plazo y los programas de ejecución regirán como mínimo durante un periodo constitucional de la administración municipal y distrital.¹

De acuerdo a las estrategias del plan de ordenamiento territorial de su contenido estructural y urbano, se utilizó dos imágenes satelitales, una imagen antes de entrar en vigencia el plan y otra concluido 3 periodos administrativos desde su entrada en vigencia para abarcar la ejecución del contenido estructural. La identificación de áreas entre las diferentes fechas de toma de imágenes, utilizando imágenes landsat del banco de imágenes del servicio geológico de los estados unidos, se pudo identificar y cuantificar el uso de la cobertura de la tierra respecto al cultivo de caña de azúcar durante este periodo de tiempo, determinando si el uso de este cultivo es el correcto respecto al aprovechamiento adecuado de los recursos naturales y las zonas de riesgo.

3. OBJETIVOS

Objetivo general

Identificar los cambios de cobertura de los cultivos de caña de azúcar con relación a las zonas de amenazas y riesgos establecidas en el plan de ordenamiento territorial del municipio de Palmira Valle del Cauca entre los años 2001 y 2014.

Objetivos específicos

- Obtener las imágenes de satélite que permitan realizar el estudio multitemporal de la cobertura del suelo rural en el municipio de Palmira Valle del Cauca y la cartografía correspondiente a las zonas de amenazas y riesgos del POT.

¹ Ley 388 de 1997, artículo 28.

- Identificar sobre las imágenes de satélites seleccionadas las coberturas del suelo cuyo uso corresponda al cultivo de caña de azúcar y cuantificar estas áreas para el año 2001 y para el año 2014.
- Analizar la cobertura del cultivo de caña de azúcar entre el año 2001 al año 2014 respecto a la normativa establecida en el Acuerdo 109 por el cual el Concejo Municipal de Palmira adopto el plan de ordenamiento territorial en el año 2001 y el acuerdo 028 de 2014 por el cual se adoptan modificaciones al Plan de Ordenamiento Territorial.
- Enfocar este estudio multitemporal como herramienta que permita la planeación y planificación

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Teledetección:

La teledetección es la técnica de obtener información de un objeto por medio de la interacción de partículas electromagnéticas, es decir sin tener contacto directo con el objeto. Se basa en la reacción de los objetos con la radiación de una fuente de energía como el sol (para el caso de los sensores remotos pasivos) y pulsos electromagnéticos (para los sensores remotos activos). El objeto reacciona a esta radiación y parte de la energía recibida se absorbe y otra se refleja. La energía que se refleja es capturada por unos sensores fotosensibles que pueden estar en un vehículo aerotransportado como avión, helicóptero o drones, para el caso del estudio del territorio, o pueden estar ubicados en los sistemas satelitales, constelaciones de satélites perfectamente sincronizados para identificar el momento justo de la captura de los datos.

La teledetección permite adquirir información que es imposible identificar con el ojo humano, ya que posee células fotosensibles para el llamado espectro visible, una pequeña porción del espectro electromagnético que oscila entre 450 hasta los 700 nanómetros (nm), todas las demás longitudes de onda no pueden ser percibidas por el ojo humano. Dado lo anterior los sensores remotos están diseñados para capturar datos que superan los límites del ojo humano tanto por defecto como por exceso. Esto permite extraer información de las imágenes que es imposible apreciar de otra manera, generando aplicaciones para muchos campos de investigación.

Los datos capturados por el sistema de percepción remota, se almacenan en matrices donde cada valor de la matriz representa una pequeña porción de la energía reflejada. Estos datos almacenados

en la matriz posteriormente se representan con una escala de color que se asigna de acuerdo al valor almacenado en la celda. Una vez asignada una representación gráfica a la matriz, se obtiene una imagen que está compuesta por píxeles (valores de cada celda), sin embargo la resolución de la imagen es considerada de acuerdo a su resolución espacial (cantidad de píxeles por imagen), resolución espectral (rango del espectro electromagnético que puede capturar), resolución radiométrica (todos los posibles valores que puede tomar una celda) y resolución temporal (intervalo de tiempo en el que puede volver a ser tomada la imagen para la misma zona).²

4.2. Corine land cover (CLC)

Para la identificación de la cobertura de la tierra existen varios sistemas de clasificación, sin embargo el utilizado en Colombia es el sistema de clasificación Corine Land Cover (CLC). Este sistema proviene de un programa de homogenización de conceptos para la identificación de cobertura terrestre de la agencia europea del medio ambiente para escala 1:100.000, sin embargo esta clasificación tuvo que ser adecuada a la realidad del terreno colombiano, ya que difiere de la geografía europea. Como resultado de este ajuste el IDEAM posee una clasificación basada en CLC para el territorio colombiano dividida en 5 capítulos:

1. Territorios artificializados.
2. Territorios agrícolas.
3. Bosques y áreas seminaturales.
4. Áreas húmedas.
5. Superficie de agua.

Cada uno de estos capítulos contiene gran cantidad de categorías y subcategorías, en donde se describe el elemento y se da algunos consejos para su correcta identificación en las imágenes.

En el capítulo 2 se encuentra el tema correspondiente a los territorios agrícolas, en donde se define el cultivo de caña de la siguiente manera:

Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L), planta gramínea tropical de la familia Poaceae de donde se extrae el azúcar, con forma de pasto gigante emparentada con el sorgo y el maíz. Es un cultivo predominantemente industrial. Se corta

² Remote sensing digital image analysis, John A. Richards, Xiuping Jia, 1999. Chapter 1.1.1 Characteristics of digital image data.

cada 12 meses, y la plantación dura aproximadamente 5 años, tiene un tallo macizo de 2 a 5 metros de altura con 5 ó 6 cm de diámetro. Se cultiva generalmente en terrenos planos y la zona de producción óptima se ubica entre los 800 y los 1.200 msnm. En Colombia se cultiva principalmente en los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Risaralda. Incluye cultivos de caña de azúcar con área mayor a 25 ha, suelos en preparación para próximos cultivos de caña de azúcar, zonas de corte reciente (Zafra) en proceso de rebrote, infraestructura asociada al cultivo de caña de azúcar con área menor a 5 ha.³

4.3. Plan de ordenamiento territorial

El plan de ordenamiento territorial (POT) es el instrumento con el cual todos los municipios de Colombia pueden y deben planificar el desarrollo del territorio, buscando el desarrollo regional y económico desde la perspectiva espacial. El POT es el lineamiento sobre el cual la dinámica intersectorial se acopla para el correcto aprovechamiento del territorio. En este se definen las fortalezas, debilidades, amenazas y vulnerabilidades del municipio, realizando un diagnóstico veraz de los escenarios del territorio, lo que permite elaborar las estrategias a ejecutar según su prioridad y pertinencia.

El POT se manifiesta en el artículo 311 de la constitución política de Colombia, que el municipio es el encargado de ordenar el desarrollo de su territorio, promover la participación ciudadana y prestar los servicios públicos que determine la ley. Sin embargo en la ley 152 de 1994, ley orgánica del plan de desarrollo se cita la obligación del municipio por velar por el desarrollo de su territorio y que cuenta con el apoyo técnico de los departamentos y la nación. Pero es la ley 388 de 1997 la que establece los parámetros por los cuales se rigen los planes de ordenamiento territorial, su clasificación de acuerdo a población, los instrumentos de financiamiento, los conceptos fundamentales sobre los que actúa y el alcance de este.

Según la ley 388 de 1997 los principios por los cuales se rige la ley son la función social y ecológica de la propiedad, la prevalencia del interés general al interés individual y la distribución equitativa de cargas y beneficios. Así mismo establece la función pública urbanística y la participación democrática.

Para la ley 388 de 1997 el POT comprende un conjunto de acciones político-administrativas y de planificación física concertadas, emprendidas por los municipios en el ejercicio de la función pública en orden de procurar por el correcto funcionamiento y desarrollo del territorio, regulando la

³ Mapa de cobertura de la tierra Cuenca Magdalena-Cauca, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA, 2008.

utilización, transformación y ocupación de este, por medio de estrategias que den resultados en función de los objetivos económicos, sociales, urbanísticos y ambientales.

Una de las determinantes para la adopción de un POT es la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales. Dentro de este concepto se incluyen las normas y reglamentos de las entidades del sistema nacional ambiental, así mismo las limitaciones derivadas del estatuto de zonificación de uso adecuado del territorio y las regulaciones nacionales sobre el uso del suelo en lo concerniente a sus asuntos ambientales, además de incluirse las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas de riesgos naturales, consignado en el artículo 10 determinantes de los planes de ordenamiento territorial.

En cuanto a lo estipulado en la ley concerniente a la vigencia del plan, se tiene que para contenido estructura se cuenta con un máximo de 3 periodos constitucionales, es decir 12 años para estrategias de largo plazo, sin embargo las revisiones se realizan bajo el mismo procedimiento usado para su adopción, sustentándose con indicadores de cumplimiento para evidenciar los ajustes a realizar durante la vigencia del plan.

El acuerdo municipal 109 de 2001 mediante el cual se adopta el plan de ordenamiento territorial del municipio de Palmira, en el cual se describe el escenario inicial de la vigencia del plan, y se enuncian la visión, misión, objetivos y estrategias del plan. Según el acuerdo municipal, la visión del plan busca la dinamización del sector agroindustrial, facilitando la seguridad alimentaria, basada en una sana diversificación los cultivos tradicionales mediante la aplicación de avances tecnológicos identificados con los requerimientos socio ambientales de sustentabilidad y sostenibilidad, y por la instalación de eficientes servicios de escala regional generadores de empleo, bajo la premisa básica de mejorar calidad de vida de sus moradores respetando la armonización ecológica.

Tal nivel de desarrollo puede y debe posibilitarse sin detrimento de las consideraciones jurídico – políticas que enfatizan vitales aspectos garantes del equilibrio social para la convivencia armónica como son: la función social de la propiedad y el uso equitativo y racional del suelo y los recursos naturales, la defensa del espacio público y la garantía de preservación de los derechos sociales básicos de la comunidad, dando prelación a los sectores más vulnerables de la nación y a la participación ciudadana en todos los niveles.

En los objetivos se establece identificar y delimitar las áreas sujetas a amenazas y riesgos naturales para propender en el ordenamiento del territorio por la seguridad, prevención e integridad física de

sus habitantes. Así mismo establece las estrategias correspondientes para poder cumplir dicho objetivo, entre las cuales se encuentra zonificar y jerarquizar el territorio en cuanto a amenazas y riesgos naturales y antrópicos, identificar los asentamientos poblacionales a reubicar dada la condición de exposición a evento de daño no mitigable, programar las apropiaciones presupuestales para desarrollar los proyectos prioritarios conforme a lo establecido en el plan de desarrollo correspondiente en lo que respecta a la atención y prevención de desastres.⁴

Se pretende velar por la franja forestal protectora del río Cauca, lo cual hace necesario que el área agrícola de manejo especial del río Cauca cumpla con el convenio de concertación para la producción más limpia de caña de azúcar con el sector azucarero, estableciendo 1 kilómetro para la franja territorial a partir del perímetro poblado de Cali, sobre la margen izquierda del río Cauca. La delimitación de la zona de manejo y preservación ambiental del río Cauca en el municipio de Palmira comprende la franja de terreno con una sección de 60 metros medidos a partir del borde del barranco del río.

Se establece un régimen de usos dentro de dicha zona, los cuales están desarrollados por el uso de conservación, restauración ecológica y forestal protector, haciendo énfasis en mantener las reservas naturales de aguacalera, río amame, nima, santa teresa, los cuervos, los lagos, la esmeralda, la abania, lagunas glaciales, de paramo.

Como se menciona en las políticas y acciones sobre medio ambiente y recursos naturales, se debe proteger el recurso hídrico compuesto por aguas subterráneas y superficiales, controlando el acceso a los pozos profundos limitando las áreas circundantes para la ejecución de obras según los parámetros que determine la autoridad ambiental. Se regulará los pozos inactivos tras sellamiento de los mismos para evitar posibles contaminaciones o el desperdicio del recurso hídrico. Sustitución gradual de los cultivos localizados en las franjas forestales protectoras por vegetación protectora con especies nativas. Se tendrá en cuenta el mantener la estabilidad ambiental de las áreas circundantes a los asentamientos humanos mediante la ejecución de acciones de participación activa en el comité operativo para el monitoreo y seguimiento del convenio de concertación para una producción limpia con el sector azucarero, las corporaciones autónomas regionales de los departamentos de Cauca, Risaralda y valle del cauca, la asociación de cultivadores de caña y sus ingenios asociados, con el fin de disminuir gradualmente el impacto ambiental generado por las actividades de cultivo, reduciendo los riesgos asociados a esta actividad económica, exigiendo la preservación de un territorio de protección alrededor de los perímetros de los centros poblados.

⁴ Acuerdo 109 de 2001, Artículo 5 objetivos y estrategias, Adopción plan de ordenamiento territorial municipio de Palmira.

Se limita la requema de los residuos de la caña de azúcar o de todo el cultivo, permitiendo solo los casos que comprenden una requema hasta un 10% del total de área cultivada en el municipio.

Las políticas de mediano y largo plazo incluyen el control de desarrollo de zonas urbanas en suelo rural, el mejoramiento de los cultivos en zona de ladera complementando y construyendo los distritos de riego Toche, la Veranera, Cabuyal, la Quisquina y el Mesón. Fortalecimiento de la actividad agrícola encargada de la producción de alimentos por medio del apoyo en la creación de viveros, bancos de germoplasma para semillas de diferentes pisos térmicos, creación de centros de acopio, montaje de proyectos especiales para cultivos alternativos, apoyo a sistemas de producción agropecuaria de actividad silvopastoril, granjas, huertas caseras y especies menores, la Umata y la UMMA apoyarán a las parcelas campesinas que como actividad tenga el cultivo de plantas medicinales, aromáticas, hortalizas, leguminosas, cereales y frutas.⁵

5. LIMITANTES DE DESARROLLO

Para la realización de estudios multitemporales es necesario contar con un número de imágenes apropiado y bien distribuido en la línea de tiempo de interés, con el fin de poder evidenciar los cambios en el territorio con el pasar de un periodo establecido. Sin embargo, los archivos existentes de acceso libre en formato raster (imágenes satelitales, fotografías aéreas) en las cuales se puede localizar el municipio de Palmira, dentro del periodo interés de (2001-2014), reduce las posibilidades de encontrar un buen insumo dado que el municipio cuenta con condiciones climatológicas que generan nubes durante grandes periodos de tiempo, es decir un gran porcentaje del año el municipio se encuentra cubierto de nubes, generando dificultades en la adquisición de datos por medio de la técnica de teledetección. Existen alternativas como la adquisición de datos por medio de sistemas de radar, los cuales no poseen mayor interacción con las nubes dada la longitud de onda que manejan, pero son datos costosos, de tratamiento específico, y deben ser programados para las fechas requeridas.

En cuanto a las revisiones, modificaciones y ajustes del plan de ordenamiento territorial de acuerdo al numeral 4 del artículo 28 de la ley 388 de 1997, en donde se estipula la revisión del plan de ordenamiento territorial por medio de indicadores de seguimiento relacionados con los cambios que puedan surgir en la ejecución de este, la conveniencia en la ejecución de los programas y proyectos de infraestructura, generando una afianzamiento o reestructuración de los objetivos y metas del respectivo plan, son datos que deben ser consignados en las respectivas revisiones periódicas del

⁵ Acuerdo 109 de 2001, Artículo 5 objetivos y estrategias, Adopción plan de ordenamiento territorial municipio de Palmira.

POT, sin embargo dichos indicadores de seguimiento y cumplimiento se encuentran en la revisión del 20 mayo de 2013, en donde se enuncian las obligaciones pactadas ponderadas del total del plan, sin mayor detalle de las tareas sin ejecutar y de sus respectivas explicaciones.

6. IMPACTO SOCIAL Y BENEFICIOS DE UN ESTUDIO MULTITEMPORAL EN LA GESTIÓN DEL TERRITORIO.

El presente trabajo ofrece una perspectiva diferente relacionada al cumplimiento de algunas tareas contempladas en el plan de ordenamiento territorial, complementando así la revisión efectuada del año 2013. De esta manera es posible visualizar y cuantificar el desarrollo territorial en cuanto a la componente espacial, y el uso de esta.

La componente espacial de las actividades agrícolas permite visualizar el aprovechamiento de los recursos naturales, así como factores de contaminación y riesgos asumidos por dichas actividades. Esto permite a la administración tomar medidas en el aprovechamiento y distribución del uso del suelo, ajustando los planes en curso o apoyando la formulación de nuevas estrategias de aprovechamiento y desarrollo del territorio.

Por lo anterior los estudios multitemporales se convierten en una herramienta fundamental de la gestión del territorio, ya que permiten establecer el comportamiento en cuanto al crecimiento o disminución de los factores que modifican el recurso tierra.

Teniendo en cuenta que los planes de ordenamiento territorial son competencia de la alcaldía, consejo municipal, corporación autónoma regional, consejo territorial como actores públicos, de gremios económicos, inversionistas, promotores y terratenientes como actores privados, y de la población civil, resguardos indígenas, comunidades negras entre otros, la definición de estrategias del POT debe ser acorde con la realidad de la ocupación del territorio, así mismo como los mecanismos para implementarlas y los recursos. Por lo tanto cualquier actor que interviene en la determinación de estrategias puede manifestarse en el desarrollo de estas, teniendo como referente la cuantificación del desarrollo, o de alguna forma que permita medir el progreso del plan. Para tal fin existe la participación ciudadana mediante derechos de petición, la celebración de audiencias públicas, que busca informar el ejercicio de cumplimiento que a su vez puede generar la intervención en la formulación y ejecución de los planes de ordenamiento territorial, y en los procesos de otorgamiento, modificación suspensión o revocatoria de las licencias urbanísticas, en los términos establecidos por la ley y sus respectivos decretos reglamentarios. Es así como el tener conocimiento acerca de los

cambios de la ocupación del suelo se convierte en interés general, resultando en una constante veeduría del progreso del municipio.

Como primer beneficiario se encuentra la administración local, quien es la encargada de la formulación, revisión y modificación oficial del POT, por lo tanto es realmente importante conocer la ocupación del suelo de todo el municipio, a diferencia de los demás actores que pueden ser sectorizados de acuerdo a sus necesidades.

7. METODOLOGIA

7.1. Identificación

Proceso en el cual se delimita la zona de estudio y se establece las coberturas a interpretar. En esta fase se debe reconocer las zonas del municipio en donde se encuentran los cultivos, dado que el municipio se encuentra en parte occidental de la cordillera central donde por condiciones físicas no es posible llevar a cabo el cultivo de caña de azúcar, así el área de estudio no es el área completa del municipio, sino más bien la zona del valle en donde se encuentra la agricultura.

El primer paso para realizar el cálculo de área utilizada por el cultivo de caña de azúcar para la zona rural del municipio de Palmira Valle del Cauca, es realizar la correcta identificación del territorio a estudiar.

El territorio del municipio de Palmira se encuentra localizado en el Departamento del Valle del Cauca, y tiene como límites los siguientes: Por el Norte con Municipio de El Cerrito; por el Sur: con los Municipios de Pradera y Candelaria; por el Oriente: Departamento del Tolima; y por el Occidente: con los Municipios de Cali, Yumbo y Vijes. Su cabecera municipal se encuentra localizada a 3°32' de latitud norte; y, 76° 18' de longitud oeste. El área municipal es de 1.123 Km² y sus pisos térmicos distribuidos así: Cálidos 383 Km², Medio 242 Km², Frío 239 Km² y Páramo 298 Km². Su temperatura está condicionada a sus pisos térmicos y varía entre los 23 °C en la parte baja, 18 °C en la parte media, 12 °C en la parte alta y 4 °C promedio anual en el páramo. Se acepta que la temperatura media es de 25°C. y su altura sobre el nivel del mar (asnm) a partir de los 966 metros.

Se distinguen dos zonas topográficamente diferentes: Una plana o ligeramente ondulada ubicada al occidente del municipio, que hace parte del Valle del río Cauca; y Montañosa al oriente, que corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera Central de los Andes. En el límite con el Departamento del Tolima se encuentra el Páramo de Chinche, que en algunos sectores alcanza alturas mayores a 4000 metros (asnm).

Palmira cuenta con una población de 350.333 habitantes sus principales ocupaciones son: Agricultura, ganadería, producción de Alimentos, Textiles, Talleres de partes de Maquinaria Agrícola, además del ejercicio de carreras profesionales.

El título de Capital Agrícola o Agroindustrial de Colombia se debe al desarrollo científico y tecnológico de Palmira en este campo. Es sede de corporaciones e institutos públicos, mixtos y privados; nacionales e internacionales sin ánimo de lucro, que centran sus trabajos e investigaciones en aspectos como: preservación y uso racional de los recursos naturales y el ambiente, aumento de competitividad, desarrollo de capacidad científica, acceso a tecnologías de punta, mejoramiento de cultivos, agrobiodiversidad, manejo de plagas y enfermedades, manejo de suelos y sistemas de producción. Algunas de estas instituciones trabajan mancomunadamente en torno al proyecto Parque Científico y Tecnológico; ellas son: Corpoica, ICA, Universidad Nacional de Colombia, Fundación Ecoparque Llanogrande, Centro de Agricultura Tropical (CIAT).

Un crecimiento acelerado gracias a su ubicación y a la nobleza de su terreno, Palmira presenta en los últimos años un crecimiento urbanístico y económico que ha potenciado su desarrollo en otras áreas de la producción: la industria, el comercio, la ganadería y la minería. En la agricultura la caña de azúcar sigue siendo uno de los productos de mayor importancia, con unas 18.000 hectáreas cultivadas, caña procesada en ingenios de la región para producir azúcar, panela, miel y alcohol. Otros productos agrícolas son: café, tabaco, cacao, arroz, maíz, frijol, yuca, papa, algodón, soya, plátano, sorgo, y gran variedad de hortalizas y frutas. La industria produce maquinaria agrícola, empaques, tubos de cemento y artículos metálicos, entre otros. Palmira tiene instituciones bancarias, servicio de transporte, hoteles, restaurantes e inmobiliarias. La Cámara de Comercio del municipio registra más de seis mil empresas distribuidas en los sectores de la producción mencionados.⁶

⁶ Secretaría de cultura y turismo Palmira, Municipio de Palmira, www.culturayturismopalmira.com/nuestro-municipio.html

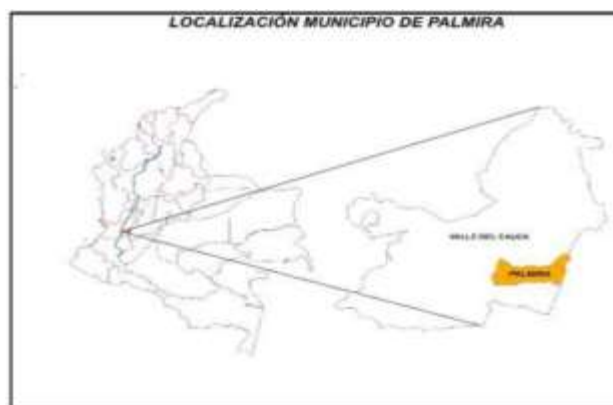


Imagen 1 Localización municipio Palmira

7.2. Búsqueda y adquisición de datos raster

Para la realización de un estudio multitemporal por medio de imágenes satelitales se deben seleccionar los datos del periodo de interés, teniendo en cuenta las características propias de la imagen, como el tamaño de pixel, resolución espectral (pancromática, multi espectral) y porcentaje de nubosidad. Lamentablemente las imágenes satelitales dependen del presupuesto establecido para la adquisición de datos. Para el caso del estudio multitemporal para la determinación de la tendencia de la cobertura del cultivo de caña entre el año 2001 al año 2014, se requirió de imágenes landsat por ser de acceso gratuito y presentar una amplia selección de imágenes que va desde los años 70's.

En las imágenes satelitales los valores de cada celda o píxel indican la cantidad de energía reflejada por la superficie terrestre de la energía emitida por el sol en una determinada longitud de onda, captado por un sensor fotosensible y representado en una escala numérica definida para el sensor. Existen imágenes de satélite de libre descarga proporcionadas por el servicio geológico de estados unidos USGS, de las cuales se pueden destacar las imágenes de satélite de la constelación Landsat.

Se realizó la descarga de una imagen satelital landsat 5 del año 1999 desde la página del servicio geológico de estados unidos para la zona de estudio. Estas imágenes son de libre descarga y se encuentra un archivo de imágenes bastante amplio que pueden ser seleccionadas y descargadas con solo crear una cuenta desde la página del servicio geológico de los estados unidos (USGS). La imagen landsat 5 posee 4 bandas del espectro electromagnético, azul, verde, rojo e infrarrojo

cercano, con un tamaño de píxel de 30 metros y fecha de toma del 10 de julio de 1999.

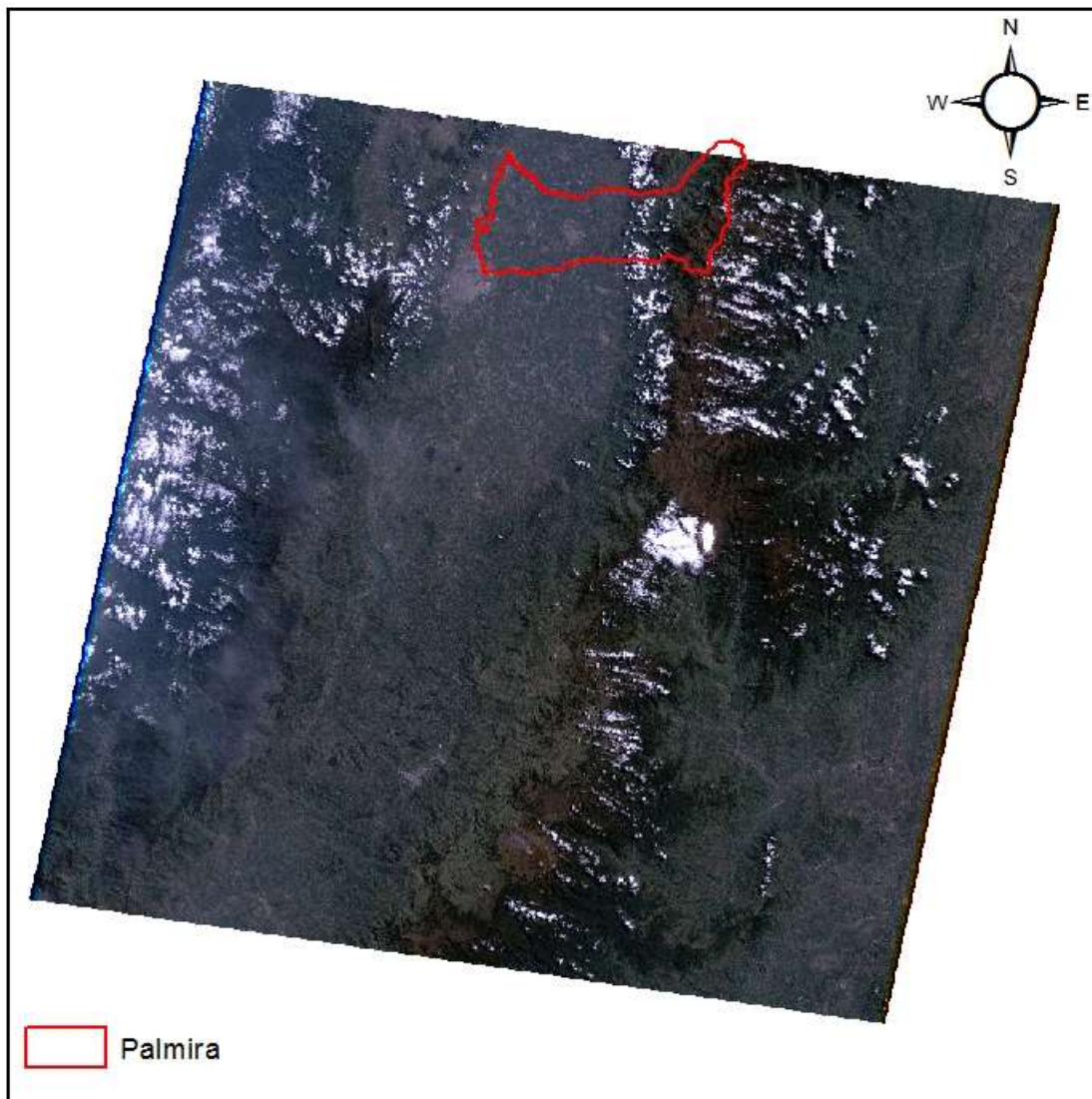


Imagen 2 Área de estudio imagen Landsat año 1999

Se obtuvo una segunda imagen del 19 de Julio de 2014, posterior a la vigencia del POT, sin embargo dicha imagen es del satélite Landsat 8 posee algunas características adicionales a las ofrecidas por la imagen del satélite landsat 5, como lo es una banda pancromática que maneja una resolución espacial de 15 metros, lo que permite realizar el mejoramiento de la resolución multiespectral por medio del proceso de Pan- Sharpened.

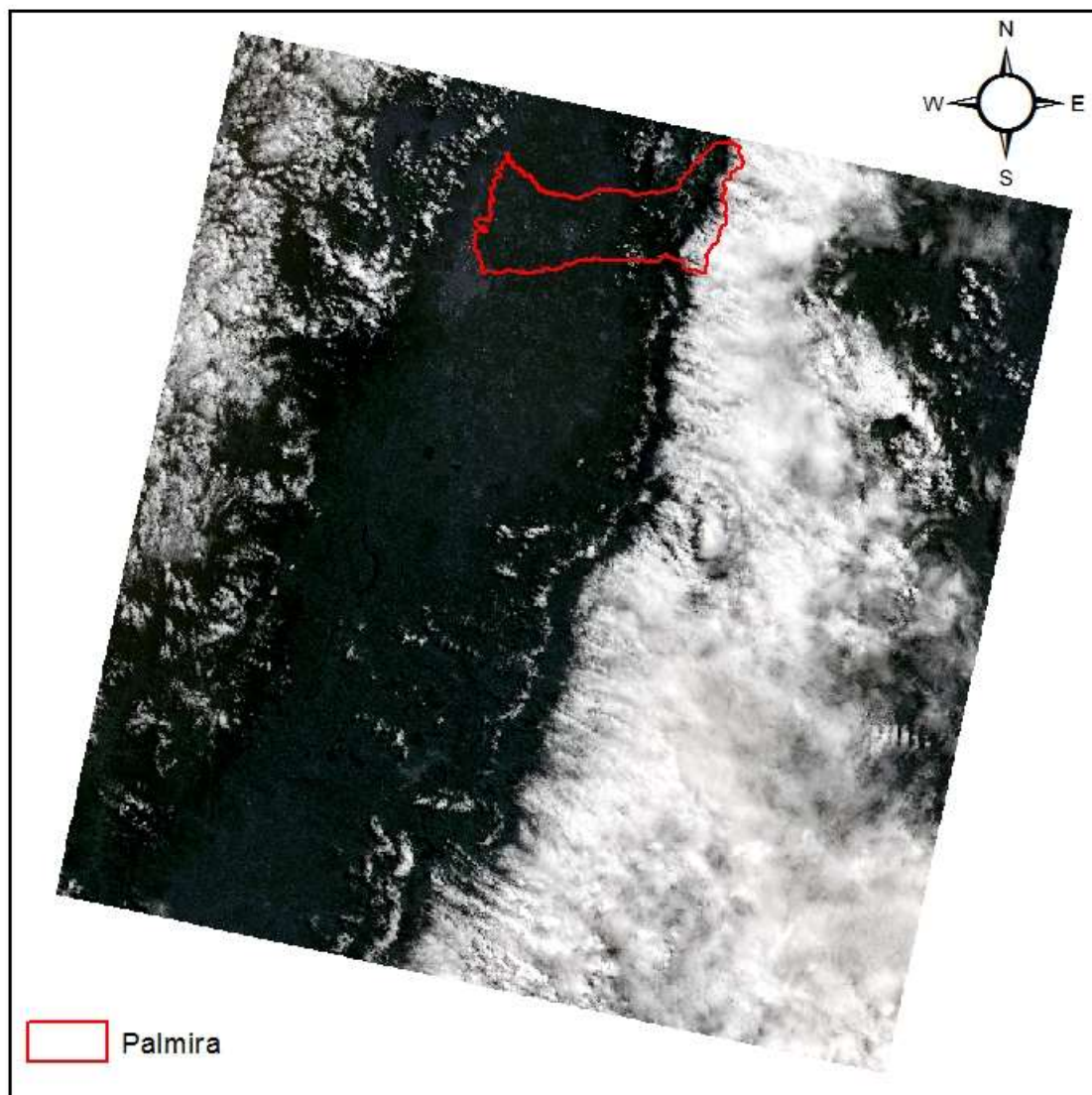


Imagen 3 Área de estudio imagen Landsat año 2014

Se obtuvo también dos imágenes del satélite Landsat 7 de los años 2009 y 2010, sin embargo la condición que presenta las imágenes de dicho satélite desde el año 2003, dificulta la interpretación ya que presente líneas negras a lo largo de la imagen que se conocen como SLC-off. En la siguiente imagen se presenta las dos imágenes del satélite Landsat 7.

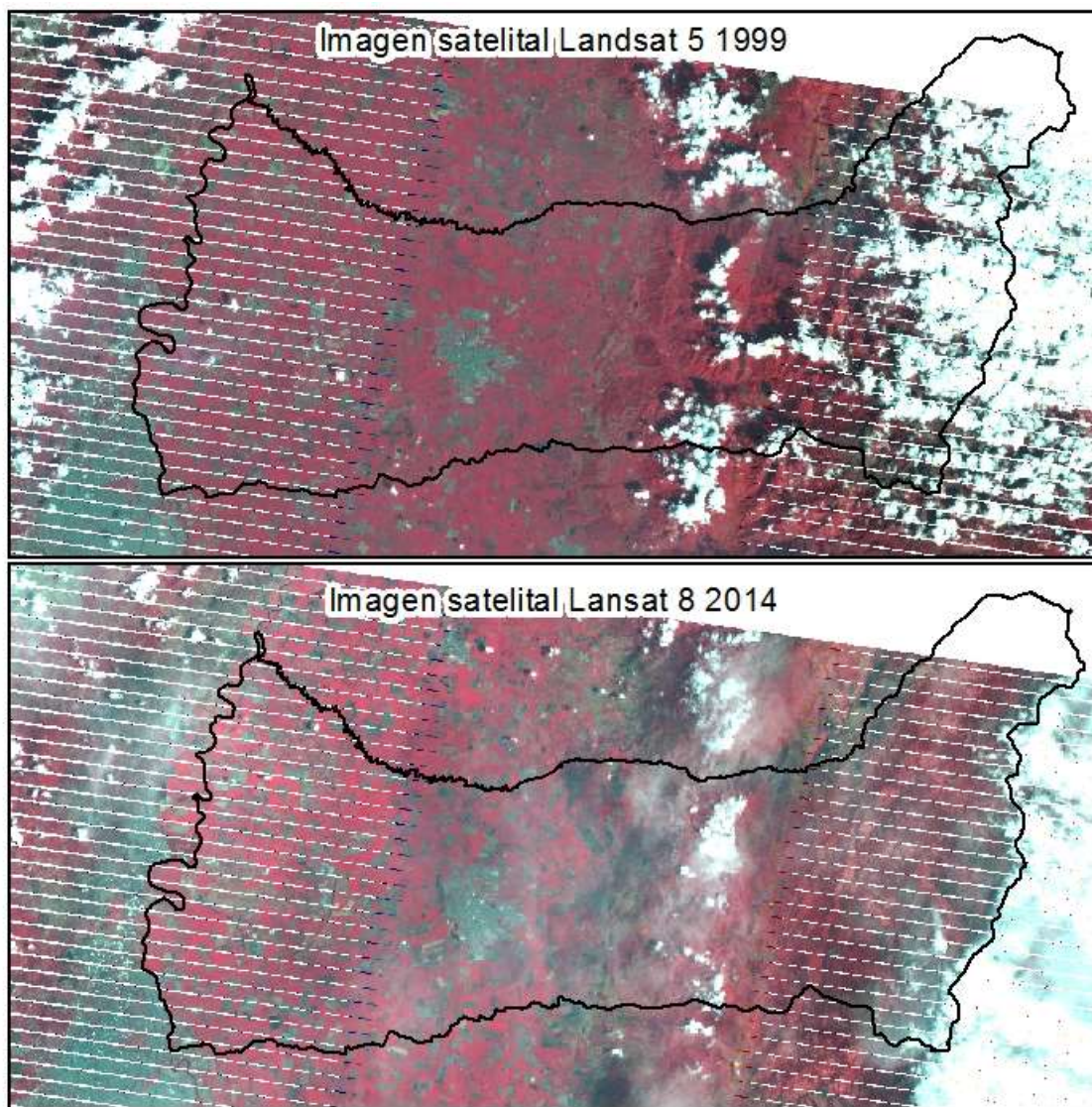


Imagen 4 Imágenes Landsat 7

El problema de las imágenes de satélite landsat 7 puede ser reducido por métodos de interpolación, sin embargo es una estimación del valor real del pixel lo que proporciona la tendencia en la distribución de los valores del pixel y no el dato real, por consiguiente no se tuvo en cuenta estas imágenes.

Adicionalmente se realizó una búsqueda en el catálogo de imágenes del satélite CBERS, del cual se adquirió la única imagen que cubre el municipio con fecha del 10 de octubre de 2004, sin embargo dicha imagen presenta un porcentaje muy alto de nubosidad lo que hace imposible identificar el cultivo de interés.

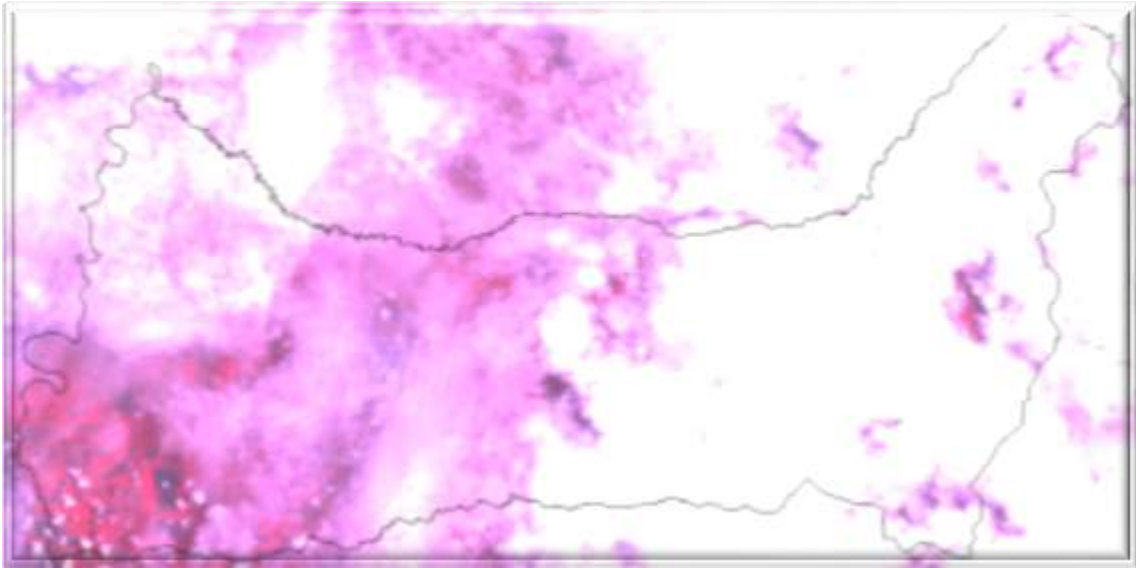


Imagen 5 Imagen satelital CBERS octubre 10 de 2004

7.3 Preparación de datos

En esta etapa los datos raster obtenidos se preparan para su correcta identificación. Se incluye recorte de imágenes, mejoramiento de contraste, combinación de bandas y mejoramiento de resolución espacial (pan-sharpened.)

Ya que cada imagen del satélite landsat abarca un área aproximada de 34200 Km², fue necesario extraer solo el área de interés para optimizar los recursos de hardware. Por consiguiente las imágenes obtenidas de la zona de interés se presentan a continuación:

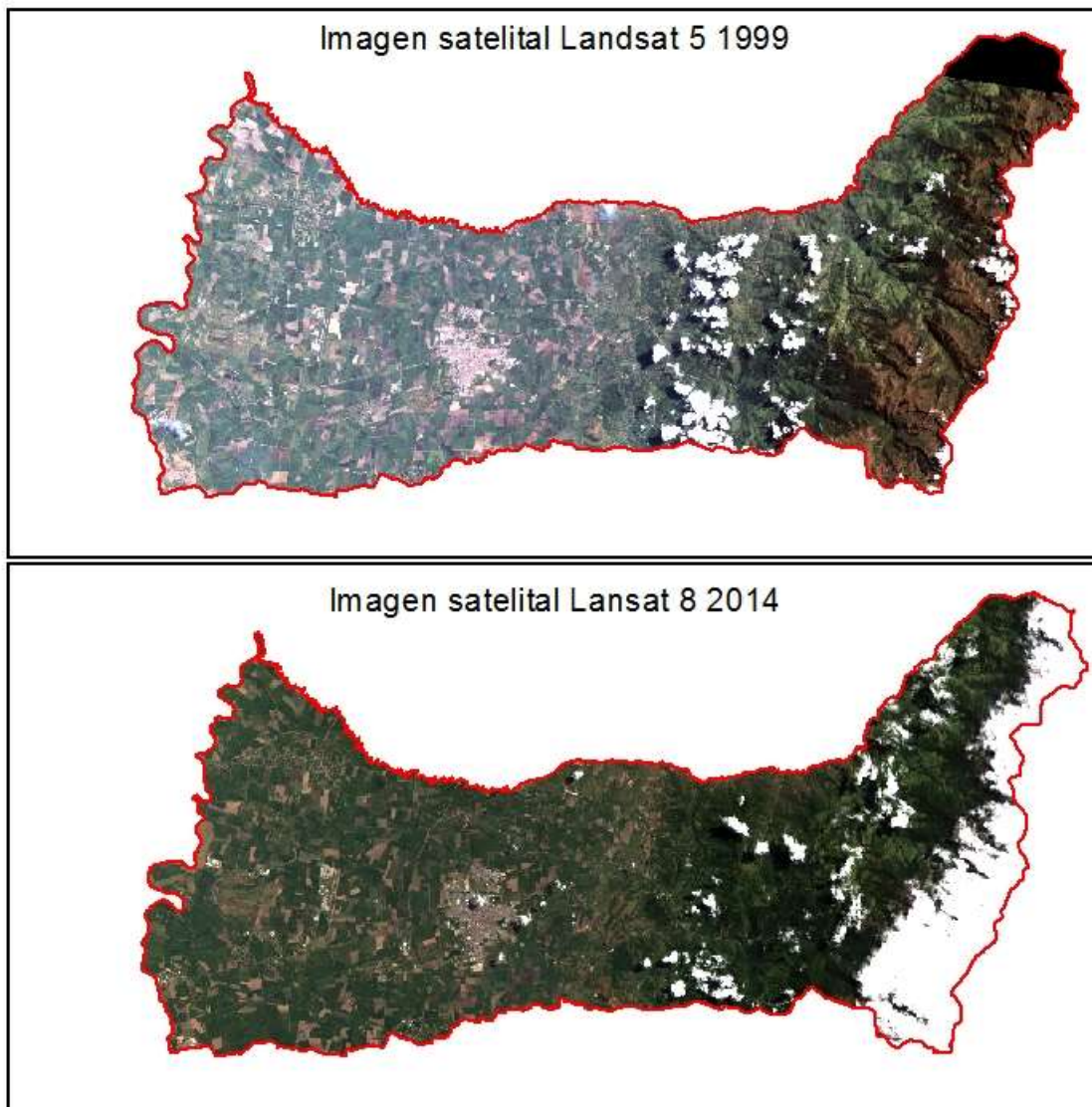


Imagen 6 Área específica de estudio imágenes Landsat

Como se aprecia en la anterior imagen, ya se puede visualizar la cobertura de tejido urbano continuo, así como las áreas desnudas o degradadas, cultivos, cuerpos de agua y zonas verdes. Sin embargo para realizar la debida identificación del área de interés, fue necesario realizar algunos ajustes a la imagen que permitieron una mejor identificación de la cobertura requerida. El análisis de imágenes por fotointerpretación es a menudo facilitado cuando la radiometría natural es optimizada con el fin de mejorar el impacto visual. Especificas diferencias en vegetación y tipos de suelos, por ejemplo, puede ser llevada a cabo por medio del incremento del contraste de una imagen.⁷ Dado lo anterior se ajustó el contraste de la imagen a una desviación estándar según el histograma de cada

⁷ Remote sensing digital image analysis, John A. Richards, Xiuping Jia, 1999. Chapter 4.1.1 Point operations and look up tables.

banda, de esta manera la información aportada por cada pixel en la combinación de bandas, proporciona una mayor diferencia entre los tipos de coberturas presentes en la zona de estudio.

Dado que la correlación de valores entre la banda azul, verde y rojo en ocasiones suele ser muy alta, presentando una firma espectral no muy diferente en el porcentaje de reflectancia, en la firma espectral la meseta entre los 0.7 μm y 1.3 μm (aproximadamente 40% de reflectancia entre infrarrojo cercano y medio) es dominada por la estructura de las células de las plantas, mientras en el rango visible de longitudes de onda la pigmentación es el mayor determinante, por consiguiente es necesario apoyarse en la banda infrarrojo cercano, que a diferencia del rango visible reacciona muy bien a la vegetación sana.⁸

⁸ Remote sensing digital image analysis, John A. Richards, Xiuping Jia, 1999. Chapter 1.1.2 Spectral ranges commonly used in remote sensing.

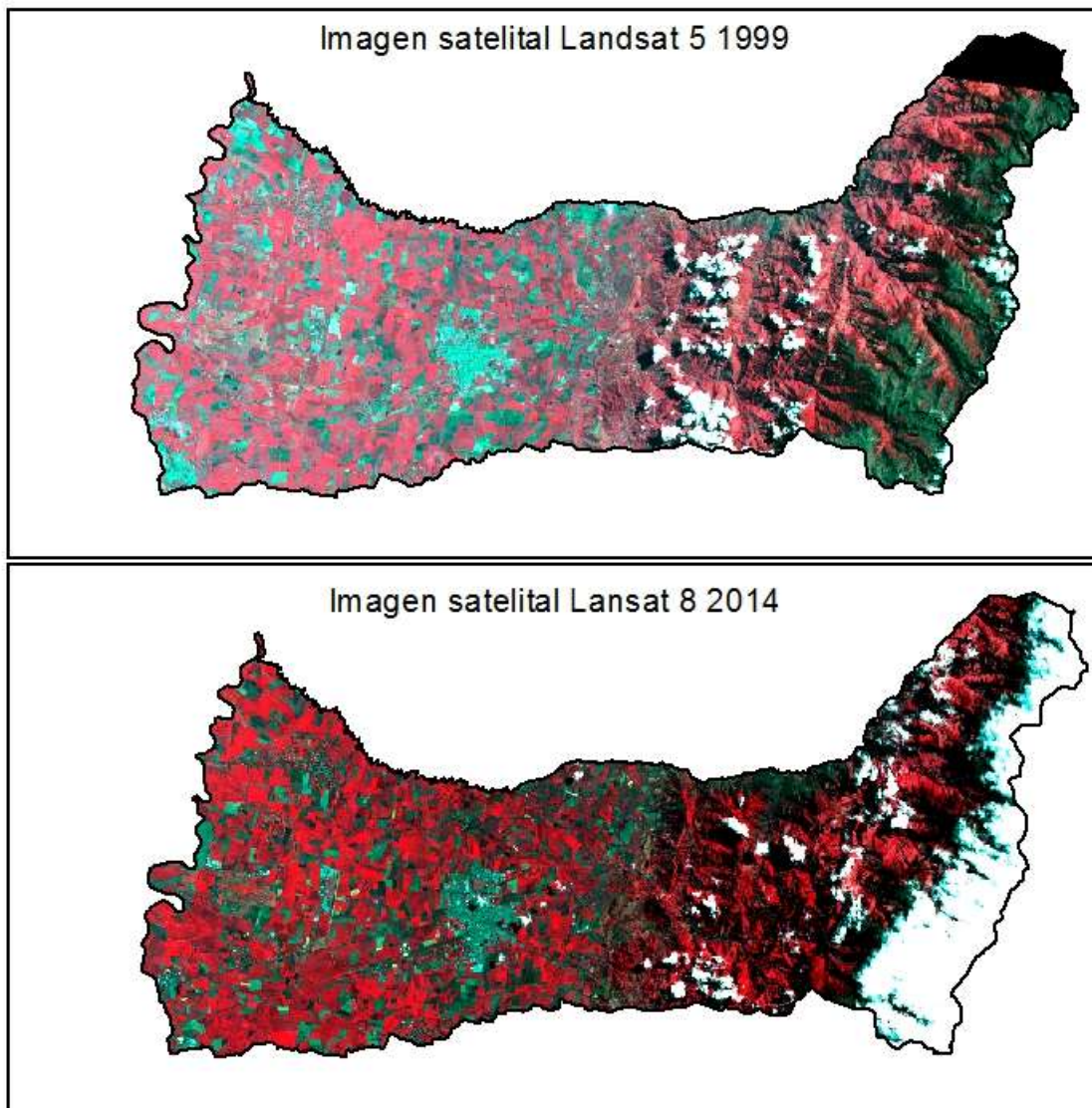


Imagen 7 Combinación falso color

Dado que la imagen del satélite Landsat 8 posee una banda pancromática, es posible realizar un mejoramiento visual aprovechando la resolución espacial de la banda pancromática de 15 metros, que difiere de las bandas azul, verde, rojo e infrarrojo cercano de 30 metros. Esta técnica se conoce como Pan-Sharpened y fusiona una imagen de alta resolución pancromática con una multibanda de menor resolución creando una imagen multispectral con la resolución de la imagen pancromática.

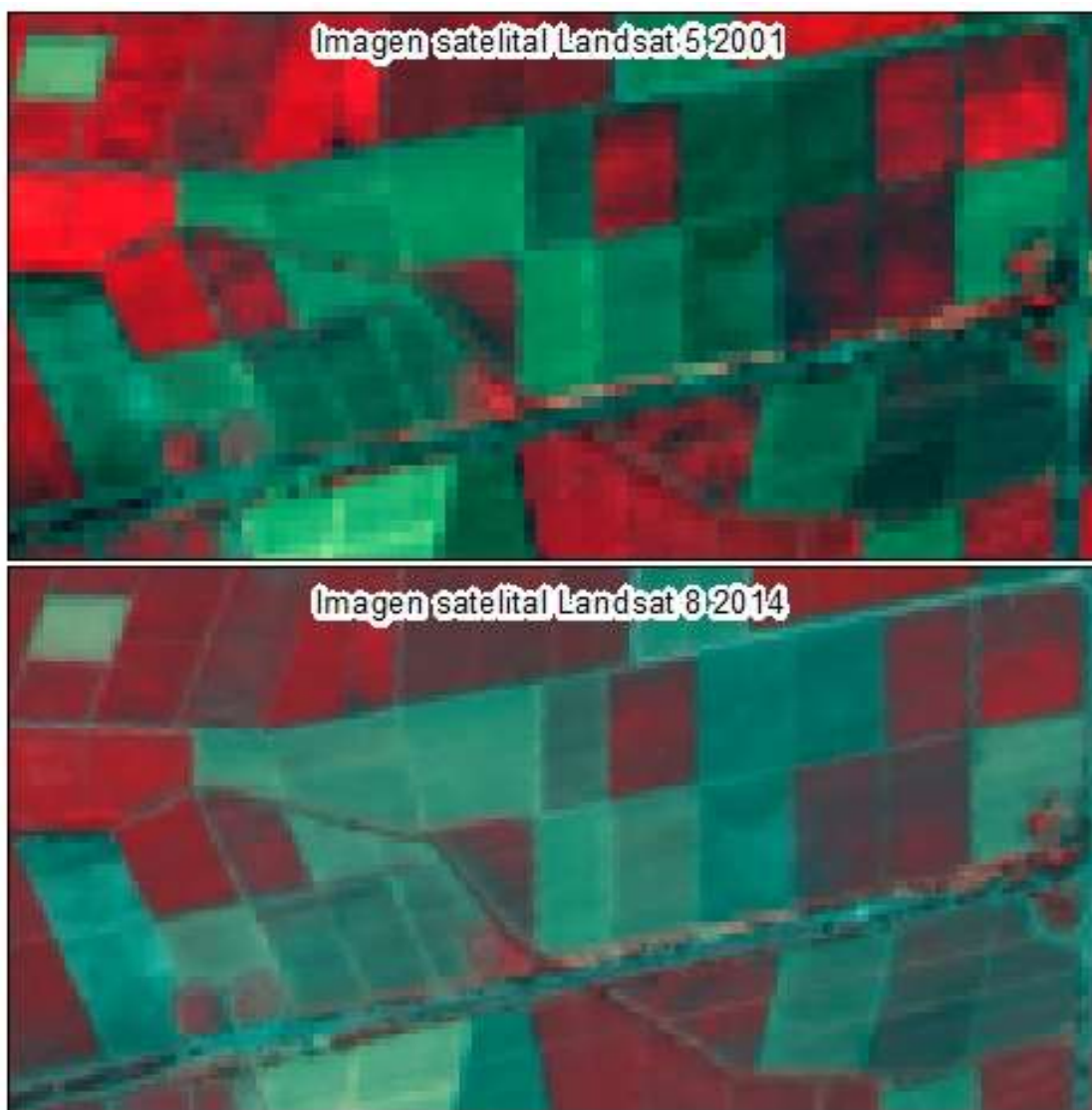


Imagen 8 Aplicación Pan-sharpened imagen 2014.

7.4 Interpretación de imágenes satelitales:

De acuerdo al sistema de clasificación de cobertura terrestre Corine Land Cover, se interpretaron según las características de la cobertura de interés para cada una de las imágenes adquiridas. Una vez preparadas las imágenes se procedió a crear los polígonos que representan las áreas correspondientes al cultivo de caña de azúcar.

En una combinación de bandas conocida como color natural (banda azul, verde y roja en los cañones de representación homónimos), el tejido urbano continuo se identifica fácilmente por el patrón geométrico que presenta, es decir geometrías definidas, al igual que los cultivos de caña de azúcar, sin embargo estos difieren ya que requieren grandes áreas de para la siembra y unos canales de

riego que son fácilmente identificables por tener formas regulares, rectángulos y cuadrados.⁹

En cuanto a la radiometría se obtiene valores altos para la porción del espectro electromagnético correspondiente al color verde, sin embargo son bajos para las bandas roja y azul para los cultivos maduros. Para los cultivos más jóvenes se identifica valores altos en las 3 bandas, dando tonos más claros con tendencia al blanco. Adicionalmente la textura es media, dado que los cambios de altura y la forma de las hojas no varían demasiado a diferencia de las zonas urbanizadas que poseen una textura más gruesa por los cambios de alturas entre edificaciones.



Imagen 9 Identificación cultivos de caña, según geometría, radiometría y textura.

⁹ Mapa de cobertura de la tierra Cuenca Magdalena-Cauca, IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA, 2008.

Una vez identificadas las características del cultivo de caña de azúcar se creó el polígono que representa la cobertura del área de interés con el fin de cuantificarla, obteniendo un resultado de 45.595 Has de un total de 112.300 Has que corresponde al área total del municipio en el año 1999, mientras que la en la imagen de 2014 el número de Has fue de 43.670.

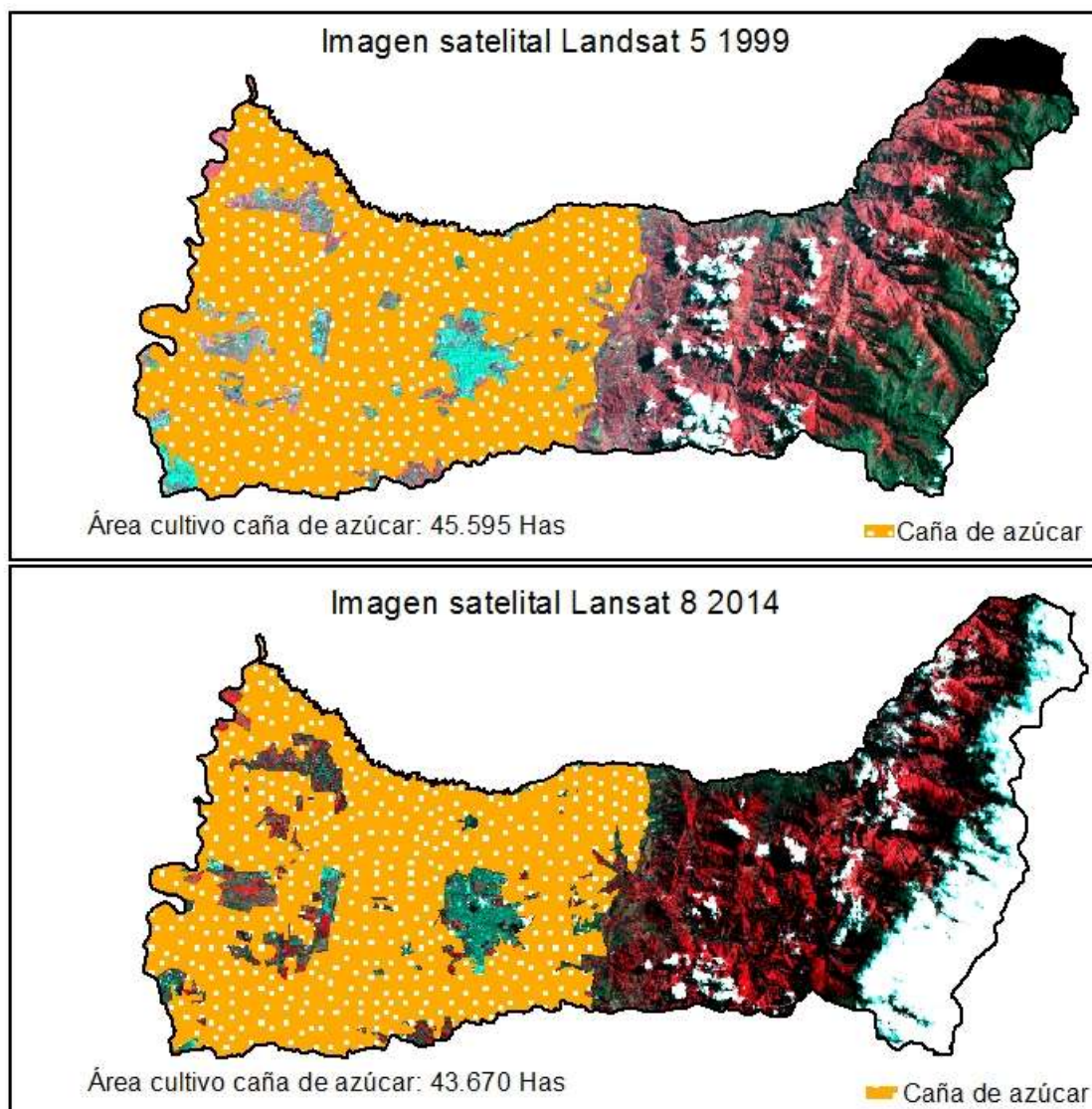


Imagen 10 Obtención cobertura cultivo de caña año 1999 y 2014.

8 RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos de la interpretación de imágenes, se cuantificó el área cuya cobertura correspondió al cultivo de caña de azúcar, intersecando las coberturas obtenidas de las diferentes imágenes y se evaluó las diferencias para tener un punto de vista diverso del desarrollo del cultivo de caña de azúcar de acuerdo a los establecido en el acuerdo 109 del año 2001 y el

acuerdo 028 de 2014 con relación a las zonas de riesgo consignadas en el POT.

Comparando las dos imágenes y los resultados encontrados en las áreas identificadas como cultivo de caña de azúcar, se obtiene que la diferencia es de 1.925 Hectáreas, es decir una disminución de 4.2% para el año 2014 del total de área con siembra de dicho cultivo.

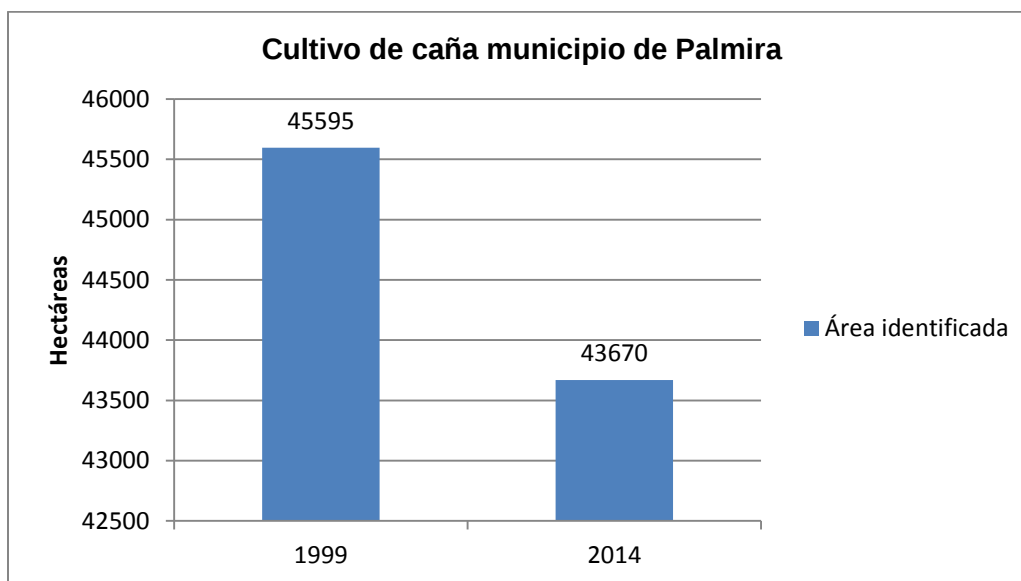


Gráfico 1 Área identificada de cultivo de caña de azúcar

También se puede apreciar la distribución espacial de las áreas, identificando específicamente donde se dieron los cambios de cobertura.

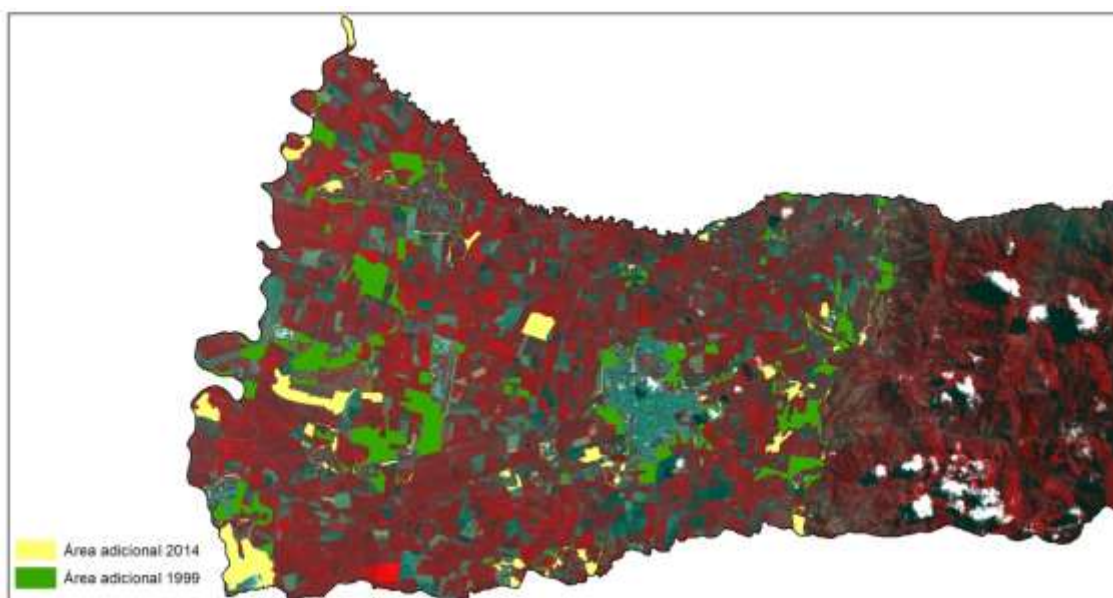


Imagen 11 Comparativo cobertura cultivo de caña años 1999-2014

Es evidente que la zona urbana del municipio ha crecido vedando estos terrenos para cualquier clase de cultivo, donde en la imagen de 1999 se encontraban cultivos de caña de azúcar y un poco de terreno cerca del río Cauca.

Esta identificación de áreas que cambiaron en el desarrollo del POT entre los años 1999 y 2014, se puede analizar simultáneamente con la información del mapa consignado en el POT acerca de los riesgos en lo que se encuentra el municipio, como se muestra a continuación.

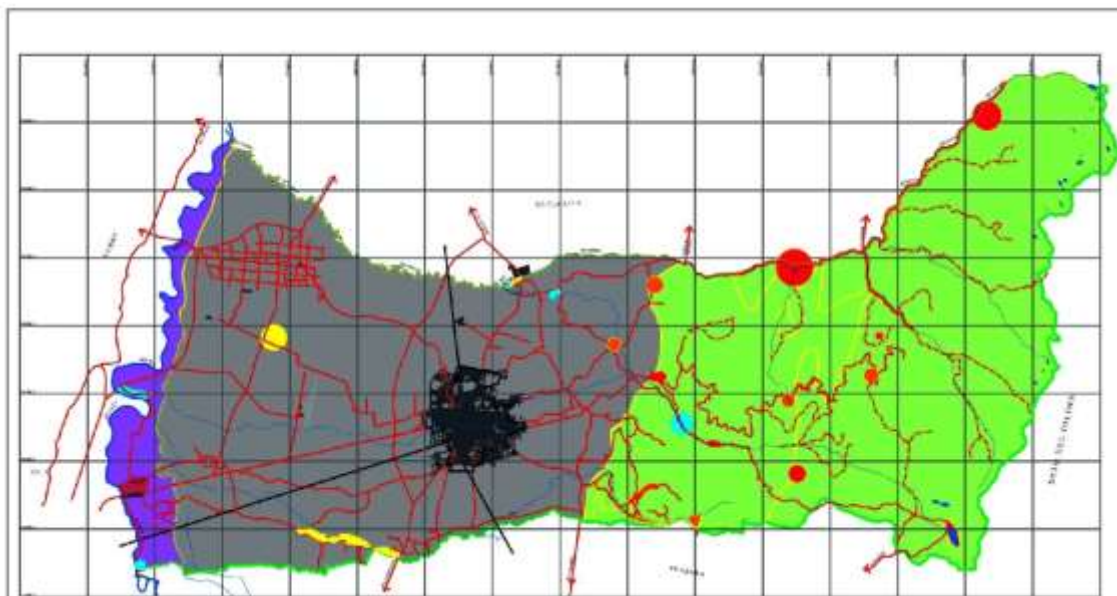


Imagen 12 Mapa de riesgos P.O.T.

RIESGO POR MOVIMIENTO DE MASA				
CONVENCION	CATEGORIA	SOPORTE	MITIGACION	SITUACION
	ALTO	- INFORMACION DEL CLE - PREVENCIÓN	NO	REUBICACION Y DECLARACION COMO SUELO DE PROTECCION
	MEDIO	- EVALUACION P.O.T. - INFORMACION DEL CLE	SI	MANEJO DE AGUAS, RECUPERACION VEGETAL, CULTIVOS ADECUADOS, VIAS CON TALUDES Y CUNETAS
	BAJO	- EVALUACION P.O.T.	SI	VIGILANCIA
	MUY BAJO	- EVALUACION P.O.T. - HISTORIA	SI	

Imagen 13 Riesgo por movimiento de masa

RIESGO POR INUNDACION				
CONVENCION	CATEGORIA	SOPORTE	MITIGACION	SITUACION
	ALTO MITIGABLE	- HISTORIA - EVALUACION P.O.T.	SI	CONSTRUCCION DIQUE PROTECTOR Y RECUPERACION ZONA MARGINAL DEL RIO
	ALTO NO MITIGABLE	- HISTORIA - INFORMACION DEL CLE Y C.V.C.	NO	REUBICACION Y DECLARACION SUELO DE PROTECCION
	MEDIO MITIGABLE	- HISTORIA - INFORMACION DEL CLE Y C.V.C.	SI	CUADRO ARTICULO 50 ACUERDO P.O.T.

Imagen 14 Riesgo por inundación POT

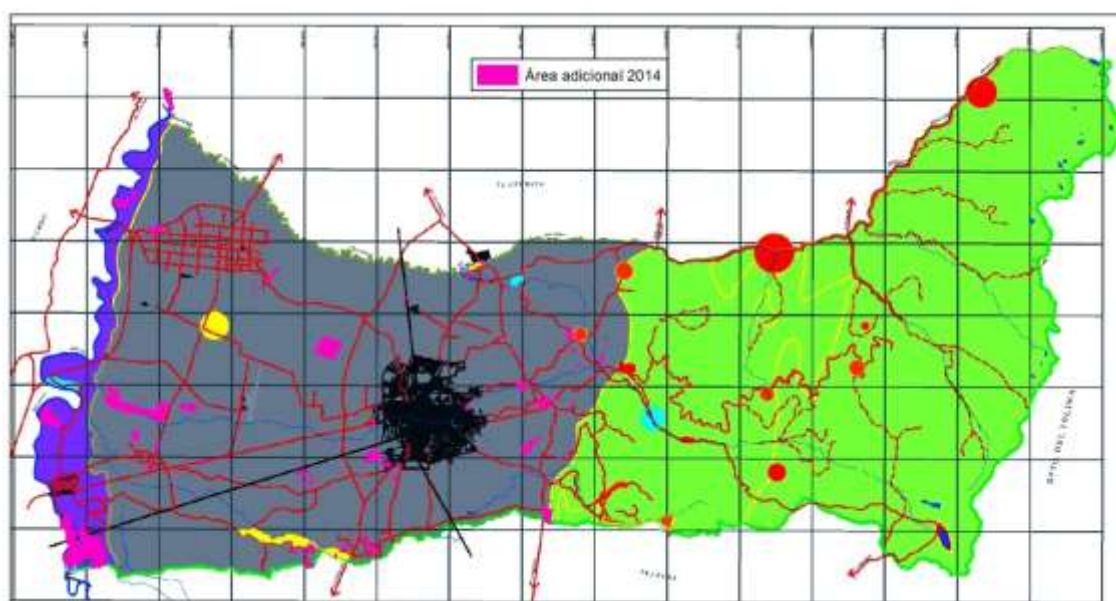


Imagen 15 Comparativo tendencia de crecimiento cobertura caña -respecto a zonas de riesgo.

Con el mapa de riesgos del municipio y los polígonos identificados como cultivo de caña de azúcar en las imágenes Landsat de 1999 y 2014, se realizó la sobre posición de información para identificar la localización de los cultivos respecto al mapa de riesgos. Con esto, fue posible identificar que los cultivos de caña de azúcar que aunque disminuyeron en un 4.2% en la imagen de 2014 con respecto a la identificación realizada en la imagen de 1999, se aprecia que aumentó el área de cultivos en zona de riesgo por inundación con calificación alta mitigable, es decir las áreas más cercanas a la ribera del río Cauca, a diferencia de las demás zonas de riesgo en donde se aprecia una disminución de área.

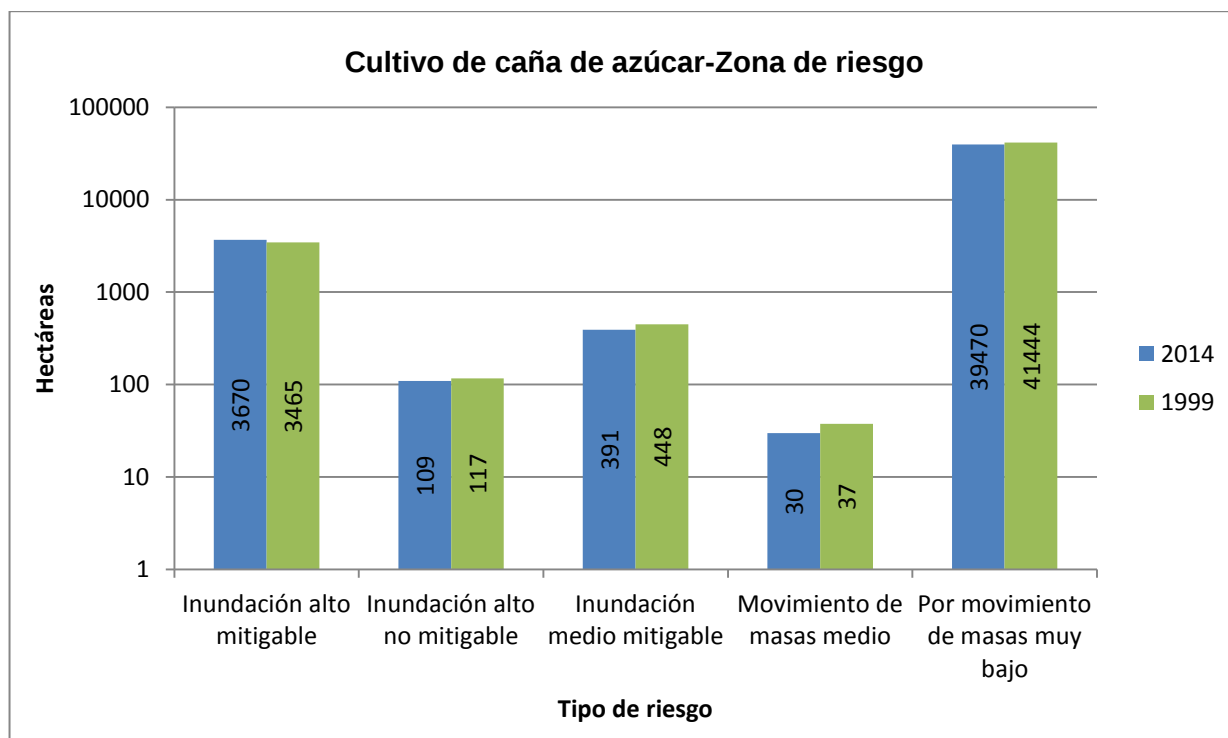


Gráfico 2 Cultivo de caña de azúcar-Zona de riesgo

También se pudo analizar las áreas de cultivo de caña de azúcar en las zonas de mayor pendiente, ya que de acuerdo a las estrategias del plan de ordenamiento territorial, se encuentra la disminución de aquellos cultivos ubicados en la zona con mayor pendiente en la falda de las montañas de la cordillera central. Para el desarrollo de esta identificación se obtuvo el modelo digital de elevación de acceso libre de Aster, y ya con este se pudo apreciar que las áreas identificadas como cultivos de caña de azúcar ubicados en alturas entre 125 y 140 metros de altura, disminuyeron con relación a la imagen de 1999.

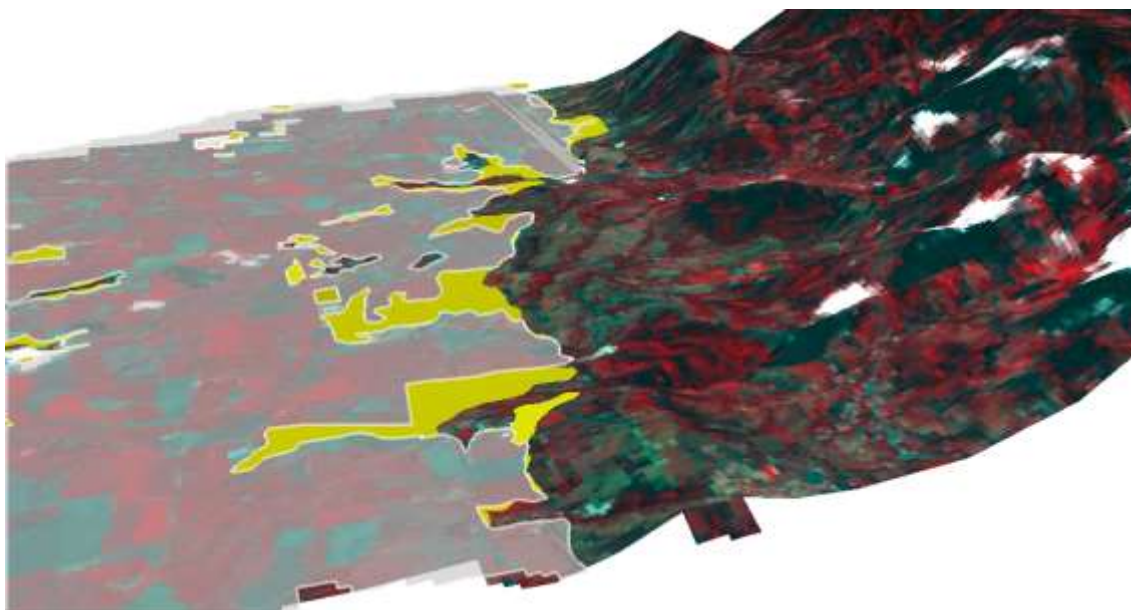


Imagen 16 Disminución de cultivos de mayor pendiente.

En la imagen 16 se presenta los cultivos identificados en la imagen de 1999 con color amarillo, la delimitación de los cultivos de caña de azúcar identificados en la imagen de 2014 en color blanco, aplicando los valores de altimetría ofrecidos por el modelo digital elevación a la imagen y polígonos identificados se puede ver de mejor manera una disminución de 103 hectáreas de los cultivos en zonas de mayor pendiente.

9 CONCLUSIONES

La interpretación del cultivo de caña de azúcar en las imágenes Landsat de 1999 y 2014, muestra una disminución en el área total de siembra de 1925 hectáreas, equivalente a un 4.2%. No obstante, a pesar que se encontró una diferencia del total de área cultivada con base en la identificación realizada en la imagen de 1999, se aprecia un crecimiento de área de siembra de dicho cultivo en las zonas más cercanas al río Cauca de 594 hectáreas, las cuales están clasificadas como zonas de riesgo alto mitigable, a diferencia de las áreas identificadas del cultivo que se encuentran en las demás clasificaciones de riesgo, ya que en este caso disminuyeron.

Se apreció una disminución de 103 hectáreas de cultivos de caña de azúcar en las zonas de mayor pendiente. A pesar que el número de hectáreas disminuidas en estas zonas es poca, se debe tener en cuenta que cada vez más de no aplicarse un correctivo las zonas de cultivo seguirán aplicándose a las laderas de montaña lo que es una contradicción a la estructura ecológica principal que busca mantener las áreas de valor natural y paisajístico y garantizar su acceso, es así como que los cultivos de caña de azúcar se alinean un poco más a los requerimientos espaciales del municipio.

La utilización de estudios Multitemporales permite identificar tendencias de crecimiento de coberturas sobre el territorio, lo que proporciona la caracterización de fenómenos que ponen en riesgo el correcto uso del suelo. Las técnicas de teledetección permiten realizar análisis de la evolución del territorio, en este caso la dinámica espacial de los cultivos de caña de azúcar que mostraron una disminución de áreas en zonas cercanas a la zona urbana y a la cordillera, mientras ganó espacio en las zonas cercanas al río Cauca. Estos datos permiten pensar en las acciones preventivas o correctivas, acerca de cómo establecer estrategias que garanticen el correcto uso de las zonas denominadas de riesgo, o cómo evitar que el crecimiento urbano se realice en suelos productivos agrícolas, así se constituyen una herramienta en la planeación y planificación territorial.

De acuerdo a la imagen Landsat de 1999 se apreció un área mayor a la identificada en la imagen de 2014, sin embargo ya que la imagen de 1999 no contiene una banda pancromática no fue posible realizar el proceso pan-sharpering para optimizar la resolución de la imagen. A su vez la radiometría proporcionada por el satélite landsat 5 es inferior a la del satélite landsat 8, sin embargo aunque el satélite landsat 8 se construyó pensando en la compatibilidad con los satélites anteriores, es evidente que la evolución tecnológica permite obtener datos mucho más fiables que minimizan cada vez más las dificultades en la interpretación.

En la interpretación de imágenes satelitales la utilización de técnicas como: pan-sharpened y representación multispectral a falso color, ajuste de contraste, delimitación específica de zona de estudio y filtros para eliminar el ruido presente en los datos originales, permite la optimización de las imágenes Landsat, evidenciando elementos que no son fácilmente reconocibles, haciendo posible la identificación de coberturas vegetales y caracterización de coberturas vegetales presentes en el territorio a escalas pequeñas y medianas. Por lo tanto la fase de pre-procesamiento es una parte muy importante, ya que sea automático o manual el proceso de clasificación, mientras mejor sea la diferencia entre elementos en la imagen mucho más precisas serán las clases encontradas.

La adquisición de datos es el paso más importante para obtener información a través del procesamiento de los mismos, una buena calidad en los datos originales permite realizar mejores análisis y producir un resultado más fiable, sin embargo los datos suelen ser muy costosos y de acuerdo a los requerimientos de elaboración se debe asignar un presupuesto para la adquisición de datos de teledetección y las correspondientes muestras en campo que minimicen los errores de interpretación. No obstante existen varias fuentes de datos satelitales de libre acceso, ya sean imágenes ópticas o de radar, así mismo software especializado en el tratamiento de datos vectoriales y ráster, por lo tanto una buena planificación puede disminuir los costos en adquisición

de datos.

10 RECOMENDACIONES

Es recomendable utilizar información de cambio de coberturas en los diversos planes de desarrollo sectoriales, pero aún más importante es la integración de información que permita tomar decisiones que traten de beneficiar a los diferentes sectores, evitando la desatención a fenómenos presentes en el suelo, que pueden desencadenar en problemas para los sectores económicos, ambientales, sociales y culturales de un territorio.

Como la adquisición de datos geográficos es un proceso costoso y que requiere especificaciones técnicas de almacenamiento, procesamiento y capacitación, las fuentes consultadas fueron datos de acceso libre, y no se contó con la oportunidad de realizar un reconocimiento en campo de las áreas identificadas. Esto conduce a que la calidad del producto final puede ser más precisa si se aplica los fondos correspondientes a la toma de imágenes periódicas (ya sea satelitales ópticas o radar, o fotografía aérea), generando intervalos más cortos de tiempo para la comparación de información, y la verificación en campo para su posterior ajuste en oficina de las áreas identificadas como caña de azúcar, contando con un personal idóneo encargado del control de los datos y del procesamiento de los mismos.

Con la información encontrada en la comparación de áreas de cultivo de caña entre los años 1999 y 2014, se aprecia que en la zona de riesgo alto mitigable por inundación se encuentran aproximadamente 590 hectáreas de cultivo de caña de azúcar. Esto sugiere que dichos cultivos deben ser reubicados para evitar cualquier incidente y cumplir con las zonas de aislamiento del río Cauca, ya que estas áreas en vez de disminuir con respecto al año 1999 han aumentado incumpliendo cada vez más con el uso principal de conservación, restauración ecológica y forestal.

Dado que la información geográfica es útil para la planificación del territorio, la implementación de una aplicación WEB-Map que permita mostrar los diferentes resultados y evaluaciones en el desarrollo del plan de ordenamiento territorial a cualquier persona que necesite consultarlos.

11 BIBLIOGRAFIA

- Diagnostico territorial revisión excepcional del plan de ordenamiento territorial del municipio de Palmira 2012.

- Revisión excepcional plan de ordenamiento territorial del municipio de Palmira, documento de seguimiento y evaluación de resultados obtenidos respecto a los objetivos planteados en el plan de ordenamiento territorial vigente 2013.
- Revisión excepcional plan de ordenamiento territorial del municipio de Palmira, documento técnico de soporte 2013.
- Plan de ordenamiento territorial documento técnico de soporte 2000.
- Fundamentos de teledetección espacial, Chuvieco Emilio.
- Metodología corine land cover-IDEAM 2010.
- Principi e metodi di telerilevamento, Brivio Pietro, Lechi Giovanni, Ziolioli Eugenio, 2006.
- Remote sensing digital image analysis, John A. Richards, Xiuping Jia, 1999.
- www.franciaenlinea.net/IMG/pdf/onfencolombiacormaglena.pdf