

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RÍO MAGDALENA EN EL MUNICIPIO DE
PLATO DEPARTAMENTO DE MAGDALENA**



AUTOR

ALBERT MAURICIO BARBOSA PIERNAGORDA

Trabajo Presentado como Proyecto de Grado Diplomado para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

Tutor:

OSWALD RENÉ SANTOS BUITRAGO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE ESTUDIOS A DISTANCIA

PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

BOGOTÁ

2021

Tabla de Contenido

Introducción.....	4
Planteamiento del problema.....	5
Justificación.....	7
Objetivo general.....	8
Marco referencial	8
Diseño metodológico.....	13
<i>Recopilación de imágenes satelitales.</i>	<i>13</i>
<i>Procesamiento de imágenes satelitales.</i>	<i>14</i>
<i>Combinación y diagramación.....</i>	<i>15</i>
<i>Calculo envolvente de divagación.</i>	<i>19</i>
Impacto.....	24
Conclusiones.....	26
Bibliografía.....	28

Listado de Ilustraciones

<i>Ilustración 1.</i>	<u>6</u>
<i>Ilustración 2.</i>	<u>7</u>
<i>Ilustración 3.</i>	<u>12</u>
<i>Ilustración 4.</i>	<u>13</u>
<i>Ilustración 5.</i>	<u>15</u>
<i>Ilustración 6.</i>	<u>16</u>
<i>Ilustración 7.</i>	<u>17</u>
<i>Ilustración 8.</i>	<u>19</u>
<i>Ilustración 9.</i>	<u>20</u>
<i>Ilustración 10.</i>	<u>21</u>
<i>Ilustración 11.</i>	<u>22</u>
<i>Ilustración 12.</i>	<u>24</u>
<i>Ilustración 13.</i>	<u>25</u>

Listado de Tablas

<i>Tabla 1.</i>	<u>10</u>
<i>Tabla 2.</i>	<u>11</u>
<i>Tabla 3.</i>	<u>14</u>

Introducción

El desarrollo de una sociedad está ligado a los sistemas de producción y la capacidad de abastecimiento, por ende a lo largo de la historia existe un patrón que se ha usado y es el asentamiento de las comunidades en la ribera de los ríos; esto se evidencia desde las primeras civilizaciones que se establecieron en la cuenca alta de los ríos Tigris y Éufrates, la civilización mesopotámica, una de las llamadas civilizaciones del creciente fértil, empezó a explotar la ventaja de estar cerca de un Río (Bandía Montalvo, 2016), situación que se presenta hasta la actualidad donde ahora se encuentran los países de Turquía, Siria e Irak y que continúan abasteciéndose de estos, aprovechando sus recursos y con marcados conflictos por la renovación y cambio climático (Pedraza Rodríguez, 2014).

Por su parte Colombia gracias a la ubicación geográfica es reconocida por su biodiversidad, su clima tropical y las cordilleras de los Andes logran hacer de este territorio algo privilegiado en términos de recursos, por esta misma línea encontramos el río Magdalena, el río más importante de Colombia no solo en términos naturales, ha tenido una gran influencia y riqueza en la historia cultural, económica y política del país, ya que a través de sus canales fluye la producción, cosechas y mercancías que abastecen gran parte del país, al igual que las grandes civilizaciones acá los pueblos aborígenes se establecieron en sus riberas y lograron progresar gracias al abastecimiento ininterrumpido de sus cauces, de hecho el cambio de cauce por razones naturales ha logrado que poblaciones que antes gozaban de su cercanía ahora parezca que retroceden y quedan en el olvido afectando significativamente la economía, como lo es el caso de Mompox en el departamento de Bolívar, que a mitad del siglo pasado sufrió un cambio definitivo para sus pobladores. A la altura del Banco Magdalena el río se dividía en dos brazos, el brazo de Loba y el Brazo de Mompox, sin embargo los procesos naturales gracias a las precipitaciones y la sedimentación, hicieron que el flujo cambiara hacia el brazo de Loba, alejándolo de Mompox y dándole la oportunidad de desarrollo a la población de Magangué. (Barríos Amórtegui, 2013).

Cambios como el que considero en el párrafo anterior hacen que sea necesario conocer cómo es la dinámica fluvial del río Magdalena, que no solo ha cambiado por eventos naturales, también por intervenciones antrópicas importantes que tienen diferentes objetivos, proteger las poblaciones de las inundaciones o aprovechar mejor la economía cambiando las rutas, así pues el análisis de este tipo de eventos al pasar el tiempo es importante para comprender el

comportamiento y posibles cambios que puedan venir, para de esta manera aprovecharlo y anticiparse a situaciones catastróficas.

Para llevar a cabo este estudio de la dinámica fluvial de un cuerpo de agua se utilizan diferentes métodos, en esta ocasión se aprovecha el uso de la tecnología y software específicos que permiten llegar a grandes resultados con imágenes satelitales. Los resultados de estos estudios son ricos en información que se puede implementar en diversas áreas de la ingeniería, hidrología, geomorfología, geotecnia, suelos, ambientales entre otras.

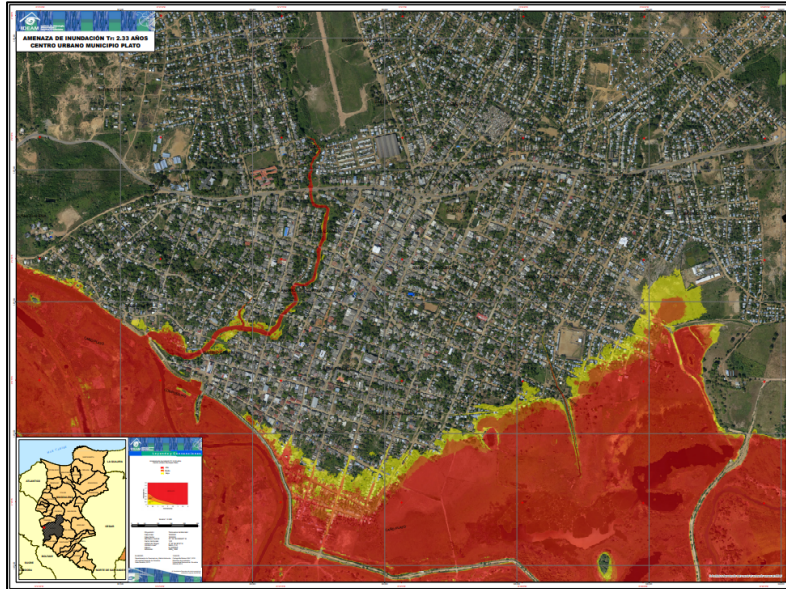
En esta ocasión se realizó un análisis multitemporal del río Magdalena en el municipio de Plato en el Departamento del Magdalena con el fin de determinar la envolvente de divagación entre los años 2000 y 2021. Históricamente el Plato Magdalena se ha beneficiado de la cercanía con el río, pero a su vez el cambio del nivel de la lámina de agua ha ocasionado inundaciones y crecientes que afectan el desarrollo de la población.

Planteamiento del Problema

Durante la temporada invernal del año 2010 el municipio del Plato Magdalena se vio afectado, el fenómeno de la niña causó grandes daños a la población impactando directamente su calidad de vida y provocando emergencias a nivel departamental y nacional en términos ambientales, sanitarios y económicos. El fenómeno de la niña se da cuando las aguas del pacífico se enfrían por debajo de lo normal, ocasionando vientos fuertes sobre las regiones Caribe y Andina en nuestro país; como consecuencia las precipitaciones aumentan y claro, por efectos del ciclo hidrológico los niveles de agua se elevan por encima de lo normal y los desastres están a la deriva de todos. El nivel del agua del río subió y se rebosó por encima del muro de contención antes de ingresar al municipio, más adelante dicho muro colapso y en cuestión de minutos la mitad del pueblo estaba inundada; dejando como consecuencia al menos 32.000 damnificados (Coley, 2010).

Ilustración 1.

Amenaza de Inundación, tomado de IDEAM.



En la ilustración 1 se observa la amenaza de inundación del municipio calculada en el año 2013 basada en la cartografía del IGAC para el año 2010 con un tiempo de retorno de 2.33 años por el IDEAM, el color rojo representa una amenaza alta; se evidencia que gran parte del municipio se puede ver afectada en caso de una inundación (IDEAM - Instituto de Hidrología, 2014).

Para el año 2020 según el Ministerio de Transporte la inversión en protección de las márgenes en el río Magdalena fue alrededor de \$78.000 millones, específicamente en el municipio del Plato se adelantan obras encaminadas a la protección y canalización del arroyo Carito, que sale del río Magdalena e ingresa en la cabecera municipal (Ministerio de Transporte, 2020).

Ilustración 2.

Localización, construcción propia.



El municipio de Plato, está localizado al sur del departamento de Magdalena sobre la margen derecha del río Magdalena, en las coordenadas geográficas $9^{\circ}47'33''N$ $74^{\circ}46'57''O$; tiene una extensión de 1500,04 Km² y cuenta con 56.894 habitantes según la ficha técnica del DNP para 2014 (Departamento Nacional de Planeación, 2014), su cabecera municipal está a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar y su temperatura predominante es de 28°C, el río atraviesa el municipio por una longitud de 49 kilómetros, el presente trabajo se enfoca en la zona más cercana a la cabecera municipal, pues es la zona más representativa y que se ha visto afectada por inundaciones como se presentó en el año 2010 .

Justificación

La determinación de obras de protección para las márgenes de los pueblos ribereños está basada en estudios específicos del comportamiento y la tendencia que muestra la zona, este tipo de obras en el caso del Plato se han venido adelantando con el objetivo de mitigar los posibles eventos, si bien es cierto que no se puede determinar con exactitud la magnitud de una inundación por ejemplo, se pueden estimar valores tomando como referencia los antecedentes y comportamientos que se han dado.

A través del análisis de imágenes satelitales se pueden definir los márgenes que ha presentado un río en diferentes épocas evidenciando el cambio en la dinámica de éste. Esto permite determinar líneas de envolventes de divagación que sirven como base para la planificación y prevención de los eventos que llegan con cada temporada de lluvia.

Objetivo General

Calcular la envolvente de divagación para el río Magdalena en el municipio de Plato departamento de Magdalena mediante un análisis multitemporal.

Marco Referencial

La base fundamental de este documento es la obtención de imágenes satelitales, para lo cual se presenta una explicación de lo que significa y procesos utilizados.

Una imagen satelital es una fotografía de la tierra que se toma desde el espacio a través de un satélite artificial, el cual tiene un sensor especial que detecta la radiación electromagnética que emiten o reflejan los objetos, este proceso es conocido como teledetección. En el estudio de la geografía usando imágenes satelitales por medio de sensores se pueden usar diferentes metodologías, sistemas de fotografía, sistemas de radar o sistemas de sonar. Este tipo de tecnología presenta grandes ventajas en el momento de realizar análisis, ya que tienen una cobertura global debido a la órbita sobre la tierra, este hecho permite mantener una periodicidad, garantizando que los satélites pasen por un mismo lugar en diferentes épocas, así pues si en un determinado momento hay presencia de nubes al siguiente paso probablemente no, y como se puede inferir capta imágenes que evidencian cambios en la superficie terrestre.

Para conseguir el objetivo de este documento se usaron imágenes detectadas con sensores pasivos que detectan energía producida por emisores externos es decir cualquier tipo de objeto a que está dirigido el sensor, los datos que recolecta son vibraciones, ondas electromagnéticas, calor y todo tipo de fenómeno que presente la superficie terrestre y pueda ser utilizado para tal fin. (EARTHDATA, 2021).

Las imágenes fueron descargadas de una de las instituciones que permite la obtención de imágenes de forma gratuita, el USGS (United States Geological Survey), el tipo de imágenes se obtuvieron de la misión Landsat, es el mayor programa de adquisición de imágenes satelitales

que empezó a orbitar con el primer satélite en 1972 a cargo de la NASA (National Aeronautics and Space Administration) y USGS (United States Geological Survey). Esta misión ha continuado trabajando de forma ininterrumpida, de hecho se han venido lanzando más misiones de este tipo iniciando con Landsat 1 y hasta la fecha van en la misión Landsat 8 que permite descargar imágenes a partir del 2013, para septiembre de este año está programado lanzar la misión Landsat 9, cada una de estas misiones presenta satélites con mejoras y adiciones, permitiendo obtener imágenes para diferentes objetivos. (USGS, 2021).

El tipo de imágenes que se obtiene del satélite Landsat son imágenes en películas sensibles a las longitudes de onda del espectro visible, es decir el espectro que el ojo humano es capaz de ver, a este espectro se le conoce como RGB (Red, Green, Blue); sin embargo estas imágenes son multispectrales, es decir captan más espectros visibles de la misma escena a diferentes longitudes de onda electromagnética; a cada una de estas se le conoce como banda.

Así pues se pueden combinar y obtener diferentes tipos de imágenes, por ejemplo imágenes pancromáticas que son imágenes solamente en blanco y negro, o ultravioleta que tiene un filtro que absorbe la energía visible. En total las imágenes multispectrales pueden cubrir desde el espectro de luz ultravioleta, el espectro de luz visible hasta el infrarrojo cercano, lejano y térmico; la combinación y uso de cada una de estas bandas es conocido como falso color (NASA, 2021).

Las imágenes Landsat constan de 11 bandas con una resolución espectral de 30 metros, en la tabla 1 se observa cada una de las bandas, la longitud de onda y la resolución.

Tabla 1.

Bandas Landsat, tomado de Landsat Science.

Bandas	Longitudes de onda (micrómetros)	Resolución (metros)
Banda 1 Aerosol costero	0.43 – 0.45	30
Banda 2 – (B) Azul	0.45 – 0.51	30
Banda 3 – (G) Verde	0.53 – 0.59	30
Banda 4 – (R) Rojo	0.64 – 0.67	30
Banda 5 – (NIR) Infrarrojo cercano	0.85 – 0.88	30
Banda 6 – (SWIR 1) Infrarrojo (IR) de onda corta	1.57 – 1.65	30
Banda 7 – (SWIR 2) Infrarrojo (IR) de onda corta	2.11 – 2.29	30
Banda 8 – Pancromática	0.50 – 0.68	15
Banda 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
Banda 10 – (TIRS 1) Infrarrojo térmico	10.60 – 11.19	100 * (30)
Banda 11 – (TIRS 2) Infrarrojo térmico	11.50 – 12.51	100* (30)

La combinación de estas bandas al componer las imágenes permite identificar diferentes longitudes de onda y se usa para interpretar y clasificar las características que presenta la superficie terrestre.

Tabla 2.

Uso y Combinación de bandas, tomado de ArcGIS Blog

Uso	Combinación
Color Natural	4 3 2
Falso Color (urbano)	7 6 4
Color Infrarrojo (vegetación)	5 4 3
Agricultura	6 5 2
Penetración Atmosférica	7 6 5
Vegetación Saludable	5 6 2
Agua/Suelo	5 6 4
Natural con Remoción Atmosférica	7 5 3
Infrarrojo Corto	7 5 4
Análisis de Vegetación	6 5 4

Para el área de estudio correspondiente al Plato Magdalena se presentan algunas combinaciones obtenidas luego de componer la imagen, en este caso para la imagen obtenida con fecha de toma 22-07-2021.

La combinación de banda 4, 3, 2 muestra el espectro visible de color real; como se ve en la tabla 1, la banda 5 que corresponde al infrarrojo cercano, se utiliza generalmente para la ecología, pues permite evidenciar las plantas saludables, debido a que el agua presente en sus hojas dispersa las longitudes de onda hacia el cielo, en este caso se usa la combinación 5, 4, 3. La banda 7, infrarrojo de onda corta tiene un uso importante en la geomorfología, ya que permite distinguir el suelo seco del suelo húmedo. Dando una tonalidad a las rocas 7, 5, 3. (NASA, 2021).

Ilustración 3.

Uso de Bandas, construcción propia.

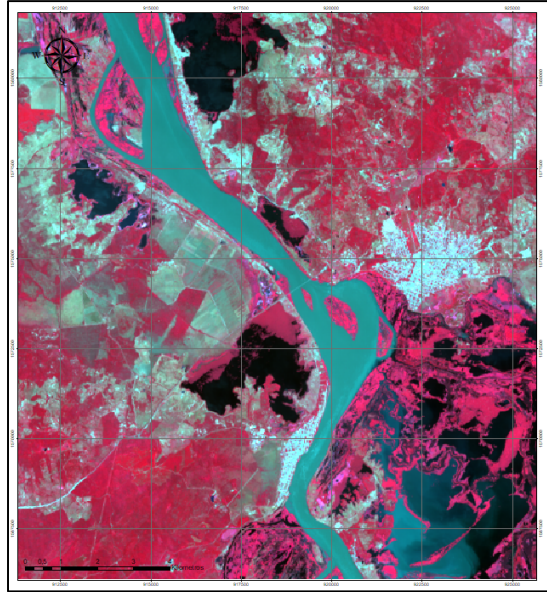
Combinación 4-3-2

Color Natural



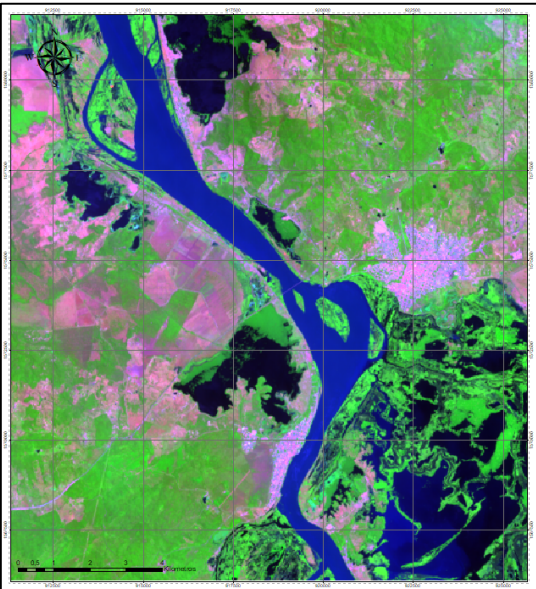
Combinación 5-4-3

Color Infrarrojo (vegetación)



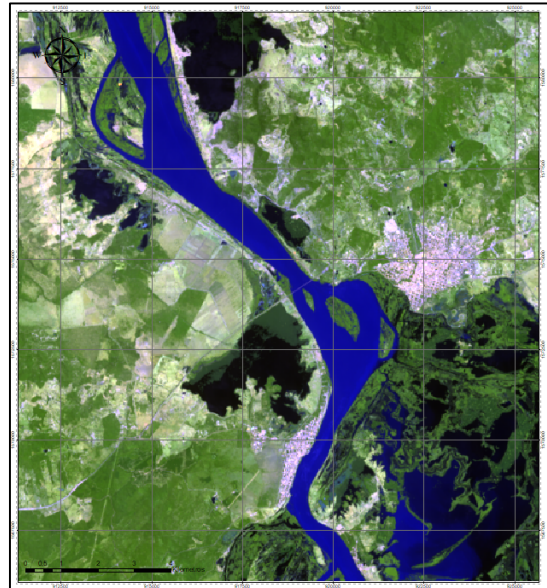
Combinación 7-5-3

Natural con Remoción Atmosférica



Combinación 7-6-4

Falso Color (urbano)



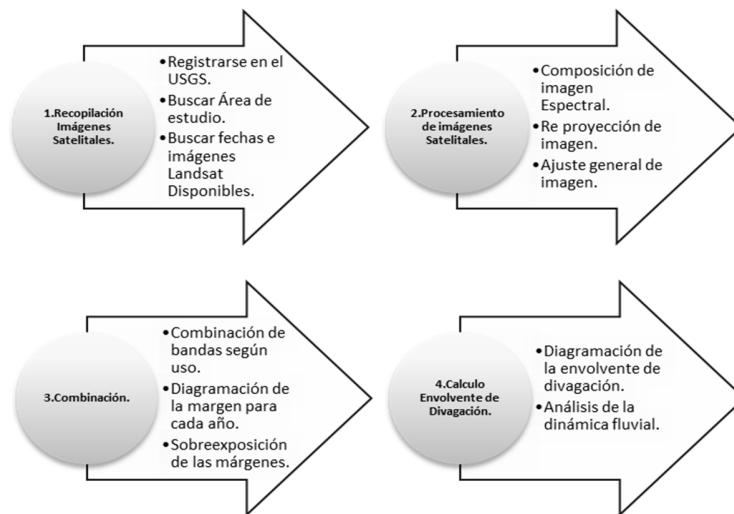
Con esta tecnología que ilustra la tabla 2 es posible identificar características especiales que presenta la cobertura de la tierra, útil en muchas ciencias de la ingeniería, es así como a través de este tipo de imágenes se realizó un análisis que permite calcular la envolvente de divagación para definir líneas que servirán como límites máximos para intervención o construcciones con el fin de evitar inundaciones o asentamientos en zonas no permitidas.

Diseño Metodológico

El proceso de análisis multitemporal de un cauce busca establecer la divagación de la corriente durante diferentes épocas, para esto es necesario obtener información y procesarla, lo cual se describe en el siguiente diagrama de flujo.

Ilustración 4.

Diagrama de Flujo, Construcción propia.



Recopilación de imágenes satelitales.

Inicialmente se realiza el respectivo registro en las instituciones mencionadas anteriormente como el USGS (Unites States Geological Survey), el cual cuenta con una plataforma bastante amplia con diferentes tipos de sensores, tanto pasivos como activos; para el

objetivo de este documento se elige el sensor de la misión Landsat, para el período que se pretende estudiar, entre el año 2000 y año 2021 es necesario el uso de 4 misiones, Landsat 5, Landsat 7 y Landsat 8, filtrando tipo de imágenes con una nubosidad no mayor al 10% lo cual permite obtener una mejor resolución de imagen, y con menos interrupciones de visibilidad. Una vez detectada el área y seleccionadas las imágenes se descargan las siguientes que son de uso libre.

Tabla 3.

Imágenes Descargadas, construcción propia.

Misión	Fecha	Nombre
Landsat 7	2000-11-25	LE07_L1TP_009053_20001125_20170209_01_T1
Landsat 5	2008-06-16	LT05_L1TP_009053_20080616_20161031_01_T1
Landsat 8	2014-02-09	LC08_L1TP_009053_20140209_20170426_01_T1
Landsat 8	2021-07-22	LC08_L1TP_009053_20210722_20210729_01_T1

Son imágenes con un intervalo de tiempo suficiente para obtener un resultado que permita identificar un cambio en la dinámica de las márgenes, es importante resaltar que se procuró tomar imágenes antes y después de las inundaciones ocurridas en la zona en el año 2010, por lo tanto el resultado de análisis entre la imagen de 2008 y 2014 será bastante productivo para un análisis de dinámica.

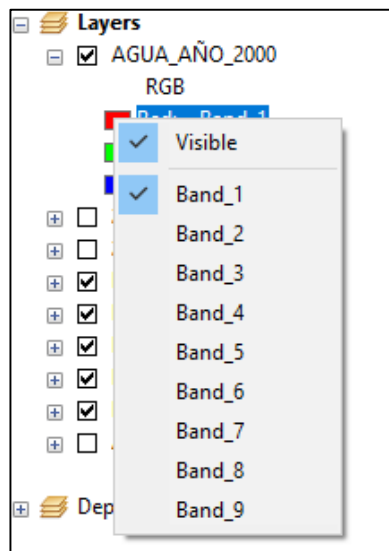
Procesamiento de Imágenes Satelitales.

El procesamiento para este tipo de imágenes se realiza en software especiales en sistemas de información geográfica, para este caso y como aplicación del diplomado se procesan las imágenes en el software ArcGIS 10.7, el cual fue suministrado para cursar el diplomado, al tener cada una de las imágenes es necesario realizar una composición, como se ha venido mencionando en el desarrollo del documento cada imagen satelital está compuesta por varios

espectros o bandas que identifican características especiales, la composición de la imagen permite unir en una sola imagen tipo raster todas las bandas que la componen, así pues quedan solo 3 bandas del espectro visible RGB y en cada una de ellas se puede llegar a realizar la combinación deseada; finalmente se debe realizar una re proyección para ubicar el posicionamiento original de cada imagen y así poder sobreponerlas, esto permite adicionalmente complementar con información que se puede obtener del IGAC y puede aportar al análisis de la envolvente de divagación.

Ilustración 5.

Selección de Bandas, construcción propia.



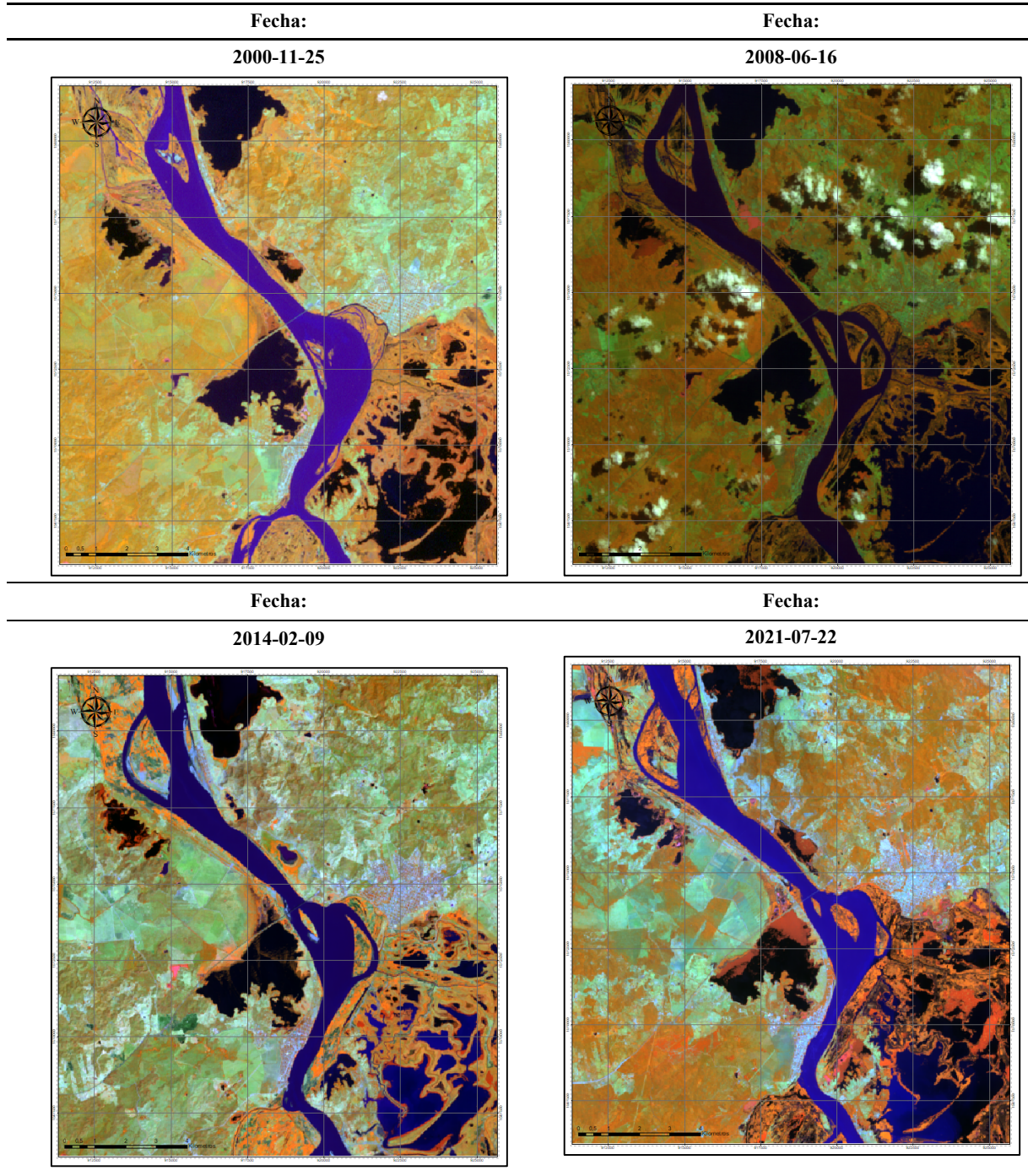
La ilustración 5 muestra la composición final de bandas para la imagen multispectral año 2000, finalmente se obtuvieron 9 bandas.

Combinación y diagramación.

Se le aplicó la combinación según uso de la tabla 2 que permite diferenciar suelo y agua, 5, 6, 4 de esta forma el resultado obtenido de la combinación para cada imagen es:

Ilustración 6.

Imágenes combinación suelo/agua, Construcción propia.

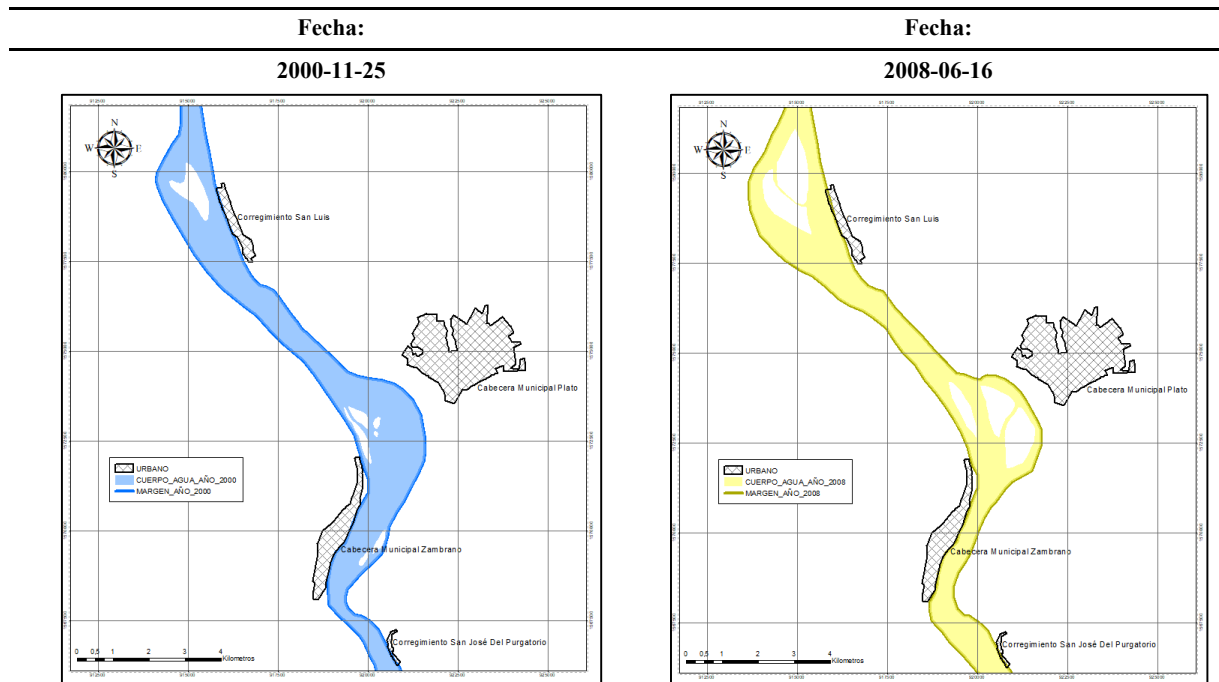


En esta combinación se puede observar de forma muy clara la diferencia entre cuerpos de agua y el suelo, los cuerpos de agua se ven con un color azul intenso, denota un contraste tan específico que diferencia el agua del cauce del río y las ciénagas que son parte de la cuenca y su comportamiento es intermitente, presentando flujo y agua en temporadas de lluvias, la diferencia de color radica en el tipo de agua, los cuerpos de agua con propiedades más limpias reflejan las ondas más rápidamente, por eso se denotan de forma más oscura en este caso las ciénagas.

La diagramación de cada una de las márgenes permite tener una vectorización de éstas, con el fin de sobreponer la imagen de cada uno de los años, para obtener un resultado correcto, teniendo en cuenta la escala trabajada se debe ir avanzando el desarrollo del río y trazar la parte de la margen más notoria que es muy visible esta corresponde al cauce mayor de cada año, dejando a la vista las islas, así pues la diagramación para cada año puede observarse en la ilustración 7.

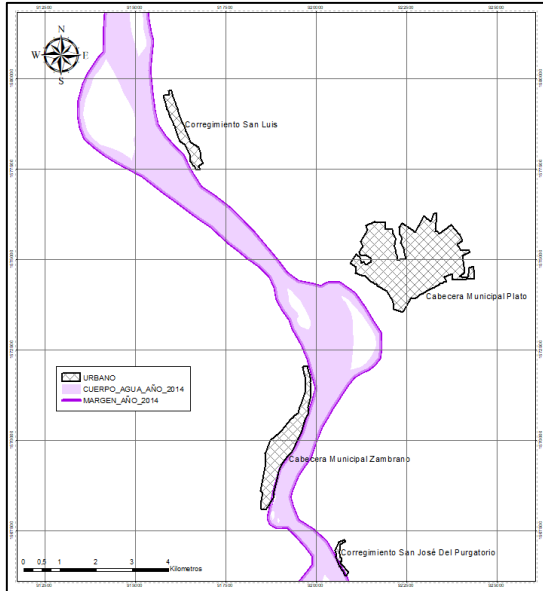
Ilustración 7.

Diagramación de márgenes, construcción propia.



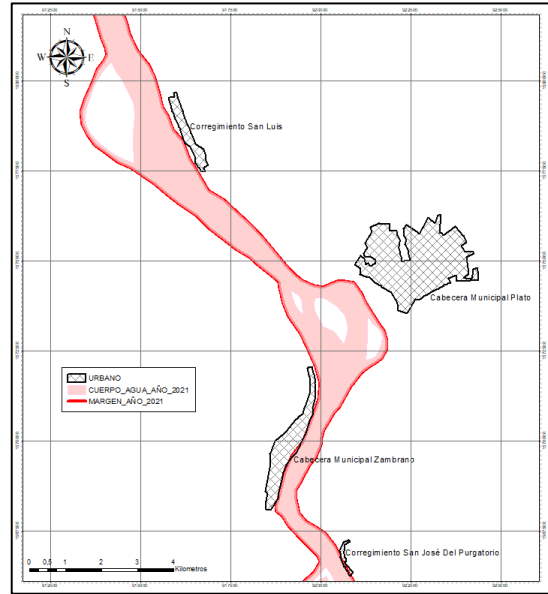
Fecha:

2014-02-09



Fecha:

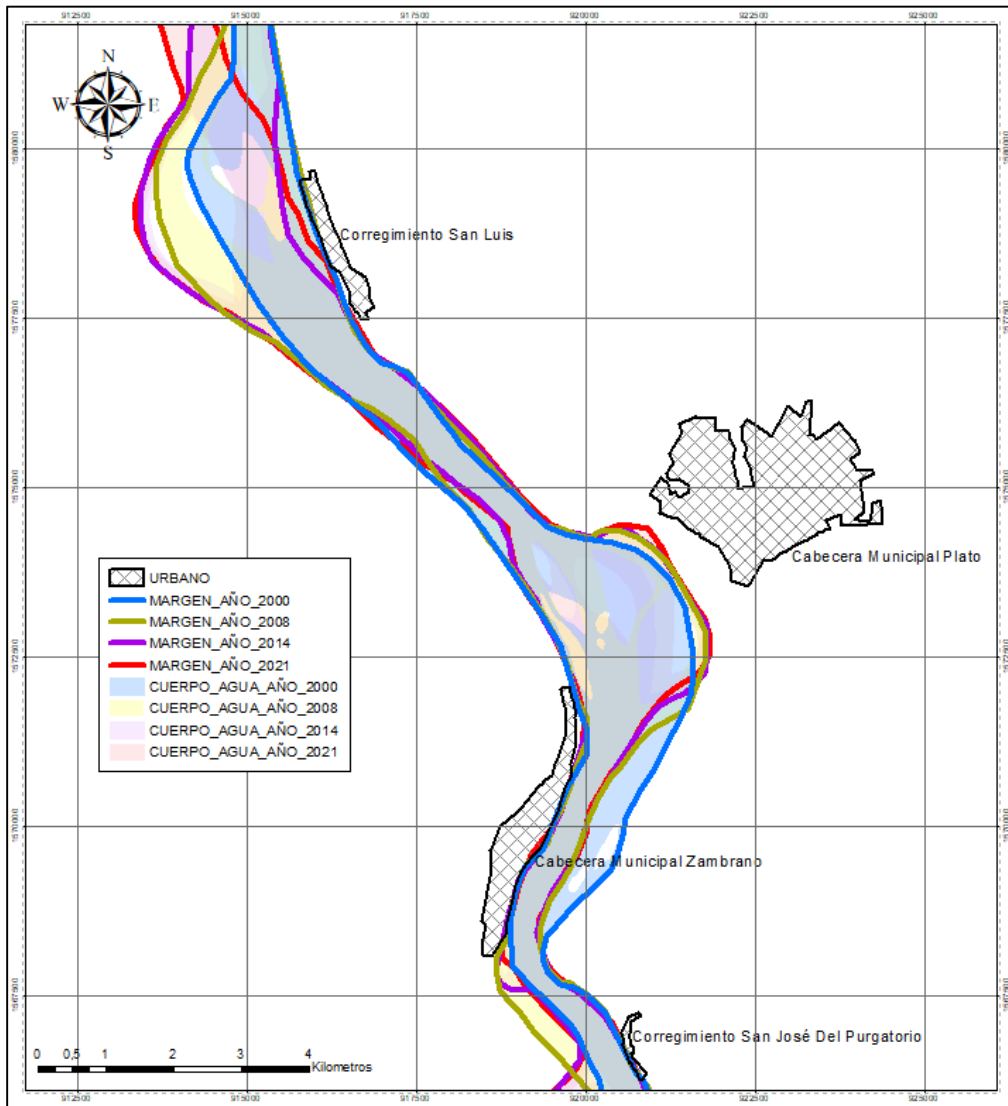
2021-07-22



La sobreexposición de cada una de las márgenes muestra a grandes rasgos los cambios que ha presentado el río Magdalena en términos del cauce mayor a la altura del municipio de Plato, cada color corresponde a un año, como se aprecia en la ilustración 8.

Ilustración 8.

Sobreexposición de márgenes, construcción propia.



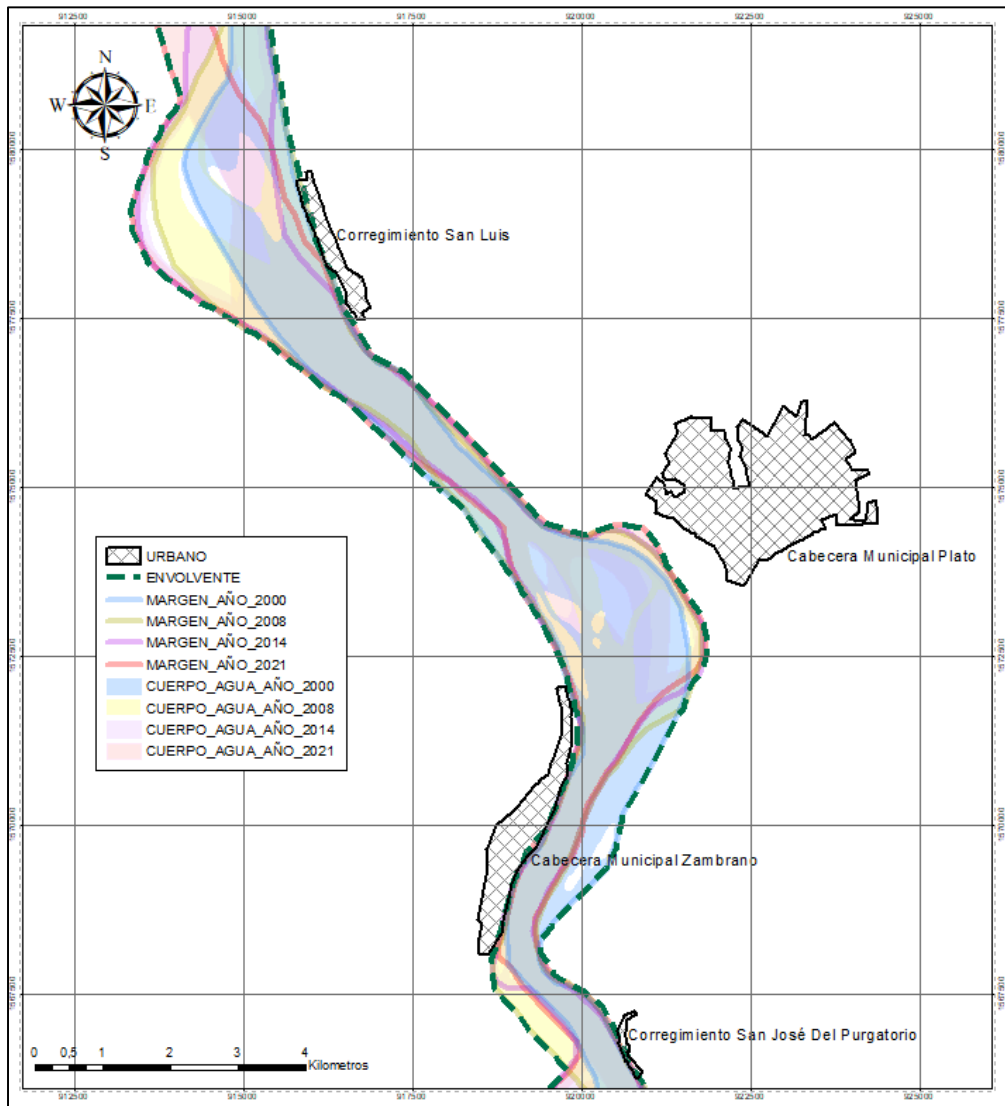
Calculo envolvente de divagación.

Con las líneas de las márgenes correspondientes a cada año se diagrama la envolvente de divagación, para obtener este resultado, se sobreponen los diferentes cauces correspondientes a cada época. La envolvente de divagación es el límite físico de la ronda del río, es la zona que representa la mayor extensión alcanzada por el río a lo ancho en el período de estudio, para llegar

a trazar esta línea es necesario tener las márgenes de cada uno de los años y se van recorriendo todas estas, garantizando que la envolvente siempre esté por fuera de todas, tanto en la margen derecha como en la margen izquierda, este tipo de análisis es muy usado para marcar límites máximos ya sea en términos hídricos o movimientos en masa, identificando los niveles que se han alcanzado al paso del tiempo como se ve en la ilustración 9.

Ilustración 9.

Diagramación envolvente de divagación, construcción propia.

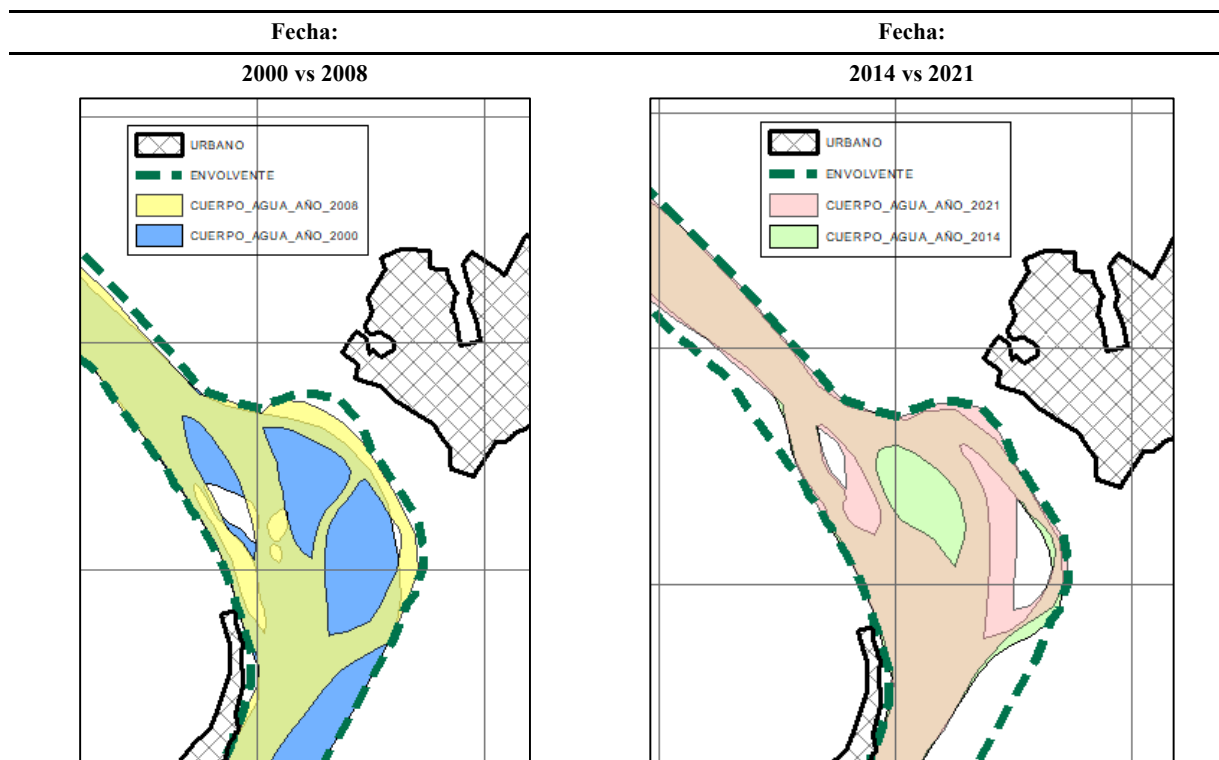


Resultados

El Plato Magdalena, se localiza en una zona que tiene como propiedad una morfología trezada que se caracteriza por tener predominantemente una red de cauces, con un canal principal acompañado de canales secundarios separados por islas o bancos de arena temporales, por lo tanto el río Magdalena en esta ubicación tiene un comportamiento propio de cauces de piedemonte, generando variabilidad temporal de la sección transversal de flujo, como se ve en la ilustración 9, este comportamiento mantiene un movimiento que crea algunas islas gracias al proceso de depositación, y en las márgenes se evidencian fenómenos de socavación, gracias a estos cambios se produce inestabilidad de orillas del cauce. (José García & Puigdefabregas, 2013).

Ilustración 10.

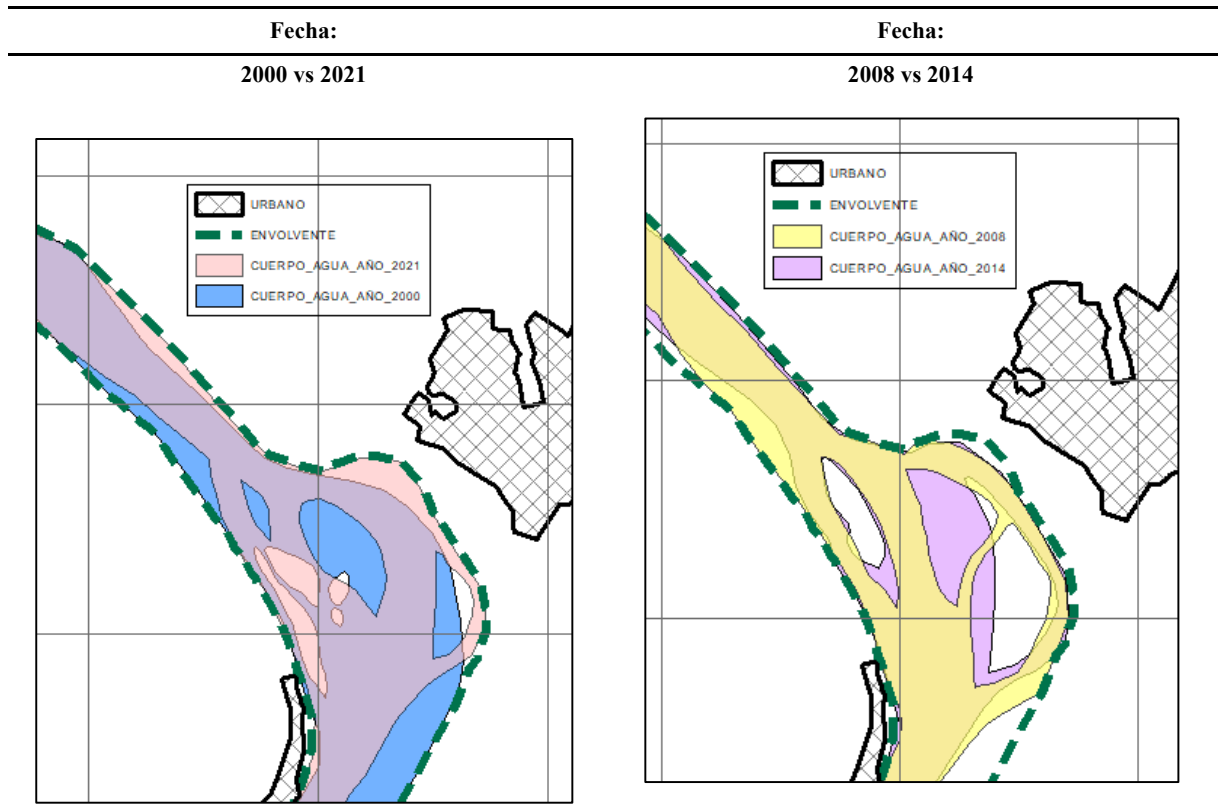
Análisis y comparación de imágenes, construcción propia.



En la ilustración 10 se realiza el análisis de los fenómenos de depositación y socavación en las épocas 2000 comparada con 2008 y 2014 comparado con 2021, en los cuales se ve como la formación de islas varía a medida que cambia la dinámica del río, presentando cambios en el comportamiento de socavación que afecta la margen derecha correspondiente al municipio de Plato.

Ilustración 11.

Análisis y comparación de imágenes, construcción propia.



En la ilustración 11 se compara la imagen más antigua, año 2000 vs la más reciente año 2021, evidenciando un cambio sustancial en el transcurso de 21 años, que representa un río típico con meandros; por otro lado se resalta que, en la comparación de la imagen año 2008 con la imagen 2014, temporada antes y después de las inundaciones de 2010, se aprecia como en esos pocos años el río cambió de forma agresiva, provocando un brazo de socavación que se acerca al

municipio y marcando fuertemente la creación de islas con mayor área que pueden promover la formación de brazos o cambios de cauce.

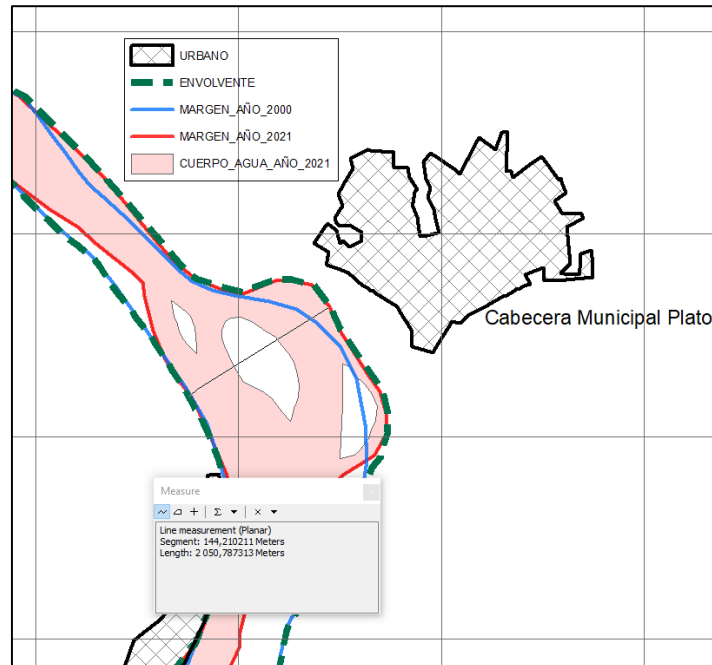
Por lo tanto debido al comportamiento inestable de la sección transversal de flujo se esperan fenómenos locales de socavación, principalmente por generación localizada de curvas típicas en este río.

Las condiciones que promueven la formación de ríos trezados son: un suministro abundante de sedimentos, en el que se incluyen los sedimentos generados por poblaciones aguas arriba, tal caso el Plato; un elevado gradiente de corriente al ser un cauce de piedemonte; variaciones rápidas y frecuentes en la descarga de agua, presumiblemente debido al régimen de precipitaciones y a las condiciones geomorfológicas locales que incluyen orillas susceptibles a la erosión, que se forman a partir de la acumulación de sedimentos previamente erosionados y depositados por la acción del cauce del Río Magdalena y en la margen izquierda por una zona de acumulación.

En la zona más cercana al casco urbano del municipio y teniendo en cuenta las márgenes estudiadas se estimó una divagación máxima transversal de 2050 metros, siendo el año 2021 época en la cual el cuerpo de agua alcanzó su mayor ancho, en contraste con el año 2000 cuyo ancho se calculó en 1860 metros, es una tendencia de ampliación del cauce predominante en la margen derecha como se ve en la ilustración 12.

Ilustración 12.

Ancho de la envolvente, Análisis y comparación de imágenes, construcción propia.



En términos de intervenciones antrópicas, se han presentado a lo largo del tiempo diques de protección, que han servido para evitar que las fuertes crecientes sobrepasen las cotas máximas que se tienen establecidas, sin embargo con los fenómenos naturales es imposible tener un dato preciso en este caso una lámina exacta de inundación, lo que se hace en estudios hidrológicos y batimétricos es establecer una cota con un período de retorno a un tiempo establecido, como se mostró en la ilustración 1, de esta forma y teniendo en cuenta factores de seguridad se realizan las obras, que ayudan también a estabilizar el cauce y a reducir la tendencia de ampliación del ancho de divagación.

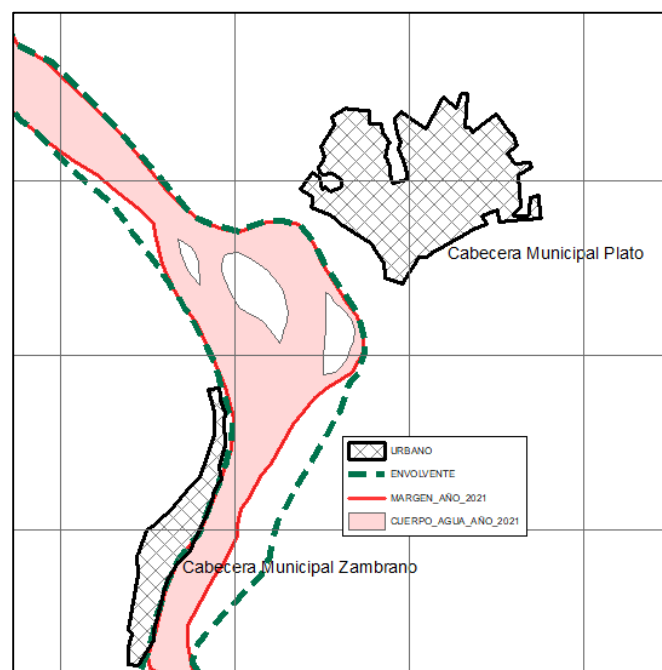
Impacto

Los resultados aquí presentados sirven para establecer límites en la ronda del río, que permitan proyectar las intervenciones que se pretendan realizar en todos los ámbitos del municipio relacionados con el cauce del río Magdalena, como lo es por ejemplo una revisión de los usos de suelo que están establecidos en el POT adoptado el 3 de septiembre de 2002 según el acuerdo No.09 de 2002 (Concejo Municipal Plato, 2002), por ejemplo en zonas que hace años

eran parte de las márgenes del río y han cambiado por los fenómenos naturales, presentan una gran tendencia a inundaciones en épocas de lluvias, por lo tanto se deben mantener como margen activa o zona posible de inundación sin ningún tipo de uso o aprovechamiento, como se puede evidenciar en la ilustración 13.

Ilustración 13.

Zonas sin actividad, Análisis y comparación de imágenes, construcción propia.



Se muestra la margen correspondiente al año 2021 y la envolvente, en la zona sur del municipio se ve una zona que la margen no abarca, sin embargo la envolvente se extiende en mayor área debido a que en años anteriores esta zona hacía parte del flujo natural del río; por lo tanto esta zona es susceptible a inundaciones por elevación de la lámina del río y no debe ser usada para ninguna actividad.

Por otro lado la envolvente de divagación permite establecer una línea guía de localización para obras de contención que eviten la socavación que se viene presentando en la

margen derecha, pueden usarse diques de contención, hexápodos que son de uso específico para control de socavación y así mantener la margen.

Es importante resaltar que las condiciones naturales mencionadas y características del río en este sector como lo es el río meándrico, hacen que todo tipo de obra proyectada y realizada sea temporal y localizada, es decir las condiciones de velocidad del río y fenómenos como la socavación en las márgenes deterioran la estructura, por lo tanto es necesario mantener monitores periódicos y específicos encaminados a verificar las condiciones de estabilidad de las obras, garantizando su durabilidad, ejemplo de ello es la socavación lateral observada sobre la margen derecha a la altura del municipio.

La envolvente puede ser usada de forma referencial para la creación de un plan de manejo ambiental que permita proteger el río y las especies que en éste existen y sirven como fuente de economía para la población, ya que se pueden estudiar los cambios de ancho de la margen, igualmente la combinación de banda usada para la visualización de las imágenes que diferencian suelo y agua, muestran también características como la profundidad de agua, esto debido a que el agua profunda muestra un tono más oscuro ya que refleja las ondas rápidamente a diferencia de las ondas producidas por las aguas poco profundas, así se pueden notar los cambios en sus niveles (NASA, 2021).

Conclusiones

El presente documento muestra el análisis multitemporal realizado sobre el río Magdalena a la altura del municipio de Plato en el departamento del Magdalena, se analizaron 4 imágenes en diferentes épocas año 2000, año 2008, año 2014 y año 2021 obteniendo como resultado una envolvente de divagación que permite llegar a conclusiones específicas como el cambio en la margen presentado en el transcurso del tiempo, evidencia de zonas de depositación con formación de islas que van cambiando de posición según la velocidad y flujo del río, así mismo se evidencian las zonas con mayor presencia de socavación lateral afectando directamente la margen derecha justo en frente del municipio, lo cual ratifica las obras de contención que allí se han realizado, por el contrario en la margen izquierda se aprecia una estabilidad lateral y poco cambio en la dimensión transversal con posibles zonas de depositación.

Estos cambios en la dinámica de las márgenes tienen un origen en la formación de curva que presenta el curso del río justo antes del municipio.

Otro resultado del comportamiento del río es la formación de brazos que se han consolidado con el tiempo, y se han convertido en suministros de agua para los residentes del municipio, tanto así que se proyectan obras encaminadas a canalizar estos brazos y mantenerlos, claro ejemplo es el arroyo Carito (Ministerio de Transporte, 2020).

Los daños ocasionados en el municipio de Plato Magdalena durante la época invernal del año 2010 provocados por el fenómeno de la niña, se pueden ver con gran detalle en el análisis multitemporal realizado en las imágenes del año 2008 y 2014, comprobando el cambio en las márgenes y formación de diferentes zonas de islas, como consecuencia de esto fue necesario la proyección de nuevas obras de encauzamiento y protección de márgenes, así como la realización de diversos estudios para definir límites de cauce.

El uso de imágenes satelitales como lo son las imágenes multiespectrales para el análisis multitemporal de divagaciones de ríos es una metodología bastante útil y eficiente que permite realizar estudios de forma indirecta basados en información recolectada, esto forma parte de los estudios previos para determinar alternativas posibles de obras, con estos resultados se llega a análisis directos que son complementados por otras especialidades, como lo son estudios batimétricos, higrológicos, geológicos, geomorfológicos y geotécnicos, que hacen parte de la ingeniería básica y de detalle de un proyecto, estos estudios abarcan de manera más profunda el comportamiento y dinámica de los ríos según las especificaciones de cada proyecto, de hecho este tipo de metodología es muy usado en la ingeniería aplicada, en específico al diseño de cruces subfluviales para tuberías de hidrocarburos.

Por lo tanto el realizar este documento resulta enriquecedor en la práctica y formación profesional que se pretende aporte a la ejecución futura de mi labor profesional y de un aporte a futuras elaboraciones de análisis multitemporal con el uso de imágenes satelitales.

Bibliografía

- Bandía Montalvo, R. (2016). Las Grandes Civilizaciones e Imperios de la Antigüedad: Civilizaciones del creciente fértil: Mesopotamia, Levante Persia, Egipto. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Barrios Amórtegui, S. I. (2013). UN RÍO QUE CAMBIA EL LUGAR DE LAS CIUDADES, EL RÍO MAGDALENA DE MOMPOX A MAGANGUÉ | Revista Credencial. *Revista Credencial*. <https://www.revistacredencial.com/historia/temas/un-rio-que-cambia-el-lugar-de-las-ciudades-el-rio-magdalena-de-mompox-magangue>
- Coley, R. S. (2010). *El Magdalena casi se traga a Plato*.
<https://www.elheraldo.co/region/el-magdalena-casi-se-traga-plato-8384>
- Concejo Municipal Plato. (2002). *Acuerdo No.09 de 2002*.
- Departamento Nacional de Planeación. (2014). *Ficha de Caracterización municipio 47555*.
[https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo Territorial/Fichas Caracterizacion Territorial/Magdalena_Plato ficha.pdf](https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/Fichas%20Caracterizacion%20Territorial/Magdalena_Plato_ficha.pdf)
- EARTHDATA. (2021). *Remote Sensors*. <https://earthdata.nasa.gov/learn/remote-sensors>
- IDEAM - Instituto de Hidrología, M. y E. A. (2014). *AMENAZAS INUNDACIÓN*.
<http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- José García, & Puigdefabregas, J. (2013). *Efectos de la construcción de pequeñas presas en cauces anastomosados del Pirineo Central*.
https://digital.csic.es/bitstream/10261/59423/1/GarcíaRuiz_1985_Efectos.pdf
- Ministerio de Transporte. (2020, July 29). *Más de 78.000 millones invertidos en proyectos para la protección de orillas en el río Magdalena*.
<https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/8797/mas-de-78000-millones-invertidos-en-proyectos-para-la-proteccion-de-orillas-en-el-rio-magdalena/>
- NASA. (2021). *Landsat 8 Bands*. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-bands>
- Pedraza Rodríguez, L. S. (2014). *CONFLICTO POR EL AGUA: UN ANÁLISIS GEOPOLÍTICO AL SISTEMA TIGRIS-ÉUFRATES. 1990-2003*. 1–46.
<http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127>
- USGS. (2021). *Landsat Missions*. <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat>