

Análisis y evolución de los aspectos geomorfológicos de la Ciénaga de la Virgen,  
localizada en la ciudad de Cartagena de Indias, en el marco de la elaboración de los estudios  
técnicos para el acotamiento de la ronda hídrica

Jessica Paola Rincón García

Trabajo de Grado para Optar al Título de Geóloga

Director: Francisco Alberto Velandia

PhD Geólogo

Codirector: Nelson Camilo Alfonso Huertas

Candidato a maestría en Ciencias Geología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Fisicoquímicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

A Dios por darme la fuerza necesaria, así como a mis padres, mi hermana y mis padrinos, quienes me apoyaron a lo largo de este camino y por último a quienes confiaron en mí, incluso cuando yo misma no lo hacía.

### **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander, a todos aquellos que hicieron parte de mi formación académica como Geóloga y puntualmente quiero expresar mi agradecimiento a:

Mi hermana Yurley Rincon por inspirarme a estudiar la carrera y guiarme en mi camino hacia el éxito.

Mis padres y padrinos por ser una fuente de motivación.

A mi director de tesis Francisco Velandia por el apoyo incondicional y sus valiosos consejos que me guiaron.

A mi codirector Nelson Huertas por su apoyo constante y las valiosas enseñanzas que recibí en el ámbito laboral.

A mis compañeros de trabajo en la empresa, Laura, Diana, Andres y Jorge, quienes estuvieron dispuestos a responder dudas y ayudarme en cada momento

Finalmente, un homenaje al profesor Alvaro Solarte, que en paz descansa, por su contribución a mi formación académica

**Tabla de Contenido**

Introducción .....	14
1 Objetivos .....	16
1.1 Objetivo general.....	16
1.2 Objetivos específicos .....	16
2 Justificación .....	17
3 Localización.....	18
4 Marco Conceptual.....	21
4.1 Ronda hídrica.....	21
4.1.1 Sistema lenticio.....	22
4.2 Geomorfología .....	22
4.3 Susceptibilidad.....	25
4.3.1 Susceptibilidad por inundaciones.....	25
5 Marco geológico regional .....	26
6 Estado del arte .....	30
6.1 Límites de la ciénaga de La Virgen .....	31
6.2 Unidades geomorfológicas.....	32
7 Metodología.....	33
7.1 Fase 1 .....	34
7.2 Fase 2 .....	36
7.3 Fase 3 .....	36
7.4 Fase 4 .....	37

8 Resultados .....	38
8.1 Análisis Multitemporal .....	38
8.1.1 Caño Juan Angola y el Canal Paralelo.....	38
8.1.2 Ciénaga Las Quintas, Caño de Bazurto, Laguna San Lázaro, Laguna Marbella y Laguna Cabrero .....	39
8.1.3 Sector Olaya Herrera.....	39
8.1.4 Sector suroriental Fredonia y Pozón .....	39
8.1.5 Sector Rural y Tierra Baja .....	40
8.1.6 Sector Juan Polo, Villagloria y Marlinda.....	41
8.1.7 Sector Bocana y Boquilla.....	41
8.2 Caracterización geomorfológica .....	49
8.2.1 Ambiente antrópico.....	51
8.2.2 Ambiente denudacional .....	54
8.2.3 Ambiente fluvial .....	60
8.2.4 Ambiente marino – costero .....	61
8.3 Delimitación geomorfológica .....	68
8.3.1 Nivel freático .....	68
8.3.2 Color .....	69
8.3.3 Concentración de sal .....	70
8.4 Susceptibilidad de inundaciones .....	71
9 Discusión de los resultados .....	81
10 Conclusiones .....	83
Referencias bibliográficas.....	86

Apéndices..... 88

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Caracterización de la susceptibilidad por inundación.....	26
Tabla 2. Definición de probabilidad de inundaciones según la morfogénesis de los elementos geomorfológicos identificados.....	72

### Lista de figuras

Figura 1 Localización del área de estudio.....	19
Figura 2 Cuerpos de agua del área de estudio.....	20
Figura 3. Esquema de los elementos constituyentes de las rondas hídricas para sistemas lénticos. .....	21
Figura 4 Esquema de jerarquización geomorfológica .....	23
Figura 5. Taxonomía de las categorías geomorfológicas propuestas. ....	24
Figura 6 Plancha geológica del área de estudio .....	29
Figura 7. Límites de La Ciénaga de La Virgen según criterios hidrológicos, edafológicos y geomorfológicos. ....	31
Figura 8 Unidades geomorfológicas por el SGC a escala 1:100.000 .....	32
Figura 9 Esquema metodológico empleado para el proyecto .....	33
Figura 10 Ortofotomosaico y Modelo digital de elevación a escala 1:2.000.....	34
Figura 11 Fotografías aéreas .....	35
Figura 12 Proceso para generar mapa de susceptibilidad aplicado para el área de estudio.....	37
Figura 13. Evolución multitemporal del espejo de agua del sector del Caño Juan Angola.....	42
Figura 14. Comparación de Sectores de Laguna Marbella y Laguna El Cabrero en el año 1948(A) – 1964(B) y cambios en la extensión de los cuerpos de agua internos de Cartagena en el año 2006 al 2019 (C y D) .....	43
Figura 15. Comparación de Sectores suroccidental y suroriental zona Olaya Herrera en los años 1964 y 1983.....	44

Figura 16. Comparación de la extensión del cuerpo de agua de la zona suroriental de la ciénaga de La Virgen entre los años 1962-1983(A), 1983-2006(B), 2006-2017(C) y 2017-2019(D). .....	45
Figura 17. Evolución de la extensión del cuerpo de agua de la zona Tierra Baja y Rural de la ciénaga de La Virgen en los años 1964-1983 (aumento de la extensión del cuerpo de agua) y 1983-2006.....	46
Figura 18. Evolución de la zona de Juan Polo, Marlinda y Villagloria en los años 1983, 2006 y 2019.....	47
Figura 19 Evolución de la zona de La Boquilla y La Bocana en los años 1983, 2006 y 2019....	48
Figura 20. Subunidades geomorfológicas.....	50
Figura 21 Planos de eutrofización y colmatación ubicados sobre el barrio Olaya(A). Planos de sedimentación y lleno antrópico dispuesto para urbanizar (B). Borde de sedimentación y lleno antrópico dispuesto sobre el sector del Pozón. (C).....	53
Figura 22 Cumbre de loma residual (Dlorc) ubicada al norte de la ciénaga (A). Hombro de loma residual (Dlorh) localizada en la zona noroccidental (B). Ladera de loma residual (Dlorl) al norte de la ciénaga (C). Falda de Loma residual (Dlorf) ubicado en el noroccidente hacia manzanillo del mar (D).....	56
Figura 23 Elementos o componente geomorfológicos de la subunidad Planicie Colinada Residual (Dpcr). Cumbre de planicie colinada residual (A), Hombro de planicie colinada residual (B), Ladera de planicie colinada residual (C), Falda de planicie colinada residual (D). .....	57
Figura 24 Elementos o componentes geomorfológicos de la subunidad Sierra residual (Dsr). Cumbre de sierra residual (A), Hombro de sierra residual (B), Ladera de sierra residual (C) Falda de sierra residual (D), Pie de sierra residual (E), ubicados en la zona norte de la ciénaga de la Virgen. ....	59

Figura 25 Elementos geomorfológicos de la subunidad de cauce aluvial. Dique de cauce aluvial (A), Lecho de cauce aluvial (B).....	61
Figura 26 Elementos geomorfológicos correspondientes a la subunidad de Canal intermareal (Mci). Cauce de canal intermareal (A), Barra de canal intermareal (B).....	63
Figura 27 Elementos geomorfológicos pertenecientes a la subunidad de Llanura costera. Bajos y zonas de decantación (A), Camellones (B), Llanura costera alta (C), Llanura costera baja (D)..	66
Figura 28 Elemento geomorfológico correspondiente a playa proximal (Mplp) .....	67
Figura 29. Huellas de inundación del IDEAM a escala 1:100.000.....	79
Figura 30. Mapa de susceptibilidad de inundación de la Ciénaga de la Virgen. ....	80

**Lista de Apéndices**

Apéndice A– Ubicación de los transectos y calicatas.....	88
Apéndice B– Ubicación de los sondeos geotécnicos.....	89
Apéndice C– Entrevistas a la comunidad .....	90
Apéndice D– Distribución espacial del nivel freático .....	91
Apéndice E – Distribución espacial del color en los primero 50cm del área de estudio.....	92
Apéndice F – Distribución espacial de la concentración de sales en el área de estudio.....	93
Apéndice G – Distribución espacial del límite geomorfológico final .....	94
Apéndice H - Características de las imágenes satelitales utilizadas en el proceso de fotointerpretación.....	95
Apéndice I - Características técnicas de la ortofoto y DTM generados para la identificación de los elementos geomorfológicos.....	96
Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS	
Apéndice J – Mapa de elementos geomorfológicos	

### Resumen

**Título:** Análisis y evolución de los aspectos geomorfológicos de la Ciénaga de la Virgen, localizada en la ciudad de Cartagena de Indias, en el marco de la elaboración de los estudios técnicos para el acotamiento de la ronda hídrica \*

**Autor:** Jessica Paola Rincon Garcia \*\*

**Palabras clave:** ronda hídrica, susceptibilidad de inundación, elemento geomorfológico, análisis multitemporal, fotografías aéreas, Ciénaga de La Virgen.

**Descripción:** La Ciénaga de la Virgen hace parte de las cuencas del litoral Caribe y del río Magdalena caracterizándose por ser un gran sistema hidrográfico conformado por corrientes que canalizan las aguas de la red hidrográfica vertiéndolas al mar y por las ciénagas en la parte norte (SGC, 2016). Se ha generado el interés de caracterizarla geomorfológicamente, delimitar su ronda hídrica desde el componente geomorfológico y evaluar la susceptibilidad de inundaciones, por lo que se ejecutaron las metodologías sistemáticas de la guía técnica para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018), el protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los POMCA (Ministerio de Ambiente, 2014) y de caracterización geomorfológica establecida por (Carvajal, 2011)- Se logró establecer que la Ciénaga de La Virgen tiene una variedad de elementos geomorfológicas caracterizadas por morfogénesis antrópicas, denudacionales, fluviales y marinas. En relación a su espejo de agua, este se ha visto influenciado por acciones principalmente antropogénicas que han disminuido su extensión y han trasladado su influencia a zonas orientales. En cuanto a la susceptibilidad de inundaciones la morfogénesis y morfometría inciden en la existencia de una zona de transición categorizada como susceptibilidad media, evidenciada en la zona oriental mientras que en la zona norte no es propensa a las inundaciones.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Francisco Alberto Velandia Patiño. PhD Geólogo. Codirector: Nelson Camilo Alfonso Huertas

### Abstract

**Title:** Analysis and evolution of the geomorphological aspects of Ciénaga de la Virgen, located in the city of Cartagena de Indias, within the framework of the technical studies for the delimitation of the riparian buffer zone. \*

**Author:** Jessica Paola Rincon Garcia \*\*

**Key words:** flood susceptibility, geomorphological component, multitemporal analysis, aerial photographs, Ciénaga de La Virgen.

**Description:** The Ciénaga de la Virgen is part of the Caribe coastal basins and the Magdalena River, characterized as a large hydrographic system composed of currents that channel the waters of the hydrographic network into the sea, as well as marshes in the northern part (SGC, 2016). There has been interest in characterizing it geomorphologically, delimiting its riparian buffer zone based on the geomorphological component, and evaluating flood susceptibility. Therefore, systematic methodologies were implemented following the technical guidelines for the delimitation of riparian buffer zones in Colombia (Ministry of Environment and Sustainable Development, 2018), the protocol for incorporating risk management in POMCA (Ministry of Environment, 2014), and the geomorphological characterization established by Carvajal (2011).

It was determined that Ciénaga de la Virgen exhibits a variety of geomorphological elements characterized by anthropogenic, denudational, fluvial, and marine morphogenesis. Regarding its water mirror, it has been influenced mainly by anthropogenic actions that have reduced its extent and shifted its influence towards eastern areas. As for flood susceptibility, morphogenesis and morphometry contribute to the existence of a transition zone categorized as medium susceptibility, evidenced in the eastern zone, while the northern zone is not prone to flooding.

---

\* Degree Work

\*\* Facultad de Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Francisco Alberto Velandia Patiño. PhD Geólogo. Codirector: Nelson Camilo Alfonso Huertas

## Introducción

La ronda hídrica es definida como una zona de transición y de interacción entre el sistema acuático y el sistema terrestre, formando un ecotono. En otras palabras, se conoce como la franja contigua a un cuerpo de agua que se encuentra en movimiento (ríos, quebradas, etc) o estancada (lagos, lagunas, ciénagas). Esta franja es considerada de gran importancia para el equilibrio entre el cuerpo de agua y la zona terrestre ya que se dan transferencias de agua, nutrientes, sedimentos, materia orgánica y organismos, convirtiéndose en uno de los hábitats biofísicos más diversos, dinámicos y complejos que existen (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

Por lo tanto, para su apropiado funcionamiento se requiere de una continuidad y conectividad entre estos dos medios para la debida transferencia en eventos de inundaciones. Con fin de que dicha transferencia ocurra es necesario que se puedan dar sin restricciones las funciones geomorfológicas, hidrológicas, hidráulicas y ecosistemas, por lo que la ronda puede cambiar ampliamente a lo largo del cuerpo de agua, ya que depende de la dinámica y las condiciones de las funciones nombradas anteriormente. De acuerdo con lo anterior la ronda hídrica se convierte en una determinante ambiental de una autoridad ambiental, por lo que dicha determinante debe ser incluida como áreas de protección en los Planes de Ordenamiento Territorial, dando cumplimiento a normativas vigentes de relevancia en las que se busca acotar y proteger a la línea de mareas máximas o a la del cauce permanente de ríos y lagos, términos estipulados en la Ley 1450 de 2011 y el Decreto-Ley 2811 de 1974.

Hidrográficamente, la Ciénaga de la Virgen hace parte de las cuencas del litoral Caribe y del río Magdalena caracterizándose por ser un gran sistema conformado, en una primera instancia por corrientes que canalizan las aguas de la red hidrográfica vertiéndolas directamente al mar y,

en segundo lugar, por las grandes ciénagas en la parte norte (SGC, 2016). Por otra parte se ha desarrollado la caracterización de esta zona conlleva también a la identificación de las geoformas, los tipos de suelo y un análisis del impacto antropogénico dentro de la misma. Se conoce que la zona de Cartagena de acuerdo a lo propuesto por (Carvajal, 2011) y expuesto en la memoria explicativa de la Plancha 23 (Ingeominas, 2001) es definida como una unidad geomorfoestructural de sistema orogénico costero. Siendo este último conjunto de geoformas el que agrupa a la Ciénaga La Virgen, la cual corresponde directamente a una laguna costera acompañada de geoformas de origen antropogénico como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno construyendo vivienda, obras civiles, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías.

En este caso en el proyecto de práctica empresarial se pretende apoyar la generación de herramientas técnicas desde el enfoque geomorfológico para los estudios llevados a cabo en el acotamiento de la ronda hídrica de la Ciénaga de la Virgen y los cuerpos de agua internos de Cartagena. Las características geomorfológicas de la Ciénaga de la Virgen tienen un lugar fundamental dentro de las actividades de ordenamiento territorial y la clasificación de la susceptibilidad por inundaciones, dada la variedad de geoformas que se pueden presentar debido a los procesos evolutivos de la zona. De modo que, es importante una adecuada caracterización de las geoformas e interpretación de la evolución, para así contar con esta como una herramienta en el acotamiento de la ronda hídrica y la clasificación de la susceptibilidad.

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo general**

Analizar la evolución geomorfológica de la Ciénaga de la Virgen a partir del tratamiento e interpretación de información satelital y fotografías aéreas en un rango temporal de 70 años, con el fin de proporcionar soportes técnicos para la adecuada delimitación de la ronda hídrica del sistema cenagoso.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Delimitar y caracterizar las zonas de relleno antrópico y procesos mixtos (relleno antrópico más sedimentación) en los sectores en los que históricamente se han establecido actividades humanas de impacto.
- Realizar análisis de fotointerpretación complementada con información de campo relacionada a la descripción y composición del suelo.
- Delimitar las zonas susceptibles por inundaciones, mediante el uso de herramientas SIG en el área de estudio de la ronda hídrica

## 2 Justificación

Los humedales se consideran vitales para la humanidad y el planeta, puesto que son ecosistemas dinámicos con amplia biodiversidad y de su buen funcionamiento y reconocimiento depende que fenómenos como el de La Niña no tengan efectos devastadores sobre la comunidad, como ha sucedido previamente debido a la pérdida de capacidad de regulación hídrica y de control de inundaciones de los humedales (IAVH, 2016).

La Ciénaga de la Virgen es un humedal de gran importancia ecosistémica y es considerado como uno de los elementos naturales urbanos de mayor importancia para la ciudad de Cartagena. Dicho ecosistema se encuentra inmerso en grandes procesos de desarrollo urbano entre los que se encuentran las vías perimetrales, la pista del aeropuerto y la gran cantidad de asentamientos ilegales en el costado suroriental y oriental (IAVH, 2016), como el barrio Olaya Herrera, Nuevo Paraíso, El Pozón y el corregimiento de Tierra Baja . Por lo tanto, el espejo de agua se haya visto afectado por diversas problemáticas derivadas justamente por estas actividades relacionadas al desarrollo urbanístico debido principalmente a la existencia de rellenos, construcciones y cultivos alrededor. A partir de la problemática, las respectivas consecuencias ambientales, sociales y la obligación de delimitar las fajas paralelas de acuerdo con el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011, se define que le corresponde a las corporaciones autónomas regionales y de desarrollo sostenible el acotamiento de la faja paralela al cuerpo de agua, y de esta manera obtener una herramienta de soporte técnico en la que se puedan fundamentar las autoridades ambientales y administrativas para tomar medidas de preservación y restauración de las áreas que constituyen a la ronda hídrica. De esta manera se cumplen los objetivos de la normativa vigente, asegurando un ambiente sano para los cartageneros.

Para la definición del límite físico de la faja se deben tener en cuenta como mínimo tres aspectos físico-bióticos relacionados con el entendimiento de la dinámica natural del cuerpo de agua: el geomorfológico que incluye geoformas y procesos morfodinámicos asociados a la dinámica de los sistemas lénticos y lóticos, el cual será objeto de estudio y análisis, sumado al sistema hidrológico y ecosistémico los cuales no son competencia de este proyecto. Esta práctica empresarial pretende generar herramientas técnicas desde el análisis geomorfológico para la toma de decisiones ambientales y de ordenamiento del territorio en el marco del proyecto llevado a cabo por la Corporación Autónoma Regional del Canal del Dique para la delimitación de la faja paralela al cuerpo de agua de la Ciénaga de la Virgen y los cuerpos de agua internos de Cartagena, contribuyendo así a la delimitación final de la ronda hídrica, siguiendo los lineamientos descritos en la norma vigente, en busca de regular el buen manejo y uso del recurso hídrico en esta zona del país.

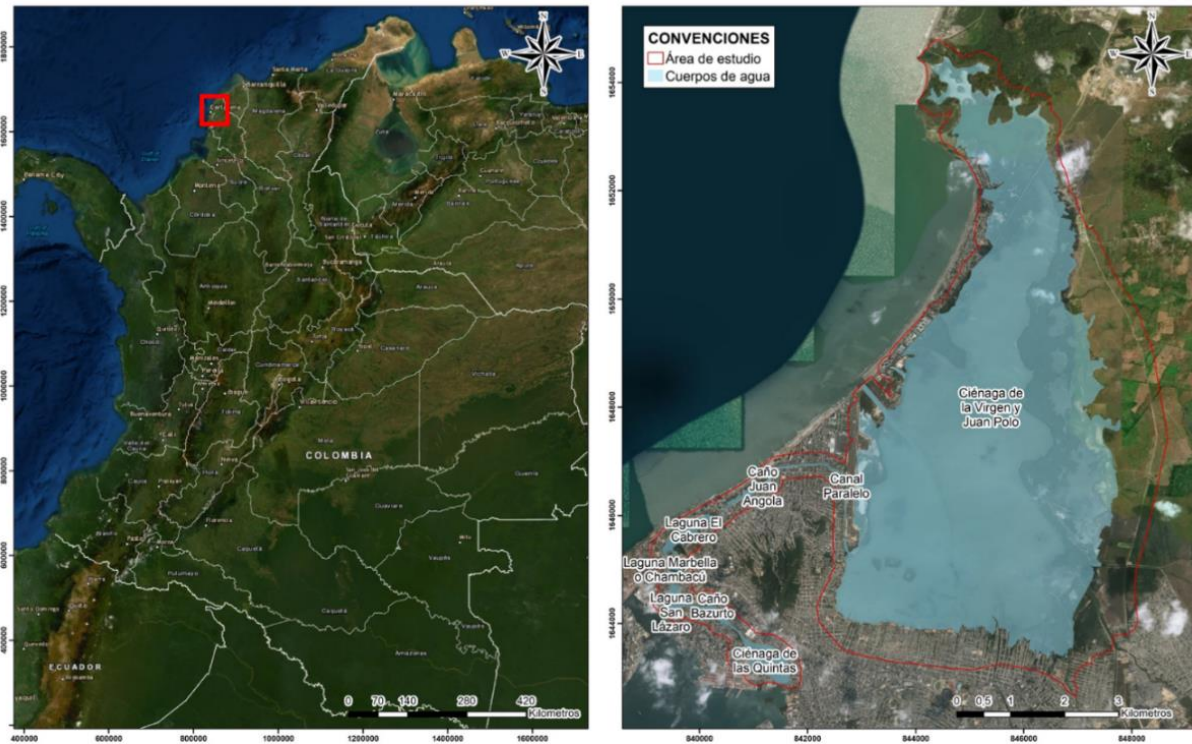
### **3 Localización**

El área de estudio se encuentra ubicada en la ciudad de Cartagena de Indias en el departamento de Bolívar al norte de Colombia, corresponde exactamente a la Ciénaga de la Virgen y los cuerpos de agua internos de la ciudad (Ver Figura 1). El humedal de la Ciénaga de la Virgen se encuentra conectado con la bahía de Cartagena mediante los siguientes canales y lagos ubicados dentro de la ciudad: Canal Paralelo, Caño Juan Angola, Laguna El Cabrero, Laguna de 6 o Marbella, Laguna San Lázaro, Caño Bazurto y Ciénaga de las Quintas, con una extensión de aproximadamente 121.5 ha.

Para el análisis de la evolución geomorfológica se tendrán en cuenta los cuerpos de agua mencionados anteriormente, los cuales se muestran en la Figura 2

### Figura 1

#### *Localización del área de estudio*



*Nota.* Tomado de Google earth

**Figura 2**

*Cuerpos de agua del área de estudio*



*Nota.* Tomado de Google earth

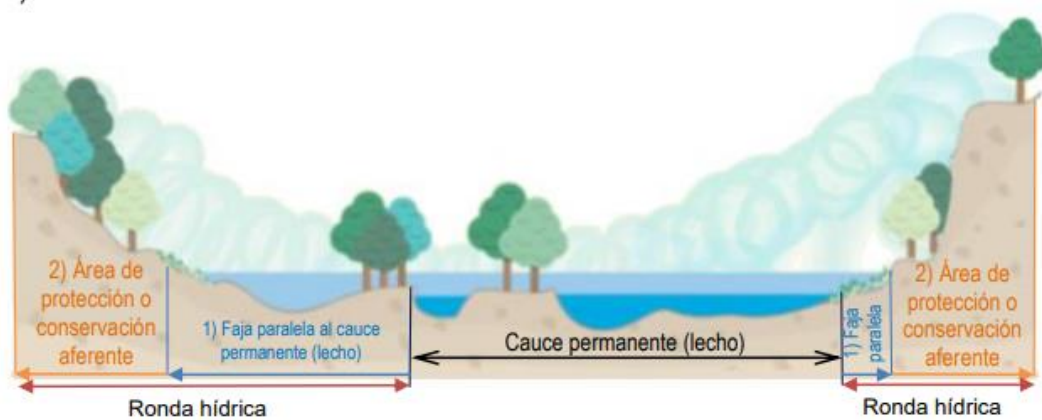
## 4 Marco Conceptual

### 4.1 Ronda hídrica

La ronda hídrica es definida según la Guía para el Acotamiento de Rondas hídricas como “zonas o franjas de terreno aledañas a los cuerpos de agua que tienen como fin permitir el normal funcionamiento de las dinámicas hidrológicas, geomorfológicas y ecosistémicas propias de dichos cuerpos de agua”. Esta se compone por tres elementos, el primero es el hidrológico, que comprende la dinámica de los flujos de agua a lo largo de la red de drenaje de la cuenca hidrográfica, el segundo es el ecosistémico que hace referencia al papel de la vegetación de ribera y las condiciones de hábitat para el correcto funcionamiento del sistema, por último el componente geomorfológico donde se tienen en cuenta las geoformas y los procesos morfodinámicos asociados al flujo y almacenamiento temporal de agua y sedimentos, siendo este último el centro de esta práctica empresarial (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018).

#### Figura 3.

*Esquema de los elementos constituyentes de las rondas hídricas para sistemas lénticos.*



*Nota.* Tomado de (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018)

#### **4.1.1 Sistema lentic**

Los sistemas acuáticos interiores generalmente se clasifican como hábitats lénticos o lóticos. La mayoría de estos son ambientes de agua dulce, aunque, dependiendo de las condiciones climáticas y geológicas locales, puede existir una amplia gama de salinidades (Marsh & Rhodes, 1999). En la realización de este proyecto fue necesario comprender el funcionamiento del sistema fluvial del área, el cual corresponde a un sistema léntico, estos sistemas se definen como cuerpos de agua que permanecen en un mismo lugar sin fluir, no presentan corriente continua (Briñez, y otros, 2011). Los sistemas lénticos se asocian directamente con humedales, estanques, lagos y lagunas interiores, es decir, masas de agua.

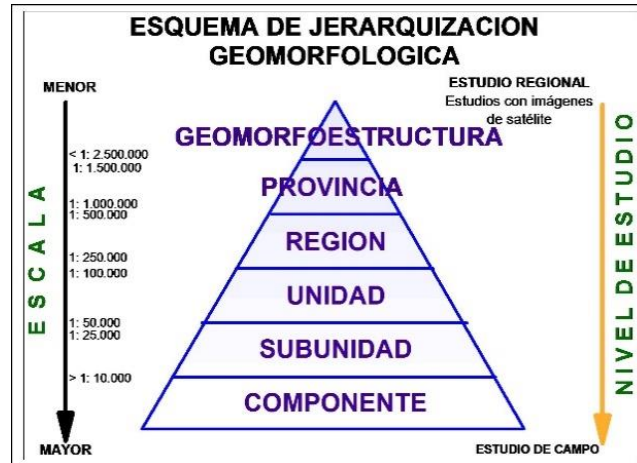
El área de estudio corresponde a un sistema lentic relacionado con la dinámica litoral, el cuerpo de agua se encuentra separado del océano por una barrera que puede corresponder a un banco de arena, un arrecife de coral, o una isla barrera, este intercambia ciertas cantidades de agua con el mar cuando las mareas sobrepasan la barrera que los separa, o se abren las bocas, además de esto el sistema tiene suministro de agua dulce proveniente de corrientes y de agua lluvia (Marsh & Rhodes, 1999).

#### **4.2 Geomorfología**

Siguiendo a Carvajal (2011), las geoformas son la expresión superficial del terreno, de la interacción dependiente de los materiales constituyentes de las mismas y su disposición estructural, de los procesos que interactúan según el ambiente morfogenético específico donde se desarrollan, y el tiempo de duración de la acción de los mencionados procesos.

**Figura 4**

*Esquema de jerarquización geomorfológica*



*Nota. Tomado de (Carvajal, 2011)*

Para la obtención del mapa geomorfológico se sigue la metodología propuesta por Carvajal (2011), quien sugiere que el análisis geomorfológico se debe efectuar paso a paso desde el nivel regional hasta la escala de detalle (ver Figura 4). La geomorfoestructura se refiere a un área geográfica de gran extensión, en este caso sería el orogénico costero, respecto a la provincia corresponde a un macro relieve con génesis geológica similar, la cual sería Montes de María. La región geomorfológica está asociada con la génesis del paisaje, correspondiendo al ambiente morfogenético, a más detalle se encuentran la unidad que componen la categoría anterior y contiene a la subunidad geomorfológica, la cual es determinada por sus características morfológicas, morfométricas y se relacionan con el tipo de material o la disposición estructural en el terreno, la cual finalmente a más detalle se puede determinar los elementos o componentes geomorfológicos que la componen. A través de esta clasificación y descripción de los diferentes componentes de la jerarquía geomorfológica se deduce que para efectos de esta práctica empresarial el área de estudio será trabajada a las escalas 1:25.000 y posteriormente 1:2.000.

**Figura 5.**

*Taxonomía de las categorías geomorfológicas propuestas.*

TAXANOMIA GEOMORFOLOGICA	GEOMORFOESTRUCTURA	PROVINCIA GEOMORFOLOGICA	REGION GEOMORFOLOGICA	UNIDAD GEOMORFOLOGICA	SUBUNIDAD GEOMORFOLOGICA	ELEMENTO GEOMORFOLOGICO
ESCALA	< 1: 2.500.000	1: 1.500.000 1: 1.000.000	1: 500.000 1: 250.000	1: 100.000 1: 50.000	1: 25.000 1: 10.000	> 1: 10.000
NIVEL	Mundial Continental Supranacional	Nacional Supranacional	Regional y Departamental	Subregional cuencia Municipal	Municipal Local	Puntual
EXTENSION DE UNIDADES	10 <sub>4</sub> - 10 <sub>5</sub> km <sub>2</sub>	10 <sub>3</sub> - 10 <sub>4</sub> km <sub>2</sub>	10 <sub>2</sub> km <sub>2</sub>	10 <sub>2</sub> - 10 <sub>3</sub> km <sub>2</sub>	10 - 10 <sub>2</sub> km <sub>2</sub>	< 10 km <sub>2</sub>
CRITERIOS DE DEFINICION	Grandes estructuras geológicas y topográficas regionales	Macorelieve y génesis geológica	Ambientes morfogenéticos y geológicos Morfoclimatología	Procesos morfogenéticos y morfología	Contrastes morfométricos Formaciones superficiales. Morfodinámica	Morfometría Catenas Morfodinámica
HERRAMIENTA DE CLASIFICACION	I. de satélite LANDSAT MSS Mapas geológicos	I. de satélite LANDSAT MSS Mapas geológicos a escala pequeña	I. Satélite LANDSAT TM - RADAR, Mapas geológicos y topográficos Control de campo	I. Satélite SPOT XS RADAR Fotos aéreas, Mapas geológicos y topográficos MNT, control de campo	I. Satélite SPOT P. RADAR, IKONOS Fotos aéreas V y O, Mapas topográficos y MNT campo detallado	I Satélite IKONOS Fotos aéreas V y O, mapas topográficos MNT, Campo detallado - Encuestas
CATEGORIAS GEOLOGICAS		Provincias - Terrenos Geológicos	Grupo U.R.T	Formación U.C.G	Miembro	Capa ó estrato
TIPO DE SUELO (USDA, 1975)	Orden	sub orden	Grupo	Subgrupo	Familia	Serie
ZONIFICACION GEOTECNICA Y GEOMECANICA		Provincia de terreno	Patrón de terreno	Unidad de terreno	Subunidad de terreno	Componente de terreno
ZONIFICACION INGENIERIA		Terreno Ingeniería (TE)	Grupo Ingeniería (EG)	Formación Ingeniería (EF)	Tipo litológico (LT)	Tipo Ingenieril (ET)
UNIDAD DE GESTION AMBIENTAL EQUIVALENTE	Medio Natural	Provincia ambiental	Región ambiental	Unidad ambiental	Subunidad ambiental	Sitio
TIPO DE ACCION EN PLANIFICACION	Política de bloque subcontinental	Política Nacional Ambiental	Planificación Amb. Departamental	Planificación ambiental regional	Planificación y gestión municipal	Gestión puntual en un sitio

*Nota.* Tomado de (Carvajal, 2011)

Teniendo en cuenta lo descrito en la Figura 5, las herramientas para la definición de subunidades geomorfológicas son imágenes de los satélites IKONOS y Worldview-4, fotos aéreas, mapas geológicos y control de campo, para la escala de trabajo 1:25.000. Adicional a la identificación de las subunidades geomorfológicas que se realizó a escala 1:25.000, en los trabajos de campo realizados en el proyecto y a través de otros recursos como la salida de una ortofoto y un DTM fue posible llegar revelar los componentes geomorfológicos presentes en cada subunidad geomorfológica. A través de la definición de estas subunidades y elementos se desarrollará una herramienta de planificación y gestión municipal.

### **4.3 Susceptibilidad**

De manera general la susceptibilidad es una evaluación o indicador de orden cualitativo o cuantitativo de una región en la que pueden suceder ciertos procesos o acontecimientos, es decir, que tan propensa es esta zona a que ocurran, en términos geomorfológicos, inundaciones o deslizamientos (Ingeominas, 2010). Estos indicadores son plasmados en un mapa de susceptibilidad el cual constituye una base de información geocientífica que permite un correcto desarrollo del Plan de Ordenamiento Territorial; adicionalmente, es esencial para la ejecución estudios específicos que contribuyen en la generación de las medidas de prevención y/o mitigación que aseguran la estabilidad física de las áreas críticas identificadas (Obregón & Lara, 2013).

La estimación de la susceptibilidad se basa en la correlación de los principales factores (intrínsecos) que contribuyen a la formación de deslizamientos o inundaciones. Para ello se requiere que se realice un análisis de las condiciones actuales existentes y referentes a datos cartográficos de tipo topográfico, geomorfológico, litológico, uso de suelos y otros. Cabe resaltar que estos análisis si bien determinan las zonas críticas, no tienen información respectiva a los momentos en los que ocurrirán estos procesos (Obregón & Lara, 2013).

#### ***4.3.1 Susceptibilidad por inundaciones***

Por su parte, la susceptibilidad es un concepto aplicable a una variedad de procesos, en este caso se hace énfasis en la susceptibilidad por inundación la cual se define como el grado de propensión que tiene un terreno o espacio a sufrir procesos de encharcamiento o inundación producto del desborde de los ríos, entre otras causas (IAVH, 2016). Si bien, las inundaciones pueden ser: fluviales, pluviales, costeras o de otro tipo, en este caso se determina la susceptibilidad a inundaciones fluviales, las cuales corresponden a inundaciones producidas por el flujo excedente

de agua y sedimentos transportados por corrientes (ríos, quebradas), el cual desborda la capacidad de transporte del cauce.

A continuación, se puede observar la descripción que hace el Ministerio de Ambiente sobre los niveles de susceptibilidad a inundaciones lentas aplicada en la zona de la Ciénaga de la Virgen de acuerdo a las subunidades geomorfológicas identificadas.

**Tabla 1.**

*Caracterización de la susceptibilidad por inundación*

Nivel de Susceptibilidad	Descripción
Alta	Geoformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trezado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos
Media	Geoformas que denotan procesos intermitentes (ej. Terrazas medias, meandros, entre otras), y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificada
Moderado	Geoformas que denotan procesos antiguos (ej. terrazas altas).

*Nota.* Adaptado y modificado de (*Ministerio de Ambiente, 2014*)

## 5 Marco geológico regional

El área de estudio se encuentra enmarcada en la plancha 23 del IGAC (Escala 1:100.000), gran parte de esta está conformada por rocas sedimentarias depositadas en ambiente continental y marino cubiertas en una gran extensión por sedimentos durante el cuaternario (ver Figura 6). Regionalmente la actividad tectónica originó el levantamiento, plegamiento y hundimiento de bloques, que junto con los factores morfodinámicos ocasionaron una gran variedad de modelados, entre estos se destacan las serranías de San Jacinto, Turbaco-Luruaco-Tubará y zonas de topografía suave, planicies y formas colinadas acotadas por la línea de costa (Ingeominas, 2001). La zona de

influencia del cuerpo de agua se encuentra en gran parte ubicada sobre sedimentos cuaternarios conformados por depósitos de llanura costera y depósitos de playa, hacia el oeste se encuentran afloramientos de la Formación La Popa del Pleistoceno que yacen de forma discordante sobre la Formación Bayunca el Plioceno.

La Formación Bayunca (Ngb) corresponde a una secuencia de lodolitas grises oscuras, claras y negras, de color amarillo por su respectiva oxidación, en capas delgadas y medias. Hacia el techo de la unidad hay intercalaciones de areniscas de cuarzo, gris claro a amarillo claro, con presencia de cemento calcáreo y gran contenido de conchas de moluscos y restos de plantas y láminas de yeso. En lo que respecta a la estratificación inclinada, flaser, plana paralela y masivas, a la formación se le atribuye un origen en una zona entre costa afuera y plataforma continental.

Suprayacente a la Formación Bayunca se encuentra la Formación la Popa (Qpp) de forma discordante, Angel et al (1985) hace referencia a un miembro inferior con el termino de “Unidad detrítica de La Popa” y un miembro superior con el término “Calizas arrecifales de La Popa”, consisten en calizas arrecifales en capas medias y gruesas interestratificadas con capas delgadas areno lodosas que contienen abundantes fragmentos de moluscos equínidos y corales (Ingeominas, 2001). Mientras que en la memoria explicativa del mapa geomorfológico de la plancha 23 realizado por el Servicio Geológico Colombiano (2016) describe a la Formación La Popa como una unidad que se compone de arcillas macizas que pasan gradualmente hacia arriba a calizas arrecifales.

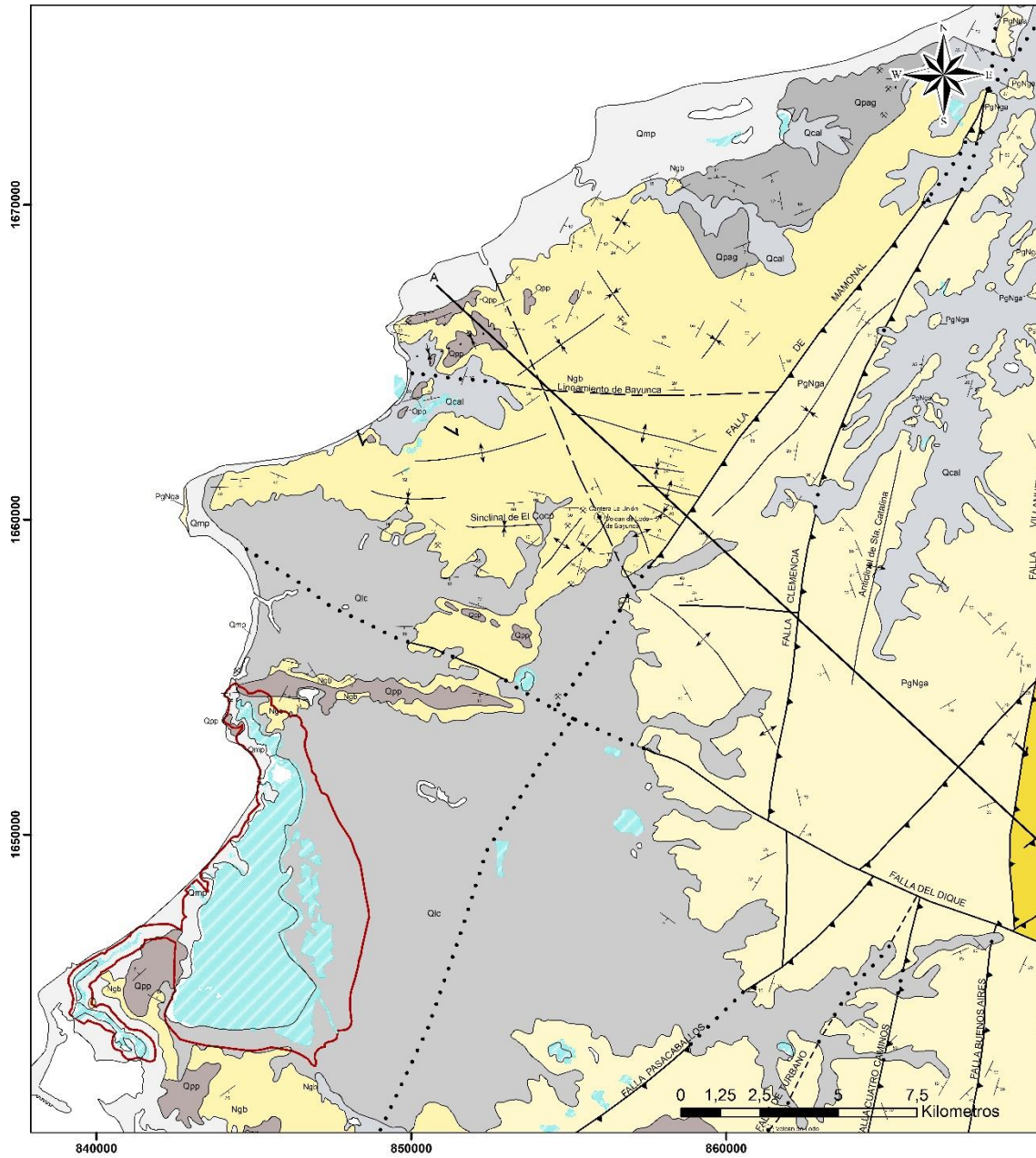
Los depósitos de llanura costera (Qlc) presentan un régimen de depósito progradante y origina la formación de depósitos orgánicos y clásticos en la llanura costera, los depósitos orgánicos son los manglares y los depósitos asociados con el crecimiento de corales, como depósitos clásticos se consideran las arenas depositadas y retrabajadas en la zona intermareal. Los

depósitos de playa (Qmp) están localizados a lo largo de la línea de costa y están conformados por arenas de grano fino a grueso ocasionalmente con gravas, la mayoría son de color amarillo ocre a grises (Ingeominas, 2001).

A nivel estructural en la zona se observa principalmente, los lineamientos de Bayunca los cuales ubicados en la parte noroccidental de la Plancha 23, y se encuentran asociados a la Formación Bayunca. Dichos lineamientos tienen una orientación que varía de N45°W a E-W. Son muy claros en imagen de satélite y fotografías aéreas (SGC, 2016). Los demás lineamientos, fallas o estructuras no tienen relación con la zona de estudio, ni afectan el funcionamiento del sistema de la Ciénaga de La Virgen por lo que no son descritos en profundidad en este apartado.

**Figura 6**

*Plancha geológica del área de estudio*



CONVENCIONES			
<b>CONTACTOS, FALLAS Y ESTRUCTURAS PLEGADAS</b>			
	Contacto definido		
	Falla definida		
	Falla inferida		
	Falla cubierta		
	Falla inversa o de cabalgamiento definida		
	Lineamiento fotogeológico		
	Discordancia		
	Sinclinal definido		
	Anticinal definido		
<b>UNIDADES GEOLÓGICAS</b>			
	Qlc, Depósitos de llanura costera		Ngt, Formación Tubará
	Qmp, Depósitos de playa		Pgp, Formación Pendales
	Qcal, Depósitos coluvioaluviales		Ngb, Formación Bayunca
	Qpr, Gravas de Rotinet		PgNga, Formación Arjona
	Qpag, Formación Arroyo Grande		Pgsc, Formación San Cayetano
	Qpp, Formación La Popa	<b>BASE CARTOGRÁFICA</b>	
	Ngh, Formación Hibácharo		Area
			Cuerpos de agua

*Nota.* Tomado y modificado de INGEOMINAS (2003)

## 6 Estado del arte

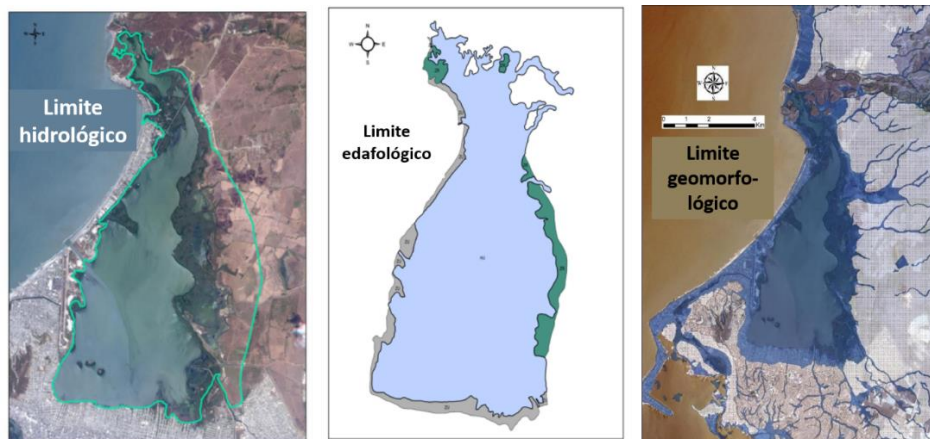
En este caso se propone exponer los principales estudios realizados sobre la Ciénaga de La Virgen, dando especial énfasis en aquellos que sus objetivos están relacionados con la geomorfología de la zona y sus implicaciones. La Ciénaga de la Virgen es la segunda ciénaga más grande del Caribe colombiano y corresponde a un Humedal Marino / Costero de Estuario, es decir, un humedal que se encuentra conectado con el mar, sujeto a un régimen micromareal y con influjo fluvial, puesto que existen tanto aportes de parte de algunos arroyos, como del mar. Se compone de depósitos fluviales y marinos, y algunos enclaves de rocas sedimentarias ubicadas en el sector norte de la Ciénaga (IAVH, 2016). Esta ciénaga constituye un ecosistema importante de la ciudad por lo que hace parte de las cuencas hidrográficas prioritarias de ordenamiento y planificación en la región.

## 6.1 Límites de la ciénaga de La Virgen

En la propuesta del límite de la Ciénaga de la Virgen realizado por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt determinan a partir de criterios geomorfológicos de susceptibilidad las zonas del humedal permanente, temporal y con potencial medio (IAVH, 2016). Adicionalmente a través de muestreos el IAVH determinó que se presentan suelos Typic Natraquerts o un Ustic Salaquerts que evidencian suelos de humedal. Los suelos exponen en superficie, altos contenidos de sales por efecto de la inundación por la marea. Respecto al hidrológico se realizó para dos escenarios considerados como extremos de lluvia y sequías y una condición normal. Como hallazgo principal fue posible plantear que el área de la ciénaga de La Virgen para eventos máximos corresponde a 31,2 Km<sup>2</sup> (IAVH, 2016). Como resultado el Instituto Humboldt generó 3 límites para la ciénaga expuestos a continuación:

### Figura 7.

*Límites de La Ciénaga de La Virgen según criterios hidrológicos, edafológicos y geomorfológicos.*



*Nota. Tomado de (IAVH, 2016)*



CONVENCIONES		
<b>Unidades Geomorfológicas</b>		
Lomeríos estructurales (Sloe)	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal (Ssslc)	Volcan de lodo (Svl)
Lomeríos disectados (Dldi)	Ladera estructural de sierra sinclinal (Sssle)	Planicie (Dp)
Lomeríos poco disectados (Dlpd)	Laguna costera (albufera, ensenadas, lagoons) (Mlc)	Loma denudada (Dld)
Cerro remanente o relicto (Dcrem)	Lomo denudado bajo de longitud larga (Dldebl)	Loma residual (Dlor)
Cerro residual (Dcrs)	Lomo denudado bajo de longitud media (Dldebm)	Lomo denudado (Dlde)
Cuesta (Sc)	Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo)	Llanura intermareal (llanuras de marea, planos mareales, tidal fans) (Mli)
Domo diapirico (Sdd)	Complejos de crestas y artesas de playa (planos de crestas de playa, playas antiguas)	Planos de inundación (zonas bajas de inundación, cubetas de derrame) (Mpi)
Escarpe de erosión menor (Deeme)	Planicie colinada denudada (Dpcd)	Terrazas marinas (terrazas costeras, plataforma arrecifal) (Mtm)
Laguna (Flg)	Plano o llanura de inundación (Fpi)	Planos y llanuras con vegetación halófila (Mpv)
Plano anegadizo (Fpa)	Superficies de explanación (Asp)	Area de Estudio
Lomos (Sl)	Barra espiga o Barrera (cordón litoral, bahía barrera, isla barrera, barriers, barriers spits) (Mbe)	
Playas (Mpl)		

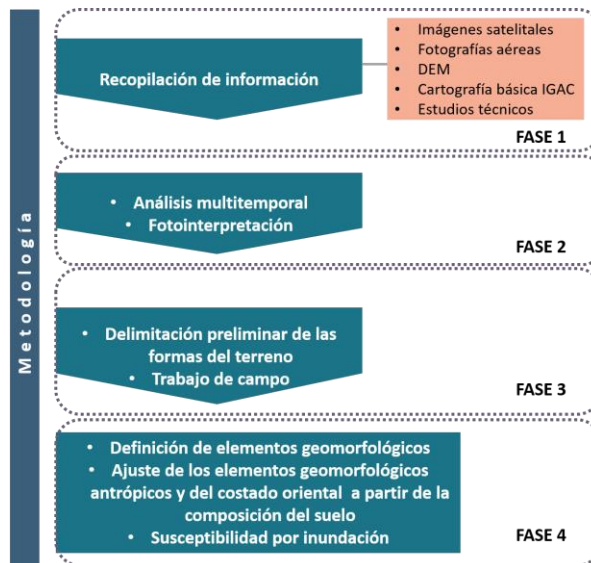
Nota. Tomado y adaptado de (SGC, 2016)

## 7 Metodología

La metodología aplicada en la realización del proyecto se encuentra dividida en 4 fases las cuales son descritas a continuación.

**Figura 9**

*Esquema metodológico empleado para el proyecto*

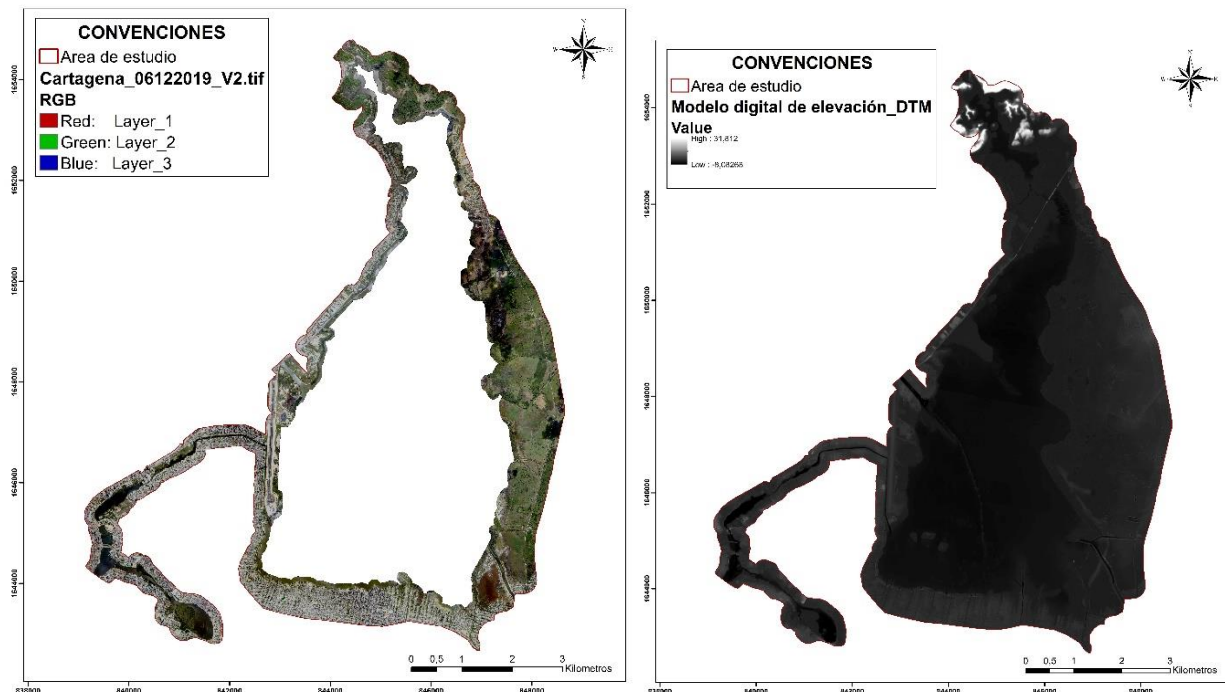


## 7.1 Fase 1

Esta fase enmarcó la recopilación de insumos e información secundaria. En el proyecto, fue realizada la captura de imágenes a color de acuerdo a un programa de vuelos, las imágenes aéreas capturadas se hicieron a color con el fin de lograr la generación de mosaico fotográfico orto rectificado, con píxel promedio de 0.10 m sobre el área de interés. Se capturaron los elementos cartográficos sobre la ortofoto, dado que se tenían disponibles los datos fotogramétricos, y, por ende, la información altimétrica como nube de puntos y generación de curvas de nivel (Relieve). Solo se hizo la captura respectiva de la información o feature class restantes de acuerdo con la Ley 1392 de 2016. En este caso fue usada para la generación curvas de nivel con intervalos de 10 cm sobre el corredor en las áreas de interés, dando como resultado el modelo de elevación digital.

### Figura 10

*Ortofotomosaico y Modelo digital de elevación a escala 1:2.000*



*Nota.* Tomado de (CARDIQUE, 2019)



explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa esc 1:100.000. Plancha 23 - Cartagena (SGC, 2016) )

## **7.2 Fase 2**

En esta fase se realizó un análisis histórico (multitemporal) detallado, se analizó la variación en planta del área y la forma del cuerpo de agua en la zona, con el fin de comparar el comportamiento de la ciénaga en el rango de 70 años y de identificar las zonas de relleno. Este análisis se realizó para 6 momentos en el tiempo de los que se tienen registro y por sectores asociado con los cuerpos de agua internos de Cartagena en el software ArcMap 10.5 y se delimitó el cuerpo de agua a partir de la identificación de las formas del terreno (áreas inundables), y análisis de los tonos y las texturas que permitan identificar rasgos característicos de las imágenes asociadas con zonas húmedas o masas de agua para así determinar el cauce permanente. Siguiendo a esto se procedió a la identificación de los cambios morfológicos en la zona y se realizó la fotointerpretación de las geoformas con la metodología de Carvajal (2012). Las subunidades son validadas preliminarmente con el uso del DEM y luego con trabajo de campo a partir de 30 sondeos realizados con el fin de corroborar las zonas de relleno antrópico (intervención) y las geoformas naturales, en los sondeos se toman dos muestras a diferentes profundidades con el fin de identificar evidencias de los suelos o materiales asociados a las características anteriormente mencionadas.

## **7.3 Fase 3**

La fase 3 se divide en dos etapas, la primera consiste en la delimitación de las formas del terreno asociadas al cauce, esta se realizará a partir de la identificación de las formas en la fotointerpretación de las imágenes satelitales recientes y el apoyo en la información de estudios anteriores en la zona. La segunda etapa corresponde al trabajo de campo, donde se verificarán las zonas de relleno identificadas en el análisis multitemporal a partir de muestreos en el área de

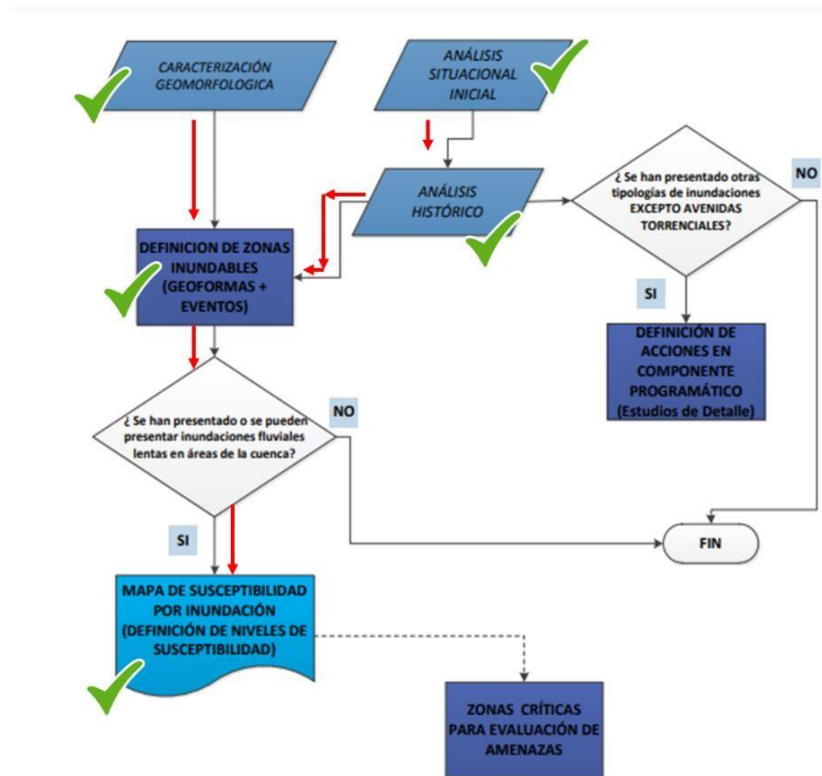
estudio, con estos muestreos se realizará una descripción de la composición del material y el tamaño de las partículas que lo componen.

#### 7.4 Fase 4

En esta fase se procede a realizar la definición de los elementos geomorfológicos a partir del DTM y la ortofoto recopilada en la fase 1 y la susceptibilidad por inundaciones siguiendo la metodología propuesta por el protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los POMCA establecida por el Ministerio de Ambiente (2014) que se expone en la siguiente figura.

**Figura 12**

*Proceso para generar mapa de susceptibilidad aplicado para el área de estudio*



*Nota.* Tomado y adaptado de (Ministerio de Ambiente, 2014)

## 8 Resultados

### 8.1 Análisis Multitemporal

El análisis fue dividido en siete zonas las cuales son: Sector del Caño Juan Angola y el Canal Paralelo, Sector Ciénaga de Las Quintas, Caño Bazurto, Laguna San Lázaro, Laguna Marbella y Laguna El Cabrero, Sector Olaya Herrera, Sector Suroriental (Fredonia y el pozón), Sector rural y Tierra baja, Sector Nororiental (Juan Polo, Villagloria y Marlinda) y Sector La Boquilla – La Bocana.

#### 8.1.1 *Caño Juan Angola y el Canal Paralelo*

Como antecedentes se tiene que durante la época colonial los españoles construyeron el Caño Juan Angola para comunicar la Laguna de El Cabrero con la Ciénaga de la Virgen. En la figura 15A se observa como el espejo de agua ha perdido la extensión entre los años 1964 y 1983, especialmente en dos puntos, uno ubicado en la parte de la Ciénaga de la Virgen donde se ha evidenciado un relleno e invasión por la población y en el sector del caño donde se muestra el paso subterráneo debido a las ampliaciones de la pista de aterrizaje, los cuales permitieron la conexión de los cuerpos de agua según su curso natural. Para el año 1991 la destrucción del paso subterráneo del canal impidió el curso del cuerpo de agua, esto causó un impacto ambiental inmediato, por lo cual las autoridades debieron desviar el curso y crearon el Canal Paralelo. Entre el año 2006 y 2019 se presenta un aumento de la invasión en las orillas del Caño Juan Angola (Figura 13B), lo que ha llevado a una disminución en su caudal, además se muestra que en la zona del puente Benjamín Herrera (Figura 13C), el cuerpo de agua ha sufrido una estrangulación del cauce debido a la contaminación e invasión, lo que ha producido que también disminuya su profundidad.

### ***8.1.2 Ciénaga Las Quintas, Caño de Bazurto, Laguna San Lázaro, Laguna Marbella y Laguna Cabrero***

Respecto a los antecedentes se tiene que la Laguna Marbella y la Laguna Cabrero estaban conectados con la bahía de Cartagena, sin embargo, debido a la expansión urbana se llevó a la ocupación de estos sectores y a la eliminación entre la conexión de las lagunas y la bahía de Cartagena. En la Figura 14A y Figura 14B se observa que el espejo de agua disminuyó su área debido a la intervención y la creación de zonas de relleno para la construcción de viviendas. Cuarenta y dos años después en el 2006, las dinámicas de ocupación incrementaron, densificando la ocupación alrededor de los cuerpos de agua internos, (Figura 14C). Para el año 2019 en algunos sectores de la Laguna El Cabrero y el Caño Bazurto se evidencia en la Figura 14D que se rellenó la extensión del espejo del agua, reduciendo la extensión de estos cuerpos de agua.

### ***8.1.3 Sector Olaya Herrera***

En el transcurso del año 1948 al 1964 se muestra una ocupación que se concentra mayormente en el extremo suroccidental y en menor proporción en el extremo suroriental (Figura 15A). En los años sesenta la población continuó en aumento, lo que llevó a un crecimiento en la invasión de tierras y una disminución en el tamaño del cuerpo de agua de la ciénaga, hasta que, en el año 2005, el gobierno en un trato de controlar el crecimiento informal y proteger el cuerpo de agua inició la construcción de una carretera perimetral (Figura 15B). Para el año 2019 el cambio más significativo se observa en el sector suroriental el cual se describe con más detalle en el siguiente apartado.

### ***8.1.4 Sector suroriental Fredonia y Pozón***

Estaba caracterizada por ser una zona preservada naturalmente, sin antecedentes de expansión urbanística, que para el año 1962 se evidenciaba la presencia de cobertura vegetal

natural y la desembocadura según el curso natural de los cuerpos de agua menores. Sin embargo en la Figura 16A la evolución de la zona a través de las fotografías muestra una invasión de la población hacia la ciénaga, generando una disminución del área del cuerpo de agua y una modificación en los cursos de los cauces que desembocaban naturalmente. Para el 2006 el crecimiento se mantuvo constante y se marcó aún más la canalización principalmente en los caños Canal Calicanto y Canal El Limón(Figura 16B). En el año 2019 se evidencia en la Figura 16C la disminución del espejo de agua, donde se alcanza a observar que en algunos sectores del barrio Fredonia hacia la orilla de la ciénaga el terreno fue rellenado e invadido, además también se observa la ubicación de los cauces canalizados.

#### **8.1.5 Sector Rural y Tierra Baja**

Para el año 1983 se evidencia en la Figura 17A un aumento del cuerpo de agua en la parte oriental debido a la invasión en otros sectores como La Boquilla y los barrios Olaya y Fredonia, el desarrollo urbano en la cuenca afecta las inundaciones y el aumento del cuerpo de agua en este sector debido a que la cantidad de áreas rellenada y cementadas funcionan como cobertura impermeable, aumentando la escorrentía ya que el agua no se infiltra al suelo debido a estas superficies. En el año 2006 se evidencia en la Figura 17B una disminución del espejo de agua en el sector de Tierra Baja, donde el desarrollo urbanístico aumento, sin embargo no es muy claro debido a que la imagen satelital IKONOS se encuentra limitada, en esta misma figura en el sector rural se observa una intervención antrópica por ganadería y la construcción de un jarillón, además se evidencia que el espejo de agua avanzó atribuido de igual forma al crecimiento urbano en los demás sectores de la ciénaga. En el año 2017 se evidencia en la Figura 17C que al invasión de la ciénaga por los rellenos y construcciones avanzaron y en comparación con el año 2019 el cual corresponde al periodo seco se evidencia la disminución del espejo de agua en comparación con

el periodo húmedo (año 2017) por lo que la población continua su invasión a la ciénaga rellenando y construyendo.

#### **8.1.6 Sector Juan Polo, Villagloria y Marlinda**

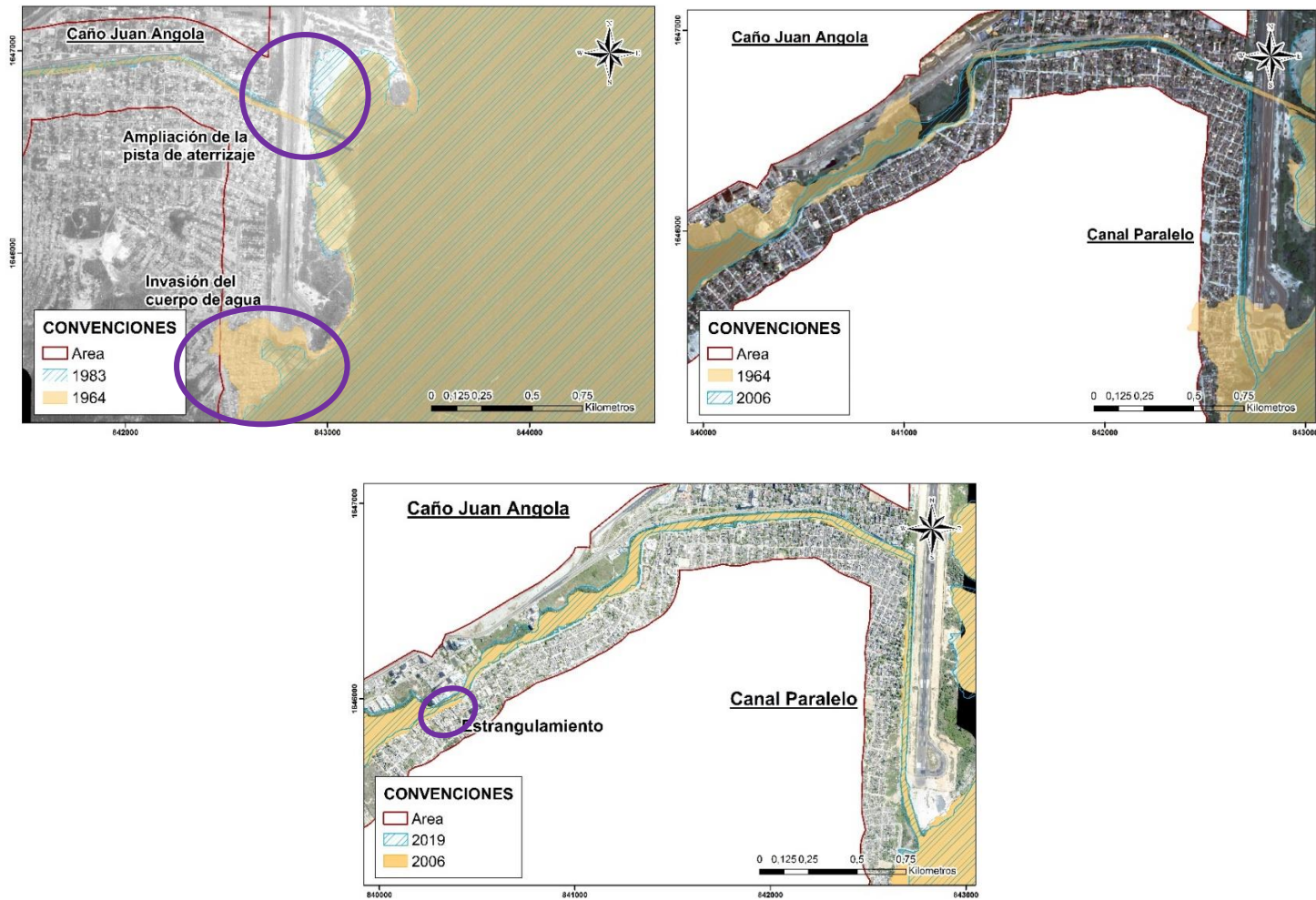
La Ciénaga Juan Polo para el año 1983 se observa en la figura la existencia de una conexión natural con el mar, sin embargo, para el año 2006 se observa la construcción de la vía Cartagena – Barranquilla (1994) junto con un desarrollo urbanístico sobre la barra litoral que separo el canal intermareal en dos sectores y aumento los procesos de sedimentación. Para el año 2019 se evidencia el aumento de la colmatación de sedimentos y por esto mismo el ahorcamiento de la conexión entre las ciénagas.

#### **8.1.7 Sector Bocana y Boquilla**

A partir del año 1983 (Figura 19A) se evidencia el crecimiento urbanístico en esta zona con la construcción de la vía Cartagena-Barranquilla, donde se generan procesos de sedimentación y disminución del cuerpo de agua. En el año 2006 el cambio más significativo es la construcción de la Bocana estabilizadora, que evidencio un cambio en el espejo de agua. Para el año 2019 (Figura 19B) los cambios que se presentan corresponden a los periodos húmedos y secos de la ciénaga.

**Figura 13.**

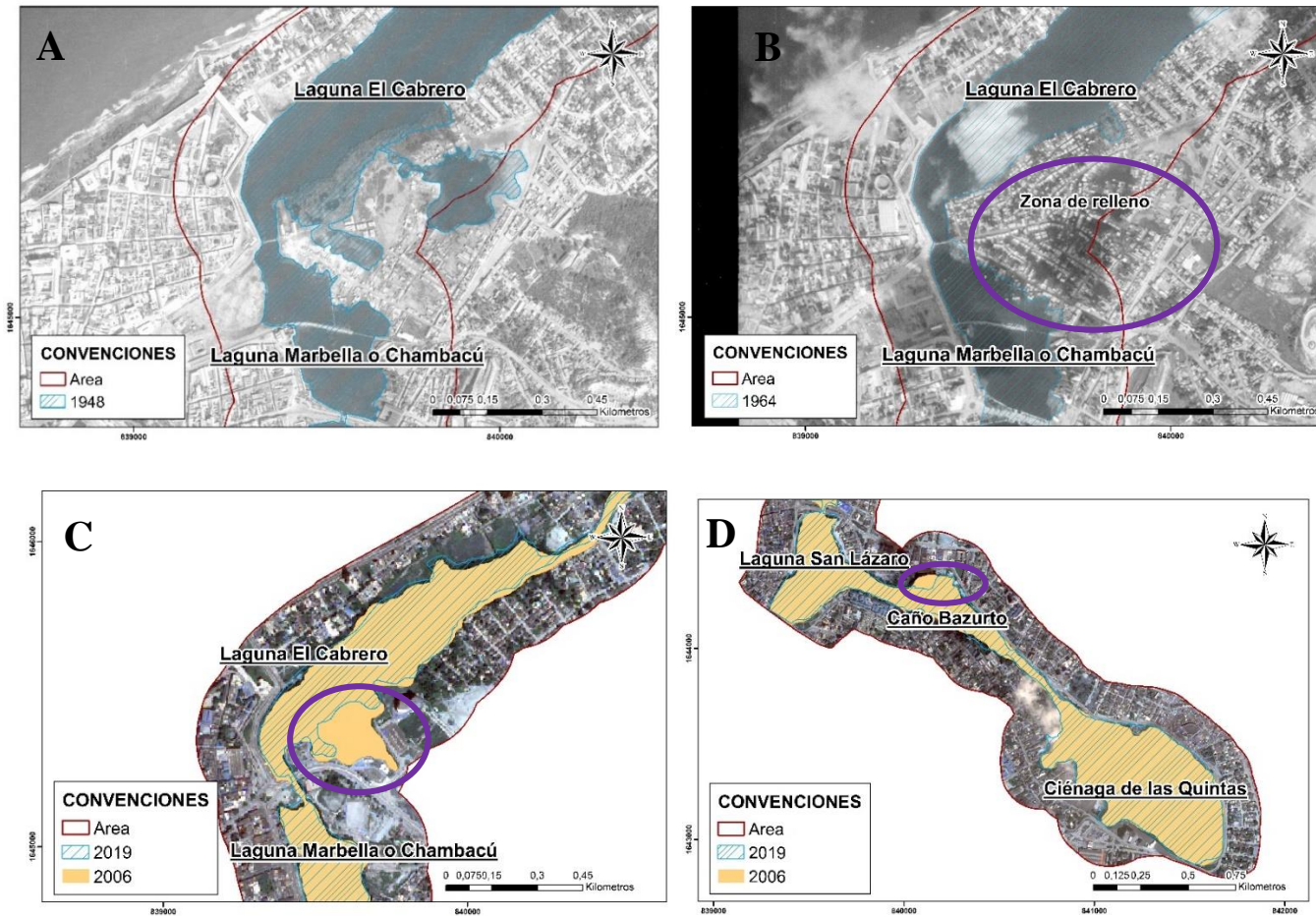
*Evolución multitemporal del espejo de agua del sector del Caño Juan Angola.*



*Nota.* Elaboración propia para (CARDIQUE, 2019).

**Figura 14.**

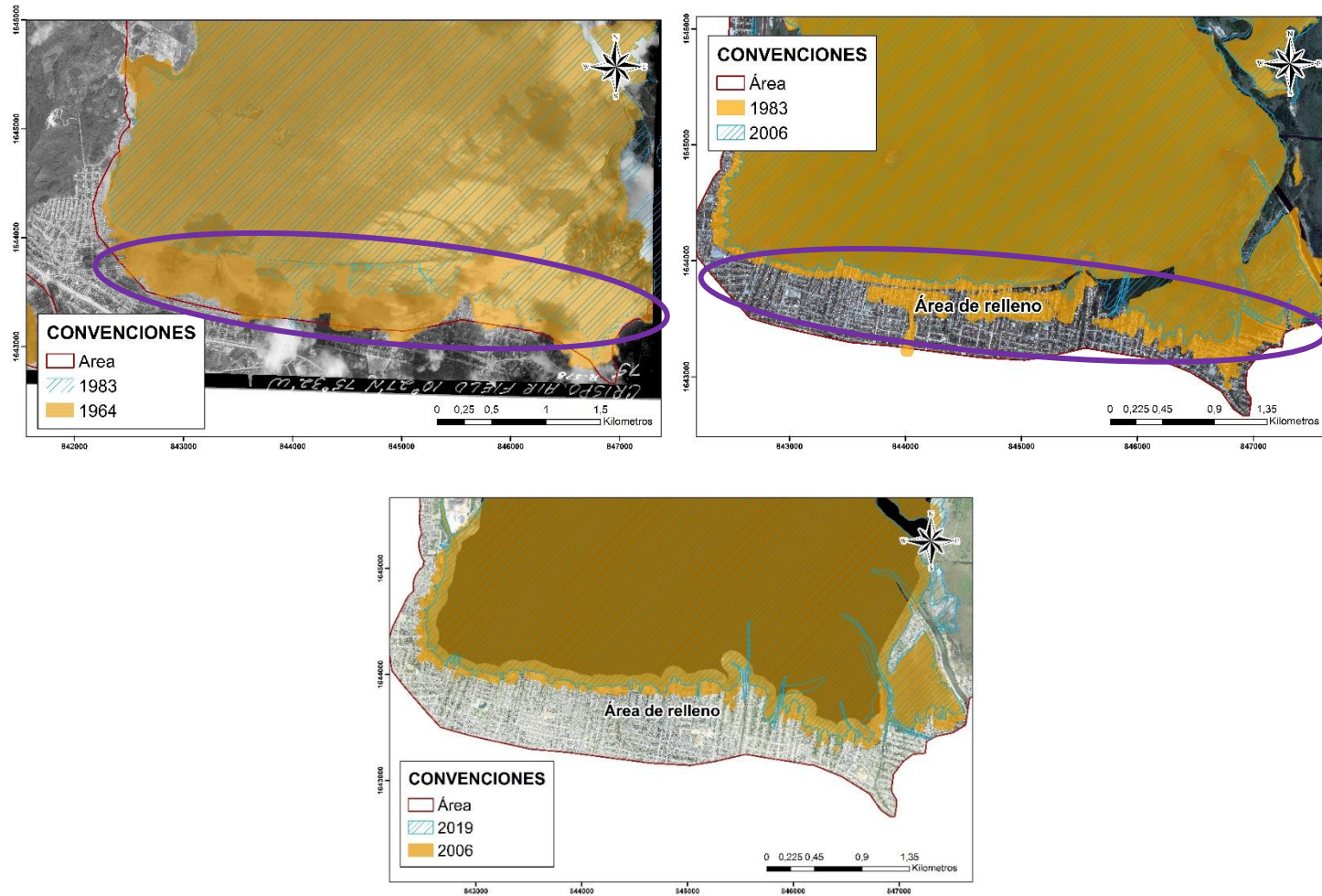
*Comparación de Sectores de Laguna Marbella y Laguna El Cabrero en el año 1948(A) – 1964(B) y cambios en la extensión de los cuerpos de agua internos de Cartagena en el año 2006 al 2019 (C y D)*



*Nota.* Elaboración propia para (CARDIQUE, 2019)

Figura 15.

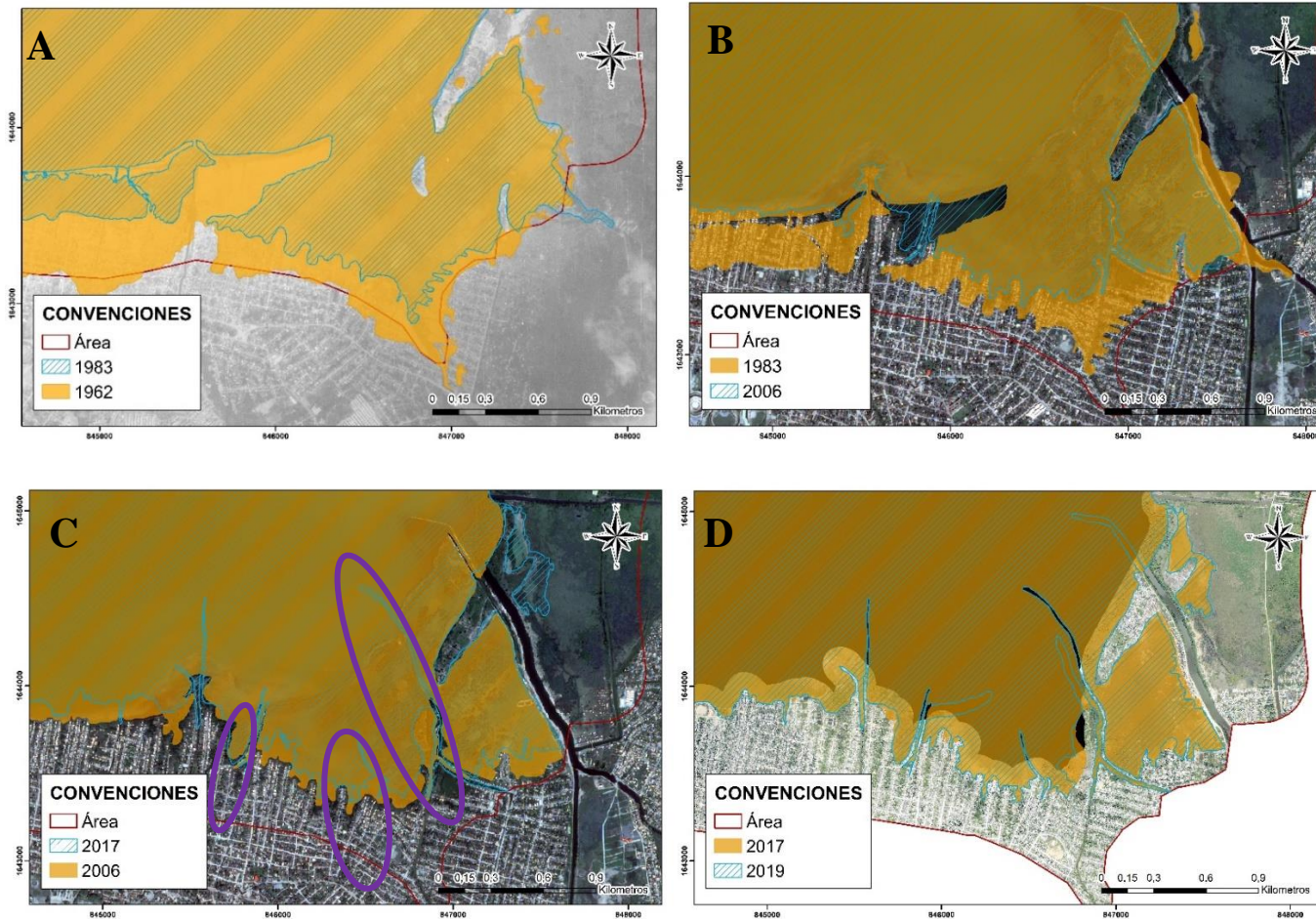
Comparación de Sectores suroccidental y suroriental zona Olaya Herrera en los años 1964 y 1983



Nota. Elaboración propia para (CARDIQUE, 2019)

**Figura 16.**

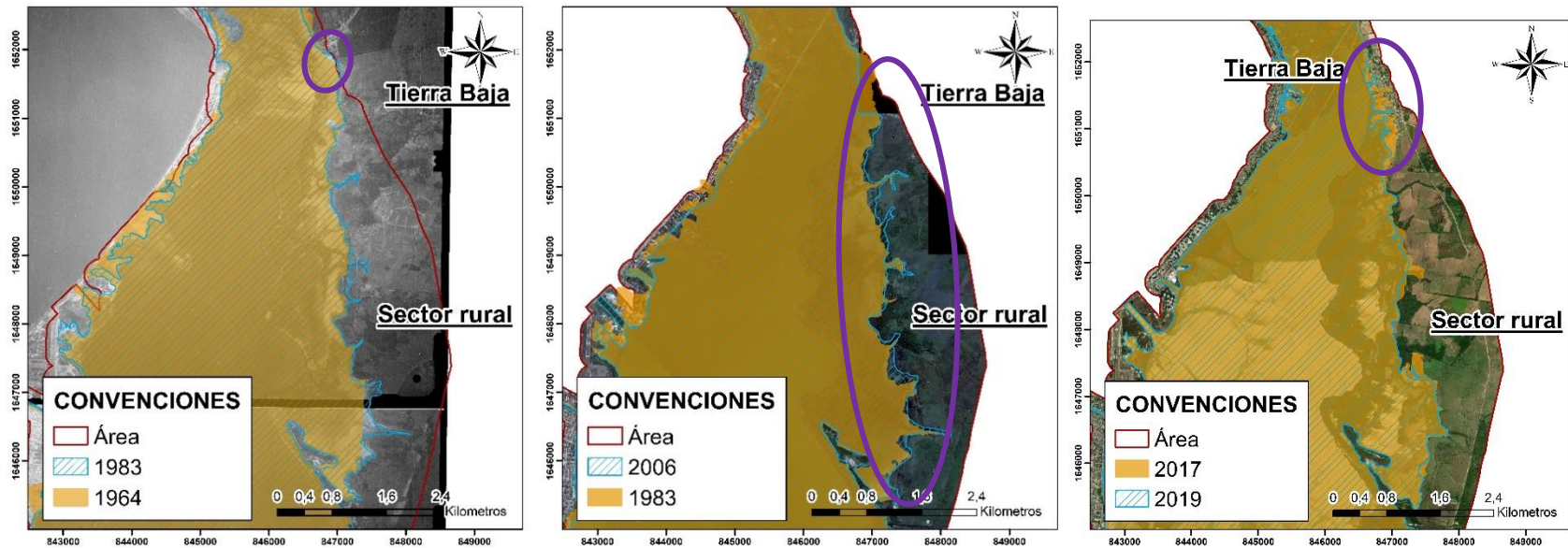
Comparación de la extensión del cuerpo de agua de la zona suroriental de la ciénaga de La Virgen entre los años 1962-1983(A), 1983-2006(B), 2006-2017(C) y 2017-2019(D).



Nota. Elaboración propia para (CARDIQUE, 2019)

**Figura 17.**

*Evolución de la extensión del cuerpo de agua de la zona Tierra Baja y Rural de la ciénaga de La Virgen en los años 1964-1983 (aumento de la extensión del cuerpo de agua) y 1983-2006.*



*Nota.* Elaboración propia para (CARDIQUE, 2019)

**Figura 18.**

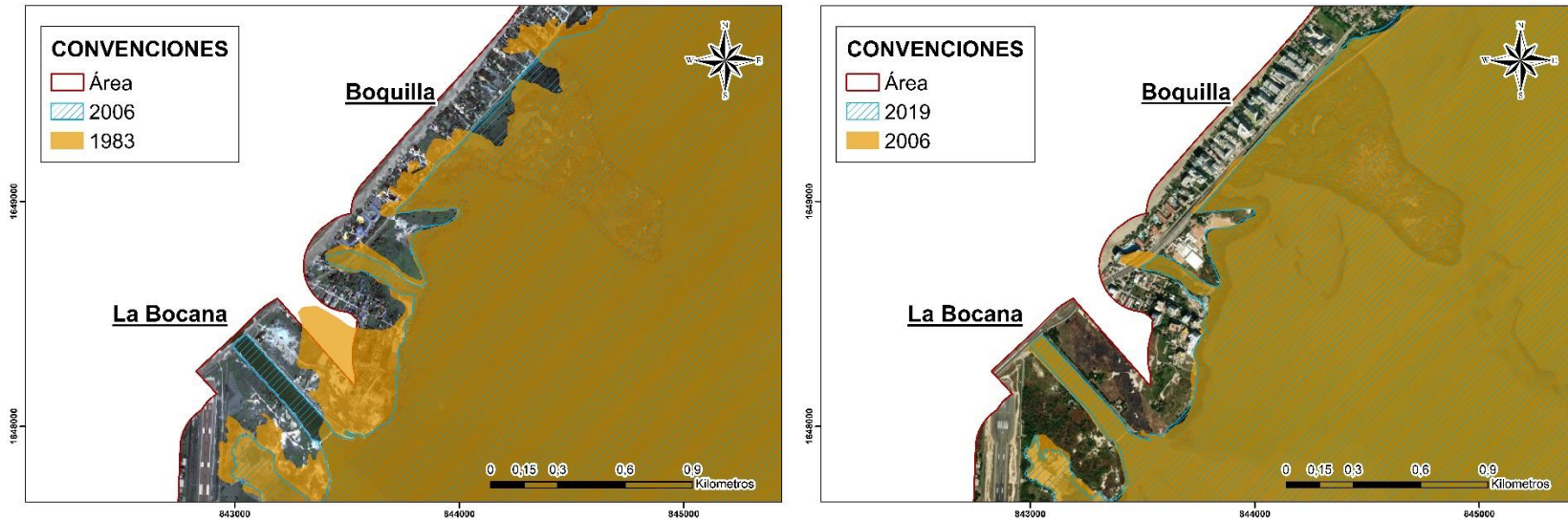
*Evolución de la zona de Juan Polo, Marlinda y Villagloria en los años 1983, 2006 y 2019.*



*Nota.* Elaboración propia para (CARDIQUE, 2019)

**Figura 19**

*Evolución de la zona de La Boquilla y La Bocana en los años 1983, 2006 y 2019.*



*Nota.* Elaboración propia para (CARDIQUE, 2019)

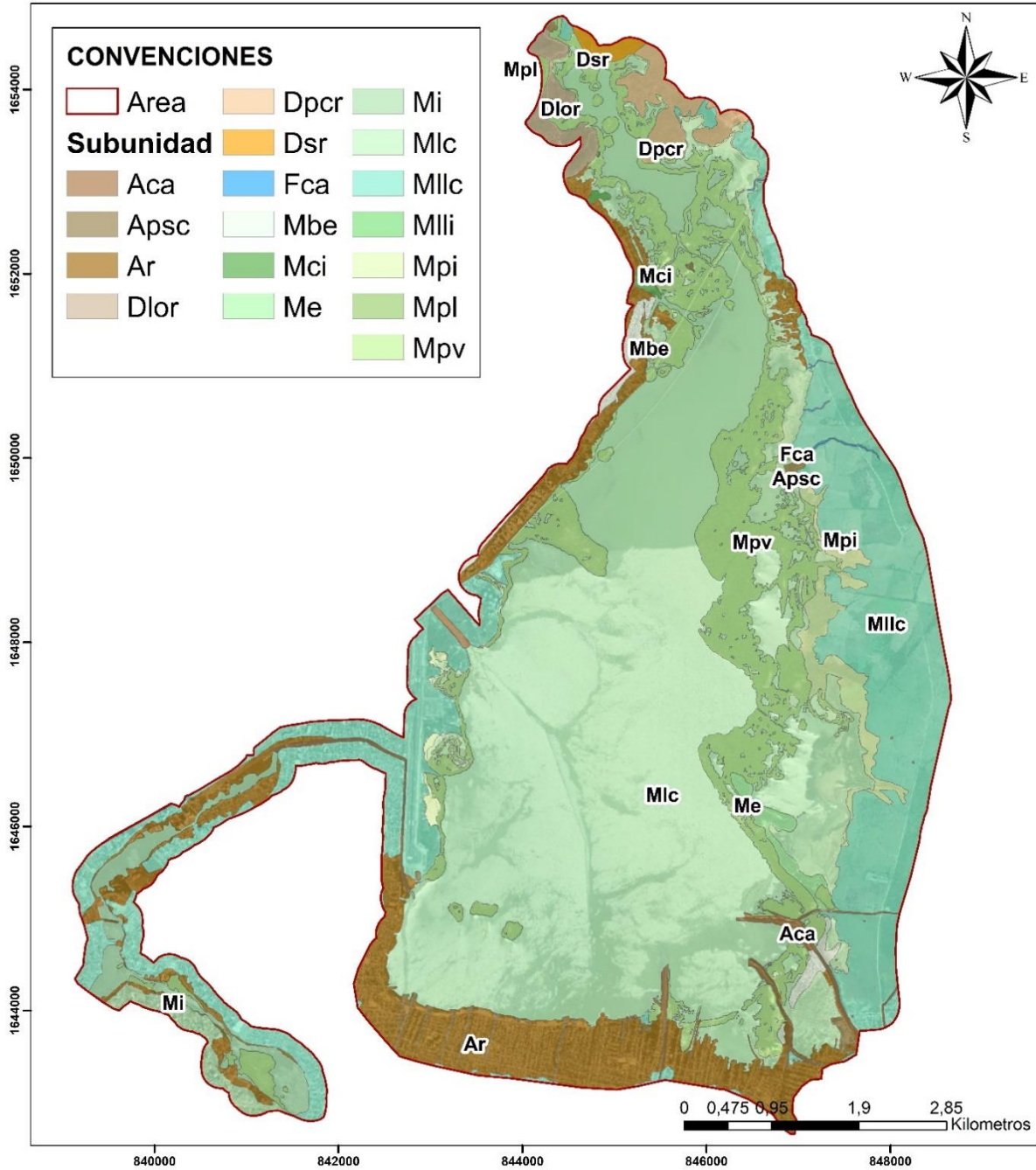
## 8.2 Caracterización geomorfológica

Es importante definir que este apartado del informe está apoyado en una metodología de campo que estuvo compuesta por transectos con la ubicación de las calicatas que otorgaron información valiosa sobre la influencia de los ambientes geomorfológicos y a través de su análisis fue posible determinar el límite geomorfológico de la ciénaga de La Virgen. Los transectos abordados se presentan en el Apéndice A distribuidos en la zona oriental y norte. Para los demás sectores de la ciénaga se realizaron sondeos geotécnicos para conocer el material, la ubicación de estos se presenta en el Apéndice B.

Para la caracterización geomorfológica de la Ciénaga de la Virgen y cuerpos internos de Cartagena, se realiza la aproximación a este componente desde diferentes factores que contribuyen en la formación de una determinada morfología, tales como el ambiente de formación (morfogénesis), las dinámicas internas y externas que la generan (morfodinámica) y los suelos y vegetación asociados a las diferentes geoformas. Fueron identificados cuatro ambientes de los cuales se desprenden treinta y ocho elementos geomorfológicos, pertenecientes a diecisiete subunidades geomorfológicas a los mismos cuatro ambientes, que corresponden a ambiente antrópico, denudacional, fluvial y marino – costero. La identificación de las subunidades se realizó a una escala 1:25.000 y la identificación de los elementos fue realizada a una escala 1:2000 por su nivel de detalle. A continuación, se expone la Figura 20 correspondiente al mapa de subunidades geomorfológicas.

**Figura 20.**

*Subunidades geomorfológicas.*



*Nota.* Elaboración propia para (CARDIQUE, 2019)

Para resumir la caracterización tanto de las subunidades como de los elementos geomorfológicos se usaron una serie de tablas para cada uno de los ambientes expuestos. La nomenclatura de los elementos está definida por la posición dentro de la subunidad o por el proceso geomorfológico dominante, mientras que la connotación cartográfica propuesta, corresponde a abreviaturas de hasta 6 caracteres: El primero hace alusión al ambiente morfogenético, la segunda y tercera para definir la unidad correspondiente y las restantes para especificar la disposición estructural o la posición del elemento dentro de la unidad geomorfológica (Carvajal, 2011). Sumada a esta identificación se realiza una correlación entre las subunidades geomorfológicas identificadas y tabuladas junto a los sondeos realizados en las zonas que rodean la Ciénaga de La Virgen, con el fin de conocer las características de estos rellenos y suelos.

### **8.2.1 Ambiente antrópico**

Corresponde a las formas del terreno producidas por la actividad del hombre que modifica la superficie terrestre.

**8.2.1.1 Canal artificial (Aca).** Es el conjunto de canales construidos por dragado o remoción de los primeros horizontes de suelo con el fin de rectificar los cauces y la escorrentía superficial. Tiene los siguientes elementos geomorfológicos:

**8.2.1.1.1 Dique Artificial de canal (Acad).** Hace referencia a las prominencias que se pueden identificar en ambos márgenes de los canales artificiales identificados en el área urbana y rural de Cartagena, se identifican como positivos topográficos y se compone de material de relleno y el mismo suelo removido en la construcción de los canales.

**8.2.1.1.2 Cauce de Canal artificial (Acac).** Hace referencia a la parte cóncava de los canales construidos por dragado en zonas urbanas y localmente para el abastecimiento de agua, suelen tener una geometría trapezoidal invertida.

**8.2.1.2 Piscinas (Apsc).** Corresponden a cuerpos de agua limitados por diques o barreras acondicionadas artificialmente. Estos son aprovechados en su mayoría para actividades piscícolas. Sus componentes geomorfológicos son:

**8.2.1.2.1 Dique Artificial (Apscd).** Relacionan estructuras locales sobresalientes y cerradas capaces de contener importantes volúmenes de agua, estas están conformadas por material heterogéneo y suelo removido.

**8.2.1.2.2 Piscinas y lagos artificiales (Apsc).** Corresponden a cuerpos de agua acondicionados artificialmente para usos piscícolas o de contención y almacenamiento de agua.

**8.2.1.3 Planos y rellenos antrópicos (Ar).** Son zonas de muy baja pendiente de origen antrópico que se encuentran bordeando la totalidad de la ciénaga, se componen principalmente de material de relleno comúnmente por escombros y desechos de obra civil, utilizados para preparar terrenos inseguros para la construcción. Sus elementos son:

**8.2.1.3.1 Planos de eutrofización y colmatación (Arpec).** Son planos locales ubicados en las zonas periféricas y transicionales entre los llenos antrópicos y zonas de sedimentación natural, donde se evidencia eutrofización a partir de la acción de vegetación halófila y la intervención antrópica cambiando las condiciones químicas del medio, estas zonas se encuentran parcialmente saturadas y con importantes contenidos de materia orgánica.

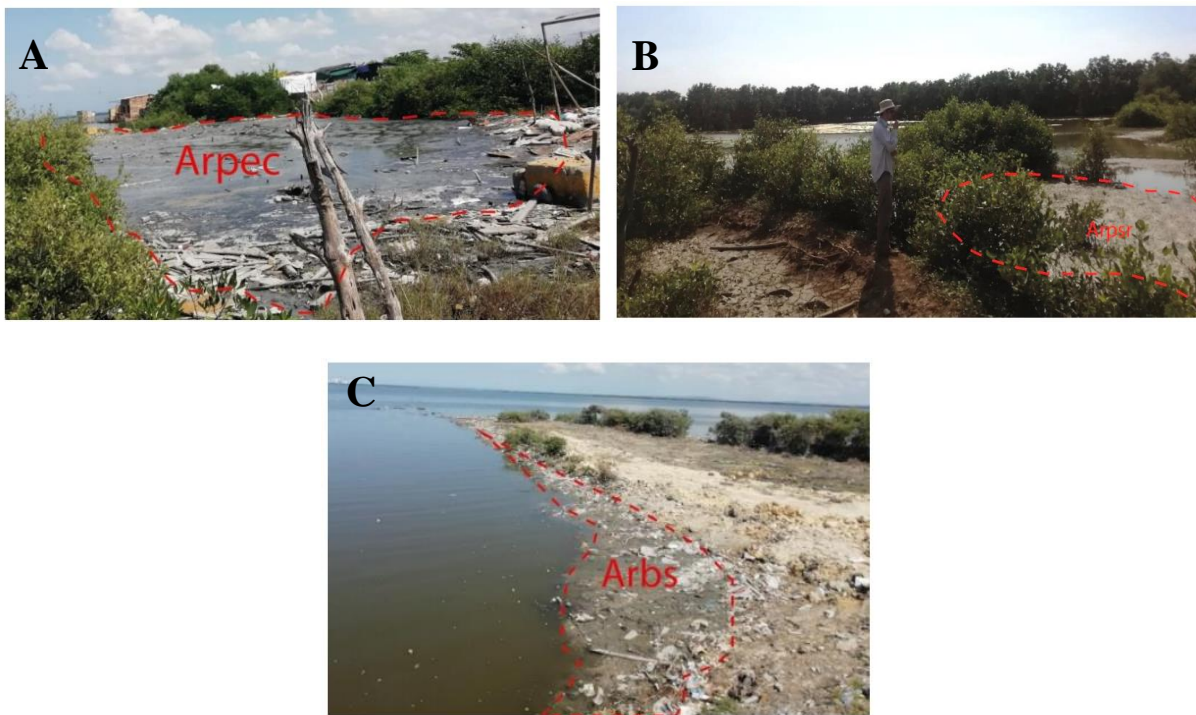
**8.2.1.3.2 Plano de sedimentación y campos de llenos antrópicos (Arpsr).** Estas geoformas planas relacionan aquellas áreas con procesos de sedimentación activa, sobre las cuales se dispone material de relleno antrópico, partiendo de la base de los sedimentos finos depositados en los bordes de la ciénaga.

**8.2.1.3.3 Borde de sedimentación y lleno antrópico (Arbs).** Se origina de manera similar a los planos de sedimentación y campos de llenos antrópicos, se diferencian por la morfometría de los bordes la cual es irregular y presentan una pendiente moderadamente inclinada.

**8.2.1.3.4 Zona urbana sobre plano de sedimentación y llenos antrópicos (Arzu).** Correspondiente a viviendas que se aglomeran sobre los rellenos antrópicos.

### Figura 21

*Planos de eutrofización y colmatación ubicados sobre el barrio Olaya (A). Planos de sedimentación y lleno antrópico dispuesto para urbanizar (B). Borde de sedimentación y lleno antrópico dispuesto sobre el sector del Pozón. (C)*



A partir de los sondeos geotécnicos se validaron las subunidades geomorfológicas delimitadas, las zonas categorizadas como planos y campos de lleno antrópico presentaron suelos con variedad de compuestos como arcillas arenosas, restos mixtos dispuestos por acción antrópica,

entre estos fragmentos de ladrillo y plástico, y material vegetal, a estos suelos de relleno antrópico corresponden 18 de las muestras obtenidas por los sondeos, las cuales no superan los 6m de profundidad. A continuación, se presentan la descripción de un sondeo correspondiente al relleno.

Suelo de relleno (0-1m): se compone de arenas limosas, con presencia esporádica de fragmentos lodolitas grisáceas y en menor medida fragmentos de carbón angulares a subangulares; así como restos antrópicos (plásticos, tubos y ladrillos), también en ocasiones de presentan arcillas areno-limosas de color gris claro, en menor medida arenas de grano fino bien seleccionadas y gravas medias, que pueden ser tanto redondeadas como angulosas de hasta 1.5 cm de diámetro (guijos gruesos). El suelo presenta un aspecto moteado, algo húmedo a húmedo, algo deleznable, no plástico, algo permeable, de consistencia suelta a medio densa. Estos suelos presentan también altos contenidos de humedad que van desde el 6% hasta superar el 38% y altos contenidos de materia orgánica. Son muestras generalmente heterogéneas, varían según su ubicación (sector occidental, norte y sur) y están asociadas las subunidades de planos y rellenos antrópicos relacionados a las zonas urbanizadas que bordean la ciénaga y los canales.

Con esta descripción de las subunidades geomorfológicas correspondientes al ambiente antrópico se define un primer límite geomorfológico de la ciénaga de La Virgen, con esto se determina que la zona correspondiente a los rellenos y planos antrópicos no tiene relación con la evolución de la ciénaga por lo tanto no hace parte de este sistema de humedal. Esto quiere decir que la extensión geomorfológica de la ciénaga de La Virgen se extiende por todo el espejo de agua hasta llegar a estas zonas influidas por procesos antrópicos.

### **8.2.2 *Ambiente denudacional***

Este ambiente es determinado por la actividad de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y principalmente producto de procesos de meteorización, erosión y remoción en masa, sobre geoformas preexistentes.

**8.2.2.1 Loma residual (Dlor).** Corresponden a prominencias topográficas con una elevación menor de 200m respecto al nivel de base local. Presentan una morfología alomada y elongada de laderas cortas, convexas y pendientes muy inclinadas. Son el resultado de procesos intensos de meteorización y erosión diferencial. Los elementos presentes son:

**8.2.2.1.1 Cumbre de Loma residual (Dlorc).** Corresponde a la parte superior de la subunidad, relaciona las zonas de la menor pendiente dentro de la subunidad loma residual y se presentan con geometría convexa y forma circular.

**8.2.2.1.2 Hombro de Loma residual (Dlorh).** Este elemento corresponde al último punto de cambio de inflexión de pendiente dentro de las lomas residuales. Es un elemento que presenta mayor erosión por lo que contiene material coluvial de constante retrabajamiento.

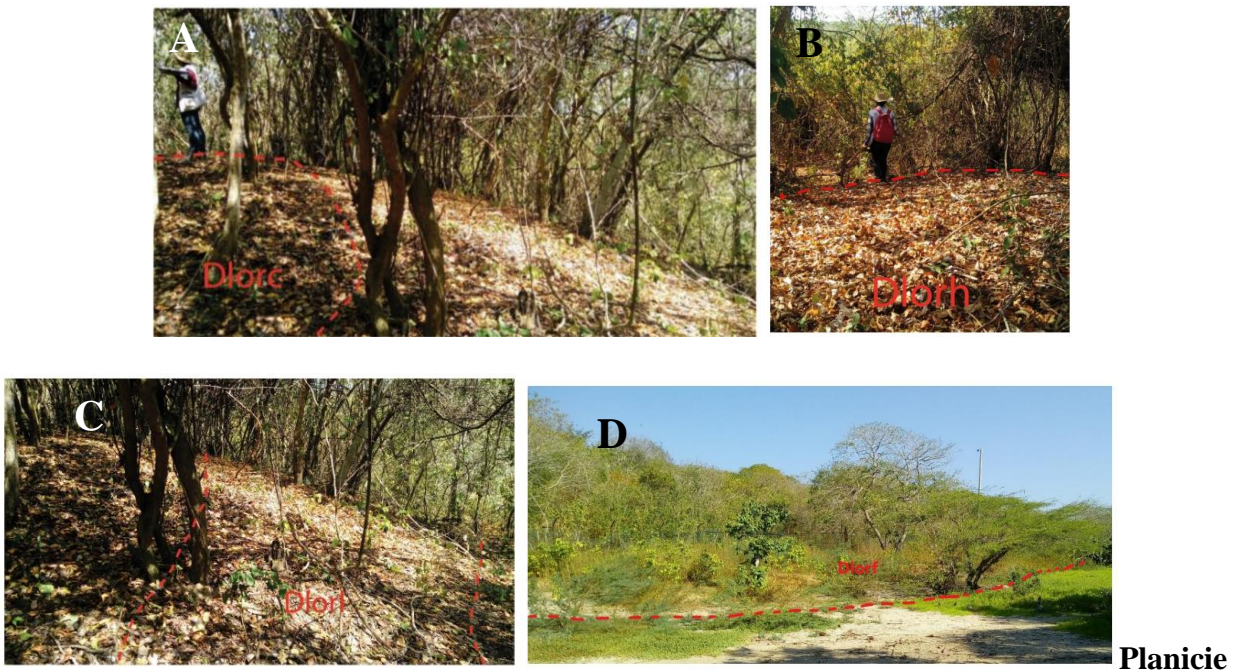
**8.2.2.1.3 Ladera de Loma residual (Dlorl).** Dentro de la subdivisión de las lomas residuales, corresponde a la zona de mayor extensión y de pendiente constante dentro de la morfología de la ladera.

**8.2.2.1.4 Falda de Loma residual (Dlorf).** Hace referencia a la parte basal de los lomeríos residuales ubicados en el área de estudio. Morfométricamente tiene una geometría plana a convexa que se extiende hasta las inmediaciones de la llanura adyacente

**8.2.2.1.5 Pie de Loma residual (Dlorp).** Hace referencia a una forma de terreno cuyo perfil topográfico es plano, alargado, con una pendiente que varía entre plana a ligeramente inclinada, adyacente a la falda de pie residual

**Figura 22**

*Cumbre de loma residual (Dlorc) ubicada al norte de la ciénaga (A). Hombro de loma residual (Dlorh) localizada en la zona noroccidental (B). Ladera de loma residual (Dlorl) al norte de la ciénaga (C). Falda de Loma residual (Dlorf) ubicado en el noroccidente hacia manzanillo del mar (D)*



**Colinada Residual (Dpcr).** Corresponden a áreas planas a suavemente inclinadas, asociadas a antiguas superficies de erosión, presentan una morfología colinada con laderas cortas, rectas a convexas, compuestas por suelos residuales de espesores mayor a 5 metros, se componen de los siguientes elementos:

**8.2.2.2.1 Cumbre de planicie colinada residual (Dpcrc).** Corresponde a la superficie localizada en la parte superior o más alta de la planicie colinada residual; presenta un perfil topográfico que puede variar entre cóncavo e irregular, con presencia ocasional de suelo residual.

Su pendiente va de ligeramente inclinada a moderadamente inclinada. Se forma por la acción de procesos denudacionales que tienen como principales agentes de modelado el viento y la lluvia.

**8.2.2.2 Hombro de planicie colinada residual (Dpcrh).** Corresponde al punto de inflexión entre la zona plana que constituye a la cumbre y ala parte de mayor pendiente correspondiente a la ladera dentro de la subunidad planicie colinada residual.

**8.2.2.3 Ladera de planicie colinada residual (Dpcrl).** Superficie que se encuentra por debajo y a continuación del hombro de planicie colinada residual. Presenta un perfil topográfico rectilíneo a irregular, con pendiente moderadamente inclinada a escarpada.

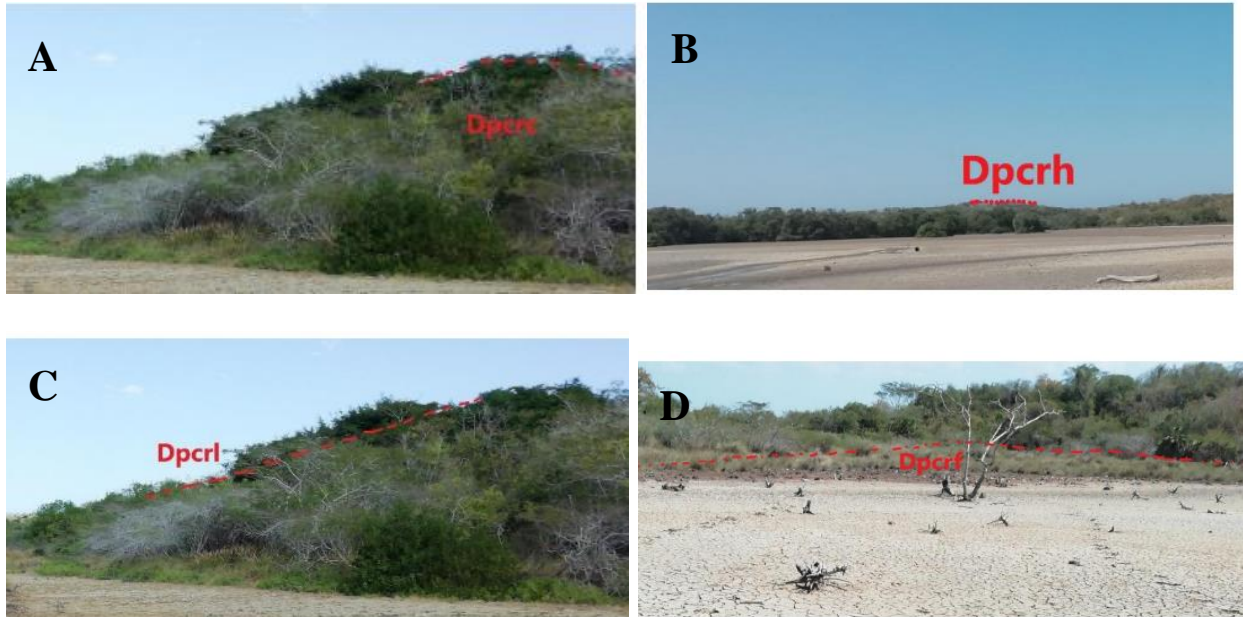
**8.2.2.4 Falda de planicie colinada residual (Dpcrf).** Corresponde a la base de las colinas que conforman la subunidad Planicie colinada residual. Puede identificarse por geometría cóncava iniciando con un alta pendiente en los límites con la ladera y terminando con una pendiente plana en el límite con la llanura costera.

**8.2.2.5 Pie de Planicie colinada residual (Dpcrp).** Hace referencia a una forma de terreno cuyo perfil topográfico es plano, alargado, con una pendiente que varía entre plana a ligeramente inclinada, adyacente a la falda de Planicie colinada residual.

### **Figura 23**

*Elementos o componente geomorfológicos de la subunidad Planicie Colinada Residual (Dpcr).*

*Cumbre de planicie colinada residual (A), Hombro de planicie colinada residual (B), Ladera de planicie colinada residual (C), Falda de planicie colinada residual (D).*



**8.2.2.3 Sierra residual (Dsr).** Son prominencias topográficas, resultado de procesos de meteorización intensa. Presentan morfología montañosa y elongada, de laderas largas, cóncavas a convexas. están cubiertas por suelos residuales con espesores mayores a 3 metros. Se componen de los siguientes elementos geomorfológicos:

**8.2.2.3.1 Cumbre de sierra residual (Dsrc).** Superficie localizada en la parte superior o más alta de la sierra presentando un perfil topográfico cóncavo con una apariencia de cresta, con una pendiente que varía entre ligera a moderadamente inclinada.

**8.2.2.3.2 Hombro de sierra residual (Dsrh).** Superficie localizada entre la cumbre y la ladera de la sierra, cuyo perfil topográfico es rectilíneo-cóncavo y con una pendiente que varía de ligeramente inclinada a moderadamente escarpada.

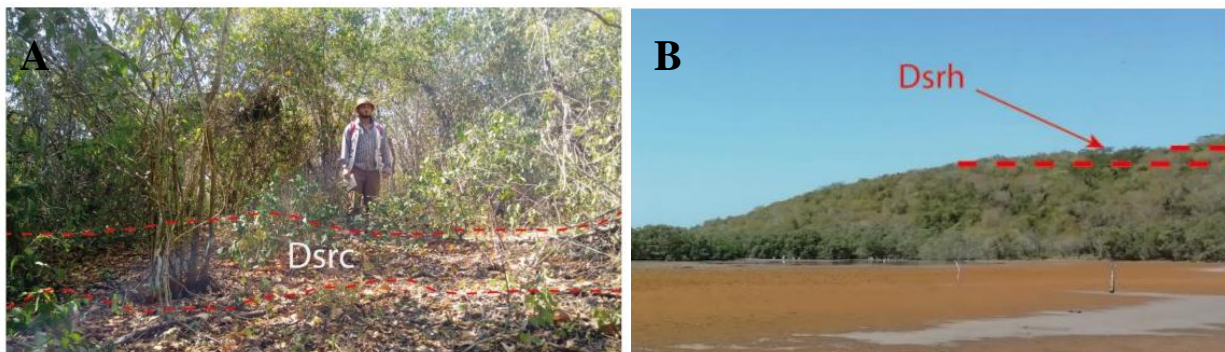
**8.2.2.3.3 Ladera de Sierra residual (*Dsrl*).** Forma de terreno representada por una superficie inclinada que rodea la sierra que tiene perfil topográfico rectilíneo con una longitud que varía de corta o moderada y una pendiente entre moderadamente inclinada a moderadamente escarpada.

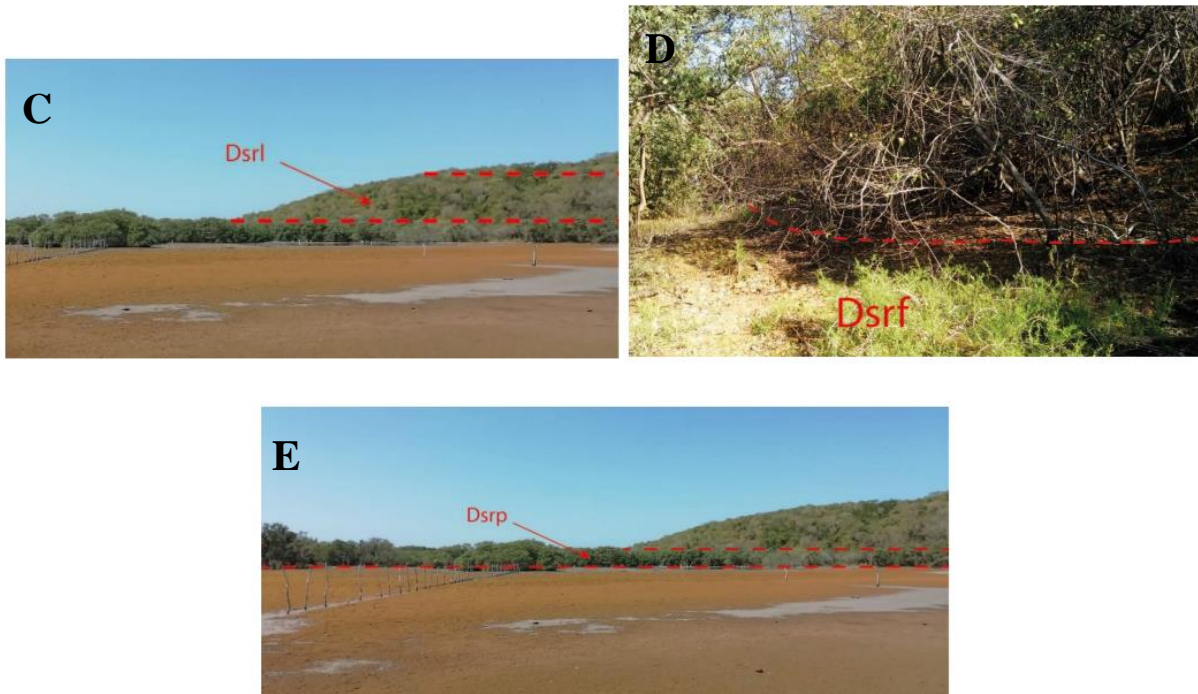
**8.2.2.3.4 Falda de sierra residual (*Dsrf*).** Superficie de perfil topográfico con geometría plana a convexa, alargada a irregular y pendiente que varía de ligeramente plana a moderadamente inclinada, localizada en la base de las sierras

**8.2.2.3.5 Pie de sierra residual (*Dsrp*).** Hace referencia a una forma de terreno cuyo perfil topográfico es plano, alargado, con una pendiente que varía entre plana a ligeramente inclinada, adyacente a la falda de sierra residual.

#### Figura 24

*Elementos o componentes geomorfológicos de la subunidad Sierra residual (*Dsr*). Cumbre de sierra residual (A), Hombro de sierra residual (B), Ladera de sierra residual (C) Falda de sierra residual (D), Pie de sierra residual (E), ubicados en la zona norte de la ciénaga de la Virgen.*





En lo que respecta a los sondeos se tomó una muestra correspondiente al sondeo 25, el cual corresponde en los dos primeros metros (0-2m) a un suelo transportado compuesto por arenas limosas de color gris, con abundante presencia de conchas marinas recientes. El suelo se presenta algo húmedo, no plástico, deleznable, permeable, de consistencia suelta y con humedad del 8.9%. A mayor profundidad (5-5,5m) se encuentran suelos transportados compuesto por arenas arcillolimosas de color marrón, bien seleccionadas, predominantemente de grano fino, acompañadas de esporádicas gravas de areniscas blancas cuarzosas, angulares a subangulares, heterométricas de 0.7 a 3.5 cm de diámetro. El suelo se presenta muy húmedo a saturado, algo plástico, algo deleznable, algo permeable, de consistencia medio densa y su humedad corresponde al 24%. La muestra se relaciona con el elemento geomorfológico de falda de lomo residual (Sondeo 25).

### 8.2.3 *Ambiente fluvial*

Se trata de aquellas geoformas producidas a partir de procesos erosión y sedimentación, los mecanismos de acción que las producen son generalmente corrientes o cuerpos de agua.

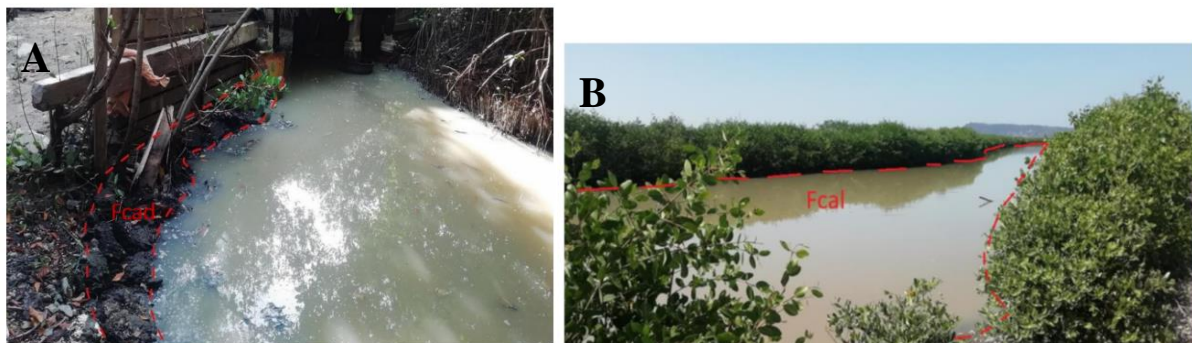
**8.2.3.1 Cauce aluvial (Fca).** Corresponden a canales permanentes de agua con geometría irregular que son producidos por la erosión que provocan las corrientes sean continuas o estacionarias dentro de sedimentos aluviales.

**8.2.3.1.1 Dique de cauce aluvial (Fcad).** Se asocia al margen de un cauce fluvial elevado por depósitos finos, producto de la evolución y sedimentación de material fino después de constantes procesos de desborde del cauce principal.

**8.2.3.1.2 Lecho de cauce aluvial (Fcal).** Forma de terreno representada por una superficie de perfil topográfico convexo, caracterizada por tener geometría estrecha y alargada, contorno sinuoso, pendiente entre plana a ligeramente plana. Se constituye por el material que transporte el flujo.

### Figura 25

*Elementos geomorfológicos de la subunidad de cauce aluvial. Dique de cauce aluvial (A), Lecho de cauce aluvial (B)*



### 8.2.4 Ambiente marino – costero

Geoformas construidas o esculpidas por la actividad de las corrientes y procesos del mar.

**8.2.4.1 Barra espiga (Mbe).** Es una subunidad geomorfológica que corresponde a aquellas barras elongadas que se posicionan de manera paralela a la línea de costa, funcionan como un límite entre los cuerpos de agua interiores con el mar abierto, tienen una morfología suavemente ondulada y una elevación promedio de 0.5 a 1.7m, la subunidad que cumple el propósito de limitar la ciénaga de la Virgen por el occidente con el mar abierto, en La Boquilla. Esta subunidad fue definida por los siguientes elementos geomorfológicos:

**8.2.4.1.1 Flanco de barra de espiga (Mbef).** Cada una de las dos partes laterales de barras de un cuerpo de gran extensión paralelas a la línea de costa.

**8.2.4.1.2 Cresta de barra de espiga (Mbec).** Representa la parte superior de barra espiga, formado por transporte transversal de sedimentos del fondo marino hacia la costa, representa la morfología más elevada de esta subunidad.

**8.2.4.1.3 Zona urbana sobre barra espiga (Mbez).** Corresponde al conjunto de construcciones observadas en el barrio El Pozón, ubicadas sobre la barra espiga definida en la cartografía geomorfológico.

**8.2.4.2 Canal intermareal (Mci).** Corresponde a un canal de drenaje con forma estrecha o como bocanas, su origen se debe al producto del lujo y del refluo de las corrientes generadas por las mareas, este proceso en el que el agua entra y sale del continente permite la colmatación de depresiones, con lodos y cienos, y desarrollando planicies de lodo y rebordes de áreas pantanosas.

**8.2.4.2.1 Cauce de canal intermareal (Mcic).** Es la porción inferior de un canal intermareal, ocupada por la corriente. Se caracteriza por la anchura, la profundidad y la superficie del agua, factores que varían de manera continua generadas por las mareas.

**8.2.4.2 Barra de canal intermareal (Mci).** Se trata de un banco de arena de grandes dimensiones ancho y alargado, formado por transporte transversal de sedimentos del fondo marino hacia la costa de perfil topográfico convexo, posee una pendiente ligeramente plana e inclinada, y configuración estrecha y alargada

**Figura 26**

*Elementos geomorfológicos correspondientes a la subunidad de Canal intermareal (Mci). Cauce de canal intermareal (A), Barra de canal intermareal (B)*



**8.2.4.3 Espiga (Meb).** Barras compuestas por depósitos de arena que se encuentran distribuidos con forma de ganchos elongados que coinciden con la dirección que tiene la deriva litoral. Morfológicamente se observa que en uno de sus extremos se encuentra fijo a una saliente firme, mientras los extremos progradan con una geometría curva por procesos de refracción y difracción del oleaje. Sus componentes son:

**8.2.4.3.1 Barra de Espiga (Meb).** Forma elongada con morfología baja de sección transversal ondulada y paralelas a la costa, conformada por materiales finos.

**8.2.4.3.2 Eje de Espiga (Mee).** Línea divisoria de una barra compuesta compuestas por depósitos de arena distribuidos a manera de ganchos elongados concordantemente con la dirección de deriva litoral.

**8.2.4.4 Isla (Miz).** Corresponde a una prominencia topográfica que emerge en zonas de plataforma continental cercana a la Ciénaga La Virgen, con un origen asociado a la unión de grandes barras litorales producto de la deriva. La isla identificada en el área de estudio recibe el nombre de isla Manga, separada del territorio continental por el Caño Bazurto en el extremo suroeste, esta se encuentra urbanizada en su totalidad.

**8.2.4.5 Laguna costera (Mlc)** Son extensas planicies ligeramente onduladas, limitadas hacia el continente por colinas o por zonas montañosas, y hacia el mar por playas o llanuras intermareales asociadas a lagunas costeras. Su génesis está ligado a procesos fluviomarinos de sedimentación y erosión en el pasado reciente y subreciente, cuando el mar estaba por encima del nivel actual. Sus elementos son:

**8.2.4.5.1 Zona de sedimentación activa (Mlcz).** Son las zonas donde se explayan los sedimentos aportados por ríos o quebradas que desembocan en la ciénaga y en algunos casos por la acumulación de sedimentos en sectores de mangle.

**8.2.4.5.2 Lecho de laguna costera (Mlcl).** Corresponde a la extensión del cuerpo de agua, posee una profundidad superior que las zonas de sedimentación activa, y se encuentran separados entre sí por barras, islas o espigas formadas por la dinámica de la deriva litoral, mareas, el oleaje y redistribución eólica de los sedimentos.

**8.2.4.5.3 Dique artificial de laguna costera (Mlcd).** Hace referencia a las estructuras construidas en el perímetro de la laguna Marbella y San Lázaro con el fin de controlar el desborde de la ciénaga en épocas de lluvia.

**8.2.4.6 Llanura costera (Mllc).** Corresponde a las franjas planas producidas en las zonas de cambio de marea. Se componen principalmente de limos y arcillas grises; en los periodos de sequía se acumulan sales en superficie por evaporación. Sus elementos son:

**8.2.4.6.1 Bajos y zonas de decantación (Mllcbz).** Tienen una posición topográfica baja y forma cóncava en los que se acumula el agua proveniente del desbordamiento de un río, o puede experimentar encharcamiento por lluvias.

**8.2.4.6.2 Camellones (Mllcc).** Corresponde a las geometrías convexas ubicadas en la zona distal a los cauces aluviales.

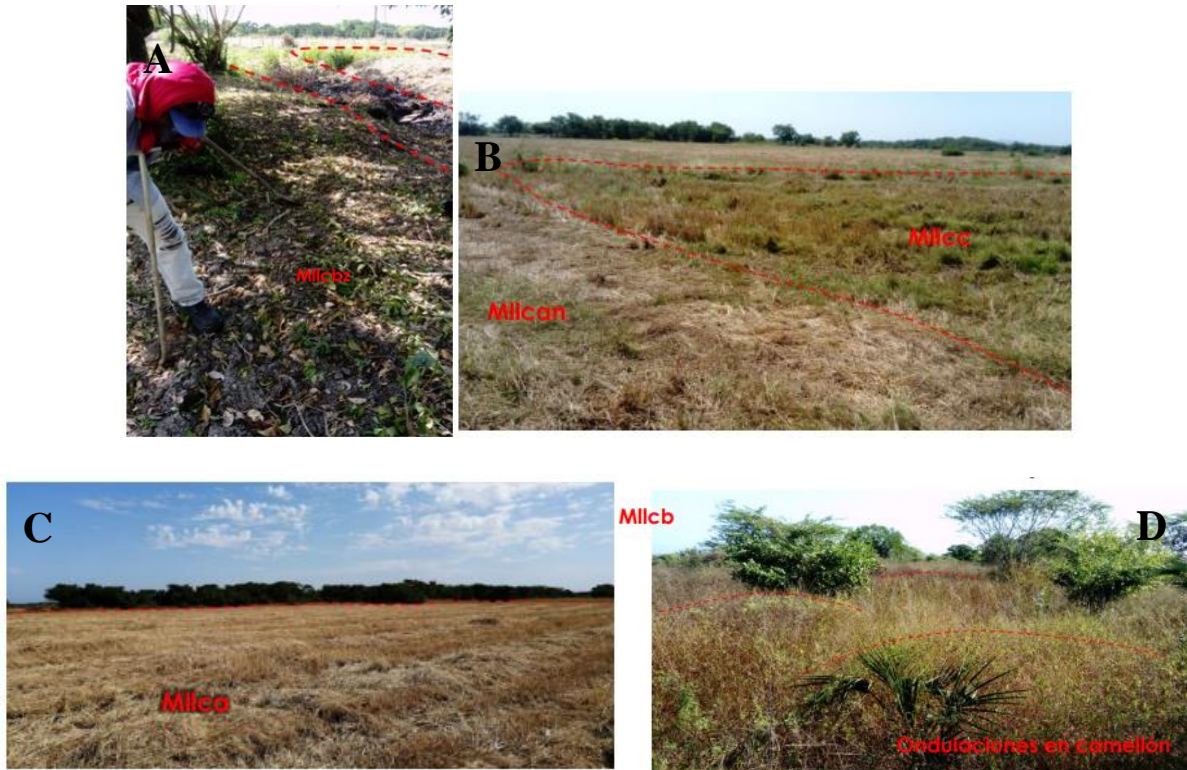
**8.2.4.6.3 Llanura costera alta (Mllca).** Esta unidad consta de una topografía plana ligeramente ondulada resultado del modelamiento costero y fluvial durante el descenso relativo del nivel del mar hacia el Holoceno tardío por levantamiento tectónico. Se compone de niveles de terrazas que pueden distinguirse por la ocurrencia de un talud, o escarpe, y a la presencia de espigas antiguas.

**8.2.4.6.4 Llanura costera baja (Mllcb).** Se caracteriza por presentar una topografía ondulada compuesta de surcos y camellones una pendiente plana y estar sometido a inundaciones frecuentes. Representa una antigua superficie de abrasión de menor edad en comparación con la llanura costera alta.

**8.2.4.6.5 Zona urbana sobre llanura costera (Mllcz).** Corresponde a la zona urbana ubicada sobre la subunidad llanura costera, esta se encuentra en El Pozón, sector 14 de febrero

**Figura 27**

*Elementos geomorfológicos pertenecientes a la subunidad de Llanura costera. Bajos y zonas de decantación (A), Camellones (B), Llanura costera alta (C), Llanura costera baja (D).*



**8.2.4.7 Playa (Mpl).** Depósitos formados por el oleaje; o como una acumulación de arena que es transportada a la costa por el oleaje y las corrientes poseen bajas pendientes y en la mayoría de las playas, la granulometría de los sedimentos va de las arenas finas a los rodados, los sedimentos más finos permanecen en suspensión en el agua y no son depositados en las playas sino en ambientes de muy baja energía.

**8.2.4.7.1 Playa proximal (Mplp).** Porción de la playa que es afectada por las mareas más altas poco frecuentes.

**Figura 28**

*Elemento geomorfológico correspondiente a playa proximal (Mplp)*



De acuerdo con los sondeos la parte más somera (2-3m) se suelen encontrar suelos transportados marinos (de llanura costera) compuesto por arcillas ligeramente limo-arenosas, bien gradadas, de color gris, acompañadas de una ligera fracción de material vegetal (raíces). El suelo se presenta húmedo a muy húmedo, plástico a muy plástico, no deleznable, de consistencia firme. Estos suelos muestran una humedad alta superior al 40%. Este suelo se asocia a la subunidad de llanuras costeras altas y bajas se diferencia del suelo correspondiente a los planos de inundación en la proporción o presencia de arenas de grano muy fino.

A mayor profundidad (5-6m) el suelo transportado marino cambia puesto que se compone de arenas ligeramente limosas, de color marrón, con algunos colores anaranjados y grisáceos de aspecto moteado, donde se observa claramente la presencia de micas (muscovitas). El suelo se encuentra saturado, permeable, deleznable, no plástico, de consistencia medio densa a densa.

Finalmente, en el Apéndice H se muestra el mapa de componentes o elementos geomorfológicos identificados en la Ciénaga de la Virgen y demás cuerpos internos.

### **8.3 Delimitación geomorfológica**

Con el fin de determinar el límite geomorfológico se ha establecido que el inicio de la zona correspondiente a los planos y rellenos antrópicos corresponde a los límites occidentales y sur de La Ciénaga de la Virgen, puesto que esta zona no corresponde a sector con afinidad con el humedal. En ese orden de ideas se toma como límite geomorfológico de este sector los puntos hasta dónde llega el espejo de agua de la Ciénaga de La Virgen. Ahora bien, para complementar la delimitación en este caso no sólo en términos geomorfológicos sino usando otros parámetros para la zona oriental, la cual no tiene mayor influencia antrópica, se decidió definir las condiciones ácuicas (nivel freático, concentración de sal), los suelos con y sin afinidad al humedal.

La razón por la cual se hace una delimitación también dentro de las zonas con subunidades no asociadas a procesos antrópicos se debe a que en la “guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia” se aclara que, dentro del componente geomorfológico, se debe considerar la extensión de humedales como indicador del límite físico del sistema léntico (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2018). Se definieron entonces dos rutas pedológicas para terminar dicha delimitación: la primera es la gradación de entisoles, o suelos poco desarrollados, ácuicos a vertisoles (suelos expansivos), ésta se puede caracterizar en función de la amplitud de las grietas de desecación y el desarrollo de estructura en forma de cuña. Y la segunda, en las lomas residuales, se caracteriza por la acumulación de materia orgánica y melanización (oscurecimiento) del perfil. El criterio principal en este sector es la ausencia del nivel freático, la presencia de colores claros (no litocrómicos) y sal en superficie para los suelos de humedal, los criterios fueron analizados con base a la información obtenida a partir de las muestras pertenecientes a una serie de calicatas ubicadas en el sector oriental (Apéndice 1).

#### **8.3.1 Nivel freático**

El nivel freático a profundidades someras traduce una posible relación inmediata con el sistema de la ciénaga y el volumen de agua contenido bajo el cauce permanente del mismo, es también muy probable la conexión hidráulica subsuperficial entre el cuerpo de agua y el flujo de agua subterráneo, en donde de acuerdo con la época y condiciones del año se generará un flujo subterráneo local. Teniendo en cuenta la anterior definición se determina que dentro del área de análisis se evidencian profundidades de la tabla de agua relativa muy someras menores a un 1m de profundidad. Por otra parte, en las zonas más próximas al cauce permanente definido, también se reconocen zonas con niveles freáticos muy someros en la margen sur del sector de Tierra Baja, área rural de Puerto Rey (ver Apéndice 4).

### **8.3.2 Color**

Es una característica que permite establecer condiciones asociadas a la dinámica natural reciente de la ciénaga. Se determinó para los primeros 50cm de profundidad en un inicio, teniendo como parámetro principal el value (brillo) y chroma (pureza) en el suelo los cuales aumentan cuando hay ausencia de hierro y manganeso a partir de la solubilización de los mismos.

Este criterio considera que los suelos con value  $> 4$  y chroma =1 tienen afinidad con el humedal; sin embargo, con la presencia de concentraciones redox, el chroma puede ser  $< 2$  debido a que estos rasgos tienden a generar tonalidades grisáceas. Otro criterio determinado a partir del color es el aumento del gris en el matiz, en función de la removilización del hierro y cambios en su estado de oxidación. Se asume que deben tener matiz de 10YR o más grises, o, en el caso de acumular hidróxidos, y/o sulfatos, 2.5Y o más amarillos.

Entre los hallazgos se logró obtener la afinidad de los suelos a humedal, Este criterio es decisivo en las localidades de Tierrabaja y Puerto Rey, al igual que en el sector norte en Manzanillo del mar. Por el contrario, en el tramo comprendido entre el Pozón y Tierra baja la espacialización

de esta variable no permite esclarecer diferencias respecto a la afinidad de los suelos con el humedal (ver Apéndice E).

### **8.3.3 Concentración de sal**

El agua salobre de la ciénaga controla el movimiento de iones en solución dentro del perfil del suelo, en los periodos secos cuando el agua se evapora, lleva consigo parte de estos iones, que pueden precipitar en superficie cuando el nivel freático no es profundo. Por lo general, la profundidad a la cual se presentan las concentraciones de sal, en periodos de sequía, es directamente proporcional a la profundidad del nivel freático.

Este criterio define que la ocurrencia de costras de sal se relaciona a niveles freáticos que pueden ser superficiales durante alguna parte del año. También se evaluaron las concentraciones presentes en los canales de raíz en los primeros 50cm, cuando estas se relacionan a colores claros en profundidad que permitan justificar un nivel freático moderadamente profundo, se asocian a la influencia de la ciénaga.

A partir del análisis de los anteriores criterios para identificar los suelos relacionados a la dinámica hidrológica actual de la ciénaga y el contraste edafológico sumado a la comparación que se realizó con los elementos geomorfológicos descritos previamente se logra completar el límite geomorfológico de la Ciénaga de La Virgen.

De manera general se logra contemplar que hacia el límite oriental La llanura costera (Mllc), por ejemplo, presenta dos dinámicas asociadas a la acumulación de agua; la primera involucra las inundaciones causadas por el desborde y aumento del nivel freático de la ciénaga durante subidas de la marea y periodos de lluvia; y otra, relacionada al encharcamiento que ocurre en las épocas de lluvia por el desborde de cauces aluviales y acumulación de escorrentía.

Por otra parte, se logra inferir que a medida que aumenta la distancia a la ciénaga el contraste entre los periodos secos y húmedos es mayor, permitiendo discriminar los suelos cuya génesis está determinada por inundaciones de origen pluvial, por el desarrollo de estructura en cuña y ligero hidromorfismo; así se definió el límite entre los elementos de llanura costera alta (Mllca) y la llanura costera baja (Mllcb). Entonces el límite se extiende al oriente, en las veredas de Tierrabaja y El Pozón, sobre el elemento de llanura costera baja (Mllcb) e integra al norte los elementos de zona de sedimentación activa (Mlcz) y plano de sedimentación y lleno antrópico (Arpsr) (ver Apéndice F).

#### **8.4 Susceptibilidad de inundaciones**

Se realizó la definición de las zonas de susceptibilidad baja, media o alta basado en la morfogénesis de las geoformas, relacionándolo directamente con la predisposición de que exista algún tipo de inundación, por ejemplo, las geoforma morfogénesis fluvial o marina tiene propensión a desarrollar inundaciones, lo cual es expuesto en la siguiente tabla. Este parámetro es complementado con las ocurrencias de las inundaciones reconocidas como eventos históricos los cuales se encuentran a vinculados a cada una de las geoformas.

Sin embargo, se corroboró que la información perteneciente a los eventos históricos de huellas de inundación del IDEAM corresponde a datos que no son adecuados con la escala de trabajo, ya que estas huellas se encuentran a escala 1:100.000 que corresponde a una escala regional y genera discrepancia con la escala 1:2.000 a la cual se llega en el presente análisis.

Es importante resaltar que el protocolo para la incorporación de gestión de riesgo en los POMCA de la cual se toma la metodología para el análisis de susceptibilidad trabaja a una escala 1:25.000, sin embargo, esta metodología se basa en un análisis geomorfológico - histórico, el cual

es avalado por la normativa a nivel nacional como lo es el Decreto 1077 del 2015 para una escala más detallada como la urbana.

**Tabla 2.**

*Definición de probabilidad de inundaciones según la morfogénesis de los elementos geomorfológicos identificados.*

<b>Unidad</b>	<b>Elemento</b>	<b>Nomen c</b>	<b>Susceptibilida d</b>	<b>Descripción</b>
<b>Barra espiga o barrera</b>	<b>Cresta de barra espiga</b>	<b>Mbec</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Flanco de barra espiga</b>	<b>Mbef</b>	<b>Media</b>	Morfología con menor inclinación y más propensa a la inundación
	<b>Zona urbana sobre barra espiga</b>	<b>Mbez</b>	<b>Baja</b>	La zona urbana se reporta como baja probabilidad
<b>Canal artificial</b>	<b>Cauce de canal artificial</b>	<b>Acac</b>	<b>Alta</b>	Se mantiene ocupado por la corriente
	<b>Dique artificial de canal</b>	<b>Acad</b>	<b>Media</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación

<b>Canal intermareal</b>	<b>Barra de canal intermareal</b>	<b>Mcib</b>	<b>Alta</b>	Morfología casi plana que facilita la inundación
	<b>Cauce de canal intermareal</b>	<b>Mcic</b>	<b>Alta</b>	Se mantiene ocupado por la corriente
<b>Cauce aluvial</b>	<b>Dique de cauce aluvial</b>	<b>Fcad</b>	<b>Media</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Lecho de cauce aluvial</b>	<b>Fcal</b>	<b>Alta</b>	Se mantiene ocupado por la corriente
<b>Espiga</b>	<b>Barra de espiga</b>	<b>Meb</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Eje de espiga</b>	<b>Mee</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
<b>Infraestructura</b>	<b>Infraestructura aeroportuaria</b>	<b>Aia</b>	<b>Baja</b>	La zona urbana se reporta como baja probabilidad
	<b>Infraestructura vial</b>	<b>Aiv</b>	<b>Baja</b>	La zona urbana se reporta como baja probabilidad
<b>Isla</b>	<b>Zona urbana sobre isla</b>	<b>Miz</b>	<b>Baja</b>	La zona urbana se reporta como baja probabilidad

<b>Laguna costera</b>	<b>Dique artificial de laguna costera</b>	<b>Mlcd</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Lecho de laguna costera</b>	<b>Mlcl</b>	<b>Alta</b>	Se mantiene ocupado por la corriente
	<b>Zona de sedimentación activa</b>	<b>Mlcz</b>	<b>Alta</b>	Morfología casi plana que facilita la inundación
<b>Llanura costera</b>	<b>Bajo y zona de decantación</b>	<b>Mllcbz</b>	<b>Media</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
	<b>Camellón</b>	<b>Mllcc</b>	<b>Media</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
	<b>Llanura costera alta</b>	<b>Mllca</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Llanura costera baja</b>	<b>Mllcb</b>	<b>Media</b>	Morfología con menor inclinación y más propensa a la inundación

	<b>Zona urbana sobre llanura costera</b>	<b>Mllcz</b>	<b>Baja</b>	La zona urbana se reporta como baja probabilidad
<b>Loma residual</b>	<b>Cumbre de lomo residual</b>	<b>Dlorc</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Falda de lomo residual</b>	<b>Dlorf</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Hombro de lomo residual</b>	<b>Dlorh</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
	<b>Ladera de lomo residual</b>	<b>Dlorl</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
	<b>Pie de Lomo Residual</b>	<b>Dlorpl</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
<b>Piscina</b>	<b>Dique artificial</b>	<b>Apscd</b>	<b>Media</b>	Morfología con menor inclinación y más propensa a la inundación
	<b>Piscina y lago artificial</b>	<b>Apse</b>	<b>Alta</b>	Se mantiene ocupado por la corriente

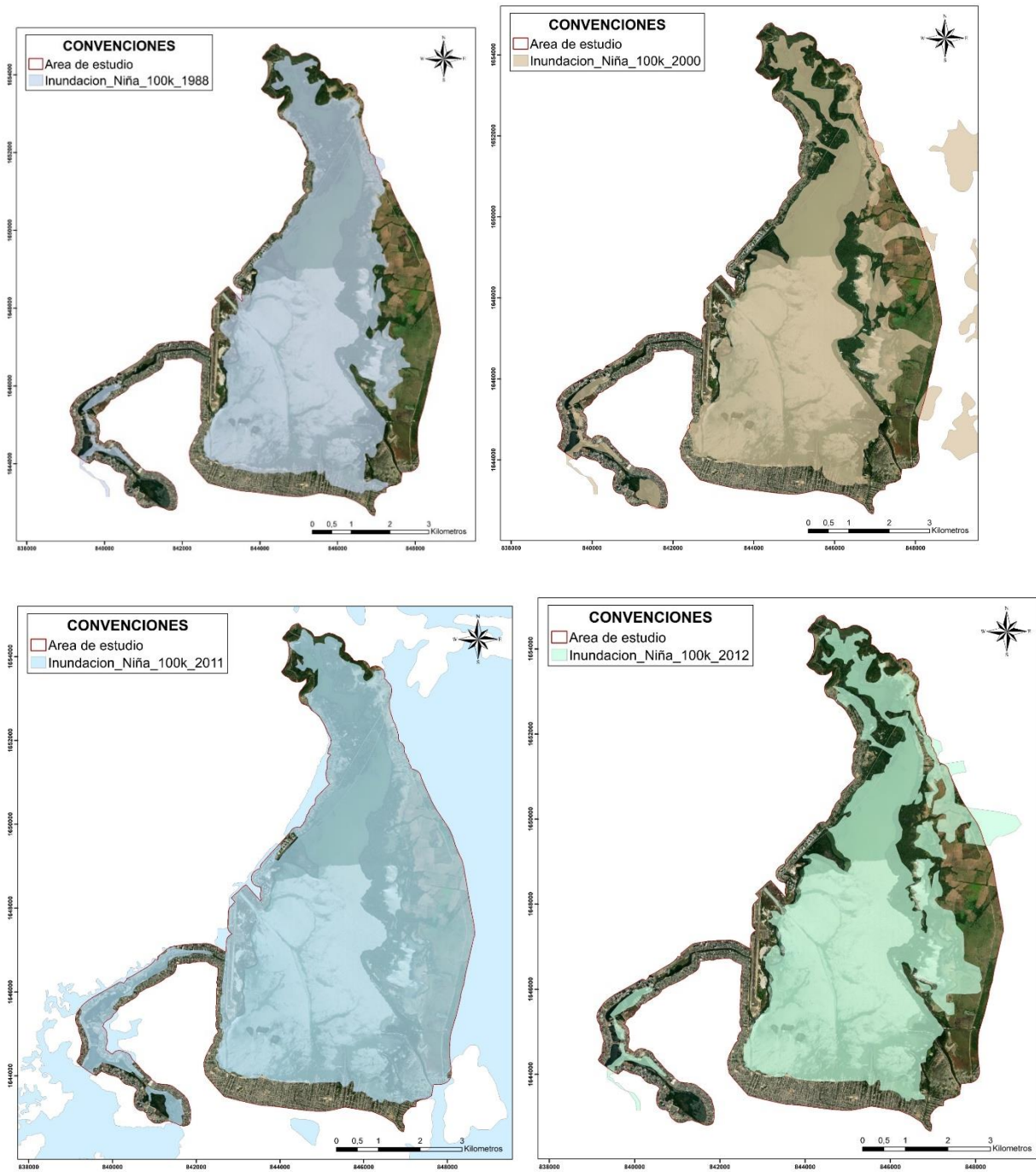
<b>Planicie colinada residual</b>	<b>Cumbre de planicie colinada residual</b>	<b>Dpcrc</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Falda de planicie colinada residual</b>	<b>Dpcrf</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Hombro de planicie colinada residual</b>	<b>Dpcrh</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
	<b>Ladera de planicie colinada residual</b>	<b>Dpcrl</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
	<b>Pie de planicie colinada residual</b>	<b>Dpcrp</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
<b>Plano de inundación</b>	<b>Plano de inundación distal</b>	<b>Mpid</b>	<b>Media</b>	Morfología casi plana que facilita la inundación

	<b>Plano de inundación proximal</b>	<b>Mpip</b>	<b>Alta</b>	Morfología casi plana que facilita la inundación
<b>Plano y campo de lleno antrópico</b>	<b>Borde de sedimentación y lleno antrópico</b>	<b>Arbs</b>	<b>Media</b>	Morfología con menor inclinación y más propensa a la inundación
	<b>Plano de eutrofización y colmatación</b>	<b>Arpec</b>	<b>Media</b>	Morfología con menor inclinación y más propensa a la inundación
	<b>Plano de sedimentación y lleno antrópico</b>	<b>Arpsr</b>	<b>Media</b>	Morfología casi plana que facilita la inundación
	<b>Zona urbana sobre plano de sedimentación y lleno antrópico</b>	<b>Arzu</b>	<b>Baja</b>	La zona urbana se reporta como baja probabilidad
<b>Plano y llanura con</b>	<b>Plano y llanura con</b>	<b>Mpv</b>	<b>Alta</b>	Encharcamiento constante

<b>vegetación</b>	<b>vegetación</b>			
<b>halofila</b>	<b>halófila</b>			
<b>Playa</b>	<b>Playa distal</b>	<b>Mpld</b>	<b>Media</b>	Morfología con menor inclinación y más propensa a la inundación
	<b>Playa proximal</b>	<b>Mplp</b>	<b>Alta</b>	Morfología casi plana que facilita la inundación
<b>Sierra residual</b>	<b>Cumbre de sierra residual</b>	<b>Dsrc</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Falda de sierra residual</b>	<b>Dsrf</b>	<b>Baja</b>	Morfología elevada que impide ser afectada por inundación
	<b>Hombro de sierra residual</b>	<b>Dsrh</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
	<b>Ladera de sierra residual</b>	<b>Dsrl</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación
	<b>Pie de sierra residual</b>	<b>Dsrp</b>	<b>Baja</b>	Zona distal de los cauces aluviales menos propensa a la inundación

**Figura 29.**

*Huellas de inundación del IDEAM a escala 1:100.000.*

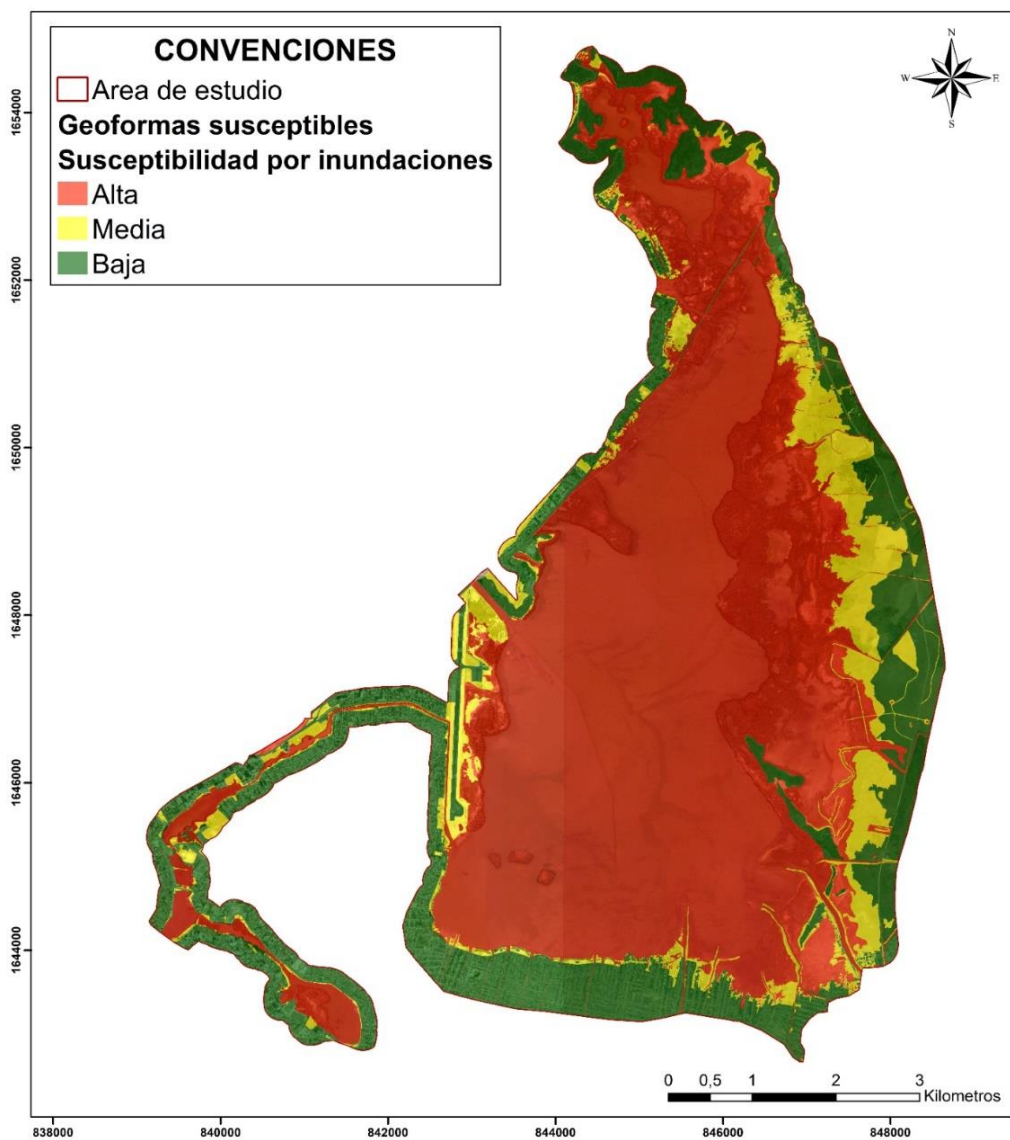


Nota. Tomado y adaptado del (IDEAM, 2017)

Finalmente, a partir de los análisis realizados apegados al protocolo y la normativa vigente fue generado el siguiente mapa de susceptibilidad de inundación correspondiente a la zona de la Ciénaga de la Virgen, siendo coherente con los cauces y los mayores cuerpos de agua que se encuentran en el área de interés.

**Figura 30.**

*Mapa de susceptibilidad de inundación de la Ciénaga de la Virgen.*



## 9 Discusión de los resultados

Lograr identificar los límites de la ronda hídrica de la Ciénaga de La Virgen requirió de la aplicación de una metodología ordenada y sistemática que involucró la generación de un análisis multitemporal y un reconocimiento de las subunidades y elementos o componentes geomorfológicos, a partir de una serie de insumos compuestos por imágenes fotogramétricas (fotografías aéreas, LiDAR y ortofoto) e imágenes satelitales que cumplen con los requerimientos establecidos en términos de escalas y calidad en el protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los POMCA y la normativa vigente (1:25.000 y 1:5.000 respectivamente). Sin embargo, para el caso de las fotografías aéreas se realizó el análisis multitemporal en ausencia de algunas fotografías de los vuelos de algunos años, puesto que no había disponibilidad de este insumo, con esto se quiere decir que línea de vuelo se presenta incompleta, lo que impidió que se realizara una interpretación del área total. Igualmente, dicha información es analizada debido al beneficio que le otorga su nivel de detalle. Adicionalmente para disminuir el impacto de esta falta de información se comprobó la existencia de las zonas de relleno y la evolución de la ronda hídrica con la evaluación de los sondeos realizado en las zonas de relleno, además, se complementa con la comparación entre las épocas secas y de lluvia con las dos imágenes satelitales.

De esta manera se llega a una delimitación del cuerpo de agua a partir de la identificación de las formas del terreno (áreas inundables). A partir del análisis multitemporal se logró identificar que los procesos antropogénicos han tenido una gran influencia en la disminución del espejo de agua y en la canalización de diferentes cuerpos de agua de carácter fluvial, es decir, procesos como

la construcción de diques, canales y zonas de relleno antrópico junto con la contaminación e invasión reflejan cambios en las profundidades de los caños y la extensión del espejo de agua.

En lo que respecta a la metodología con la que se llegó al producto final propuesto, el cual corresponde a la identificación de un límite geomorfológico y la caracterización de las subunidades y elementos geomorfológicos se realizó primero una interpretación a escala 1:25.000 acoplándose a lo propuesto por (Carvajal, 2011), basándose en la geomorfología previa relevada en los antecedentes descritos anteriormente en el apartado que lleva ese nombre. Como dato de relevancia es la propuesta de generar como una geomorfología a escala 1:2.000 de la Ciénaga de La Virgen que se entrega como producto detallado de la zona, en la cual no sólo se relevan las subunidades geomorfológicas sino se logra relevar una importante cantidad de elementos geomorfológicos que posteriormente serán de gran aporte para la definición de la susceptibilidad de inundaciones de la zona.

El complemento de esta delimitación y caracterización consistió en el análisis del nivel freático, el análisis del color y la concentración de sal con el fin de definir hasta dónde llega la influencia del humedal. Esto fue posible de realizar exclusivamente en la zona oriental de la Ciénaga de la Virgen donde se generan aumentos en la extensión del cuerpo de agua afectando moderadamente pastizales y zonas de agricultura, provocados justamente por la intervención antrópica de la zona occidental urbana. Se llega a esta debido a todos los análisis realizados previamente, los cuales tienen relación entre sí, esto se comprueba con la fase final de esta práctica empresarial, la cual corresponde a la evaluación de la susceptibilidad de inundaciones, para ello fue necesario acogerse de lleno a lo establecido por el protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo en los POMCA elaborado por el Ministerio de Ambiente, el cual establece el proceso

sistemático para llegar al producto final de este documento el cual es un insumo de gran relevancia para posteriores evaluaciones de amenaza.

Los insumos usados en esta fase corresponden a una análisis situacional inicial, un análisis histórico que incluye una serie de información procesada correspondiente al análisis multitemporal de imágenes, trabajo de campo con las comunidades (Apéndice 1), comparación con la información anterior, jerarquización de la magnitud y sistematización de la información, el análisis geomorfológico de acuerdo con lo determinado por el protocolo basado en las subunidades determinadas por (Carvajal, 2011) y la definición de áreas críticas sujetas a evaluación de amenaza se realiza considerando las categorías de susceptibilidad alta y media. Estos insumos fueron suministrados a lo largo del desarrollo de la práctica empresarial, sumado a las ocurrencias de las inundaciones reconocidas como eventos históricos los cuales se encuentran a vinculados a cada una de las geoformas.

Sin embargo, se corroboró que la información perteneciente a los eventos históricos de huellas de inundación del IDEAM corresponde a datos a escala 1:100.000 reconocida como una escala regional, que genera discrepancia con la escala 1:2.000 a la cual se llega en el presente análisis. Es importante resaltar que el protocolo para la incorporación de gestión de riesgo en los POMCA de la cual se toma la metodología para el análisis de susceptibilidad trabaja a una escala 1:25.000, sin embargo, esta metodología se basa en un análisis geomorfológico - histórico, el cual es avalado por la normativa a nivel nacional como lo es el Decreto 1077 del 2015 para una escala más detallada como la urbana.

## **10 Conclusiones**

Para cada uno de las fases ejecutadas en este proyecto de delimitación de la ronda hídrica de la Ciénaga de la virgen fueron concluidos determinados aspectos. Para el análisis multitemporal realizado se concluye que existe una disminución progresiva del espejo de agua, principalmente debido a la acción antrópica, la cual se ha encargado de urbanizar, asentar y construir diferentes proyectos viales, viviendas formales e informales, canalizaciones y piscinas o tanques, en pro del crecimiento poblacional y la satisfacción de sus necesidades básicas. El cuerpo de agua se ha visto afectado también por la contaminación y la sedimentación que ha impedido que las aguas de los tributarios fluyan de manera natural y por el contrario, los ha aislado. Los asentamientos del lado occidental de la ciénaga de La Virgen que son los más prominentes han generado cambios geomorfológicos que a través del tiempo han provocado que en la zona oriental de la Ciénaga de la Virgen se generen algunos aumentos en la extensión del cuerpo de agua afectando moderadamente pastizales y zonas de agricultura.

A partir de la caracterización geomorfológica se logró definir una primera parte del límite geomorfológico de la Ciénaga de La Virgen, si bien la zona de estudio se compone de subunidades geomorfológicas influidas por la acción de cuatro diferentes ambientes que corresponden a ambiente antrópico, denudacional, fluvial y marino costero se ha determinado que la zona de planos y rellenos antrópicos no se considera parte del humedal en cuestión, es decir, no está asociado a la evolución de la ciénaga. Mientras que las zonas denudacionales formadas por lomas y sierras residuales, así como las subunidades geomorfológicas marinas – costeras correspondientes a playa, laguna y llanura costera, hacen parte de su evolución.

La Ciénaga de la virgen que posteriormente fue delimitado por completo a través de parámetros adicionales como las condiciones ácuicas como el nivel freático y las características de suelos de humedal y no humedal, como su color y su concentración de sal. A partir de lo cual

se concluye que la Ciénaga de la Virgen tiene un límite geomorfológico que se extiende al oriente, en las veredas de Tierrabaja y El Pozón, sobre el elemento de llanura costera baja (Mllcb) e integra al norte los elementos de zona de sedimentación activa (Mlcz) y plano de sedimentación y lleno antrópico (Arpsr).

Finalmente, en lo que respecta al análisis de la susceptibilidad se concluye que la morfogénesis y morfometría de las geoformas inciden en la existencia de una zona de transición categorizada como susceptibilidad media, entre las categorías alta y baja, evidenciada en el sector oriental como la Llanura costera baja, a diferencia de lo que se observa en el sector norte con los elementos del ambiente denudacional, los cuales por sus características no son propensas a ocurrir eventos de inundación.

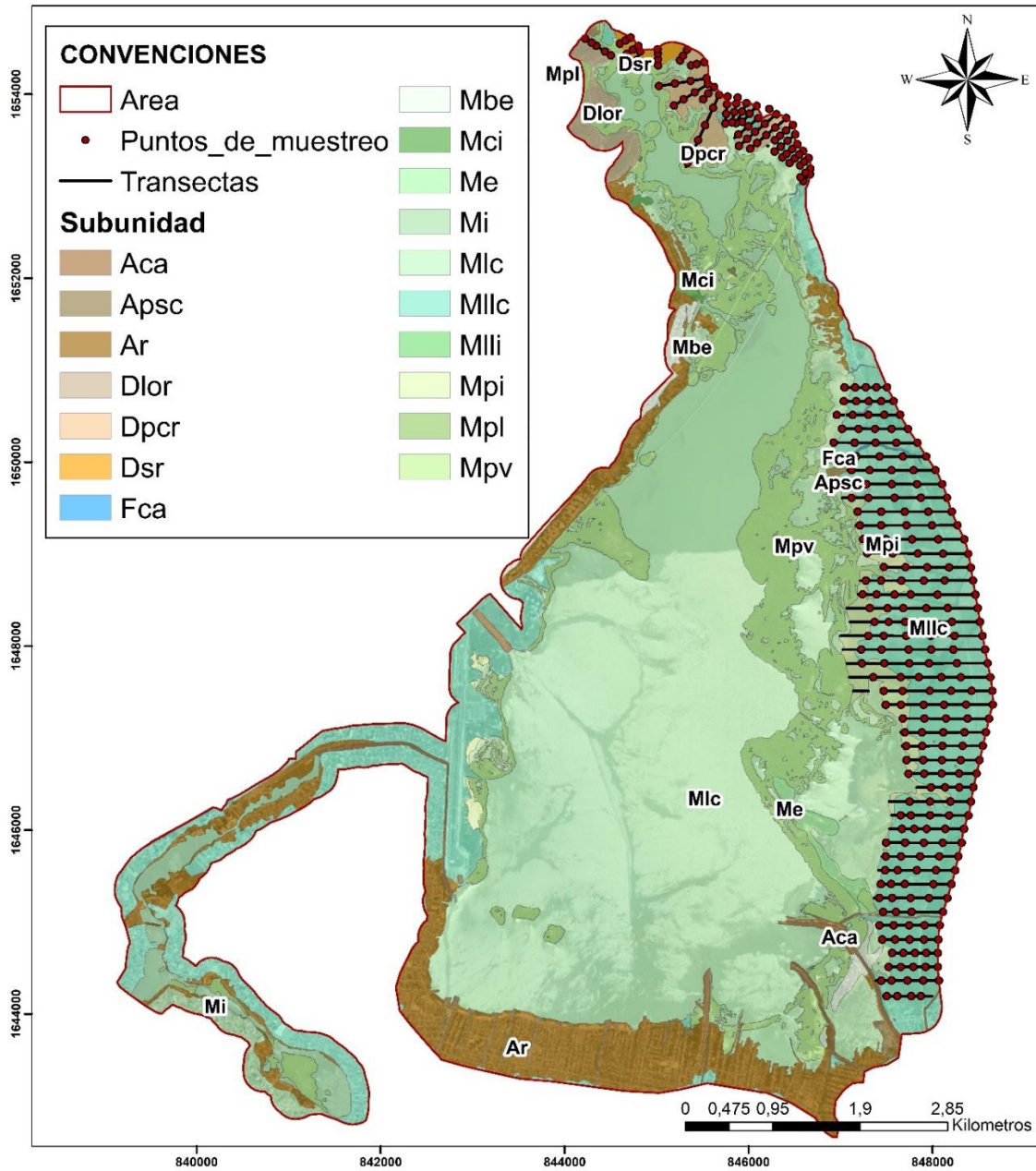
**Referencias bibliográficas**

- Briñez, L., Xastro, S., Cifuentes, D., Díaz, P., Guepe, A., Matoma, A., . . . Zárate, S. (2011). *Ecología Universidad de Ibagué*. Ibagué: Universidad de Ibagué.
- CARDIQUE . (2019). *Elaboración de los estudios técnicos para el acotamiento de la ronda hídrica de la ciénaga de La Virgen y de los cuerpos de agua internos de Cartagena - Fase 1 Delimitación del cauce permanente*. Cartagena: CARDIQUE.
- Carvajal, J. (2011). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Bogotá.
- IAVH. (2016). *Propuesta de límite del humedal en la ventana piloto Ciénaga de la Virgen*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- IDEAM. (2017). *GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN*. Bogotá.
- Ingeominas. (2001). *Planchas 23 Cartagena 29-10 Arjona escala 1:100.000 Memoria explicativa*. Bogotá.
- Ingeominas. (2010). *Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:500.000* . Bogotá: Ministerio de minas y energía.
- Marsh, A., & Rhodes, F. (1999). Lentic and lotic ecosystems. En A. Marsh, & F. Rhodes, *Environmental Geology* (págs. 381-388). Dordrecht: Springer.
- Ministerio de Ambiente. (2014). *Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. Bogotá: Minambiente.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). *Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia*. Bogotá: Minambiente.
- Obregón, C., & Lara, J. (2013). El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa: una herramienta para la gestión sostenible de territorio. *Espacio y Desarrollo*, N°25, 49-64.

SGC. (2016). *Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa esc 1:100.000. Plancha 23 - Cartagena. Medellin.*

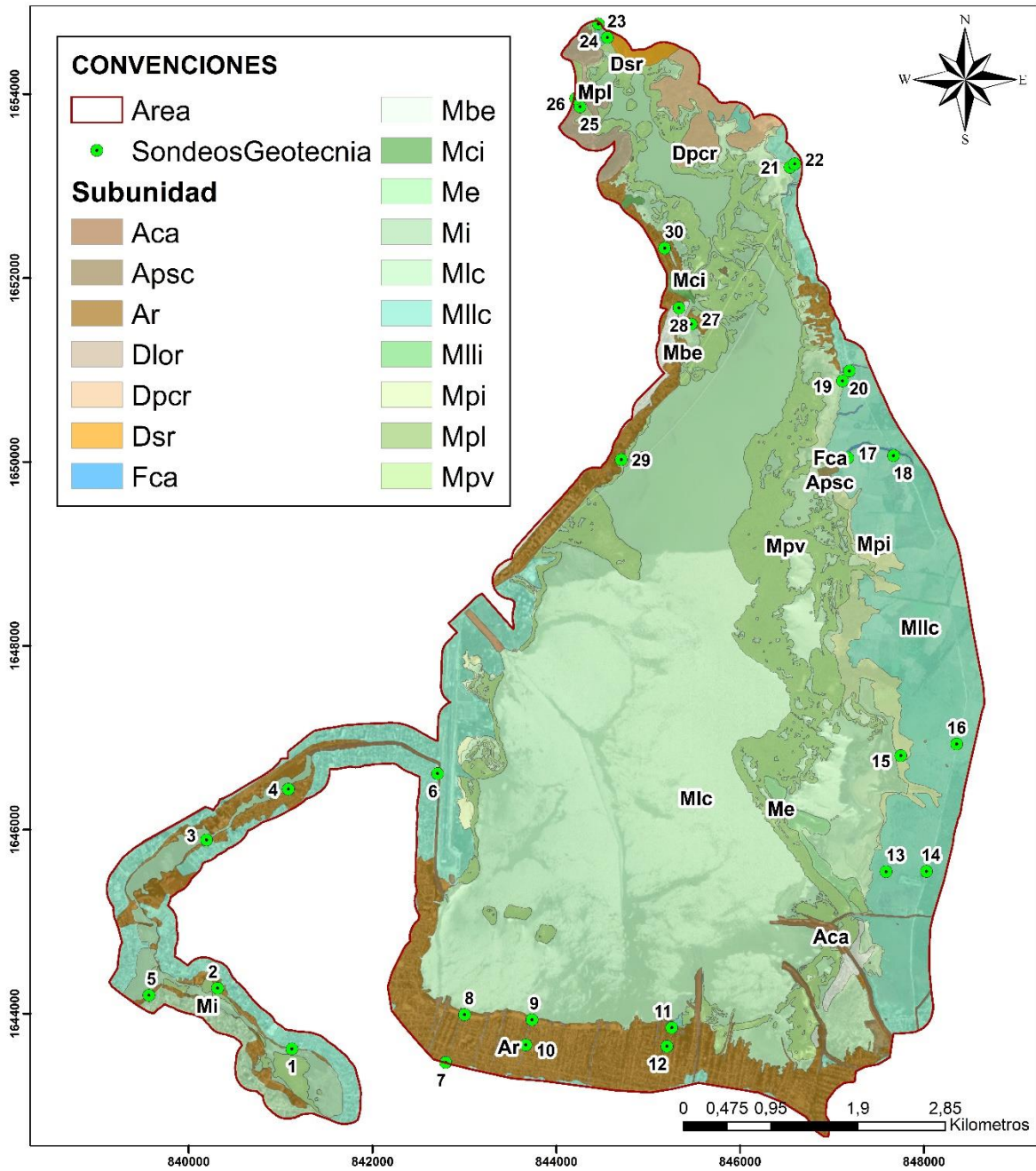
Apéndices

Apéndice A– Ubicación de los transectos y calicatas



Nota. Tomado de. (CARDIQUE , 2019)

Apéndice B– Ubicación de los sondeos geotécnicos



Nota. Tomado de. (CARDIQUE , 2019)

Apéndice C- Entrevistas a la comunidad

Anexo I.2. Formato para avenidas torrenciales

FORMATO PARA ENCUESTA CON COMUNIDADES	
¿SE HAN PRESENTADO AVENIDAS TORRENCIALES EN LA ZONA? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NS/R <input type="checkbox"/>	
FECHA DE PRESENTACIÓN < 5 AÑOS <input type="checkbox"/> Entre 31 y 50 años <input type="checkbox"/> Entre 5 y 15 años <input checked="" type="checkbox"/> Entre 51 y 75 años <input type="checkbox"/> Entre 16 y 30 años <input type="checkbox"/> Mayor a 75 años <input type="checkbox"/> ¿Conoce la fecha exacta? <input type="checkbox"/> ¿Cuál fue? 1997 (Avenida Yabon?)	
¿QUÉ LUGARES HAN SIDO AFECTADOS? Municipio o Distrito: Barrio, San Felipe, Cologona. Barrio o Localidad: Nombre de la corriente: Delimitación del lugar:	
¿DESCRIBA LA MAGNITUD Y EFECTOS DE LA AVENIDA TORRENCIAL? Nivel alcanzado: Duración (horas, días): 5 días Tipo de depósitos (rocas, árboles, barro): Tamaño de los depósitos: Personas afectadas: Daños:	
¿La avenida coincidió con un evento de? Precipitación: <input checked="" type="checkbox"/> Sismo <input type="checkbox"/> Movimiento en masa <input type="checkbox"/> Otro <input checked="" type="checkbox"/> ¿Cuál? Inundación	
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR: ACERCA DE LA FECHA: Segura <input type="checkbox"/> Con Dudas <input checked="" type="checkbox"/> ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN: Segura <input checked="" type="checkbox"/> Con Dudas <input type="checkbox"/> LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES: Fiable <input checked="" type="checkbox"/> Poco Fiable <input type="checkbox"/> Nada Fiable <input type="checkbox"/> JUSTIFICACIÓN: No he vivido toda la vida en Cologona y no he visto	
PERSONA ENCUESTADA: Anónimo <input type="checkbox"/> Nombre y Apellidos: Batista Dirección: Responsabilidad: EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA: 15-20 <input type="checkbox"/> 41-50 <input type="checkbox"/> 21-30 <input type="checkbox"/> 51-75 <input type="checkbox"/> 31-40 <input type="checkbox"/> 76-100 <input type="checkbox"/>	
OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE BRINDADA POR LA PERSONA ENCUESTADA:	
OBSERVACIONES DE LA PERSONA QUE ENCUESTA:	

FORMATO PARA ENCUESTA CON COMUNIDADES	
¿SE HAN PRESENTADO INUNDACIONES EN LA ZONA? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NS/R <input type="checkbox"/>	
FECHA DE PRESENTACIÓN < 5 AÑOS <input type="checkbox"/> Entre 31 y 50 años <input checked="" type="checkbox"/> Entre 5 y 15 años <input type="checkbox"/> Entre 51 y 75 años <input type="checkbox"/> Entre 16 y 30 años <input type="checkbox"/> Mayor a 75 años <input type="checkbox"/> ¿Conoce la fecha exacta? <input type="checkbox"/> ¿Cuál fue? 16 oct - 11 sep, 2004	
¿QUÉ LUGARES HAN SIDO AFECTADOS? Municipio o Distrito: Cologona. Barrio o Localidad: Barrio, San Felipe Nombre de la corriente: Delimitación del lugar:	
¿DESCRIBA LA MAGNITUD Y EFECTOS DE LA INUNDACIÓN? Nivel alcanzado: 1,6 m Duración (horas, días): ~ 1 mes Personas afectadas: 14 mil hab. Daños: 100 casas, árboles, etc.	
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR: ACERCA DE LA FECHA: Segura <input checked="" type="checkbox"/> Con Dudas <input type="checkbox"/> ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN: Segura <input checked="" type="checkbox"/> Con Dudas <input type="checkbox"/> LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES: Fiable <input checked="" type="checkbox"/> Poco Fiable <input type="checkbox"/> Nada Fiable <input type="checkbox"/> JUSTIFICACIÓN: He vivido en Cologona	
PERSONA ENCUESTADA: Anónimo <input type="checkbox"/> Nombre y Apellidos: Surtubier, Gabriel Dirección: Responsabilidad: EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA: 15-20 <input type="checkbox"/> 41-50 <input type="checkbox"/> 21-30 <input type="checkbox"/> 51-75 <input checked="" type="checkbox"/> 31-40 <input type="checkbox"/> 76-100 <input type="checkbox"/>	
OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE BRINDADA POR LA PERSONA ENCUESTADA:	
OBSERVACIONES DE LA PERSONA QUE ENCUESTA:	

Anexo I.1. Formato para inundaciones fluviales lentas

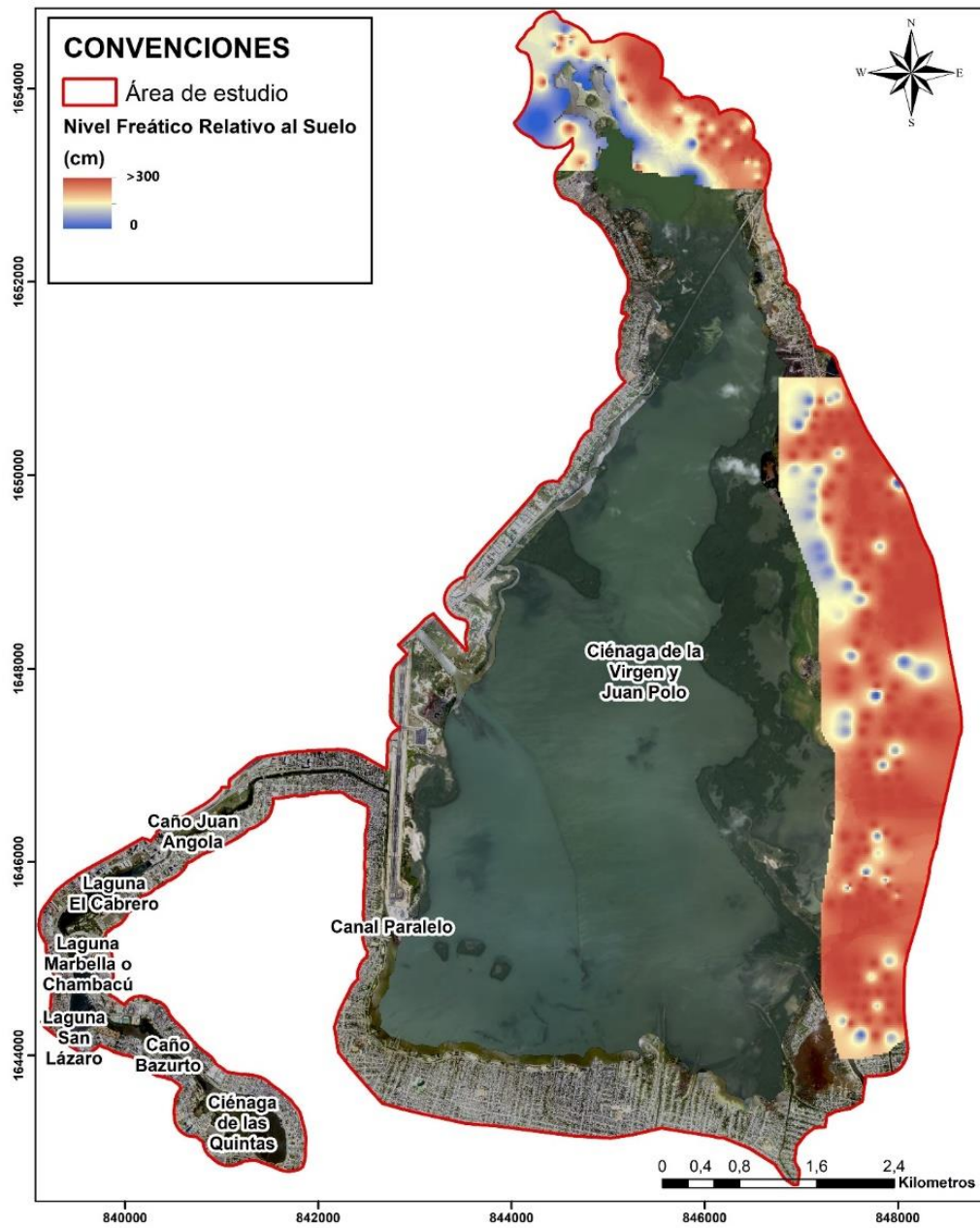
FORMATO PARA ENCUESTA CON COMUNIDADES	
¿SE HAN PRESENTADO INUNDACIONES EN LA ZONA? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NS/R <input type="checkbox"/>	
FECHA DE PRESENTACIÓN < 5 AÑOS <input type="checkbox"/> Entre 31 y 50 años <input checked="" type="checkbox"/> Entre 5 y 15 años <input checked="" type="checkbox"/> Entre 51 y 75 años <input type="checkbox"/> Entre 16 y 30 años <input type="checkbox"/> Mayor a 75 años <input type="checkbox"/> ¿Conoce la fecha exacta? <input checked="" type="checkbox"/> ¿Cuál fue? 2004 (22-30), 2007 (oct-nov) 2011 (oct)	
¿QUÉ LUGARES HAN SIDO AFECTADOS? Municipio o Distrito: Barrio o Localidad: El Arroyo, Olivos, El Arroyo, San Felipe Nombre de la corriente: Delimitación del lugar:	
¿DESCRIBA LA MAGNITUD Y EFECTOS DE LA INUNDACIÓN? Nivel alcanzado: 1,5 - 2m Duración (horas, días): ~ 1 semana Personas afectadas: 2004 (33.000 hab/m) Daños: 2011 (5000 personas)	
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR: ACERCA DE LA FECHA: Segura <input type="checkbox"/> Con Dudas <input type="checkbox"/> ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN: Segura <input type="checkbox"/> Con Dudas <input type="checkbox"/> LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES: Fiable <input type="checkbox"/> Poco Fiable <input type="checkbox"/> Nada Fiable <input type="checkbox"/> JUSTIFICACIÓN:	
PERSONA ENCUESTADA: Anónimo <input type="checkbox"/> Nombre y Apellidos: Angel Flores Dirección: Mz. 6 Lote 14 Sector La Uña Responsabilidad: Teléfono: 3217190647 EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA: 15-20 <input type="checkbox"/> 41-50 <input type="checkbox"/> 21-30 <input type="checkbox"/> 51-75 <input checked="" type="checkbox"/> 31-40 <input type="checkbox"/> 76-100 <input type="checkbox"/>	
OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE BRINDADA POR LA PERSONA ENCUESTADA: - Superó la capacidad de liberación	
OBSERVACIONES DE LA PERSONA QUE ENCUESTA:	

Anexo I.1. Formato para inundaciones fluviales lentas

FORMATO PARA ENCUESTA CON COMUNIDADES	
¿SE HAN PRESENTADO INUNDACIONES EN LA ZONA? SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> NS/R <input type="checkbox"/>	
FECHA DE PRESENTACIÓN < 5 AÑOS <input type="checkbox"/> Entre 31 y 50 años <input type="checkbox"/> Entre 5 y 15 años <input type="checkbox"/> Entre 51 y 75 años <input type="checkbox"/> Entre 16 y 30 años <input checked="" type="checkbox"/> Mayor a 75 años <input type="checkbox"/> ¿Conoce la fecha exacta? <input type="checkbox"/> ¿Cuál fue?	
¿QUÉ LUGARES HAN SIDO AFECTADOS? Municipio o Distrito: Barrio o Localidad: Nombre de la corriente: Delimitación del lugar:	
¿DESCRIBA LA MAGNITUD Y EFECTOS DE LA INUNDACIÓN? Nivel alcanzado: 1 m Duración (horas, días): 1 día Personas afectadas: 1 mil personas Daños: 1000 personas, destrucción de cultivos, árboles destruidos	
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR: ACERCA DE LA FECHA: Segura <input type="checkbox"/> Con Dudas <input checked="" type="checkbox"/> ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN: Segura <input type="checkbox"/> Con Dudas <input checked="" type="checkbox"/> LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES: Fiable <input type="checkbox"/> Poco Fiable <input checked="" type="checkbox"/> Nada Fiable <input type="checkbox"/> JUSTIFICACIÓN: no he vivido en Cologona o estuve que ayude a la inundación	
PERSONA ENCUESTADA: Anónimo <input type="checkbox"/> Nombre y Apellidos: Juan Carlos Surtubier Dirección: Calle 1000, Sector Antioqueño-MS Responsabilidad: Teléfono: 311-47230447 EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA: 15-20 <input type="checkbox"/> 41-50 <input type="checkbox"/> 21-30 <input type="checkbox"/> 51-75 <input type="checkbox"/> 31-40 <input checked="" type="checkbox"/> 76-100 <input type="checkbox"/>	
OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE BRINDADA POR LA PERSONA ENCUESTADA:	
OBSERVACIONES DE LA PERSONA QUE ENCUESTA: Tener cuidado los canales por donde pasa la mayor parte de aguas fluviales y formar en la cienaga.	

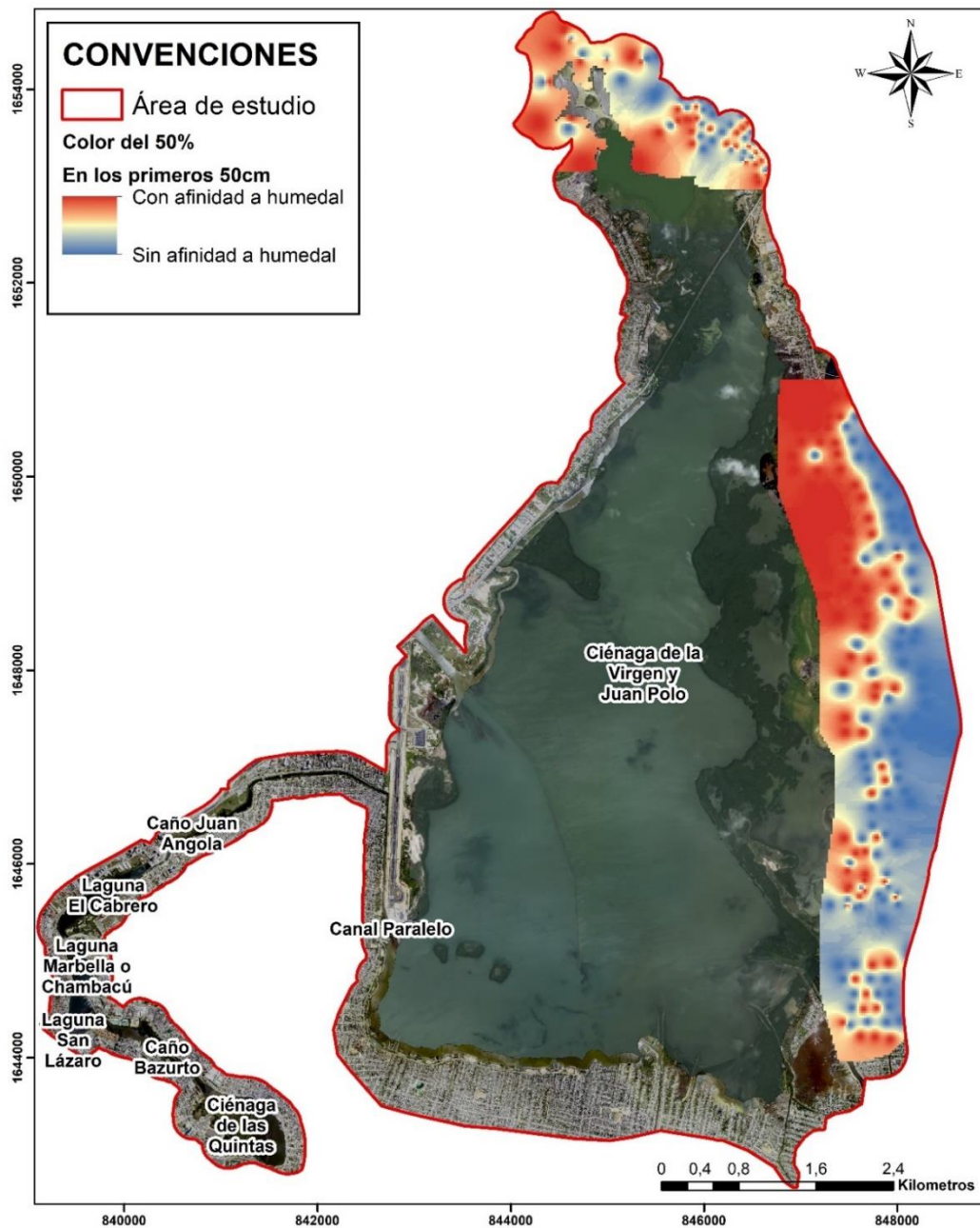
Nota. Tomado de. (CARDIQUE, 2019)

## Apéndice D– Distribución espacial del nivel freático



Nota. Tomado de. (CARDIQUE , 2019)

## Apéndice E – Distribución espacial del color en los primeros 50cm del área de estudio



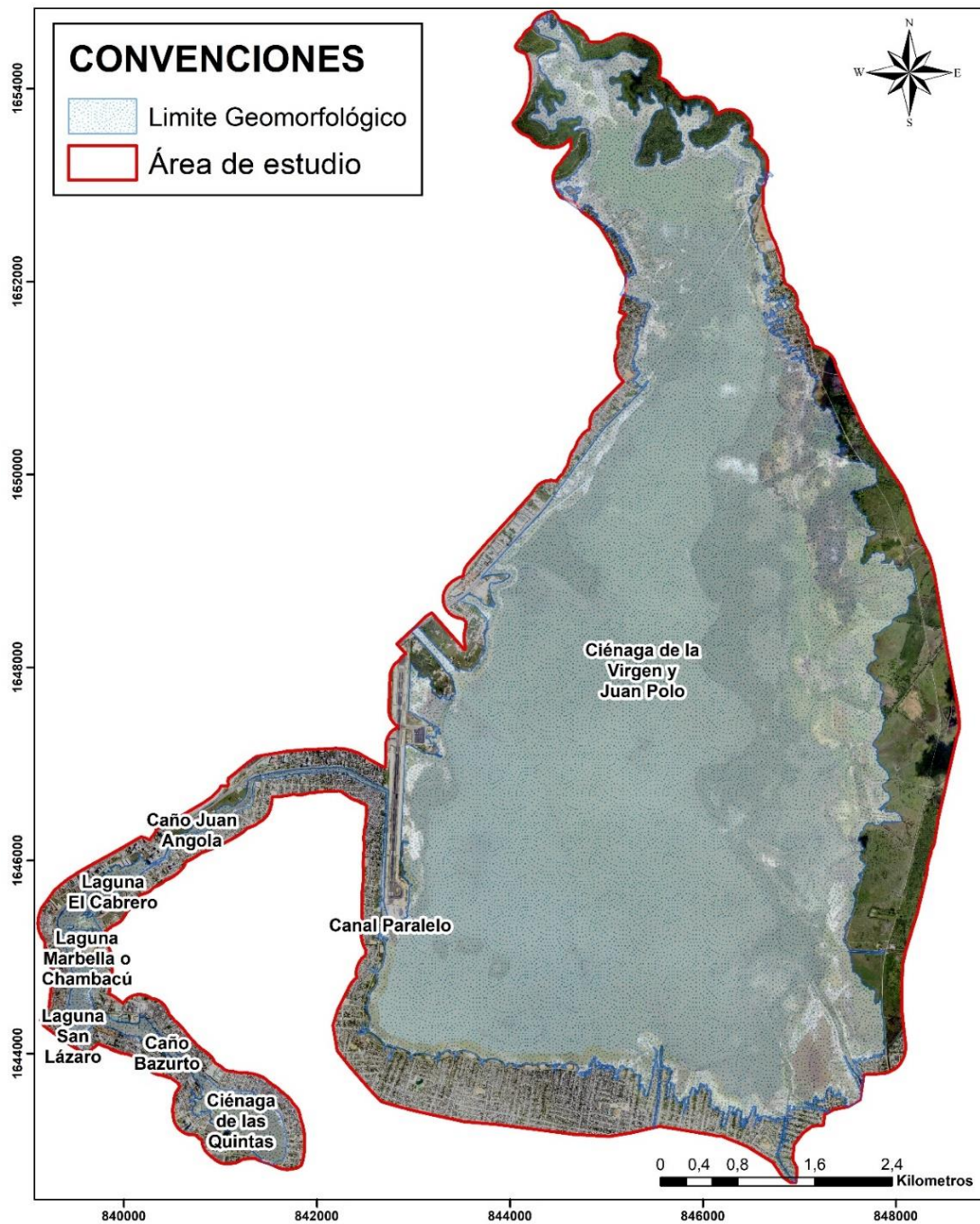
Nota. Tomado de (CARDIQUE , 2019)

## Apéndice F – Distribución espacial de la concentración de sales en el área de estudio



Nota. Tomado de (CARDIQUE , 2019)

## Apéndice G – Distribución espacial del límite geomorfológico final



Nota. Tomado de (CARDIQUE , 2019)

**Apéndice H - Características de las imágenes satelitales utilizadas en el proceso de fotointerpretación**

Tipo de imagen	Bandas	Fecha de la imagen	Resolución espectral (nm)	Resolución temporal	Resolución Espacial (cm)
Worldview - 4	Red	26/11/2017	450 a 510	1 día	30
	Green		510 a 580		
	Blue		655 a 690		
	Near-Infrared		780 a 920		
Worldview - 4	Red	12/1/2019	450 a 510	1 día	30
	Green		510 a 580		
	Blue		655 a 690		
	Near-Infrared		780 a 920		
IKONOS- 2	Red	9/02/2006	632 - 698	Sin información	320
	Green		506 - 595		
	Blue		445 - 516		
	Near-Indrared		757 - 853		

*Nota.* Tomado de (CARDIQUE , 2019)

**Apéndice I - Características técnicas de la ortofoto y DTM generados para la identificación de los elementos geomorfológicos.**

<b>Ficha Técnica</b>	
<b>Sistema de coordenadas</b>	DATUM MAGNA-SIRGAS referido al Elipsoide GRS80 o WGS84
<b>Precisiones</b>	Horizontal: 0.020 m + 1.0 ppm      Vertical: 0.050 m + 1.0 ppm Azimut: 0.15 + 1.5 / Long. De la línea base (Km).
<b>Equipo</b>	ODOM HYDRITAC con sincronización GPS-RTK que junto con el software HYPACK 2018
<b>Pixel</b>	0,10 m
<b>Escala Ortofoto</b>	1:2.000
<b>Estacion Total</b>	TRIMBLE M3 DR2

*Nota.* Tomado de (CARDIQUE , 2019)