

**VULNERABILIDAD COSTERA EN CUATRO SITIOS DEL SUROESTE DEL  
CARIBE COLOMBIANO ANTE EL ASCENSO DEL NIVEL DEL MAR**

**POR:**

**MARLENY GARCÍA ECHAVARRÍA**

**ASPIRANTE A MAESTRÍA EN CIENCIAS DEL MAR**

**ASESOR**

**ALFREDO JARAMILLO VELEZ**

**COASESOR**

**JAVIER ALCÁNTARA CARRIÓ**

**UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA**

**SEDE CIENCIAS DEL MAR**

**TURBO 2021**

## DEDICATORIA

*Este trabajo está dedicado a todas las personas que están persiguiendo sus sueños, vengo del futuro y les quiero contar que ¡se puede!, sé que son muchos los esfuerzos que en ocasiones hacemos en un país como el nuestro, pero la satisfacción al lograr estar aquí, escribiendo estas líneas, no tiene precio. En la construcción de nuestro ser debemos pasar por muchas etapas y creo que esta fue la más bonita porque me enseñó que en medio de este caos por el cual el mundo atraviesa, la educación sigue siendo el arma más poderosa.*

*En muchas ocasiones tuve ganas de rendirme, ahorita no recuerdo los motivos, pero si estás leyendo esto, te quiero decir que no lo hagas, porque hace parte del proceso, como también se vale estar cansados, ignorar todo por unos días, no tener ganas de continuar; pero debes animarte, porque así nos toca, uno se anima solito, trabaja día a día y cuando menos lo crees... terminaste, sientes algo de nostalgia porque piensas y ahora, ¿qué sigue? Ni yo tengo una respuesta clara, pero el mundo espera por nuestro conocimiento, por aportar en aquello que nos apasiona. Ánimo que todos lo podemos lograr.*

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto, a mi madre Alba Roja Echavarría quien ha creído firmemente toda su vida que estudiar es mi mejor opción, a mi padre Félix Garcia que en un principio no estaba muy de acuerdo con educarme, pero que hoy está orgulloso, a mi hermana Oriana García por ser esa voz que siempre preguntaba, ¿cómo va la tesis?

A ti Mauricio Cardona por ser ese apoyo emocional a diario, a mis amigos que entendieron cuando no tuve tiempo de compartir con ellos, a mi gordo William Barón mi padre en la educación, sé que el cielo se enaltece con tu presencia.

A mis compañeros Kellys Romana, Kellys Hinestroza, Jonny Charles y Cristian Cuesta, gracias por cada uno de los momentos que compartimos en este tiempo y haberme brindado su amistad.

A mis asesores Alfredo Jaramillo y Javier Alcántara, de verdad que no hubiera sido posible sin ustedes, es un orgullo tenerlos en este trabajo.

A los profes José Fernando Parra, Jenny Leal, Alex Rúa, Heazel Grajales, y Eisenhower Rincón, gracias por compartir todos sus conocimientos.

A todos los que hicieron parte del proyecto “Investigación para la Reversión del Proceso de Erosión en las Costas del Mar de Antioquia” coordinado por la Universidad de Antioquia, la Gobernación de Antioquia y dirigido por el profe Vladimir Toro, a ti también muchas gracias.

A ti por tomarte el tiempo de leer esto.

*GRACIAS A LA VIDA POR DARME TANTO* .

## CONTENIDO

<b>1</b>	<b>RESUMEN</b> .....	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>14</b>
2.1	MARCO TEÓRICO .....	18
<b>3</b>	<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>23</b>
<b>5</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>24</b>
5.1	GENERAL.....	24
5.2	ESPECÍFICOS .....	24
<b>6</b>	<b>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN – HIPÓTESIS</b> .....	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>25</b>
7.1	ÁREA DE ESTUDIO.....	25
7.1.1	Volcán de Lodo y Río Hobo.....	26
7.1.2	Zapata .....	29
7.1.3	Punta Las Vacas .....	30
7.2	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD .....	32
7.3	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA (IVC) .....	34
7.3.1	Geomorfología.....	35
7.3.2	Pendiente de playa (%).....	35
7.3.3	Tasas de cambio en la línea de costa .....	36
7.3.4	Altura Significante del oleaje .....	38
7.3.5	Ascenso del nivel del mar.....	39
7.3.6	Rango mareal.....	40
7.4	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ECOLÓGICA (IVE).....	41
7.4.1	Cobertura de ecosistemas .....	42
7.4.2	Nivel de intervención de los ecosistemas .....	42
7.4.3	Diversidad biológica.....	43
7.5	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA (IVSE).....	45
7.5.1	Uso del suelo .....	46

7.5.2	Índice K (relación entre línea de costa construida y línea de costa natural) ....	46
7.5.3	Densidad de Población .....	47
7.5.4	Actividad Turística .....	48
7.5.5	Patrimonio .....	48
7.6	INTEGRACIÓN DE LA VULNERABILIDAD COSTERA, ECOLÓGICA Y SOCIOECONÓMICA	50
<b>8</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>51</b>
8.1	GEOMORFOLOGÍA .....	51
8.2	PENDIENTE (%) .....	54
8.3	TASA DE CAMBIO DE LA LÍNEA DE COSTA .....	57
8.4	ALTURA SIGNIFICANTE DEL OLEAJE .....	60
8.5	TASA DE ASCENSO/SUBIDA DEL NIVEL RELATIVO DEL MAR .....	60
8.6	RANGO MAREAL MEDIO .....	61
8.7	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA (IVC) .....	62
8.8	COBERTURA DE ECOSISTEMAS .....	68
8.9	NIVEL DE INTERVENCIÓN DE LOS ECOSISTEMAS .....	71
8.10	DIVERSIDAD BIOLÓGICA .....	74
8.11	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD ECOLÓGICA (IVE).....	78
8.12	USO DEL SUELO .....	84
8.13	ÍNDICE K .....	87
8.14	POBLACIÓN.....	90
8.15	TURISMO .....	93
8.16	PATRIMONIO .....	96
8.17	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA (IVSE).....	99
8.18	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD COSTERA INTEGRADO (IVCI).....	104
<b>9</b>	<b>DISCUSIONES.....</b>	<b>111</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>11</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>119</b>
<b>12</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>120</b>
<b>13</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>130</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> a) Ubicación de Colombia en Sur América. b) Suroeste del Caribe Colombiano. c) Mapa de la línea de costa del Departamento de Antioquia en el Mar Caribe. Los puntos definen la ubicación y el nombre de los lugares de interés en el presente trabajo. ....	25
<b>Figura 2.</b> a) Erosión al norte de Volcán de Lodo, acantilado estrato sedimentario muy meteorizado, en la parte inferior se aprecian derrubios con vegetación. b) Vegetación cercana a la línea de costa ( <i>Rhizophora mangle</i> ). c) Erosión al frente del volcán con presencia de lodo. ....	27
<b>Figura 3.</b> a) Erosión en el acantilado, estrato sedimentario meteorizado, en la parte inferior se aprecian derrubios. b) Manglares de la ribera del Río Hobo ( <i>Rhizophora mangle</i> ). c) Playa que se forma en las riberas del Río con presencia de manglares.....	28
<b>Figura 4.</b> a) Formación de promontorios con presencia de rocas utilizadas como protección costera al sur de la cabecera de Zapata, b) Formación de puntas al sur de la cabecera de Zapata. ....	30
<b>Figura 5.</b> a) Enrocado realizado por la universidad EAFIT y CORPOURABA. b) Pista de aterrizaje afectada por la erosión en la Escuela de Combate Fluvial (ESCOFLU). c) Vegetación presente. d) Geotubos utilizados como protección costera cerca de ESCOFLU (Longitud del tubo $\approx 2,5$ m). Fotos tomadas por el proyecto “Erosión Costera” (Gobernación de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia y Universidad de Antioquia, 2018). ....	31
<b>Figura 6.</b> Esquema metodológico .....	33
<b>Figura 7.</b> Geomorfología en Volcán de lodo .....	52
<b>Figura 8.</b> Geomorfología en Río Hobo.....	52
<b>Figura 9.</b> Geomorfología en Zapata.....	53
<b>Figura 10.</b> Geomorfología en Punta Las Vacas.....	53
<b>Figura 11.</b> Pendiente de Volcán de lodo.....	55
<b>Figura 12.</b> Pendiente de Río Hobo. ....	55
<b>Figura 13.</b> Pendiente de Zapata. ....	56
<b>Figura 14.</b> Pendiente de Punta Las Vacas .....	56
<b>Figura 15.</b> Tasa de cambio de la línea de costa de Volcán de Lodo.....	58
<b>Figura 16.</b> Tasa de cambio de la línea de costa de Río Hobo.....	58

<b>Figura 17.</b> Tasa de cambio de la línea de costa de Zapata. ....	59
<b>Figura 18.</b> Tasa de cambio de la línea de costa Punta Las Vacas. ....	59
<b>Figura 19.</b> Celdas de estudio. Fuente: Variación de nivel del mar en el golfo de Urabá (CORPOURABA, 2019) .....	61
<b>Figura 20.</b> Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Volcán de lodo. ....	64
<b>Figura 21.</b> Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Río Hobo. ....	65
<b>Figura 22.</b> Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Zapata. ....	66
<b>Figura 23.</b> Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Tasa de subida del nivel relativo del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Punta Las Vacas. ....	67
<b>Figura 24.</b> Cobertura de ecosistemas Volcán de lodo .....	69
<b>Figura 25.</b> Cobertura de ecosistemas Río Hobo .....	69
<b>Figura 26.</b> Cobertura de ecosistemas Zapata.....	70
<b>Figura 27..</b> Cobertura de ecosistemas Punta Las Vacas .....	70
<b>Figura 28.</b> Nivel de intervención de ecosistemas Volcán de lodo.....	72
<b>Figura 29.</b> Nivel de intervención de ecosistemas Río Hobo .....	72
<b>Figura 30.</b> Nivel de intervención de ecosistemas Zapata .....	73
<b>Figura 31.</b> Figura 32. Nivel de intervención de ecosistemas Punta Las Vacas.....	73
<b>Figura 32.</b> Diversidad Biológica Volcán de Lodo.....	76
<b>Figura 33.</b> Diversidad Biológica Río.....	76
<b>Figura 34.</b> Diversidad Biológica Zapata.....	77
<b>Figura 35.</b> Diversidad Biológica Punta Las Vacas .....	77
<b>Figura 36.</b> Variables g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas i) Diversidad biológica y aplicación del Índice de Vulnerabilidad Ecológica en Volcán de Lodo.....	80

<b>Figura 37.</b> Variables g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas i) Diversidad biológica y aplicación del Índice de Vulnerabilidad Ecológica Río Hobo.....	81
<b>Figura 38.</b> Variables g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas i) Diversidad biológica y aplicación del Índice de Vulnerabilidad Ecológica Zapata. ....	82
<b>Figura 39.</b> Variables g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas i) Diversidad biológica y aplicación del Índice de Vulnerabilidad Ecológica Punta Las Vacas. .....	83
<b>Figura 40.</b> Uso del suelo Volcán de Lodo. ....	85
<b>Figura 41.</b> Uso del suelo Río Hobo. ....	85
<b>Figura 42.</b> Uso del suelo Zapata. ....	86
<b>Figura 43.</b> Uso del suelo Punta Las Vacas ....	86
<b>Figura 44.</b> Índice K Volcán de lodo. ....	88
<b>Figura 45.</b> Índice K Río Hobo. ....	88
<b>Figura 46.</b> Índice K Zapata. ....	89
<b>Figura 47.</b> Índice K Punta Las Vacas. ....	89
<b>Figura 48.</b> Población Volcán de Lodo. ....	91
<b>Figura 49.</b> Población Río Hobo. ....	91
<b>Figura 50.</b> Población Zapata. ....	92
<b>Figura 51.</b> Población Punta Las Vacas. ....	92
<b>Figura 52.</b> Turismo Volcán de Lodo. ....	94
<b>Figura 53.</b> Turismo Río Hobo. ....	94
<b>Figura 54.</b> Turismo Zapata. ....	95
<b>Figura 55.</b> Turismo Punta Las Vacas. ....	95
<b>Figura 56.</b> Patrimonio Volcán de lodo. ....	97
<b>Figura 57.</b> Patrimonio Río Hobo. ....	97
<b>Figura 58.</b> Patrimonio Zapata. ....	98
<b>Figura 59.</b> Patrimonio Punta Las Vacas. ....	98
<b>Figura 60.</b> Variables j) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio y aplicación del IVSe a la línea de costa de Volcán de lodo. ....	100
<b>Figura 61.</b> Variables j) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio y aplicación del IVSe a la línea de costa de Río Hobo. ....	101

<b>Figura 62.</b> Variables j) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio y aplicación del IVSe a la línea de costa de Zapata.....	102
<b>Figura 63.</b> Variables j) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio y aplicación del IVSe a la línea de Punta Las Vacas.....	103
<b>Figura 64.</b> Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE), Índice de Vulnerabilidad socioeconómica (IVSe), Calculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Volcán de Lodo. ....	107
<b>Figura 65.</b> Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE), Índice de Vulnerabilidad socioeconómica (IVSe), Calculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Río Hobo. ....	108
<b>Figura 66.</b> Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE), Índice de Vulnerabilidad socioeconómica (IVSe), Calculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Zapata. ....	109
<b>Figura 67.</b> Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE), Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica (IVSe), Calculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Punta Las Vacas. ....	110

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Longitud de la línea de costa considerada para cada zona de estudio.....	32
<b>Tabla 2.</b> Clasificación del IVC, tomado de Ojeda 2009.....	34
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de la variable “geología/geomorfología” (Ojeda <i>et al.</i> , 2009) .....	35
<b>Tabla 4.</b> Clasificación pendiente costera (Ojeda <i>et al.</i> , 2009).....	36
<b>Tabla 5.</b> Fuente de las imágenes utilizadas.....	37
<b>Tabla 6.</b> Clasificación “tasa de cambio de la línea de costa” basado en los criterios Ojeda <i>et al.</i> (2009). .....	38
<b>Tabla 7.</b> Clasificación de la variable “Altura Significante del oleaje” (Ojeda <i>et al.</i> , 2009). .....	39
<b>Tabla 8.</b> Tasas de cambio del nivel relativo del mar (Ojeda <i>et al.</i> , 2009).....	40
<b>Tabla 9.</b> Clasificación de la variable rango mareal medio (Ojeda <i>et al.</i> , 2009). .....	41
<b>Tabla 10.</b> Clasificación de ecosistemas y hábitats (CORPAMAG - Universidad del Atlántico, 2017).....	42
<b>Tabla 11.</b> Clasificación de los niveles de intervención de los ecosistemas (CORPAMAG - Universidad del Atlántico, 2017).....	43
<b>Tabla 12.</b> Clasificación de la diversidad biológica (elaboración propia) .....	45
<b>Tabla 13.</b> Clasificación de los Usos del suelo (Rangel-Buitrago <i>et al.</i> , 2013).....	46
<b>Tabla 14.</b> Clasificación del índice K (Rangel-Buitrago y Posada, 2013).....	47
<b>Tabla 15.</b> Clasificación de la densidad de población (CORPAMAG -Universidad del Atlántico, 2017).....	47
<b>Tabla 16.</b> Clasificación del turismo (elaboración propia) .....	48
<b>Tabla 17.</b> Clasificación del patrimonio histórico (Rangel-Buitrago y Posada, 2013).....	49
<b>Tabla 18.</b> Altura Significante del oleaje, para cada sitio. ....	60
<b>Tabla 19.</b> Ascenso del nivel del mar en las zonas de estudio según el informe final: Variación de nivel del mar en el golfo de Urabá (CORPOURABA, 2019).....	61
<b>Tabla 20.</b> Rango mareal medio.....	62

## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Especies de aves .....	130
<b>Anexo 2.</b> Especies de mamíferos .....	134
<b>Anexo 3.</b> Especies de Anfibios .....	135
<b>Anexo 4.</b> Especies de reptiles.....	135
<b>Anexo 5.</b> Resultados de las variables geomorfología, pendiente, tasa de cambio en la línea de costa, rango mareal y cálculo del Índice de Vulnerabilidad costera (IVC) en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas.....	136
<b>Anexo 6.</b> Resultados de las variables cobertura de ecosistemas, nivel de intervención de los ecosistemas, diversidad biológica y cálculo del Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE) en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas. ....	138
<b>Anexo 7.</b> Resultados de las variables uso del suelo, índice k, población, turismo, patrimonio y cálculo del Índice de Vulnerabilidad socioeconómica (IVSe) en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas.....	140
<b>Anexo 8.</b> Resultados de los índices IVC, IVE, IVSe y cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas. ....	142

## 1 RESUMEN

El aumento del nivel del mar, en conjunto con otras variables climáticas, geológicas y oceanográficas, induce cambios en las áreas costeras que es necesario cuantificar para la correcta gestión del riesgo. Los índices de Vulnerabilidad Costera son una de las herramientas utilizadas para evidenciar la susceptibilidad de un determinado espacio costero ante una amenaza. El presente trabajo tiene por objetivo determinar la Vulnerabilidad Costera para los sitios de Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas ubicados en el litoral Antioqueño. Para ello, se analizaron fotografías aéreas, imágenes satelitales, datos *in situ* e información secundaria, con el fin de realizar el cálculo de la vulnerabilidad se utilizaron los Índices de Vulnerabilidad Costera (IVC), Vulnerabilidad Ecológica (IVE) y Socioeconómica (IVSe) y finalmente a través del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) se realizó la integración de los mismos.

El IVC clasifica a Volcán de Lodo, Río Hobo y Punta Las Vacas con vulnerabilidades entre altas y muy altas en el 100% de sus costas, mientras que en Zapata la vulnerabilidad es media en toda la línea de costa, exceptuando la desembocadura del río cuya clasificación es alta.

Para la evaluación del IVE se obtuvieron clasificaciones altas y muy altas en Volcán de Lodo y Río Hobo, mientras que en los otros dos sitios, Zapata y Punta las Vacas la vulnerabilidad es clasificada en media y baja.

En cuanto al IVSe, en los cuatro sitios estudiados, es claro en definir con vulnerabilidades muy altas aquellos espacios donde se concentra la población. Para Volcán de Lodo, Río Hobo y Zapata las clasificaciones entre muy alta y altas ocupan más del 50%, estando influenciadas fuertemente por las variables turismo, patrimonio y uso del suelo.

Finalmente, el cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) muestra que más de un tercio del litoral estudiado se encuentra en situación de muy alta vulnerabilidad, destacando la combinación de altas tasas de erosión (entre 2 y 10 m/año) con ascensos del nivel del mar que alcanzan los 3 mm/año, colocando en evidencia la necesidad urgente de priorizar y proteger los sitios Volcán de Lodo y Río Hobo.

Los resultados de vulnerabilidad generados ante el aumento del nivel del mar no evalúan la magnitud, ni la probabilidad de ocurrencia del mismo, ni intentan cuantificar daños o costos.

Por lo cual se sugiere continuar con estudios más detallados en aquellas zonas que se consideren prioritarias para realizar el análisis de amenazas y cálculo de riesgo.

## 2 INTRODUCCIÓN

A nivel global el nivel medio del mar está aumentando, la suma de las contribuciones de los glaciares y las capas de hielo es ahora la fuente dominante de aumento (IPCC, 2019). Se pronostica que el aumento del nivel del mar será de aproximadamente ~65 cm para el 2100 (Nerem et al., 2018). El Quinto Informe de Evaluación, consideran un escenario de emisiones muy altas y predicen un aumento global de 52cm – 98 cm para fines de este siglo. Se espera que este aumento continúe por siglos, incluso si la emisión de los gases efecto invernadero son reducidos y las concentraciones atmosféricas estabilizadas (IPCC, 2014).

Actualmente se observan impactos severos en las regiones costeras debido al aumento del nivel del mar, la erosión cuyo resultado es la inundación permanente de las áreas costeras, la disminución de la calidad del agua, la disminución del cultivo de peces, la intrusión de agua de mar en los recursos de agua dulce, la inundación de humedales y estuarios y una disminución de la calidad del agua, se enumeran como las consecuencias más drásticas del aumento del nivel del mar (Marinas et al., 2020). En los impactos esperados a causa de este aumento en los ecosistemas costeros se incluyen la contracción del hábitat, la pérdida de funcionalidad, biodiversidad y migración lateral e interior (IPCC, 2019). Las zonas costeras que en su gran mayoría son densamente pobladas y bajas, estarían sujetas a una erosión acelerada, además de conducir a la intrusión de agua salada en acuíferos costeros subterráneos, inundación de humedales y estuarios, amenazando recursos históricos y culturales, así como infraestructura (Pendleton et al., 2004). La noción de vulnerabilidad ha emergido como un concepto fundamental para la comprensión y la gestión de los medios costeros. Por consiguiente, la vulnerabilidad y su impacto en la economía de los países con litorales costeros hacen necesario evaluar el aumento del nivel del mar y a la vez formular estrategias de respuesta que se ajusten a los cambios (Vafeidis et al., 2008).

En ese sentido, este trabajo pretende evaluar la vulnerabilidad costera ante el ascenso en el nivel del mar en cuatro sectores críticos en la costa del suroeste del Caribe Colombiano integrando aspectos geológicos, ecológicos y socioeconómicos.

Las condiciones de erosión a lo largo de la mayor parte del litoral antioqueño y su alta vulnerabilidad debido a factores como el ascenso del nivel del mar han sido documentadas ampliamente en artículos y comunicados de prensa. Publicaciones de CORPOURABÁ-

Universidad Nacional y numerosos estudios académicos, (CORPOURABÁ Universidad Nacional, 1998; Correa y Vernet, 2004; Correa et al., 2005; INVEMAR, 2002; Posada y Henao, 2008; Prussmann, 2012; Paniagua, 2013; Correa y Paniagua, 2016; Rangel y Anfuso, 2015).

Los conocimientos actuales sobre las causas de la erosión progresiva de muchas playas sugieren que existen factores naturales y antrópicos que combinados actúan de manera negativa sobre la costa (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2019). A continuación, se describen algunos.

La presencia en el suroeste del Caribe Colombiano, litoral antioqueño de niveles de terrazas marinas emergidas e inclinadas son evidencia fuertes deformaciones tectónicas levantamientos diferenciales de terrenos que muy probablemente promueven la erosión litoral. Los cambios en los niveles tierra-mar asociados al ascenso eustático del nivel del mar y a la hidroisostasia (levantamiento de la costa emergida y subsidencia en la plataforma marina) son también factores de importancia en este contexto (Vernet et al., 1992; Correa y Vernet, 2004; INVEMAR, 2002).

Las condiciones geotécnicas deficientes de las rocas a lo largo de la línea de costa antioqueña, compuesta en su mayor longitud sobre limolitas y arcillolitas con grados altos de alteración química y física. Estas rocas y sus suelos asociados resisten poco a las acciones físicas del agua (oleajes, lluvias y escorrentía) y su fracturamiento denso con inclinaciones (buzamientos) hacia el mar, permite percolaciones altas de aguas lluvias y residuales. Lo anterior facilita y promueve agrietamientos, generación de cárcavas y movimientos de masa -particularmente flujos de derrubios y caídas de rocas- a lo largo de la línea de costa (Correa y Vernet, 2004). Los movimientos en masa a lo largo de los frentes acantilados se relacionan con la tala de la vegetación natural de las colinas y terrazas, con la generación de grietas en el suelo/subsuelo por sobrepastoreo y con la ausencia de prácticas de manejo de aguas lluvias y residuales (drenajes no impermeabilizados, manejos inadecuados de cunetas y pozos sépticos).

Otro factor es la extracción intensiva de arenas y gravas de playas y ambientes cercanos a la línea de costa que no pueden cuantificarse debido a la falta de registros. Sin embargo, se hace evidente al considerar que las arenas y gravas para la construcción de la infraestructura de

las poblaciones, carreteras desde hace 150 años usan playas y ríos especialmente de las zonas urbanas. La extracción de materiales de playa ha sido una fuente de ingresos para muchos de sus pobladores.

La ubicación de más de 160 espolones a lo largo de la línea de costa, estructuras de diferentes dimensiones y construidas en las últimas décadas con bolsacretos, rocas y pentápodos/hexápodos ubicados perpendicularmente a la línea de costa, se interpretan como los factores aceleradores más importantes de la erosión de la línea de costa, puesto que han interrumpido el tránsito de arenas y generando erosión o acelerando la preexistente en los sectores adyacentes. En pocas décadas son responsables -en su mayoría- de las situaciones críticas que se viven hoy en sectores como Arboletes, Zapata, Damaquiel, Necoclí, El Totumo y Turbo. Como hecho adicional se anota la construcción caótica de espolones y la contaminación por aguas residuales ubicada a la mayoría de la línea de costa del litoral antioqueño, en categorías muy bajas de las clasificaciones paisajísticas y de calidad de playas (Rangel-Buitrago y Posada, 2013).

Uno de los primeros cambios morfológicos a lo largo del litoral Antioqueño se identifica entre Necoclí y Turbo (Aristizábal et al., 1990; Corpourabá-Universidad Nacional, 1998). Los aspectos principales de estos trabajos se resumieron y actualizaron en Correa y Vernet (2004) y en mapas y esquemas geomorfológicos del litoral Antioqueño. En los documentos citados se consignan el carácter micromareal de la zona (mareas astronómicas con amplitudes máximas de aprox. 40 cm), el transporte neto de sedimentos arenosos hacia el sur, asociado a la incidencia de los vientos de verano (N y NE, noviembre a marzo), y con inversiones hacia el norte durante la incidencia de los vientos del sur (S) en invierno.

El inventario semicuantitativo de erosión y acreción litoral, basado en comparaciones de aerofotografías IGAC tomadas entre 1940 y 1985 (expresado como tasas de avance o retroceso de la línea de costa en m/año) evidencia el predominio de tendencias erosionales a lo largo de todo el litoral (Correa y Vernet, 2004). Los sectores en los que la línea de costa mantiene su posición o tiene acreción se ubican cerca de los frentes deltaicos de los ríos Caimán Nuevo, Caimán Viejo y Turbo. En estas zonas los aportes de sedimentos han sido suficientes para contrarrestar la tendencia erosiva, los dominios intermareal y submareal están ocupados por barras, playa y bajos areno-lodosos colonizados en parte por manglares.

La máxima tendencia erosiva (20m/año) se identificó en el extremo distal de la espiga de Punta Las Vacas (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018)

Así mismo, las últimas determinaciones sistemáticas sobre los cambios en la línea de costa entre el delta del río Turbo y el extremo de la espiga punta Las Vacas para el periodo 1959-2010 estiman valores de erosión para las playas norte y centro de la espiga del orden de 116 m a 174 m (Gobernación de Antioquia-Corpoarabá-Invemar, 2010; Paniagua-Arroyave, 2013).

Para el caso particular de Volcán de lodo y Río Hobo, la desaparición de la península de Punta Rey aceleró la erosión de las playas hacia el sur, al menos hasta la desembocadura del río Hobo. Básicamente debido a la incidencia directa de los oleajes del NE, anteriormente difractados por la península (Correa et al., 2005). La erosión del sector se aceleró significativamente como resultado de la construcción desorganizada de numerosas obras de defensa costera que interrumpieron el transporte neto de arenas hacia el sur donde hay acantilados. Esto configuró una línea de costa irregular y morfodinámicamente compleja (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018). La protección más o menos exitosa de las playas de la zona urbana de Arboletes determinó también la generación de un marcado déficit de arenas hacia la desembocadura del río Hobo, reflejado por la pérdida de la mayoría de las playas y por la subsecuente formación de escarpes erosivos. La fotografía IGAC 1974 evidencia para esta fecha la desaparición total de la península, y las fotografías 1984, 1994 y 2005 muestran claramente (con referencia a los trazos de la carretera) la continuación del proceso erosivo desde la nueva Punta Rey hacia el sur. Esta tendencia se ha continuado hasta la fecha y sólo se ha controlado localmente en las playas urbanas de Arboletes por medio de la construcción de estructuras rígidas (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018).

La erosión del corregimiento de Zapata inició hace más de 40 años, estimándose un retroceso del casco urbano de unos 40 m durante dicho periodo. El proceso erosivo en su casco urbano se dió entre la desembocadura del río y los espolones ubicados hacia el sur, los efectos de difracción alrededor de los espolones y los oleajes de verano incidentes desde el NO y E originaron la formación de una bahía en espiral con punto duro en dicho espolón. Las reflexiones de los oleajes energéticos del sur, la percolación de aguas lluvias y residuales en

el nivel tope - no consolidado- de los frentes acantilados aceleraron este proceso. También ayudaron la fracturación del nivel de base, por la formación de canales de drenaje en la superficie de la terraza, por efectos abrasivos de bloques en la plataforma rocosa y los impactos directos de oleajes fuertes (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018).

El retroceso del casco urbano de Zapata, si bien se debe principalmente a los impactos del oleaje, también responde parcialmente a la erosión subárea asociada a la escorrentía de aguas lluvias y residuales. En los escarpes protegidos se observaron caídas de materiales, canales menores y abundante percolación de aguas, durante e inmediatamente después de las precipitaciones (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018).

En conclusión, el litoral Antioqueño está caracterizado por diferentes ámbitos geomórficos e hidrodinámicos que dependen de un conjunto de variables, no solamente relacionados con los procesos actuales, sino también con su historia. La litología, las variaciones del nivel del mar y más recientemente las actividades humanas, le imprimen particularidades específicas.

### **2.1 Marco teórico**

Las costas una componente integral del planeta constituyen en áreas esenciales para el bienestar ambiental, económico y social de las naciones que las poseen. Por ser áreas de contacto entre dos medios, suelen tener características únicas y especiales que propician el desarrollo de ecosistemas y hábitats que proporcionan importantes bienes y servicios para cubrir las necesidades económicas y de subsistencia para las comunidades (Gilman *et al.*, 2006; Lacambra *et al.*, 2013).

Son entonces las zonas costeras interfaces entre la superficie continental y los cuerpos de aguas marinas, estas pueden presentar distintas geoformas como: playas, acantilados, golfos, bahías, cabos, deltas y espigas costeras. Todas estas geoformas se ven afectadas por el incremento del nivel del mar. Por tal razón, es esencial que las poblaciones costeras puedan estar preparadas para mitigar los impactos del incremento del nivel del mar (Church *et al.*, 2011).

Por lo que respecta a las afectaciones en las zonas costeras, la vulnerabilidad ante los potenciales impactos derivados del cambio climático depende de las características propias de la zona costera y de los sectores o unidades ambientales que las constituyen. Las costas

más susceptibles son: i) las costas bajas asociadas a desembocaduras fluviales (estuarios y deltas), playas, lagunas costeras y humedales, y ii) las costas altas asociadas a formaciones geológicas poco consolidadas (Cendrero *et al.*, 2005).

La definición de vulnerabilidad costera ha cambiado a lo largo de los años, el Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC (1992) la definió como “El grado de incapacidad para enfrentarse a las consecuencias del cambio climático y la subida del nivel del mar”. Para el 1996 el mismo grupo considero la vulnerabilidad como “El grado al que el cambio climático puede dañar o calentar un sistema”. Mientras que en el 2001 la definieron nuevamente como “la incapacidad de las zonas costeras para afrontar la variabilidad climática y eventos extremos”.

Otra definición del IPCC (2007) expone la vulnerabilidad como una "función de carácter, magnitud y rapidez del cambio climático al que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación”, definidos como

- Exposición: el grado de estrés climático sobre una unidad particular de análisis, puede estar asociada a cambios en las condiciones climáticas, donde se incluye la magnitud y frecuencia de eventos extremos.
- Sensibilidad: la capacidad del sistema para ser afectado por el cambio climático ya sea positiva o negativamente
- Capacidad de adaptación: capacidad del sistema para mantenerse bajo el efecto/influencia de los impactos relacionados con el cambio climático.

En este sentido se puede establecer que, para un determinado medio costero, cuanto mayor sea la exposición y sensibilidad, mayor será la vulnerabilidad; por otro lado, cuanto mayor sea la capacidad de adaptación, podría reducirse su vulnerabilidad (Raigoza y Marengo, 2007).

Ojeda et al (2008) menciono que la vulnerabilidad “se asocia a la sensibilidad de un ecosistema (grado en que puede verse afectado en función de su exposición) ante un fenómeno (subida del mar) o su capacidad de adaptación”.

Finalmente, el concepto de vulnerabilidad al cual se hace referencia en este trabajo es definido como el grado en que puede verse afectado el sistema costero debido al ascenso del nivel del mar

La inmensa complejidad y la naturaleza caótica del sistema climático desafían seriamente la construcción de proyecciones confiables sobre la magnitud y el ritmo de este cambio. Esta complejidad genera incertidumbres que acompaña las proyecciones del cambio climático dificulta la cuantificación precisa de las variables climáticas claves y necesarias para evaluar la vulnerabilidad costera. Los tomadores de decisiones requieren funciones de probabilidad y la ciencia no puede proporcionar probabilidades adecuadas, ya que están sujetas a incertidumbres no cuantificables (p. ej. Stainforth *et al.*, 2007). Los esfuerzos para reducir los riesgos relacionados con el clima son muchas veces independientes, siendo menos efectivos que cuando son parte de una administración adecuada de la zona costera integrada.

Para evaluar la vulnerabilidad costera se hace necesaria la utilización de índices. En este campo, el más conocido es el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), el cual fue elaborado para el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) por Gornitz (1991). Dicho índice fue propuesto en un proyecto que tenía como objetivo, el desarrollo y la aplicación de una metodología simple que permitiese identificar las áreas costeras de mayor vulnerabilidad (Thieler y Hammar-Klose, 1999). El índice sólo toma en cuenta los elementos físico-naturales de la zona costera para el cálculo de su vulnerabilidad.

Se han desarrollado otros índices como herramienta de diagnóstico y gestión en la prevención de riesgos derivados del aumento potencial del nivel del mar (Gornitz, 1992), en la identificación de áreas susceptibles de erosión (Gornitz y Kanciruk, 1989) y en la elaboración de sistemas de información costera. Estos índices suelen aplicar factores hidrodinámicos, climáticos y antrópicos.

También se han propuesto índices específicos para determinar la capacidad de respuesta a la perturbación natural y humana de sistemas dunares activos, entendiendo que en esos lugares existe una dinámica costera más que a una dinámica continental (MMA, 2008).

Para las costas españolas en el Golfo de Cádiz se elaboró un índice de vulnerabilidad específico (García *et al.*, 2001), que posteriormente se utilizó a una zona geográfica más

amplia (Williams *et al.*, 2001). Últimamente, ha sido aplicado en costas tropicales del Golfo de México (Martínez *et al.*, 2006). En este índice de vulnerabilidad, además de variables geomorfológicas, sedimentarias, marinas, climáticas y antrópicas, se han incluido variables ecológicas, que describen el estado de la vegetación dunar. Mediante la utilización del índice a partir de una lista de control, es posible sectorizar el frente costero y establecer comparaciones espaciales, identificando el establecimiento de prioridades de conservación y gestión, incluida la restauración. Asimismo, permite establecer el origen de la alteración para diseñar medidas correctoras. Con esta misma perspectiva, se ha desarrollado el Índice de Sensibilidad Costera (CSI), que ha sido utilizado en la costa de Illawarra (sureste de Australia) por Abuodha y Woodroffe (2010).

En la costa de EE. UU. se ha utilizado el IVC a 22 parques nacionales (Atlántica, Pacífica, Golfo de México, Golfo de Alaska, Caribe y Los Grandes Lagos). Para cada uno de ellos se realizó un análisis estadístico de las variables que componen el IVC, para determinar cómo influye cada una de ellas sobre el índice (Pendleton, Thieler y Williams, 2010).

El índice más utilizado es el desarrollado en el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), el cual permite evaluar la vulnerabilidad costera ante los efectos del cambio climático (Thieler and Hammar-Klose, 1999). Este índice toma en cuenta el rango de marea, la altura de la ola, la pendiente costera, las tasas de erosión de la línea de costa, la geomorfología y las tasas históricas del aumento relativo del nivel del mar (Thieler *et al.*, 2002).

La definición de la vulnerabilidad de los sistemas biofísicos y socioeconómicos al aumento en el nivel del mar (ANM) en la zona costera colombiana y las medidas para su adaptación fueron incluidas a comienzos del siglo XIX, este estudio sentó la base para definir las áreas costeras más vulnerables del país a una escala regional (1:300.000) y realizó el análisis de la vulnerabilidad a escala local (1:50.000 y 1:25:000) para cuatro sitios críticos: Cartagena de Indias y Santa Marta en el Caribe, Tumaco en el Pacífico y San Andrés, Providencia y Santa Catalina en el Caribe insular (INVEMAR, 2002).

Los escenarios nacionales de cambio climático prevén que, si los niveles de gases efecto invernadero a nivel global continúan aumentando, la temperatura media anual en Colombia podría aumentar gradualmente hasta 2,14 °C para finales del siglo XXI (IDEAM, 2017) Este

aumento en la temperatura tendría como consecuencia el aumento en la temperatura superficial del mar y por lo tanto un incremento del nivel medio del mar y la acidificación del medio ambiente marino. Lo que asociado a una mayor frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (incidencia de huracanes, mares de leva, precipitaciones, sequías prolongadas), salinización de suelos e incrementos de los procesos erosivos, generaría graves impactos ambientales, sociales y económicos en las costas (Posada y Henao, 2008; INVEMAR, 2013).

### **3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

A escala estacional, interanual y decenal, el nivel del mar responde a cambios en la dinámica de la atmósfera y el océano, el más notable es el producido durante los episodios El Niño-Oscilación Sur (ENSO) (Málikov, 2010). La climatología de Colombia es afectada principalmente por la ocurrencia de las dos fases del fenómeno en tiempo inter-anual El Niño/Oscilación del Sur (ENSO): fase cálida (El Niño) y fase fría (La Niña) (Waylen y Poveda, 2002). Además de influir también en el nivel del mar el deshielo de los polos, el intercambio de calor y humedad entre el océano-atmósfera, el aporte de los ríos, la variación de los campos de presión atmosférica, viento y las corrientes marinas, entre otros (Vides, 2008). Por ejemplo, el Golfo de Urabá reporta un aumento de ~19,4 mm/año para el período 2011-2015 (Londoño y Murillo, 2018)

El primer informe de vulnerabilidad costera del Caribe, Insular y Pacífico Colombiano ante un aumento del nivel del mar se realizó a escala regional (INVEMAR, 2002), hace ya más de una década y no permite describir escenarios a escala local. Posteriormente se han realizado investigaciones sobre vulnerabilidad costera en el Caribe. En el área de Palomino, Riohacha, Manaure y Puerto López de la península de la Guajira se evaluó la vulnerabilidad costera relacionada con el proceso de erosión y acreción (Rangel y Anfuso, 2009). En el sector Playetas y Tierrabomba de Cartagena de Indias se determinó la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por erosión costera (Rangel y Posada, 2013). En el Pacífico se evaluó el potencial impacto del ascenso del nivel del mar asociado al cambio climático global sobre todo el litoral, utilizando proyecciones de 1 m para el año 2100 (Ardila *et al.*, 2005). Los estudios de vulnerabilidad tanto en el Caribe como en el Pacífico continúan siendo escasos.

En el suroeste del Caribe Colombiano, desde Turbo hasta Arboletes, existen 145 km de línea de costa, algunos de estos modificados antrópicamente por causas como la desviación de cauces fluviales, caso particular del río Turbo, la extracción intensiva de arenas, materiales de playa y la construcción sin planeación de obras de defensa como espolones los cuales tratan de mitigar la erosión costera, impactando la infraestructura física de los asentamientos litorales (Correa y Vernet, 2004), afectando el sector turístico, patrimonios históricos o culturales, ocasionado disminución en hábitats costeros, diversidad ecológica y finalmente afectando la economía.

Aunque se tienen identificadas muchas de las problemáticas que influyen en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta las Vacas demostrando que son puntos críticos, aún no se han documentado trabajos que a pequeña escala permitan de forma integrada evaluar el impacto del nivel de mar. En ese sentido este trabajo se propone evaluar la vulnerabilidad ante el ascenso del nivel del mar en sectores críticos del suroeste del Caribe colombiano utilizando el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Socioeconómico (IVSe), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE) y por último la integración de estos tres índices permitirá conocer la Vulnerabilidad Costera Integrada (IVCI).

#### **4 JUSTIFICACIÓN**

A medida que la población mundial y la urbanización aumenta a lo largo de las costas, es necesaria información sobre cómo adaptarse a los peligros futuros. Esta información tendrá que involucrar situaciones complejas derivadas de relaciones entre entornos construidos y naturales, así como aspectos sociales, ambientales, culturales y económicos.

En Colombia es deber del Ministerio del Medio Ambiente, el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives de Andrés (INVEMAR), la Dirección General Marítima (DIMAR), la Comisión Colombiana del Océano (CCO) y la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), diseñar y formular con el apoyo de los comités regionales de manejo integrado de las zonas costeras, los planes regionales de prevención y atención de riesgo costero. Estos planes deberán identificar las áreas más vulnerables, la magnitud del riesgo y definir los mecanismos e instrumentos de prevención y atención requeridos. Por lo tanto, se considera que la evaluación de la vulnerabilidad costera a los

procesos litorales actuales e inducidos el ascenso del nivel del mar es una herramienta complementaria en la gestión y planificación de la zona costera.

Como se mencionó anteriormente, es importante hablar de vulnerabilidad en el suroeste del Caribe Colombiano, debido a que actualmente está teniendo problemáticas como la erosión de sus costas y son muchas las personas que viven en estas zonas, comunidades que dependen de sus recursos naturales, y sus actividades turísticas.

Esta investigación pretende realizar aportes a nivel académico, científico y social. La metodología implementada es innovadora puesto que evalúa la vulnerabilidad desde aspectos geológicos, ecológicos y socioeconómicos realizando una contribución significativa al conocimiento de las zonas con mayor vulnerabilidad. Se espera que los resultados sean una herramienta útil para la gobernación y las administraciones municipales, que son en última las responsables de gestionar los riesgos dentro de los Planes de Ordenamiento Territorial (POT).

## **5 OBJETIVOS**

### **5.1 General**

Determinar la vulnerabilidad costera en los sectores de Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas, ante el ascenso del nivel del mar a partir de los aspectos geomorfológicos, hidrodinámicos, ecológicos y socioeconómicos.

### **5.2 Específicos**

- ⚓ Determinar la vulnerabilidad costera teniendo en cuenta la geomorfología, pendiente, tasas de cambio en la línea de costa, Altura Significante del oleaje, nivel medio del mar y rango mareal
- ⚓ Determinar la vulnerabilidad ecológica considerando la cobertura de ecosistemas y hábitats, nivel de intervención de los ecosistemas y diversidad biológica
- ⚓ Determinar la vulnerabilidad socioeconómica utilizando información de los usos del suelo, la relación entre línea de costa construida y línea de costa natural, la densidad poblacional, el turismo y el patrimonio.

## 6 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN – HIPÓTESIS

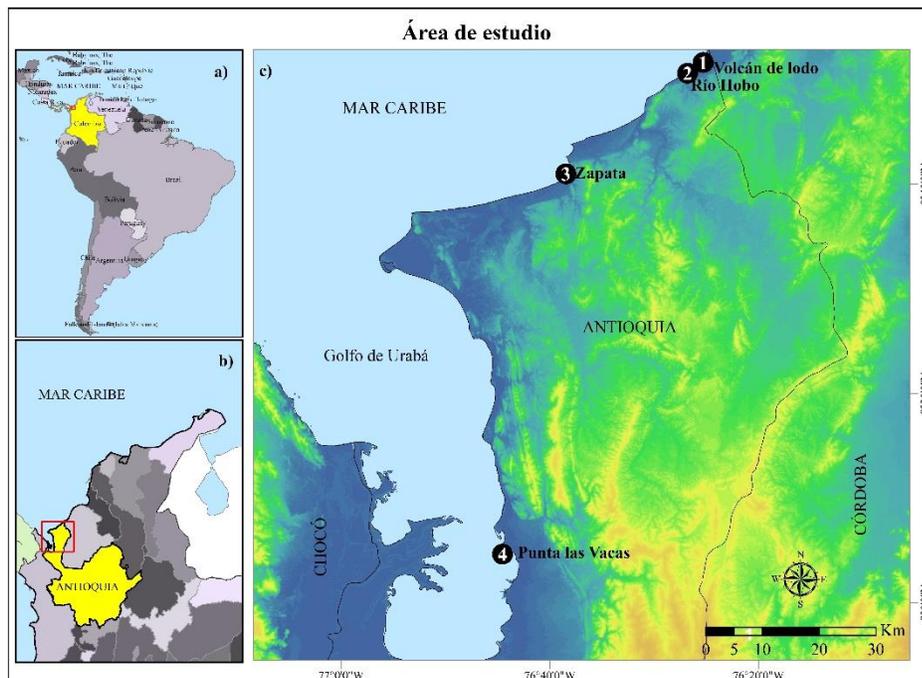
¿Cuál es la vulnerabilidad del suroeste del Caribe Colombiano en los sectores de Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta las Vacas, ¿ante el ascenso del nivel del mar y el incremento del oleaje de temporales?

La vulnerabilidad costera integrada en Volcán de Lodo, Rio Hobo y Zapata se verá influenciada en mayor medida por la vulnerabilidad costera que por las demás vulnerabilidades; mientras en punta las Vacas la vulnerabilidad costera integrada será influenciada más por la vulnerabilidad ecológica.

## 7 METODOLOGÍA

### 7.1 Área de estudio

El Golfo de Urabá es un cuerpo de agua localizado en el extremo meridional de la costa Caribe Colombiana y sector noroccidental del país, en la frontera con Panamá (Figura 1). Tiene aproximadamente 80 km de largo y 25 km de ancho promedio (Montoya y Toro, 2006),



**Figura 1.** a) Ubicación de Colombia en Sur América. b) Suroeste del Caribe Colombiano. c) Línea de costa del Departamento de Antioquia en el Mar Caribe. Los puntos definen la ubicación y el nombre de los lugares de interés en el presente trabajo.

presenta profundidades de 15 a 20 m hacia el sur, entre 20 y 40 m en la parte media del golfo, y 50 m en la zona norte (Orejana *et al.*, 2013). Su hidrodinámica está influenciada por la

masiva descarga del río Atrato, la oscilación de la Zona de Convergencia InterTropical (ZCIT), el oleaje proveniente del Caribe, las mareas y los gradientes de densidad. Todos estos factores varían durante las épocas climáticas del año (Escobar *et al.*, 2015). Administrativamente se divide entre los departamentos del Chocó, en el occidente, y Antioquia, en el oriente, con límite administrativo en la boca Tarena del río Atrato.

#### 7.1.1 Volcán de Lodo y Río Hobo

Estos dos lugares se encuentran dentro del municipio de Arboletes, ubicado al noroccidente del Departamento de Antioquia, a orillas del Mar Caribe y al extremo de la serranía de Abibe. La cabecera municipal de Arboletes está a 4 msnm, tiene una temperatura media 26, 4° C, una precipitación anual de 1664 mm, con una disminución muy marcada en las lluvias en los meses de enero a marzo; estos valores de precipitación y temperatura permiten definir el clima local como tropical seco o de sabana según la clasificación de Koppen (1884) en la zona de vida bosque seco tropical según la clasificación de Holdridge (1967).

El sector norte (Volcán de Lodo) y el sector sur (Río Hobo) del municipio de Arboletes presentan erosión marina acelerada, posiblemente por la acción de las olas, que llegan hasta la base del escarpe de la terraza marina, la socavan erosionando los estratos sedimentarios inferiores de menor resistencia, formando una serie de cavidades que eventualmente provocan un desprendimiento de las porciones superiores de la terraza. De otro lado, la parte superior de la terraza sufre procesos de expansión y contracción en del material arcilloso presente en los suelos lo que produce pérdida de cohesión de la estructura edáfica y luego arrastre (Figura 2 y Figura 3). Este problema de erosión marina ha sido objeto de varios planes de desarrollo de los últimos gobiernos de Arboletes (PDM 2008-2011, PDM 2012-2015, PDM 2016-2019).

Dentro de la franja costera del municipio existe un diapiro de Lodo denominado “Volcán de Lodo”, que registra una altura aproximada de 15 m por encima de la terraza marina y un diámetro aproximado en la base de 200 m y de 55 m en el cráter. Al norte se ubica el barrio Minuto de Dios que tiene dos calles que hacen parte de la zona suburbana de la cabecera municipal de Arboletes y el resto de sus calles hacen parte del corregimiento Puerto Rey del Departamento de Córdoba (Aqua y Terra, 2010).

En la zona del Volcán de Lodo la vegetación se distribuye en parches compuestos por dos especies de mangle, *Conocarpus erectus* (Mangle zaragoza) y *Laguncularia racemosa* (Mangle blanco). Así mismo se encuentra la especie *Enterolobium cyclocarpum* (Árbol de guanacaste) y gran cantidad de gramíneas del género *Brachiaria*.

Muchas de las actividades económicas en el sector giran en torno a los servicios asociados al turismo, el comercio y actividades de jornaleo en haciendas ganaderas (Aqua y Terra, 2010). En esta zona no existe infraestructura educativa, ni equipamientos urbanos.



**Figura 2.** a) Erosión al norte de Volcán de Lodo, acantilado estrato sedimentario meteorizado, en la parte inferior se aprecian derrubios con vegetación. b) Vegetación cercana a la línea de costa (*Rhizophora mangle*). c) Erosión al frente del volcán con presencia de lodo.

La desembocadura del Río Hobo se localiza a 1 km al suroeste del casco urbano del municipio de Arboletes. La microcuenca del Río Hobo tiene un área de 29,325 Ha, y su afluente principal (Río Hobo) tributa sus aguas al Mar Caribe. En época de lluvias el caudal está en contacto directo con el mar, mientras que en periodo seco la boca suele cerrarse. La margen derecha del Río Hobo es una terraza de altura variable (5 a 10 m), que presenta lodolitas y arcillolitas y está siendo erosionada por el río, el mar y por escorrentía superficial, la margen izquierda del río está constituida por playa y manglar.

Las riveras y desembocadura de Río Hobo están dominadas por Mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y Mangle rojo (*Rhizophora mangle*), helecho de pantano (*Acrostichum aureum*). Además se registró la presencia de la especie Ceiba verde (*Pseudobombax septenatum*) que alcanza gran tamaño, pero está cerca de ser derribada debido a la inestabilidad causada por la acentuada erosión registrada en el sector (Figura 3).



**Figura 3.** a) Erosión en el acantilado, estrato sedimentario meteorizado, en la parte inferior se aprecian derrubios. b) Manglares de la ribera del Río Hobo (*Rhizophora mangle*). c) Playa que se forma en las riveras del Río con presencia de manglares.

### 7.1.2 Zapata

es un corregimiento del municipio de Necoclí (Antioquia), que está ubicado al suroeste de la costa Caribe colombiana. La cabecera del corregimiento está al costado izquierdo de la desembocadura del río Zapata y al noreste de la cabecera municipal de Necoclí. Presenta un clima cálido tropical, con temperatura promedio anual de 26,7°C y régimen de precipitaciones influido por los alisios del norte y nordeste que determinan una precipitación anual de 1827 mm y distribución unimodal de lluvias, con un período seco de enero a marzo y periodo húmedo de abril a diciembre. La precipitación registrada más baja ocurre en febrero con un promedio de 30 mm y el pico de máxima precipitación ocurre en mayo con un promedio de 280 mm (Estación C.O. del Mellito; IDEAM, 2005). En la zona costera del municipio predomina el bosque seco tropical (Posada y Henao, 2008). Estas características permiten definir el clima local como tropical seco o de sabana según la clasificación de Köppen (1884) en la zona de vida bosque seco tropical según la clasificación de Holdridge (1967).

Los procesos erosivos avanzados en Zapata fueron mitigados mediante la construcción de muros de roca (enrocado) (CORPOURABÁ-EAFIT, 2015), para mitigar la energía de la ola que llega a la base de la terraza. Sin embargo, la terraza hacia el suroccidente de los jarillones aún está siendo fuertemente erosionada por la acción de las olas que inciden en la base del acantilado, lo socavan y ocasionan pérdida de soporte para el estrato suprayacente, debido a la debilidad del estrato basal (Figura 4).

La vegetación de Zapata está dominada por Palma Cocotera (*Cocos nucifera*) seguida de Mangle Blanco (*Laguncularia racemosa*) y también se encuentran otras especies como; Mangle Zaragosa (*Conocarpus erectus*), Ceiba Verde (*Pseudobombax septenatum*) y gramíneas del género *Cynodon*.

La economía del corregimiento de Zapata está basada en la actividad agropecuaria, con cultivos permanentes (banano), semi permanentes (aguacate, mango, plátano, cacao y forestal) y transitorios (arroz, ñame, maracuyá y piña) poco tecnificados. La ganadería extensiva es otro de los grandes renglones productivos del área; así mismo la pesca y la acuicultura son actividades tradicionales y desarrolladas de forma artesanal que proporcionan sustento para algunas familias.



**Figura 4.** a) Formación de promontorios con presencia de rocas utilizadas como protección costera al sur de la cabecera de Zapata, b) Formación de puntas al sur de la cabecera de Zapata.

### 7.1.3 Punta Las Vacas

Este lugar está ubicado en el municipio de Turbo, el cual limita al norte con Necoclí, al oriente con los municipios San Pedro de Urabá, Apartadó y el departamento de Córdoba, al sur con los municipios Carepa, Chigorodó y Mutatá, y al occidente con el mar Caribe (Golfo de Urabá) y el Departamento del Choco. Punta Las Vacas, situada en la línea costera de Turbo, tiene una longitud aproximada de 3 km y un ancho promedio de 90 m (DNP *et al.*, 2006)

En la espiga de Punta Las Vacas, el frente externo comenzó a erosionarse desde la década de los años 40, proceso que se ha extendido gradualmente hasta desaparecer gran parte de las

playas del sector, con retrocesos estimados de 70 m en algunos sectores en los últimos 80 años (INVEMAR, 2003).

Punta Las Vacas se caracteriza por abundante vegetación donde se destacan las especies *Ipomoea stolonifera* (Campanita), *Mimosa pudica* (Dormidera), *Acrostichum aureum* (Helecho de pantano), una especie del género *Scirpus* (junco), *Pelliciera rhizophoreae* (Mangle Piñuelo) (Figura 5). La vegetación muestra evidencia de perturbación debido a que estas áreas están sometidas a procesos erosivos que han modificado el suelo; se pueden identificar árboles que, debido al socavamiento, han sido arrasados por el oleaje. Este fenómeno no solo afecta especies halófitas, también incide en la mortalidad de especies vegetales continentales por pérdida de suelo o por contacto con agua salada.



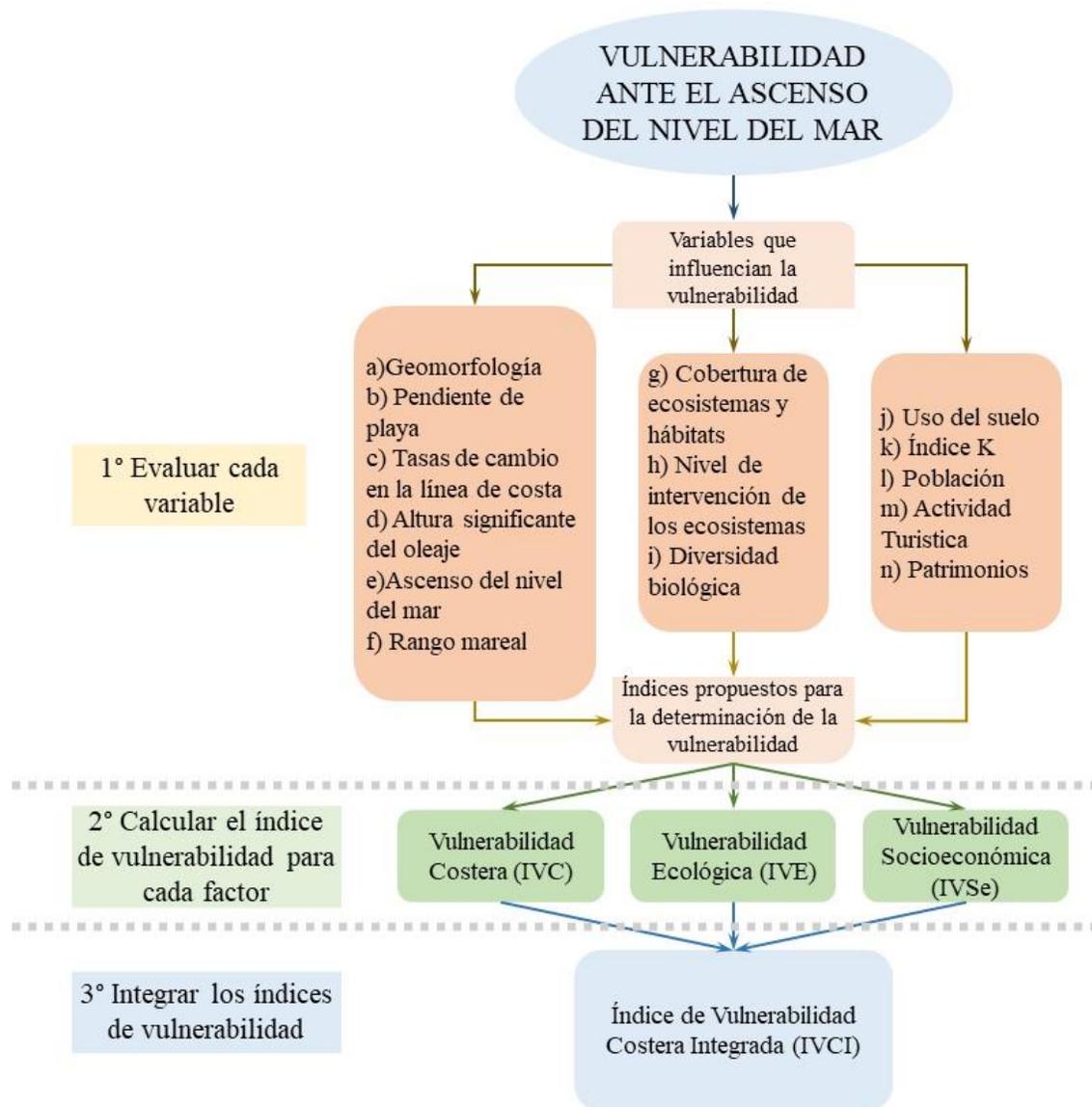
**Figura 5.** a) Enrocado realizado por la universidad EAFIT y CORPOURABA. b) Pista de aterrizaje afectada por la erosión en la Escuela de Combate Fluvial (ESCOFLU). c) Vegetación presente. d) Geotubos utilizados como protección costera cerca de ESCOFLU (Longitud del tubo  $\approx 2,5$  m). Fotos tomadas por el proyecto “Erosión Costera” (Gobernación de Antioquia, Universidad Nacional de Colombia y Universidad de Antioquia, 2018).

## 7.2 Evaluación de la vulnerabilidad

Para el desarrollo de este trabajo se construyeron tres índices a partir de 14 variables que permitieron evaluar la vulnerabilidad costera, ecológica y socioeconómica (Figura 6) en las cuatro áreas ya descritas (Tabla 1). Se analizaron y compararon las características de los tramos de costa segmentados en una cuadrícula de 100 x 100 m, las cuales se enumeraron de norte a sur.

**Tabla 1.** Longitud de la línea de costa considerada para cada zona de estudio.

<b>Sitio</b>	<b>Línea de costa (m)</b>	<b>Municipio</b>
Punta Las Vacas	3.255 m	Turbo
Zapata	2.007 m	Necoclí
Río Hobo	1.050 m	Arboletes
Volcán de Lodo	1.690 m	Arboletes



**Figura 6.** Esquema metodológico

### 7.3 Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC)

Para evaluar la vulnerabilidad costera se utilizó el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC). Este índice considera 6 variables que se ponderaron para cada tramo costero de 100 m. Como indica Gornitz *et al.* (1991), debido a que se usaron variables cuantitativas y cualitativas con diferentes escalas y unidades, la integración de ellas en un mismo índice requirió que a cada una se le asignara un valor de 1 a 5, donde el valor 5 represento la clase con mayor vulnerabilidad y el valor 1 la de menor vulnerabilidad. Esta asignación se realizó teniendo en cuenta el efecto positivo o negativo del factor sobre el impacto.

Una vez incorporadas las 6 variables en el Sistema de Información geográfica (SIG), los resultados se integran siguiendo la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Donde a) Geomorfología, b) Pendiente de playa, c) Tasa de Cambio de la Línea de Costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango Mareal.

$$IVC = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f}{6}}$$

El valor del IVC se dividido en 4 clases utilizando como límites los percentiles correspondientes (Ojeda *et al.*, 2009). De esta forma se clasificaron los tramos de costa según su vulnerabilidad (

Tabla 2). La distribución espacial de los valores de IVC se presenta sobre una base cartográfica, con los valores para tramos de costa de 100 metros.

**Tabla 2.** Clasificación del IVC, tomado de Ojeda 2009.

Valor del IVC	Clase	Vulnerabilidad Clasificada
(2,23 - 6,32]	Baja	1
(6,32 - 10,00]	Media	2
(10,00 - 14,14]	Alta	3
(14,14 - 35,35]	Muy Alta	4

### 7.3.1 Geomorfología

Para determinar esta variable se realizaron recorridos a lo largo de la línea de costa, describiendo cada 100 m la geomorfología presente: La información luego fue llevada a un SIG (Sistema de Información Geográfica) ArcGIS 10.5, donde se creó un *Shapefile* y se procedió a clasificar la geomorfología de acuerdo con el valor de la vulnerabilidad (Tabla 3).

**Tabla 3.** Clasificación de la variable “geología/geomorfología” (Ojeda *et al.*, 2009)

Clase	Valor clasificado	Descripción
Muy baja	1	Acantilados Altas sobre rocas coherentes
Baja	2	Acantilados medios sobre rocas de resistencia media
Media	3	Acantilados medios/bajos sobre formaciones sedimentarias de alta erodabilidad.
Alta	4	Playas extensas adosadas a planicies sedimentarias litorales poco elevadas
Muy Alta	5	Playas adosadas a formaciones de islas-barrera, tómbolos, flechas litorales, deltas, etc. También sectores que protegen formaciones de marismas mareales o fluvio-mareales

### 7.3.2 Pendiente de playa (%)

La pendiente se obtuvo a partir del levantamiento topográfico realizado en el marco del proyecto “*Investigación para la Reversión del Proceso de Erosión en las Costas del Mar de Antioquia*” (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018). Con esta información se generaron mapas de pendientes a través de la herramienta “*slope*” en la ruta (3D Analyst tool - Raster Surface) en ArcGIS 10.5. Se calculó el porcentaje, dividiendo la diferencia de elevación por la distancia recorrida multiplicada por 100. En las aéreas que el

mapa de pendientes no cubrió, se levantó la información con una brújula Brunton. Una vez generado el mapa de pendientes de cada sitio, se le asignó un valor de clasificación en tramos costeros de 100 m (ver Tabla 4).

**Tabla 4.** Clasificación pendiente de playa (Ojeda *et al.*, 2009)

<b>Clase</b>	<b>Valor clasificado</b>	<b>Pendiente de playa frontal (%)</b>
Muy baja	1	Mayor o igual a 8
Baja	2	Entre 4 y 8
Media	3	Entre 2 y 4
Alta	4	Entre 1 y 2
Muy Alta	5	Entre 0 y 1

### 7.3.3 Tasas de cambio en la línea de costa

Esta variable se obtuvo a través del análisis espacio-temporal de la línea de costa entre 1996, y 2018 a través de la metodología del Rango de Regresión Lineal (LRR) obtenidos mediante la herramienta DSAS , utilizando como fuente de información, fotos satelitales Landsat 7, sensor Enhanced Thematic Mapper + (ETM+), obtenida del servidor United States Geological Service (USGS) y Landsat 8, sensor Operational Land Imager (OLI) (Caso especial para la zona de Puntas las vacas 2018 donde no se pudo hacer el vuelo con dron debido a la presencia de un inhibidor para aviones). Para el 2018 se utilizaron las ortofotos realizadas por medio de mediciones de dron DJI Mavic Pro Platinum con cámara de 1" y 12Mpx del proyecto “*Investigación para la reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia*”, (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018). (Tabla 5).

**Tabla 5.** Fuente de las imágenes utilizadas.

Sitio	Fecha	Método		Resolución (m)	Datum
		Dron	Satélite		
Volcán de Lodo	7/24/1996		X	30x30	WGS84
	8/20/2018	X		0,03x0,03	D_WGS_1984
Río Hobo	7/24/1996		X	30x30	WGS84
	8/20/2018	X		0,02x0,02	D_WGS_1984
Zapata	7/24/1996		X	30x30	WGS84
	8/20/2018	X		0,03x0,03	D_WGS_1984
Punta Las Vacas	7/24/1996		X	30x30	WGS84
	8/20/2018		X	9,9x10	D_WGS_1984

Cada una de las fotografías fueron georreferenciadas en ArcGIS 10.5, utilizando mínimo 5 puntos de control dispersos homogéneamente, siguiendo los criterios de localización y distribución ajustadas al sistema de coordenadas WGS84. Posteriormente, se generó un *Shapefile*, en el cual se creó la línea de costa para cada imagen a una escala de 1:500, donde se utiliza la línea de marea más alta o «*High Water Line*» (HWL) definiéndola como el límite húmedo/seco e interpretándolo como la línea definida por la diferencia de coloración que marca el retroceso el nivel del agua instantáneo (Casal *et al.*, 2010).

Para las imágenes satelitales Landsat 7 y 8 el proceso de trazado es diferente, se trabajaron a una escala de 1:2000, analizando la línea de costa con las combinaciones de banda (5,6,4) de píxeles (gris y negro) y posteriormente comparada con la banda 5 NIR (Near Infra Red) la cual permite diferenciar entre el agua y tierra, siguiendo el límite entre el cambio de color (Franco, 2017).

Una vez obtenidas las líneas de costa de distintos años, se midieron los cambios visibles usando el software DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) el cual definió una línea de costa base a partir de la información geográfica más actualizada. Se tuvo en cuenta la tasa de punto final - End Point Rate (EPR) que representa la relación de la distancia entre la línea de

costa más antigua y la más reciente, y el lapso años entre ambas líneas, como medida principal. Surge de dividir la distancia del movimiento de la costa por el tiempo transcurrido entre la posición más antigua y la más reciente de la costa (Himmelstoss et al., 2018) y la tasa de regresión lineal - Lineal Regression Rate (LRR) la cual determina trazando las posiciones de intersección de la línea costera (distancia desde la línea de base) con respecto al tiempo (años) y calculando la ecuación de regresión lineal de  $y = \beta_0x - \beta_1$ . La pendiente de la ecuación que describe la línea corresponde a la tasa para cada sector (Himmelstoss et al., 2018).

Finalmente se procedió a la clasificación de las tasas calculadas y a la asignación de valores entre 1 y 5, utilizando los rangos establecidos por Ojeda *et al.* (2009); (Tabla 6).

**Tabla 6.** Clasificación “tasa de cambio de la línea de costa” basado en los criterios Ojeda *et al.* (2009).

Clase	Valor clasificado	Erosión (m/año)
Muy baja	1	(2, máx.]
Baja	2	(1, 2]
Media	3	(-1, 1]
Alta	4	(-2, -1]
Muy Alta	5	[mín., -2]

#### 7.3.4 Altura Significante del oleaje

Para la incorporación de este parámetro se utilizaron los datos obtenidos por la componente de modelación de oleaje del “*Proyecto Investigación para la Reversión del Proceso de Erosión en las Costas del Mar de Antioquia*” (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018). Estos fueron obtenidos del modelo *WAVEWATCH IIITM* implementado en el mar Caribe y el golfo de Urabá mediante el uso de mallas anidadas (Multigrid). Estos datos se clasificaron de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Clasificación de la variable “Altura Significante del oleaje” (Ojeda *et al.*, 2009).

<b>Clase</b>	<b>Valor clasificado</b>	<b>HS (m)</b>
Muy baja	1	(0 - 0,75)
Baja	2	(0,75 - 0,85)
Media	3	(0,85 - 0,95)
Alta	4	(0,95 - 1,05)
Muy Alta	5	(1,05 - 1,15)

#### 7.3.5 Ascenso del nivel del mar

Para la incorporación de este parámetro se utilizaron los datos del nivel del mar obtenidos por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá (CORPOURABA). Con este fin de utilizaron datos satelitales de anomalías del nivel del mar en el Caribe colombiano para el periodo 1998 a 2017.

En ese trabajo se escogieron 6 celdas cercanas al golfo de Urabá y sus series de tiempo fueron comparadas con las variables de anomalías de temperatura superficial y el Índice Oceánico de El Niño, y se correlacionaron entre sí. Con este fin se utilizaron el diagrama de Hovmöller y el cálculo de las Funciones Empíricas Ortogonales (FEOs). Fueron calculadas las tasas de incremento del nivel del mar para cada una de las celdas, además, la tasa promedio del nivel del mar en el golfo de Urabá para el periodo 1994 a 2017 (24 años). Los datos obtenidos se clasificaron de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Tasas de cambio del nivel relativo del mar (Ojeda *et al.*, 2009).

<b>Clase</b>	<b>Valor clasificado</b>	<b>Nivel (mm/año)</b>
Muy baja	1	(0 - 1,8)
Baja	2	(1,8 - 2,5)
Media	3	(2,5 - 3,0)
Alta	4	(3,0, -3,5)
Muy Alta	5	(3,5, máx.)

#### 7.3.6 Rango mareal

Para evaluar el rango mareal en el sitio de volcán de Lodo se utilizaron los datos proporcionados por el mareógrafo situado en la estación de Guardacostas del apostadero naval de Turbo, y analizados por medio del método de análisis de armónicos por Higuita y Quintana (2019). Para Volcán de lodo, Rio Hobo y Zapata se utilizó el modelo FES2014, del cual se obtuvieron series de tiempo por zona para el año 2018. Estos datos se clasificaron de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Clasificación de la variable rango mareal medio (Ojeda *et al.*, 2009).

Clase	Valor clasificado	Marea (m.)
Muy baja	1	(6 - máx.]
Baja	2	(4 - 6]
Media	3	(2 - 4]
Alta	4	(1 - 2]
Muy Alta	5	[0 - 1]

#### **7.4 Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE)**

Se utilizó el Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE) el cual es constituido por las variables de cobertura de ecosistemas, nivel de intervención y diversidad biológica. Estas fueron medidas para cada tramo costero de 100 m. Se utilizaron valores de clasificaron de 1 a 5 donde 5 representa la clase con mayor vulnerabilidad.

Esta asignación se realizó teniendo en cuenta el efecto positivo o negativo, según corresponda. Las descripciones de la clasificación de las variables incorporarán las condiciones observadas en los sitios que describan mejor la categoría.

La línea de costa fue cubierta con polígonos cuadrados de 100 m, asegurándose que las áreas críticas quedaran cubiertas. Una vez incorporadas las variables en el SIG, los resultados se integraron usando la  $\sqrt{\frac{g * h * i}{3}}$ . Donde: g) Cobertura de Ecosistemas y Hábitats, h) Nivel de Intervención de los Ecosistemas, i) Diversidad Biológica.

$$IVE = \sqrt{\frac{g * h * i}{3}}$$

Con el fin de ordenar los resultados obtenidos, el valor del IVE calculado se dividió en 4 clases utilizando rangos iguales. De esta forma, se identificarán los tramos según su vulnerabilidad. Esta información se desplegará usando un producto cartográfico, en el que se mostrará el tramo de costa con las cajas superpuestas que indican el estado del índice para cada una.

#### 7.4.1 Cobertura de ecosistemas

Los tipos de cobertura de ecosistema para cada sitio de interés se realizaron a partir de la interpretación visual de aerofotografías junto con validación directa sobre la línea costera. Estas coberturas se clasificaron de 1 a 5 siguiendo los intervalos mostrados en la

Tabla 10.

**Tabla 10.** Clasificación de ecosistemas y hábitats (CORPAMAG - Universidad del Atlántico, 2017).

Clase	Valor clasificado	Característica
Muy baja	1	Áreas sin vegetación
Media	3	Pastos, Arbustos, rastrojos, litoral rocoso, herbazales.
Muy Alta	5	Ecosistemas estratégicos: manglares, lagos, marismas, pastos marinos, arrecifes de coral, playas, lagunas asociadas a la pesca

#### 7.4.2 Nivel de intervención de los ecosistemas

El nivel de intervención de los ecosistemas se realizó mediante la comparación e interpretación de fotografías aéreas del año 2009 y 2018. Las fotografías de 2009 fueron hechas mediante sobrevuelos del proyecto: “*Expedición Estuarina, golfo de Urabá, Fase 1*” parte de la “*Expedición Antioquia 2013*” financiada por la Gobernación de Antioquia, Universidad de Antioquia, Universidad Nacional y EAFIT. Las ortofotos hechas con drone en el año 2018 son del proyecto “*Investigación para la reversión del proceso de erosión en*

*las costas del mar de Antioquia*” (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018). Esta información fue validada con recorridos sobre la línea de costa, donde se interpretó visualmente la intervención en los ecosistemas encontrados. Las intervenciones se clasificaron de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Clasificación de los niveles de intervención de los ecosistemas (CORPAMAG - Universidad del Atlántico, 2017)

<b>Clase</b>	<b>Valor clasificado</b>	<b>Característica</b>
Muy baja	1	Baja intervención
Moderada	3	Mediana intervención
Muy alta	5	Alta intervención

#### 7.4.3 Diversidad biológica

Debido a la contingencia actual Covid-19, no se pudieron tomar los datos de esta variable en los sitios estudiados. Por lo anterior se tomó la decisión de obtener información secundaria de listas de especies de la región. Se conformó un solo listado teniendo en cuenta los ecosistemas estratégicos como manglares que albergan gran cantidad de especies.

Se utilizaron los datos del informe de gestión de fauna silvestre en jurisdicción de las autoridades ambientales del departamento de Antioquia, Año 2009-2018 (Gobernación de Antioquia, 2018). El cual contiene el inventario de especies de anfibios, aves, mamíferos y reptiles, por municipio.

En el caso de Volcán de lodo se tuvo también en cuenta las especies identificadas en el informe de caracterización ecológica de fauna en el área de influencia del proyecto “*Construir obras para el control de erosión en la zona suroeste del volcán de lodo ubicado en el municipio de Arboletes en el departamento de Antioquia*” (DAGRAN, 2020). Por otro lado, en Punta Las Vacas se empleó el informe del POMCA del Río Turbo y Currulao, fase de diagnóstico, en los capítulos de vegetación, flora, fauna y ecosistemas (CORPOURABA,

2019). La diversidad se clasificó de 1 a 5 a partir de los siguientes intervalos mostrados en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Clasificación de la diversidad biológica (fauna) (elaboración propia)

Clase	Valor clasificado	Característica
Baja	1	< 5 especies
Media	3	> 5 especies
Muy alta	5	>10 incluyendo especies endémicas, en peligro, amenazadas y en vía de extinción.

### 7.5 Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica (IVSe)

Se utilizó el Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica (IVSe) que consta de 5 variables que se evaluaron para cada tramo costero de 100 m, donde se clasifico de 1 a 5 el valor de cada una donde 5 representa la clase con mayor vulnerabilidad. Esta asignación se realizó teniendo en cuenta el efecto positivo o negativo del factor sobre el impacto. Las descripciones de la clasificación de las variables incorporaron las condiciones observadas en los sitios que describan mejor la categoría.

Una vez se incorporaron las 5 variables en el SIG, los resultados se integraron en la . No se encuentra el origen de la referencia.. Donde: j) Uso del Suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio Histórico.

$$IVSe = \sqrt{\frac{j * k * l * m * n}{5}}$$

El valor del IVSe calculado se dividió en 5 clases, con el fin de ordenar los resultados obtenidos se utilizaron los límites los percentiles correspondientes. De esta forma se identificaron los tramos según su vulnerabilidad relativa. Los resultados de esta información se presentan a través de un documento con base cartográfica, en el que se calculan los valores para tramos de costa.

### 7.5.1 Uso del suelo

El uso del suelo se estableció a partir de la interpretación de fotografías aéreas del año 2018 (ver **Tabla 5**), de acuerdo con la descripción de cada tramo se le asignó un valor el cual permitió generar mapas. Estos datos se clasificarán de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados en Tabla 13.

**Tabla 13.** Clasificación de los Usos del suelo (Rangel-Buitrago *et al*, 2013)

<b>Clase</b>	<b>Valor clasificado</b>	<b>Característica</b>
Muy baja	1	Arbustos y Matorrales
Baja	2	Mosaico pastos, pastos arbolados, pastos, enmalezados y pastos limpios
Media	3	Bosque de mangle, marismas costeras, lagunas-lagos, zonas pantanosas y bosque de galería.
Alta	4	Estanques, agricultura, mosaico cultivos y pastos cultivos.
Muy Alta	5	Instalaciones recreativas, zonas comerciales, tejido urbano y aeropuertos.

### 7.5.2 Índice K (relación entre línea de costa construida y línea de costa natural)

Con la ortofoto de cada zona se obtuvo la longitud de línea de costa natural y construida teniendo en cuenta la dimensión de las obras costeras, luego se calculó la relación entre ambas. Estos datos se clasificaron de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados Tabla 14.

**Tabla 14.** Clasificación del índice K (Rangel-Buitrago y Posada, 2013)

<b>Clase</b>	<b>Valor clasificado</b>	<b>Característica</b>
Muy baja	1	K=0 No estructuras
Baja	2	K=0,0001 - 0,1 mínimo
Media	3	K=0,11 - 0,5 promedio
Alta	4	K=0,51 - 1 máximo
Muy Alta	5	K>1 extremo

### 7.5.3 Densidad de Población

Debido a la contingencia actual Covid-19, no se pudo realizar el censo a las viviendas como se había planteado inicialmente. Por lo anterior se tomó la decisión de obtener información del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) reportados en 2018, calculando la densidad poblacional por cuadrícula (10.000 m<sup>2</sup>). Estos datos se clasificarán de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 15.** Clasificación de la densidad de población (CORPAMAG -Universidad del Atlántico, 2017).

<b>Clase</b>	<b>Valor clasificado</b>	<b>Característica</b>
Muy baja	1	Menos de 20 hab/cuadrícula
Baja	2	Entre 20-50 hab/ cuadrícula
Media	3	Entre 50-80 hab/ cuadrícula
Alta	4	Entre 80-170 hab/ cuadrícula
Muy Alta	5	>170 hab/ cuadrícula

#### 7.5.4 Actividad Turística

Esta variable se obtuvo a partir de datos procedentes de los informes de valoración económica del “*Proyecto Investigación para la Reversión del Proceso de Erosión en las Costas del Mar de Antioquia*” (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018) los cuales realizaron encuestas directas enfocadas en el turismo. Estos datos se clasificaron de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Clasificación del turismo (elaboración propia)

<b>Clase</b>	<b>Valor Clasificado</b>	<b>Característica</b>
Muy baja	1	Ningún tipo de turismo
Baja	2	Actividad turística Baja
Media	3	Actividad Turística Media
Alta	4	Actividad Turística Alta
Muy alta	5	Actividad Turística Elevada

#### 7.5.5 Patrimonio

Para evaluar esta variable se solicitó al Ministerio de Cultura, Ministerio del Interior y el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) la certificación sobre la presencia de bienes de patrimonio histórico, la presencia de comunidades Indígenas, Minorías, Rom, Negra, Afrocolombianas, Raizales y Palenqueras. Estos datos se clasificarán de 1 a 5 a partir de los intervalos mostrados en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Clasificación del patrimonio histórico (Rangel-Buitrago y Posada, 2013)

<b>Clase</b>	<b>Valor Clasificado</b>	<b>Característica</b> (Rangel-Buitrago <i>et al.</i> , 2013)	<b>Característica</b> (Propuesta)
Muy baja	1	No presente	No presente
Muy Alta	5	Monumentos, comunidades formadas por minorías étnicas	Volcanes, monumentos, patrimonio cultural inmaterial (tradiciones orales, artes del espectáculo, usos sociales, rituales, actos festivos, conocimientos y prácticas relativos a la naturaleza y el universo, y saberes y técnicas vinculados a la artesanía tradicional)

### 7.6 Integración de la Vulnerabilidad Costera, Ecológica y Socioeconómica

Una vez calculados los IVC, IVE y IVSe, se procedió a la construcción del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI), para el cual se utilizaron todas las variables de acuerdo con la ~~¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.~~ Donde a) Geomorfología, b) Pendiente, c) Cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango mareal, g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas) Diversidad biológica) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo. n) Patrimonio.

$$IVCI = \sqrt{\frac{a * b * c * d * e * f * g * h * i * j * k * l * m * n}{14}}$$

El valor del IVCI calculado se dividió en 4 clases utilizando como límites los percentiles correspondientes, con el fin de ordenar los resultados obtenidos. La expresión espacial de esta información se realiza a través de un mapa en el que se aprecia la secuencia y resultados del IVCI, en el que se calculan los valores para tramos de costa de 100 metros.

## **8 RESULTADOS**

Al evaluar la respuesta de los cuatro lugares de análisis, en la costa del suroeste del Caribe Colombiano, ante el ascenso del nivel del mar se encuentra poca variabilidad en los datos de oleaje, nivel del mar, rango mareal, población, turismo y patrimonio. Los lugares Volcán de lodo, Río Hobo y Zapata comparten clasificaciones en diferentes variables debido a su ubicación geográfica fuera del Golfo de Urabá, en comparación con Punta Las Vacas, cuyas características son diferentes. Se presentan a continuación los resultados de cada una de las variables establecidas y el cálculo del IVC, IVE, IVSe y IVCI, en representación cartográficas, adaptadas a la disponibilidad y calidad de los datos utilizados.

### **8.1 Geomorfología**

La clasificación geomorfológica en Volcán de lodo, Río Hobo y Zapata es similar, dominada en más del 60% por formaciones de acantilados, mientras que Punta Las Vacas consta de solo formaciones de playa.

Volcán de lodo contiene el 61% de formaciones de acantilado lo que representa una vulnerabilidad media, ubicadas en la parte norte, media y sur de la línea de costa, combinándose con el 39% restante de playa, cuya vulnerabilidad es alta (Figura 7).

En Río Hobo, el 73% de la línea de costa está formada por acantilados con una vulnerabilidad media, abarcando la parte norte y sur, mientras el 27% restante representa las playas con vulnerabilidad alta, ubicado en la parte central y abarcando en época seca la desembocadura del Río Hobo (Figura 8).

De manera semejante se encuentra Zapata, la cual contiene el 75% en acantilados, abarcando toda la parte sur y el 25% correspondiente a la playa, al norte y contigua a la desembocadura del río Zapata (Figura 9).

Finalmente, en Punta Las Vacas, las formaciones de playa representan un 100% otorgando un nivel de vulnerabilidad alta (Figura 10).

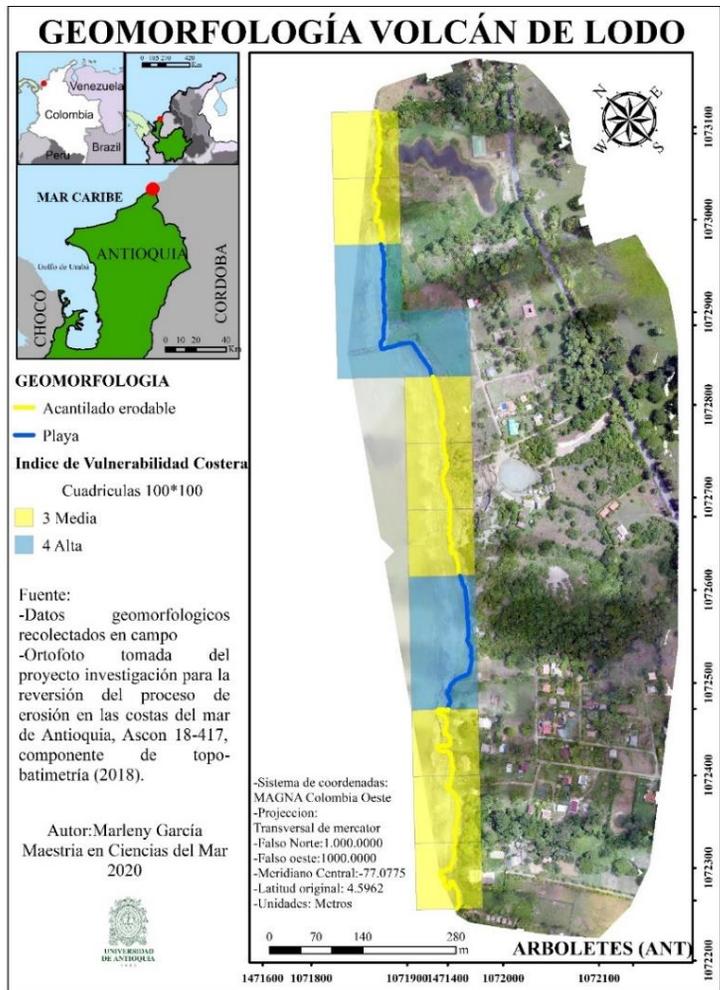


Figura 7. Geomorfología en Volcán de lodo

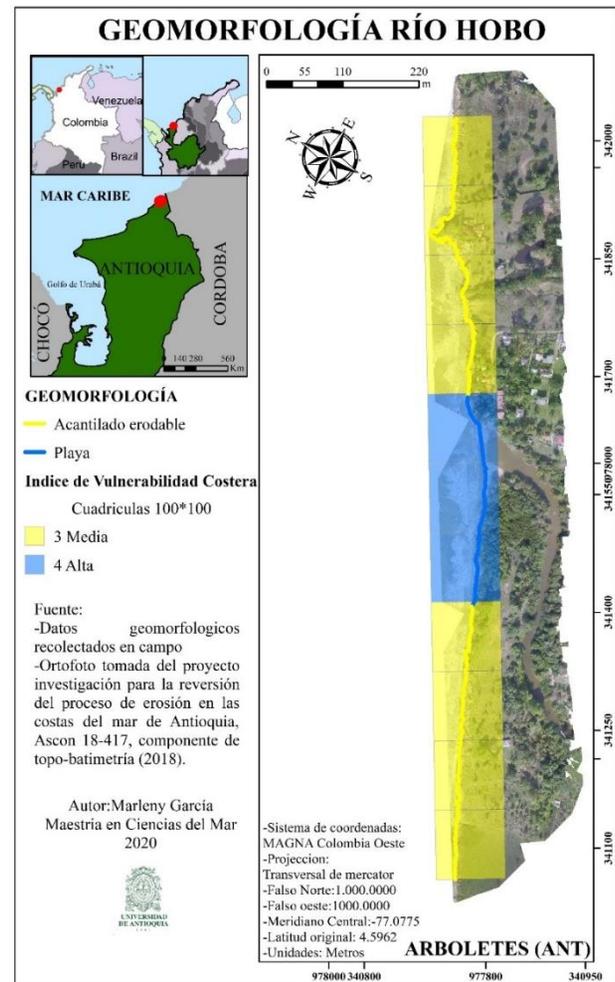


Figura 8. Geomorfología en Río Hobo

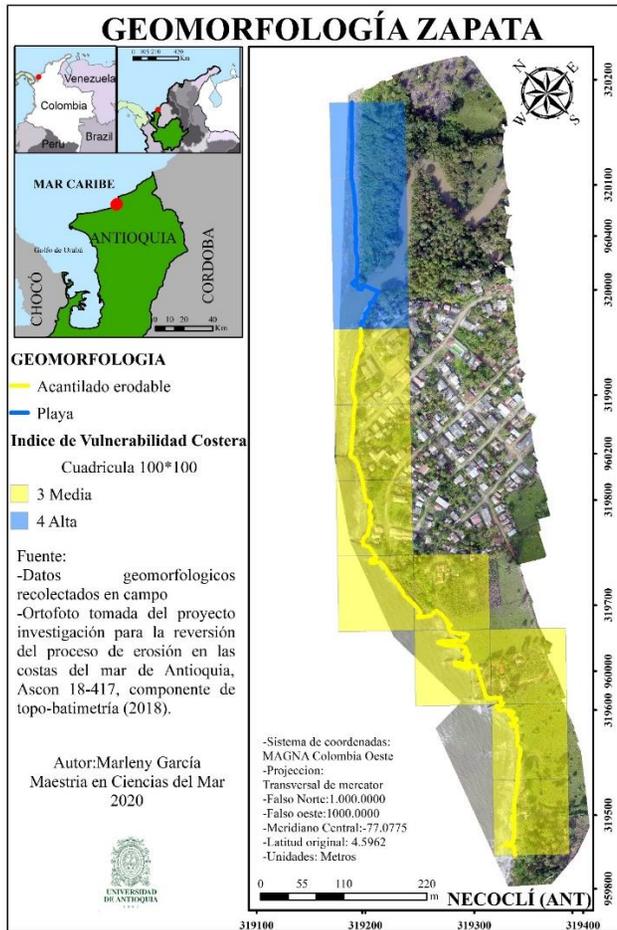


Figura 9. Geomorfología en Zapata

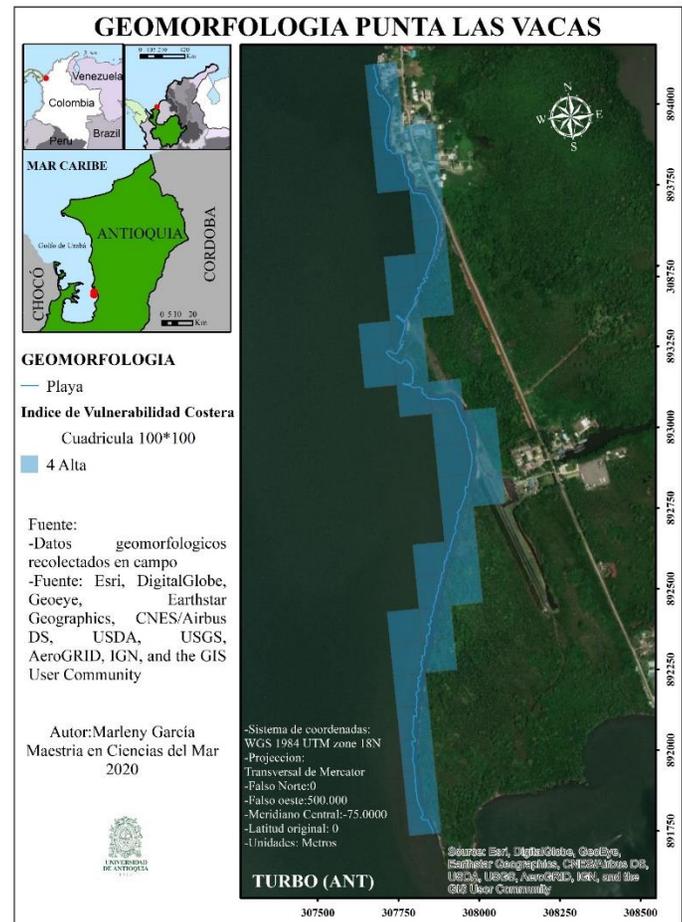


Figura 10. Geomorfología en Punta Las Vacas

## **8.2 Pendiente (%)**

Las pendientes de manera general cuentan con clasificaciones variadas que van desde muy bajas a muy altas en todos los sitios. Volcán de lodo, en la parte norte, está influenciado por pendientes bajas en un 38%, siendo su vulnerabilidad muy alta, disminuyendo hacia el parte sur seguido en un 24% de pendientes con vulnerabilidad baja y finalizando con un 38% de vulnerabilidades muy bajas (Figura 11).

En Río Hobo, la parte norte está dominado por pendientes altas en un 27%, siendo su vulnerabilidad muy baja, se incluye un 9% de pendientes muy altas con vulnerabilidad baja, en su parte media, seguido de un 27% de pendientes bajas con vulnerabilidades altas y finalizando con vulnerabilidades medias en un 37% (Figura 12).

En cuanto a Zapata prevalecen las pendientes altas en un 92%, siendo su vulnerabilidad muy baja; el otro 8% son pendientes bajas con vulnerabilidad alta ubicadas en la desembocadura del río (Figura 13).

Por último, Punta Las Vacas está distribuido en un 37 % de pendientes con clasificación de vulnerabilidad media ubicadas hacia el norte, seguido de un 63 % de vulnerabilidad alta hacia el sur de la punta (Figura 14).

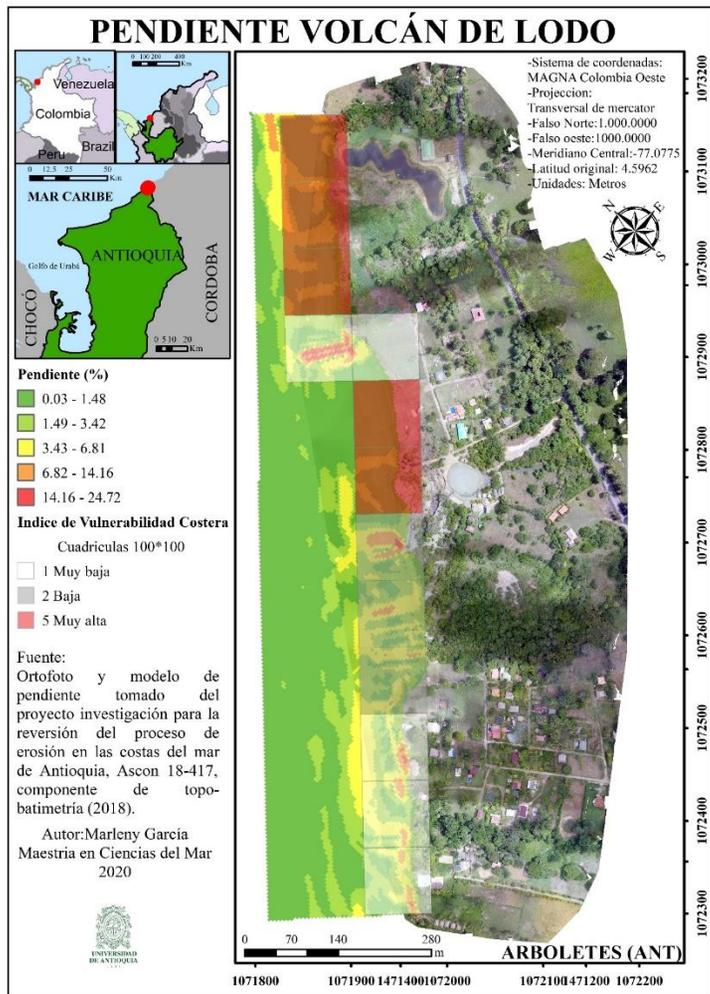


Figura 11. Pendiente de Volcán de lodo.

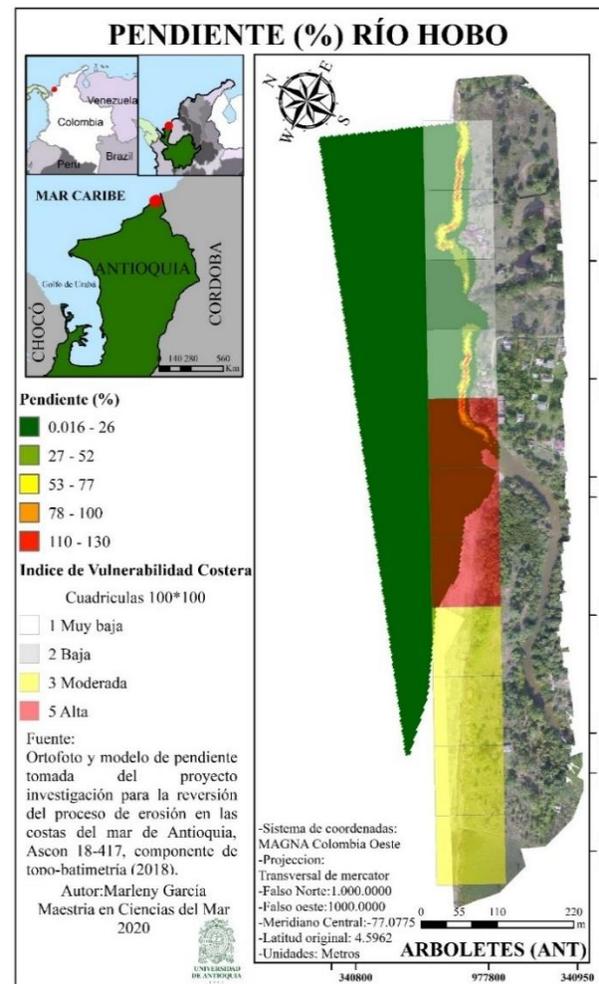


Figura 12. Pendiente de Río Hobo.

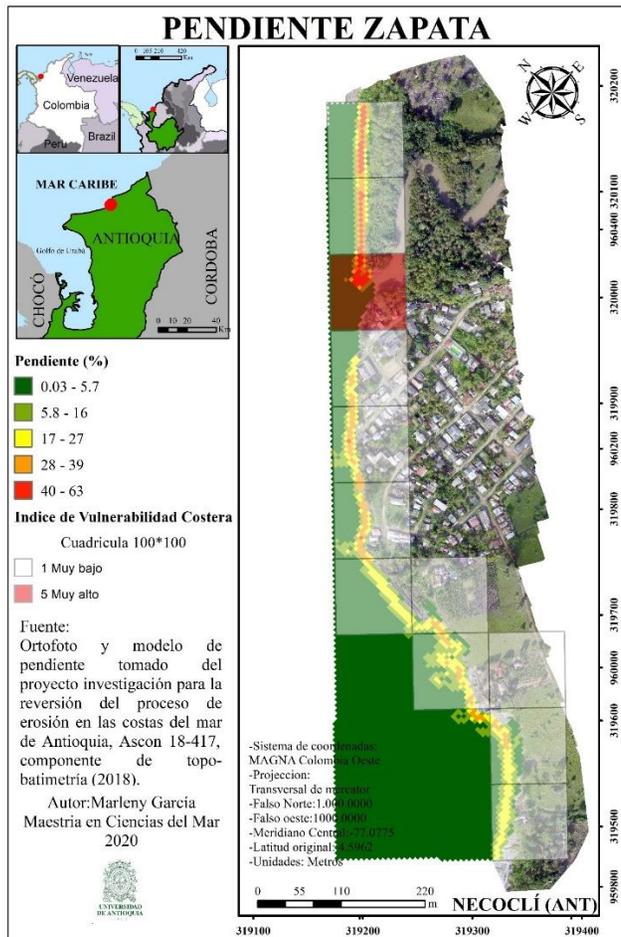


Figura 13. Pendiente de Zapata.

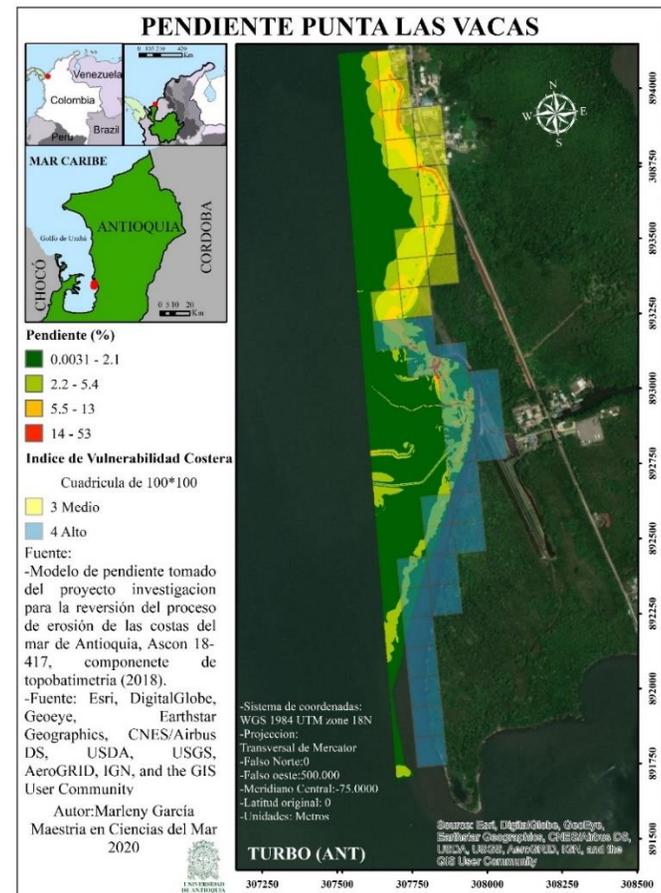


Figura 14. Pendiente de Punta Las Vacas

### **8.3 Tasa de cambio de la línea de costa**

La tasa de cambio de línea de costa en Volcán de lodo tiene retrocesos que van hasta -2,32 m/año en un 31%, cuya vulnerabilidad es alta hacia la parte sur, mientras el 69% restante alcanza retrocesos que van desde -2,33 hasta los 4,03 m/año con vulnerabilidades muy altas (Figura 15).

En referencia a Río Hobo, el 18% tiene retrocesos que van hasta -1,75 m/año clasificando su vulnerabilidad en alta, localizados en dos cuadrantes al sur contiguo a la desembocadura del río Hobo. El 82% faltante tiene vulnerabilidad muy alta con valores que alcanzan los - 3,46 m/año a lo largo de toda la línea de costa (Figura 16).

A su vez Zapata contiene el 25% con una vulnerabilidad media, con retrocesos que llegan hasta -1,54 m/año ubicado al norte de Zapata, seguido del 42% de vulnerabilidad alta que va hasta -2,42 m/año asociado a la parte media de la cabecera municipal y finalmente el 33% es la vulnerabilidad muy alta, alcanzando los -3,88 m/año hacia el sur del municipio (Figura 17).

Finalmente Punta Las Vacas presenta retrocesos hasta de -9,8 m/ año en un 34% de la línea de costa, clasificando la vulnerabilidad como muy alta, ubicada en la parte central donde anteriormente existía una pista de aterrizaje, hoy día dividida en dos partes debido al efecto erosivo causado allí, es el único lugar donde existen pequeños segmentos con acreción de 2m/año distribuidos en diferentes sectores en un 13% y terminando con el 53% de vulnerabilidad media distribuido hacia la parte norte que tiene un poco de estabilidad por el enrocado que allí se sitúa (Figura 18).

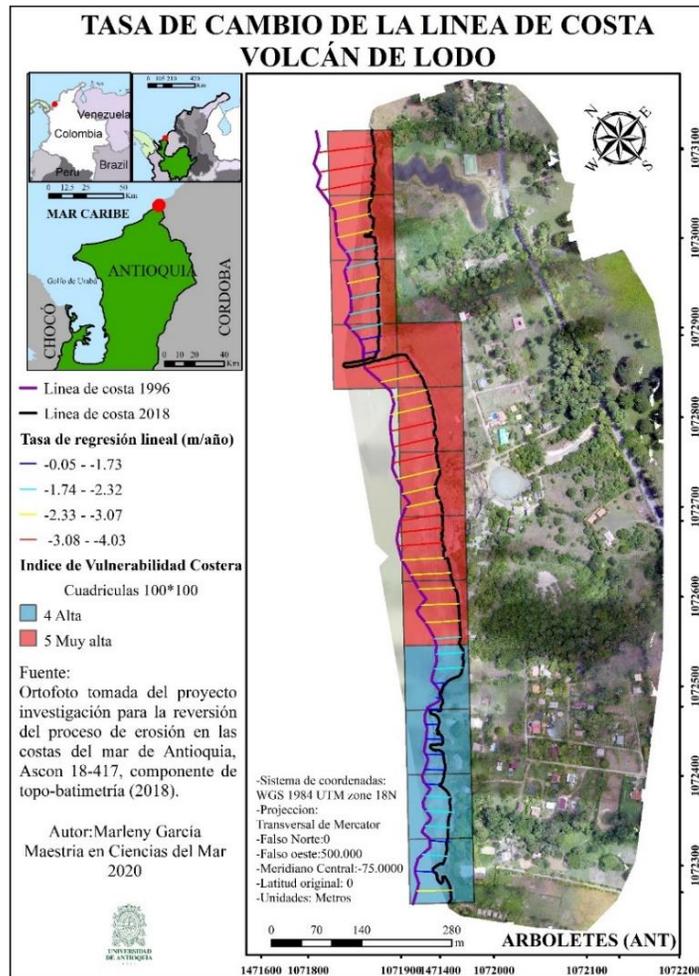


Figura 15. Tasa de cambio de la línea de costa de Volcán de Lodo.

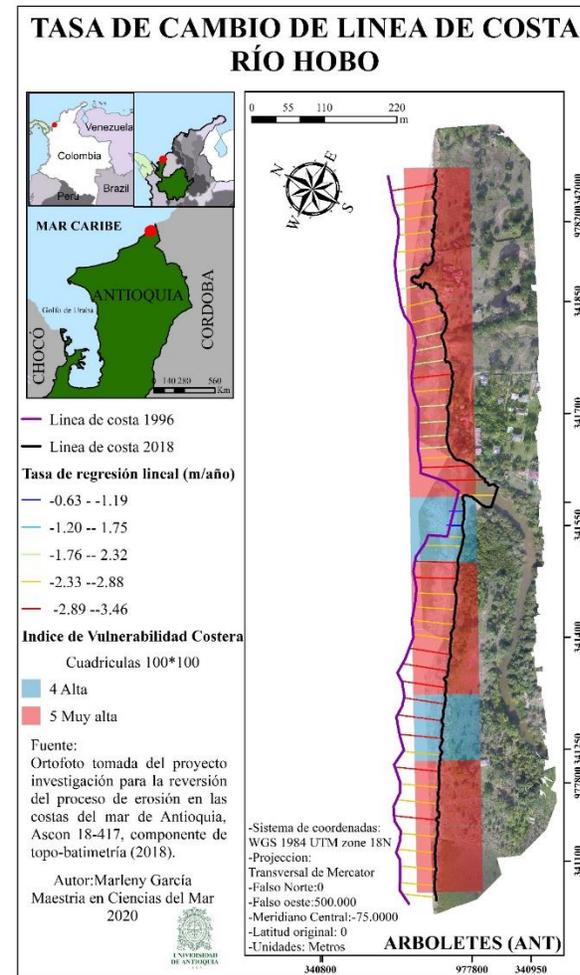


Figura 16. Tasa de cambio de la línea de costa de Río Hobo.

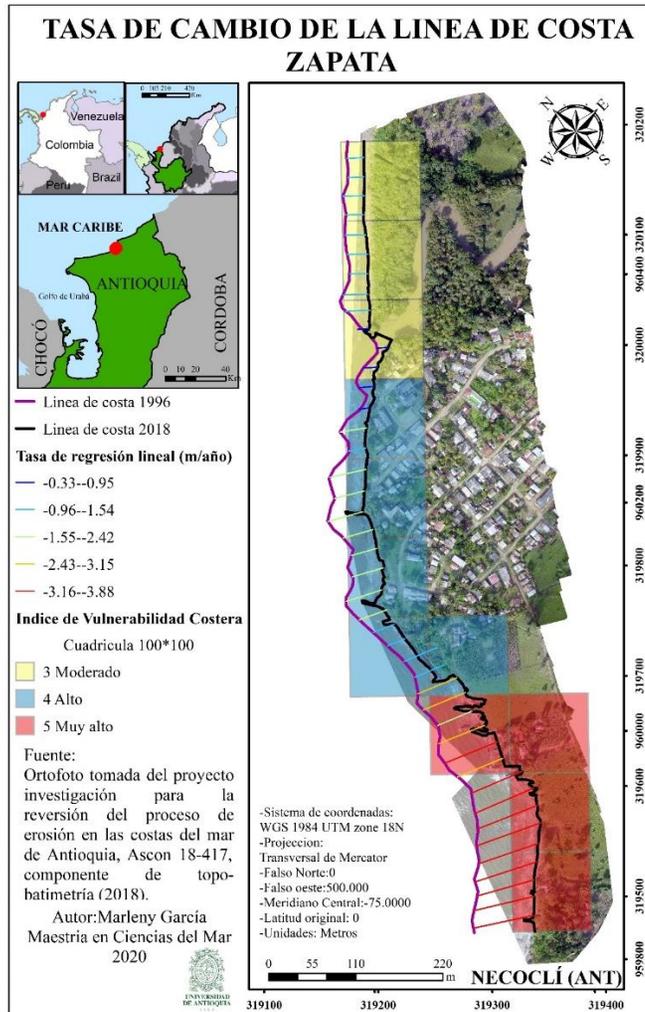


Figura 17. Tasa de cambio de la línea de costa de Zapata.

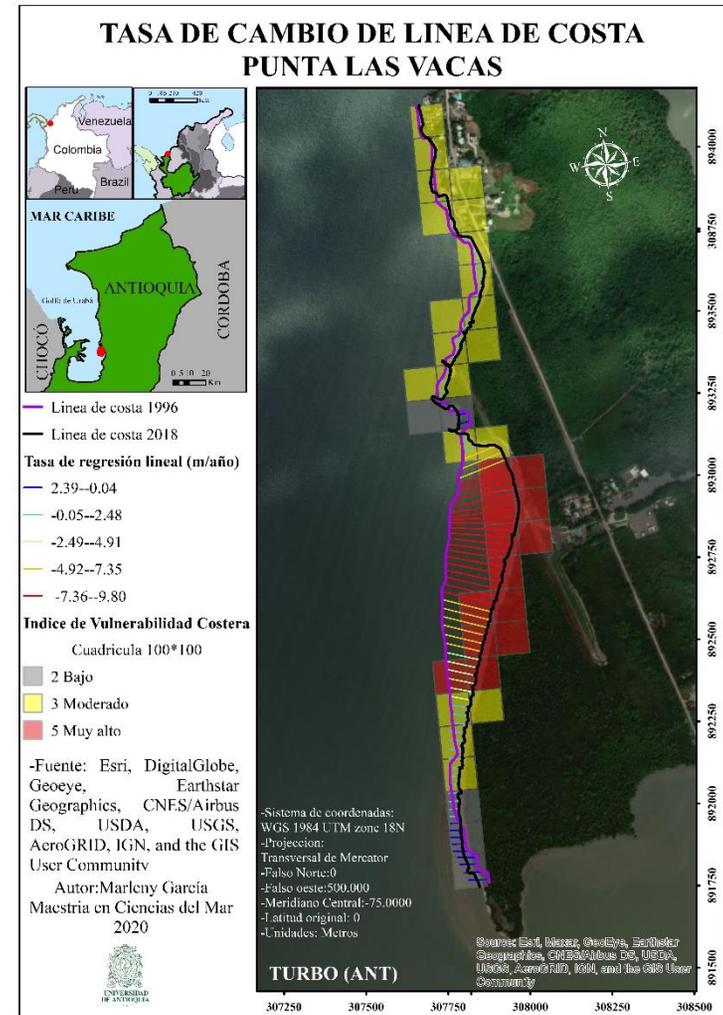


Figura 18. Tasa de cambio de la línea de costa Punta Las Vacas.

#### 8.4 Altura Significante del oleaje

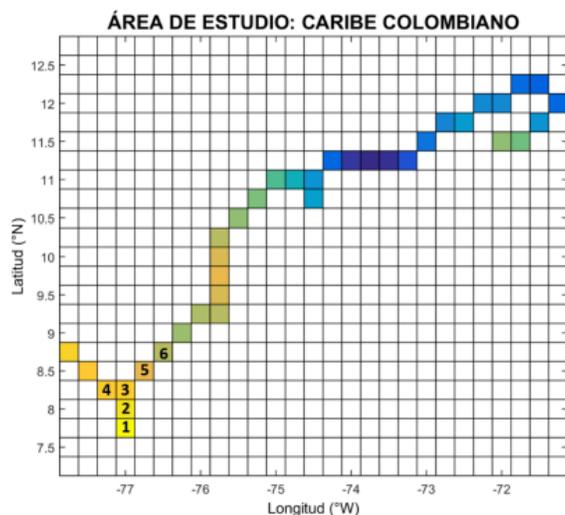
Para todos los sitios se observa que la altura de ola significativa ( $H_s$ ) presenta dos periodos de máximas alturas, en los meses de diciembre-enero-febrero y junio-julio-agosto. Los valores de altura de oleaje indican en la Tabla 18. Al encontrarse todos los sitios por debajo de 0,85 m, la clasificación de la vulnerabilidad es baja. Debido a la uniformidad de los resultados, no se consideró necesaria la representación de mapas individuales a gran escala, sin embargo, estos resultados se pueden apreciar en el cálculo del IVC (variable d, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23). Datos extraídos de los informes de la componente de oleaje del “*Proyecto Investigación para la Reversión del Proceso de Erosión en las Costas del Mar de Antioquia*” (Gobernación de Antioquia – Universidad de Antioquia, 2018).

**Tabla 18.** Altura Significante del oleaje, para cada sitio.

Sitio	Valores medios (m)
Volcán de lodo	0,8
Río Hobo	0,64
Zapata	0,48
Punta Las Vacas	0,4

#### 8.5 Tasa de ascenso/subida del nivel relativo del mar

La tasa de ascenso del nivel relativo del mar en todas las zonas está por encima de 3 (mm/año) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Tabla 19). No obstante, para Punta las Vacas es algo menor con respecto a los demás sitios, resultando la clasificación de la vulnerabilidad como alta, mientras que para Zapata, Río Hobo y Volcán de lodo muy alta. Debido a la uniformidad de los resultados no se consideró necesaria la representación de mapas individuales a gran escala, sin embargo, estos resultados se pueden apreciar en el cálculo del IVC (variable e, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23).



**Figura 19.** Celdas de estudio. Fuente: Variación de nivel del mar en el golfo de Urabá (CORPOURABA, 2019)

**Tabla 19.** Ascenso del nivel del mar en las zonas de estudio según el informe final:  
Variación de nivel del mar en el golfo de Urabá (CORPOURABA, 2019)

<b>Tasa del nivel del mar (mm/año)</b>		
<b>Celdas</b>	<b>Zona de estudio</b>	<b>1994-2017</b>
2	Turbo	3,43
5	Zapata	3,92
6	Volcán de lodo y Río Hobo	3,93

### 8.6 Rango mareal medio

Los rangos mareales medios en todos los sitios se encuentran por encima de 0,50 m, la clasificación de la vulnerabilidad es muy alta. Debido a la uniformidad de los resultados no se consideró necesaria la representación de mapas individuales a gran escala, sin embargo, estos resultados se pueden apreciar en el cálculo del IVC (variable f, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23).

**Tabla 20.** Rango mareal medio

<b>Rango mareal (m)</b>	
<b>Zona de estudio</b>	<b>Rango</b>
Volcán de lodo	0,51
Río Hobo	0,51
Zapata	0,52
Punta Las Vacas	0,52

### **8.7 Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC)**

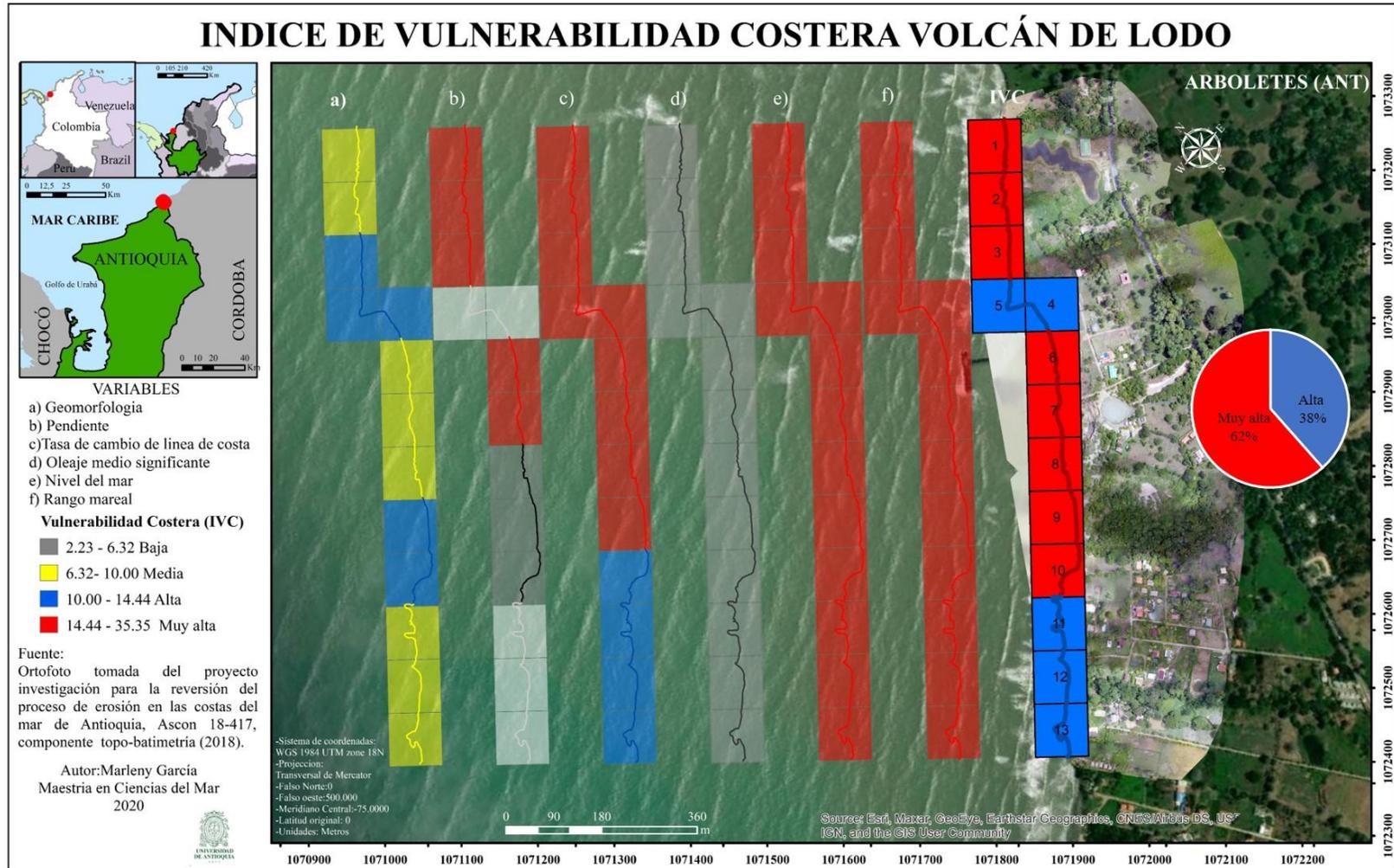
En general, los valores del IVC se encuentran entre 7,07 y 28,87. El 85% de todas las líneas estudiadas se encuentran clasificadas con vulnerabilidades muy altas y altas caracterizadas por ser sectores de formaciones sedimentarias erodables, formaciones de playas y altos retrocesos de costeros; el 15% restante presenta una vulnerabilidad media (Anexo 5. Resultados de las variables geomorfología, pendiente, tasa de cambio en la línea de costa, rango mareal y cálculo del Índice de Vulnerabilidad costera (IVC) en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas.).

El 62% de la línea de costa de Volcán de Lodo está constituida por una vulnerabilidad muy alta asociada a sectores de acantilados con formaciones sedimentarias erodables y retrocesos altos de línea de costa, mientras que el 38% restante presenta vulnerabilidad alta, correspondiendo a lugares con pequeñas obras de defensas costeras, cuya construcción se ha sido intensificado en los últimos años (Figura 20).

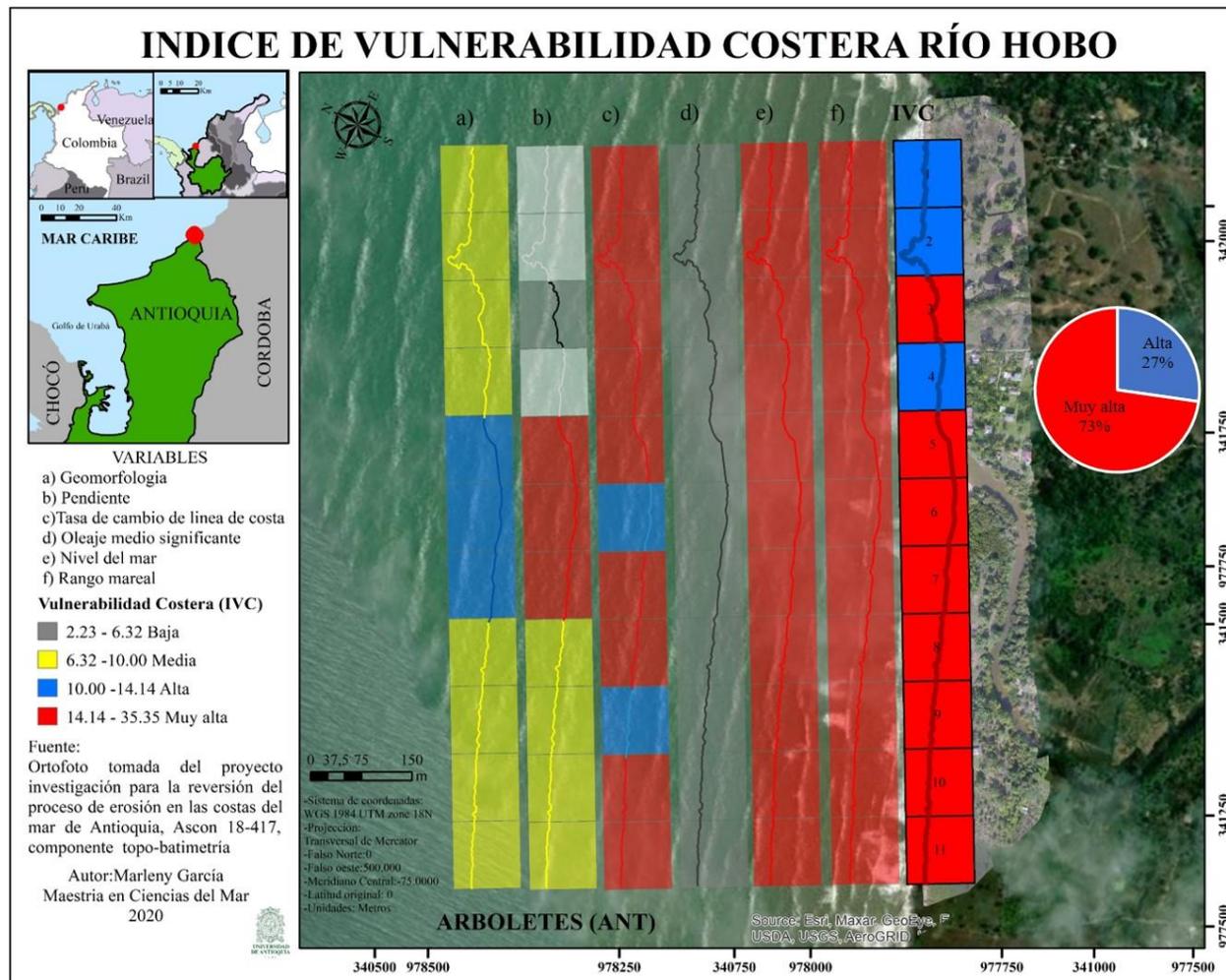
Así mismo, el 73 % del área en Río Hobo presenta vulnerabilidad muy alta, principalmente en el sector de la desembocadura del río y la zona de manglar aledaña donde se encuentran formaciones de playa, mientras el 27% restante, distribuido en las zonas de acantilados, muestra una vulnerabilidad alta, (Figura 21).

Respecto a Zapata, el 8% tiene vulnerabilidad muy alta, asociados a la desembocadura del río, mientras que el 92% presenta una vulnerabilidad media, en lugares que cuentan con obras de protección costera (Figura 22).

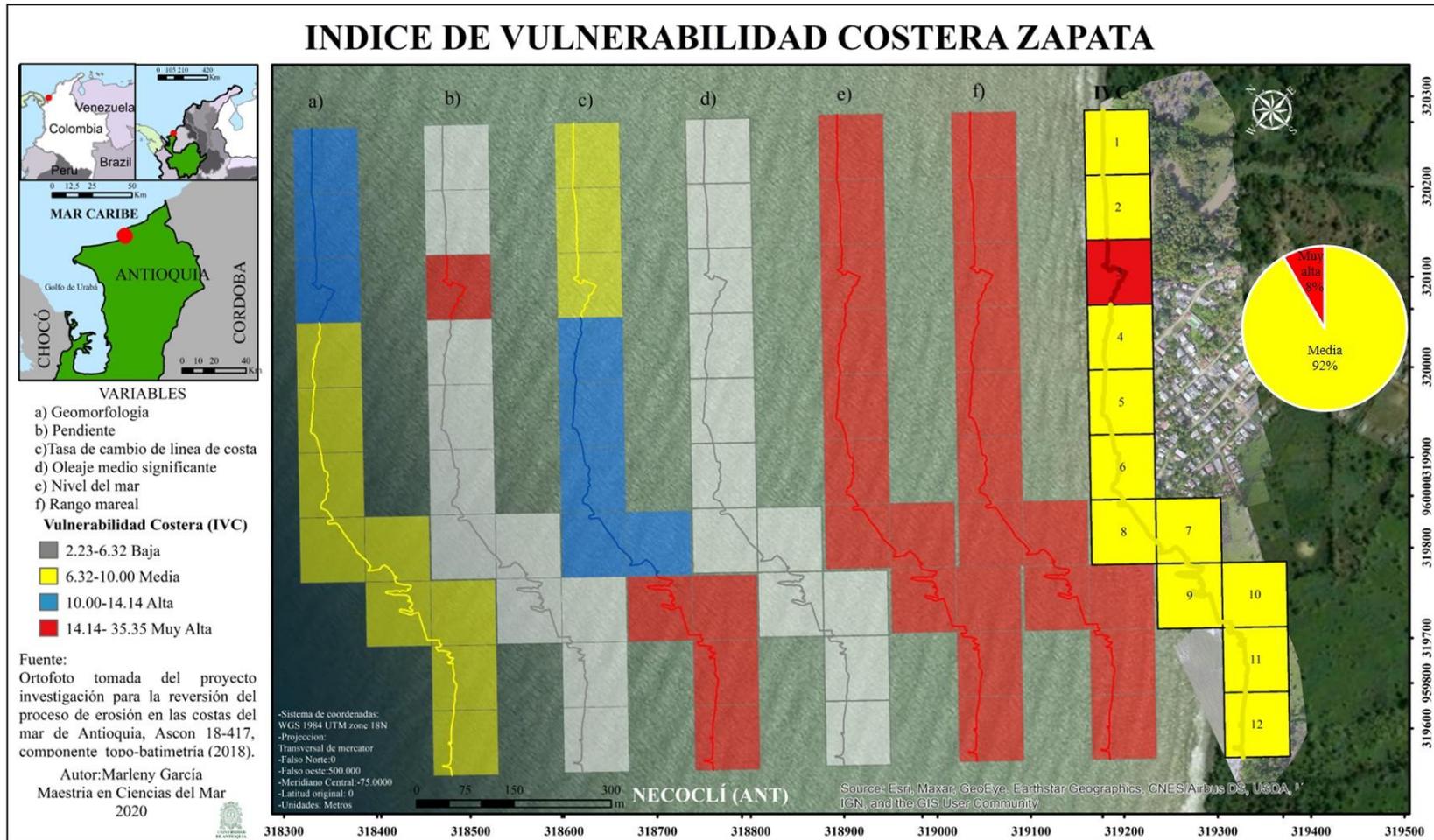
Punta Las Vacas el 34% se encuentra en vulnerabilidad muy alta, asociado a lugares de altos procesos erosivos en especial en el sector central de la espiga y el 66% restante tiene vulnerabilidad alta. Su elevada vulnerabilidad se debe probablemente a que es el lugar que registra mayores retrocesos costeros (Figura 23).



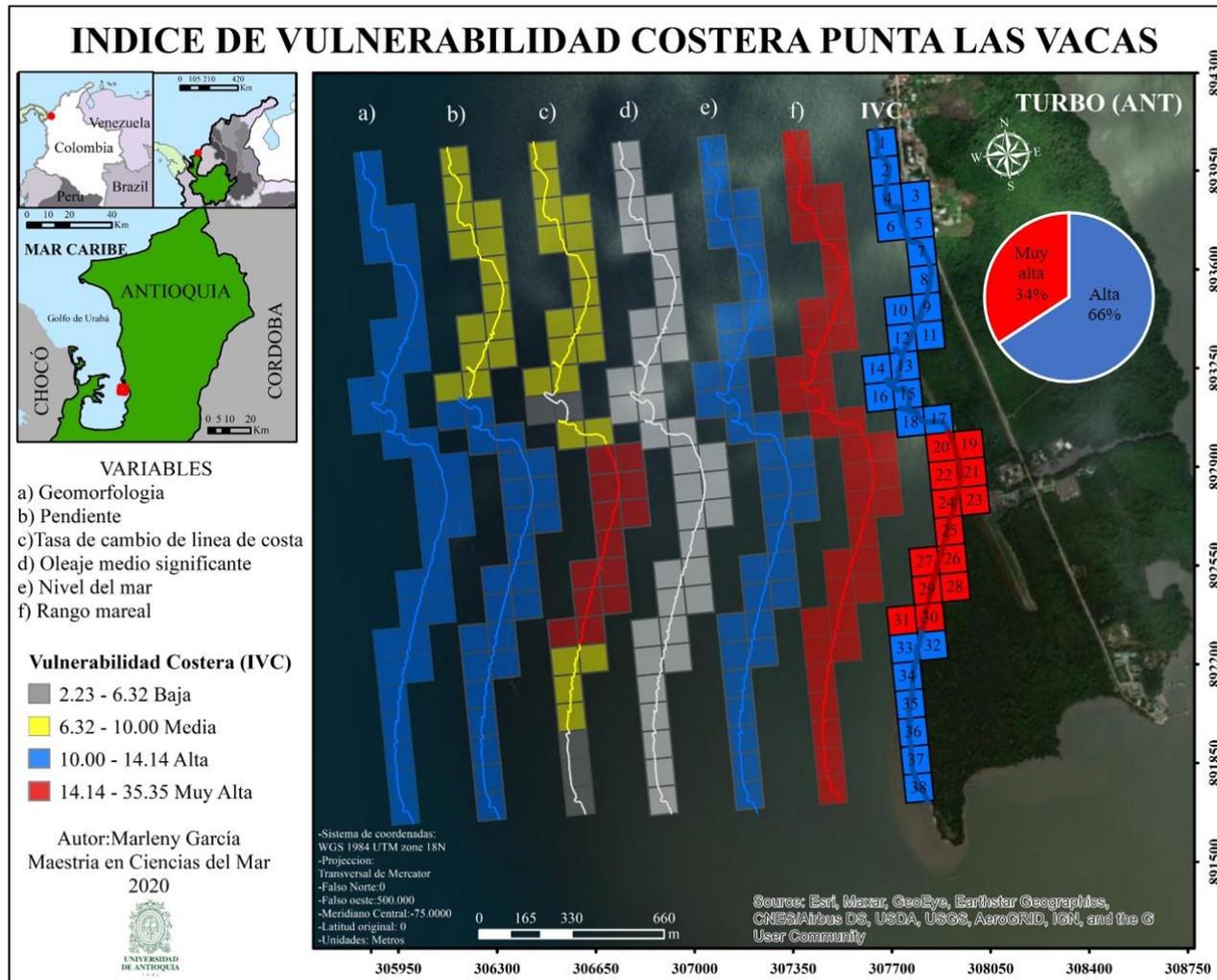
**Figura 20.** Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Volcán de lodo.



**Figura 21.** Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Río Hobo.



**Figura 22.** Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Zapata.



**Figura 23.** Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Tasa de subida del nivel relativo del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Punta Las Vacas.

### **8.8 Cobertura de ecosistemas**

Volcán de Lodo contiene en su línea de costa tres parches de manglares, distribuidos en la parte norte limitando con Córdoba, en el sector medio aledaño al sector del propio volcán y al sur, cerca de río Volcán. Dichos parches son ecosistemas estratégicos, ocupando un 23%, siendo su vulnerabilidad muy alta. El resto corresponde a una cobertura más amplia de pastos, arbustos y rastrojos, en un 62%, cuya vulnerabilidad es media y finalmente hay un 15% de área sin vegetación, con vulnerabilidad por tanto baja según esta variable (Figura 24).

Por su parte, Río Hobo incluye solamente dos clasificaciones en ecosistemas estratégicos. Así, existe un parche significativo de manglar que bordea el área del río Hobo y se expande un poco al sur ocupando un 36% de la línea de costa siendo su vulnerabilidad muy alta y el 64% restante está cubierto por pastos, arbustos y rastrojos distribuidos en la parte norte y sur con vulnerabilidad media (Figura 25).

En cuanto a Zapata comprende el 25% en ecosistemas estratégicos de manglar ubicados en la parte norte al lado del río Zapata clasificados como vulnerabilidad muy alta, el 42% corresponde a área sin vegetación la cual incluye parte de la cabecera del corregimiento, el 33% restante está cubierto por pastos, arbustos y rastrojos distribuidos en la parte sur (Figura 26).

Por último, Punta Las Vacas, un 74% está cubierto por mangles hacia el sur de la punta, con una vulnerabilidad muy alta, un 8% correspondiente a en pastos, arbustos y rastrojos con vulnerabilidad media y en el norte, el 18% restante es área sin vegetación con vulnerabilidad muy baja (Figura 27).

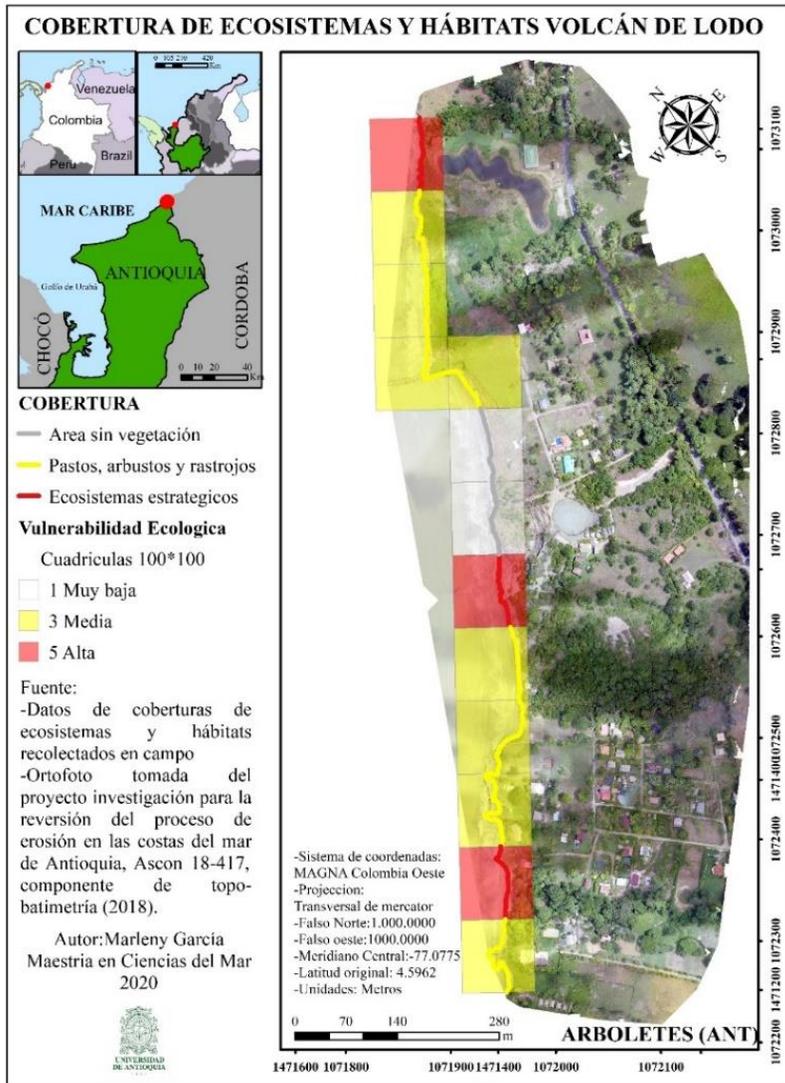


Figura 24. Cobertura de ecosistemas Volcán de lodo

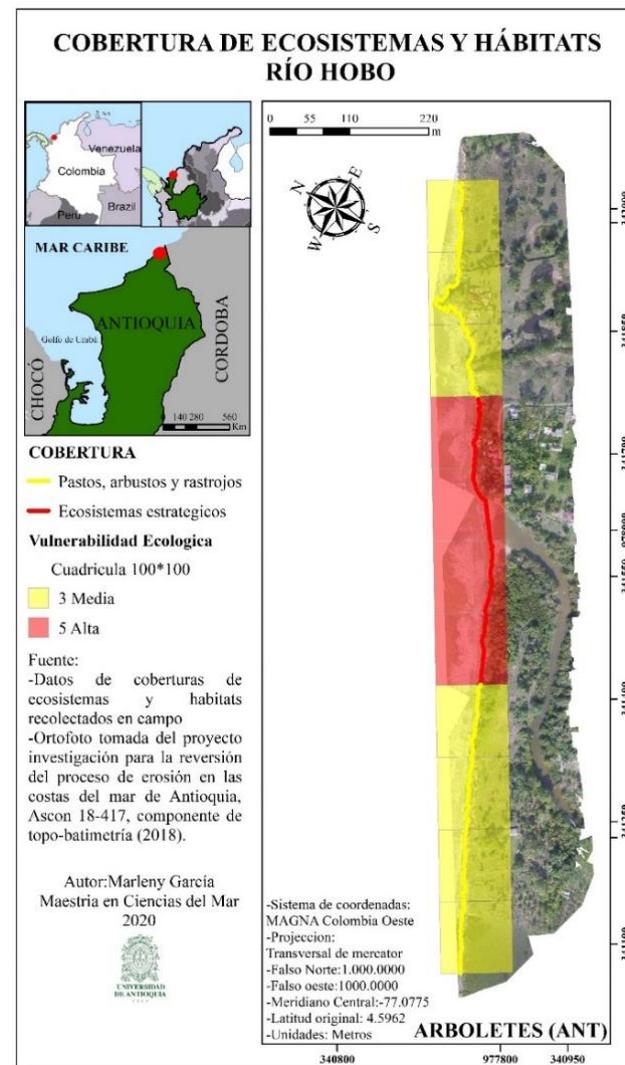


Figura 25. Cobertura de ecosistemas Río Hobo

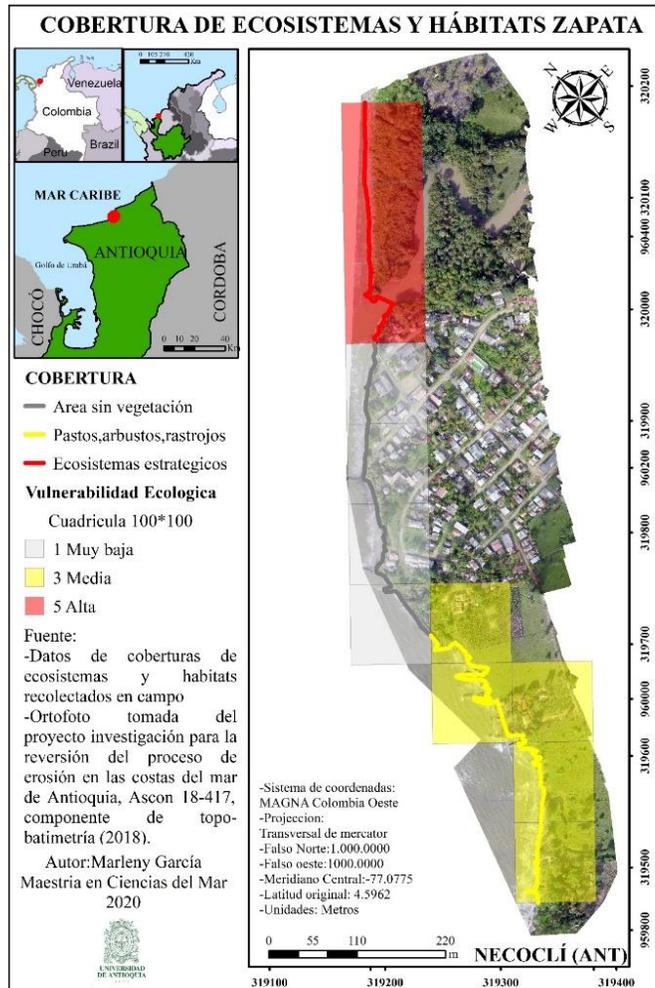


Figura 26. Cobertura de ecosistemas Zapata

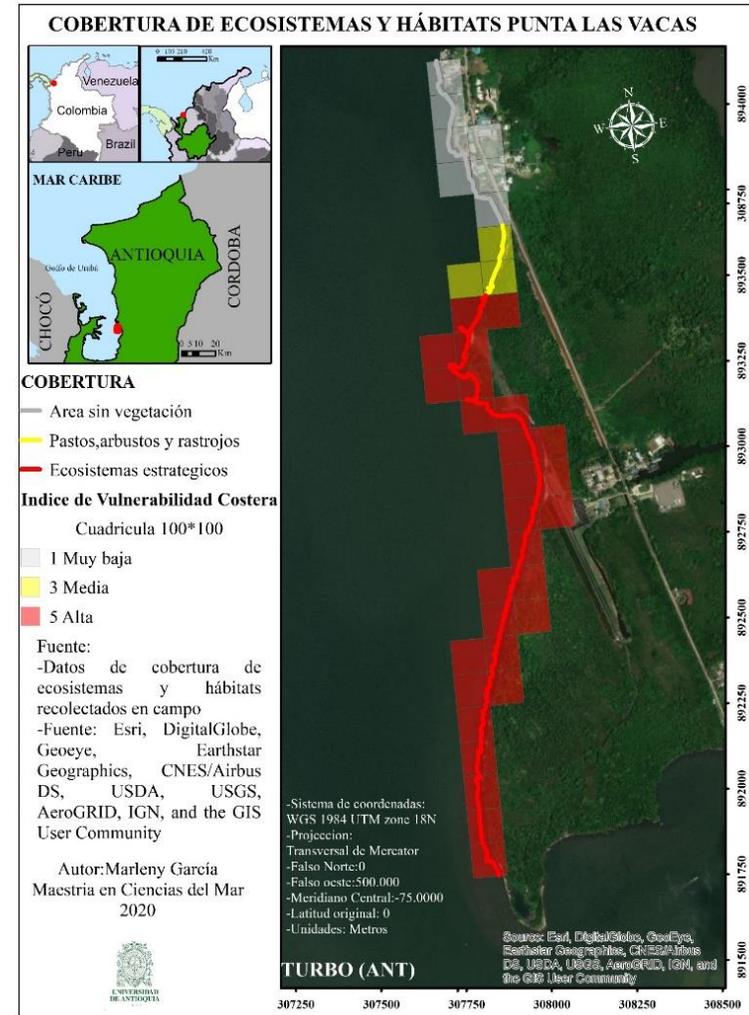


Figura 27.. Cobertura de ecosistemas Punta Las Vacas

### **8.9 Nivel de intervención de los ecosistemas**

De acuerdo a las comparaciones de las ortofotos de los años 2009 y 2018 y en relación a los ecosistemas, el sector de Volcán de lodo presenta una intervención alta (31%), relacionada con la zona de manglares que para el 2009 cubrían una mayor extensión, en ubicación cerca al volcán de lodo y una cobertura boscosa en parte norte, que debido a la erosión e intervenciones humanas a desaparecido, el 69% de la línea de costa restante cuenta con una intervención baja, tal como se muestra en la Figura 28.

Por su parte, en Río Hobo, el 45% de la línea de costa, ubicada en la parte sur, muestra una intervención alta, con una zona boscosa en 2009 que en 2018 ha tendido a desaparecer, reemplazándose por ganadería. El 55% restante se clasifica como de baja intervención, ya que sus ecosistemas han permanecido sin cambios significativos en el tiempo (Figura 29).

En cuanto a Zapata, las zonas boscosas que existían en 2009 en comparación con 2018 se han recuperado, sobre todo en la parte norte cerca al río Zapata, obteniendo como resultado una baja intervención en un 100% (Figura 30).

Del mismo modo Punta Las Vacas ha tenido una baja intervención en un 100%, debido a que es una zona de acceso restringida ha conservado su cobertura boscosa y de manglares existente (Figura 31).

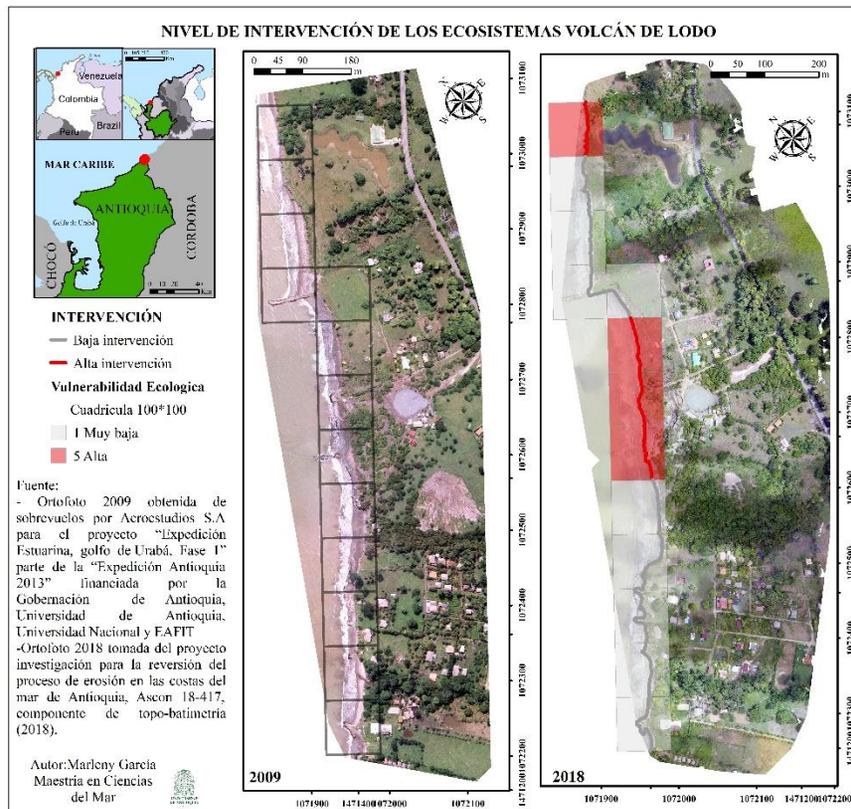


Figura 28. Nivel de intervención de ecosistemas Volcán de lodo

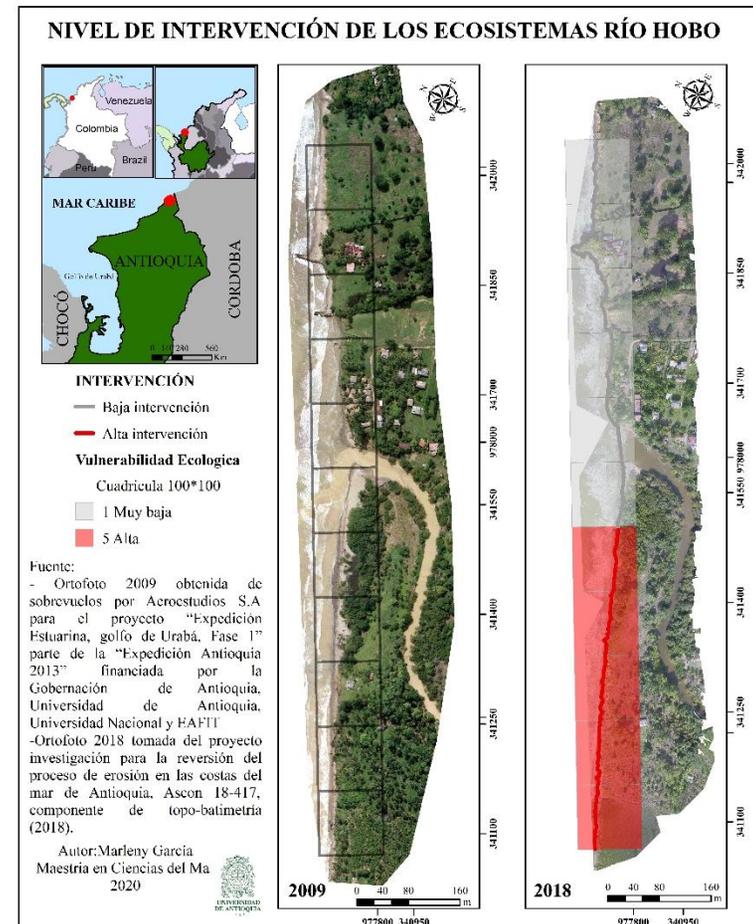


Figura 29. Nivel de intervención de ecosistemas Río Hobo

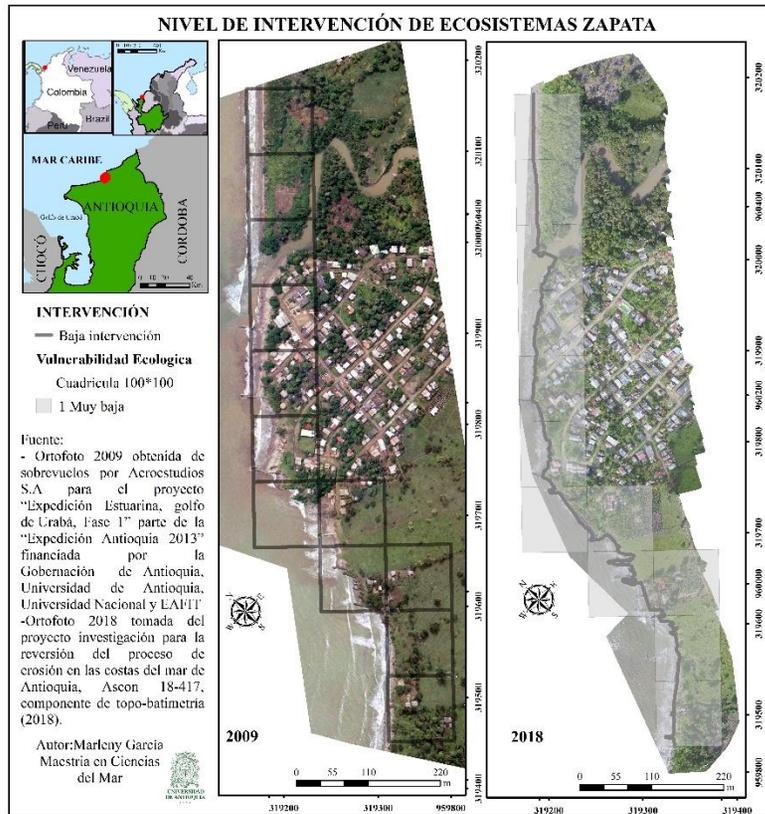


Figura 30. Nivel de intervención de ecosistemas Zapata

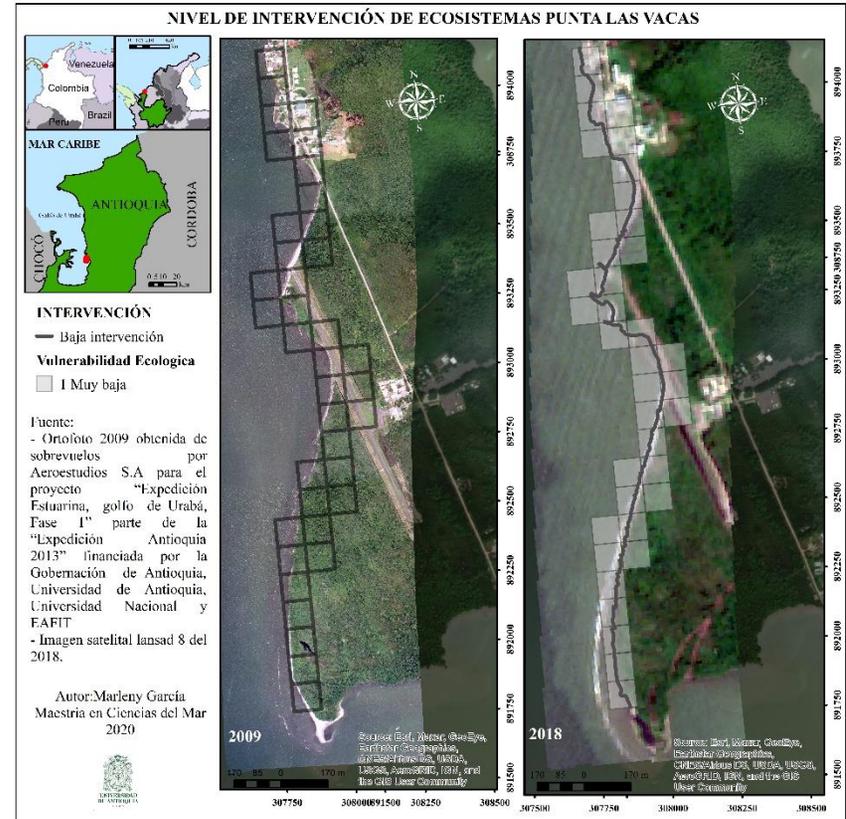


Figura 31. Figura 32. Nivel de intervención de ecosistemas Punta Las Vacas

### 8.10 Diversidad biológica

Para Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas se reportan un gran número de aves, las cuales se pueden encontrar fácilmente, destacando la *Quiscalus mexicanus* (María Mulata), *Brotogeris jugularis* (Periquito), *Thraupis episcopus* (Azulejo), la *Eusiptula pertinax* (Cotorra carisucia), *Milvago chimachima* (Pigua) y *Thraupis palmarum* (Azulejo Palmero). También se encuentran aves migratorias en la que se destacan *Pandion haliaetus* (Aguila pescadora), *Cardelina canadensis* (Reinita), *Parkesia noveboracensis* (Reinita acuática), *Setophaga castanea* (Reinita), *Setophaga petechia* (Reinita) y *Protonotaria citrea* (Reinita) entre otras (Anexo 1). La mayor parte de aves registradas corresponden a especies, omnívoras, carnívoras/Piscívoras, insectívoras.

Una especie que tiene gran importancia es el *Cardisoma guanhumi* (Cangrejo Azul). Estas áreas son hábitats históricos de la especie, la cual se encuentra en la categoría de vulnerable debido a la destrucción de hábitats y uso indiscriminado. En concreto, se pudieron observar más de 50 madrigueras donde habitaban individuos de esta especie.

Por su parte, los mamíferos encontrados fueron *Didelphis marsupialis* (Zarigüeya), *Sciurus granatensis* (Ardilla roja), *Bradypus variegatus* (Perezoso de tres uñas), *Choloepus hoffmanni* (Perezoso de dos uñas), *Rhipidomys sp.* (Ratón Arborícola) y *Sylvilagus brasiliensis* (Liebre) (Anexo 2).

Se puede señalar que entre los anfibios más comunes de estas zonas destacamos la *Rinella marina* (Sapo común), *Scarthyla vigilans* (Rana vigilante), *Hypsiboas pugnax* (Rana), *Leptodactylus sp.* (Rana) (Anexo 3). Por otro lado, en cuanto a los reptiles, tenemos *Basiliscus basiliscus* (Saltarroyo), *Hemidactylus frenatus* (Gekko), *Gonatodes albogularis* (Gekko Cabeciamarillo), *Iguana iguana* (Iguana) y *Cnemidophorus lemniscatus* (Lobito) (Anexo 4).

La diversidad biológica en Volcán de Lodo, en un 15% se encuentra clasificada en vulnerabilidad muy alta (>10 especies), especialmente en las zonas de mayor cobertura vegetal donde se tiene presencia de manglar, mientras que en el resto de la línea de costa en un 85% su clasificación es media (>5 especies) (Figura 32).

En Río Hobo la zona de manglar cuenta con una vulnerabilidad muy alta (>10 especies), en un 27%, mientras que la vulnerabilidad del 73% restante es media (>5 especies) (Figura 33).

En Zapata presenta una vulnerabilidad muy alta (>10 especies) hacia el norte en un 25%, relacionado con la zona de manglar aledaña al río, continuando con un 33% de vulnerabilidad muy baja situada en la zona residencial y finalmente, hacia el sur, su vulnerabilidad es media representando un 42% (>5 especies) (Figura 34).

Por último, Punta Las Vacas en la parte norte contiene un 18% de vulnerabilidad muy baja, representada por una pequeña porción de zona residencial, seguido del 8% de vulnerabilidad media (>5 especies) y terminando en un 74% de vulnerabilidad muy alta (>10 especies) en la zona de manglar de toda la punta (Figura 35).

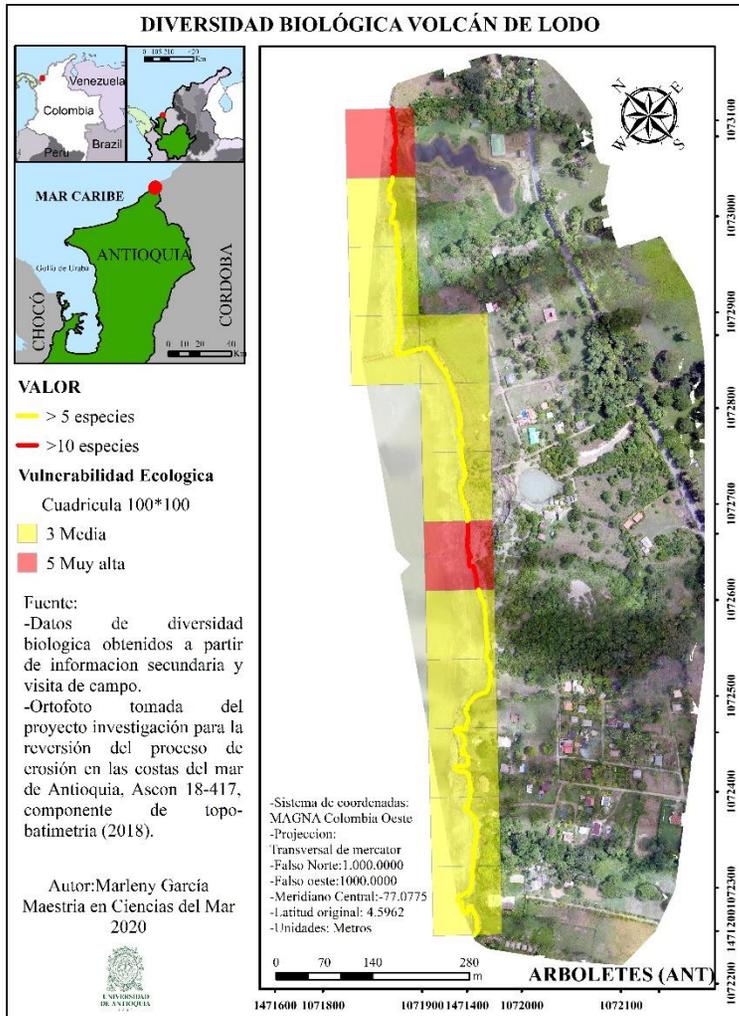


Figura 32. Diversidad Biológica Volcán de Lodo.

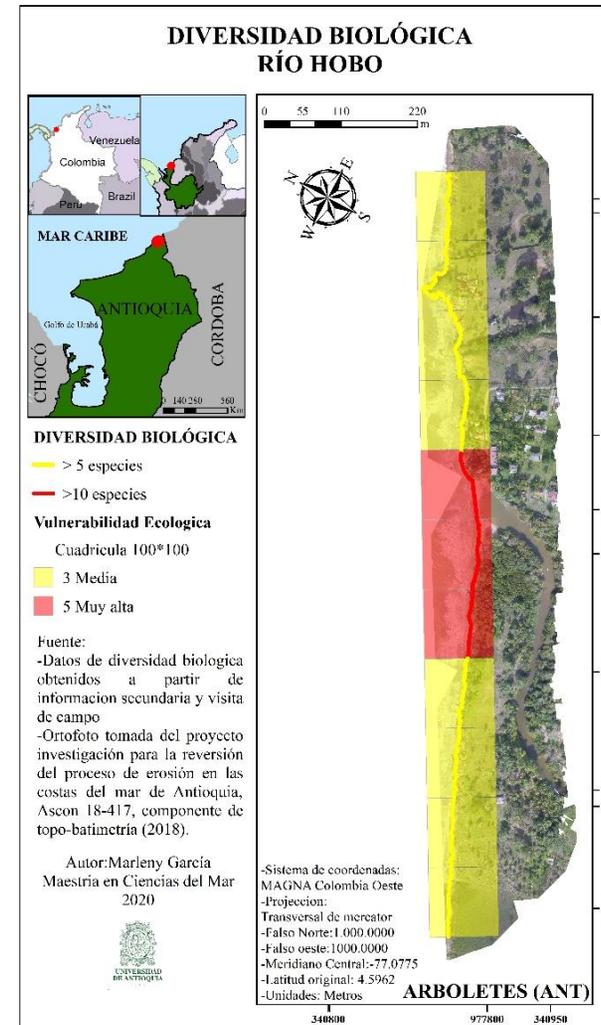


Figura 33. Diversidad Biológica Río

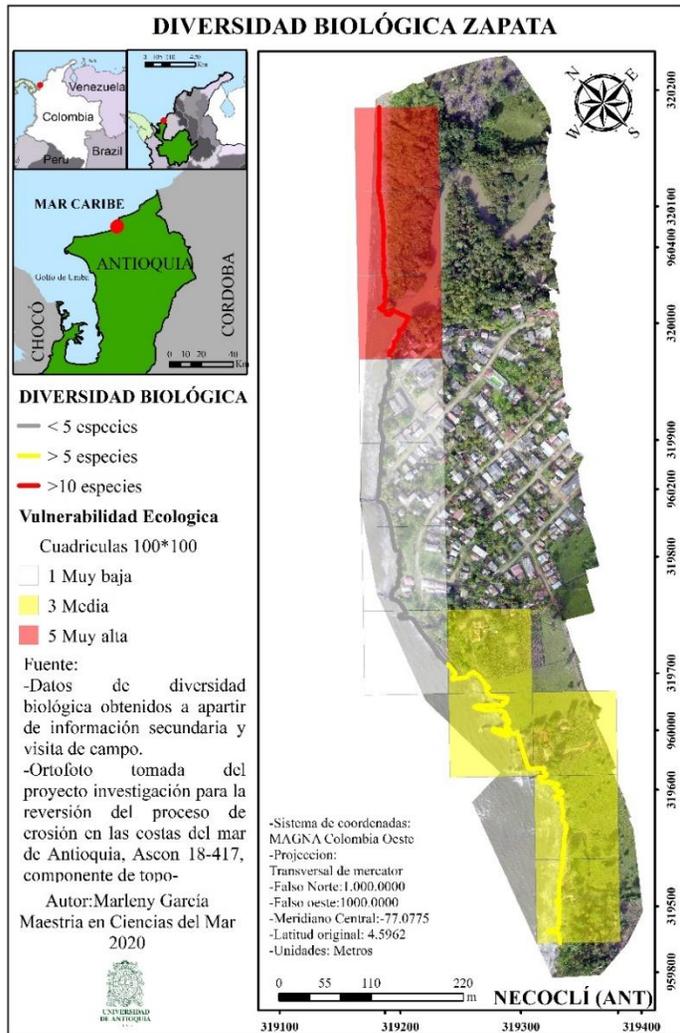


Figura 34. Diversidad Biológica Zapata.

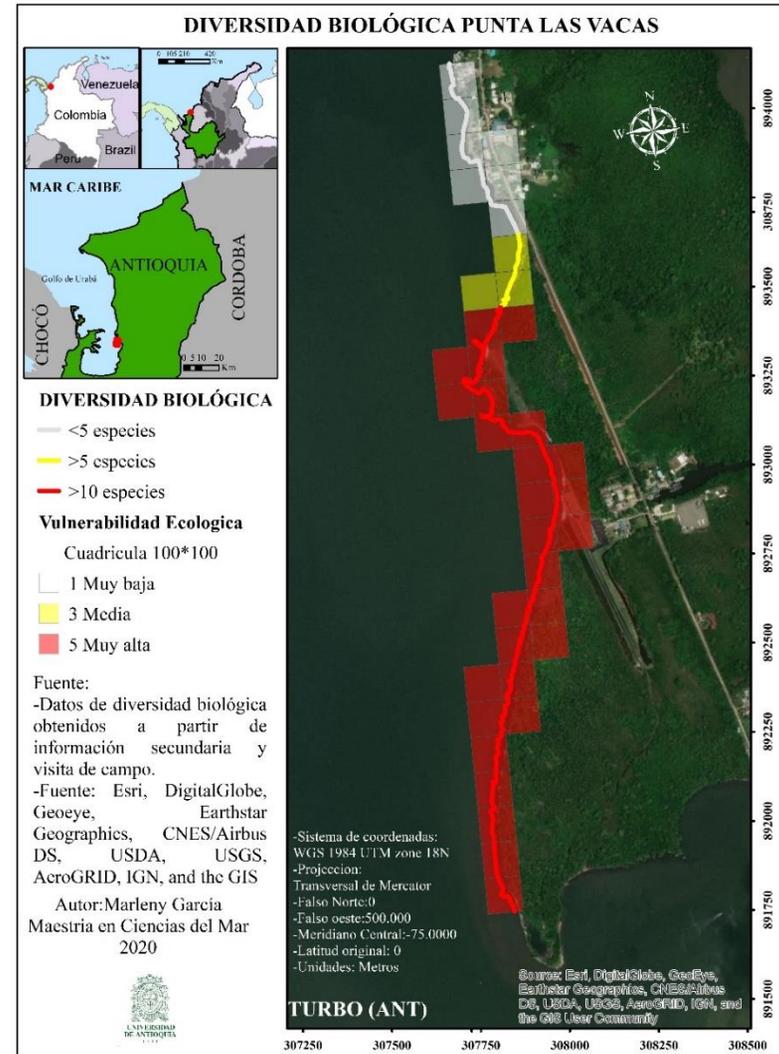


Figura 35. Diversidad Biológica Punta Las Vacas

### **8.11 Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE)**

De los valores en general del IVE calculados se encontraron entre 0,58 y 6,45, para realizar la clasificación del índice se concluyó que se debía realizar en rangos iguales, divididos en las 4 clases, debido a que cuando se intentó hacer por percentiles solo se creaban dos, a causa de la uniformidad de los datos, que probablemente se pueda atribuir a que este índice solo consta de tres variables a diferencia de los demás.

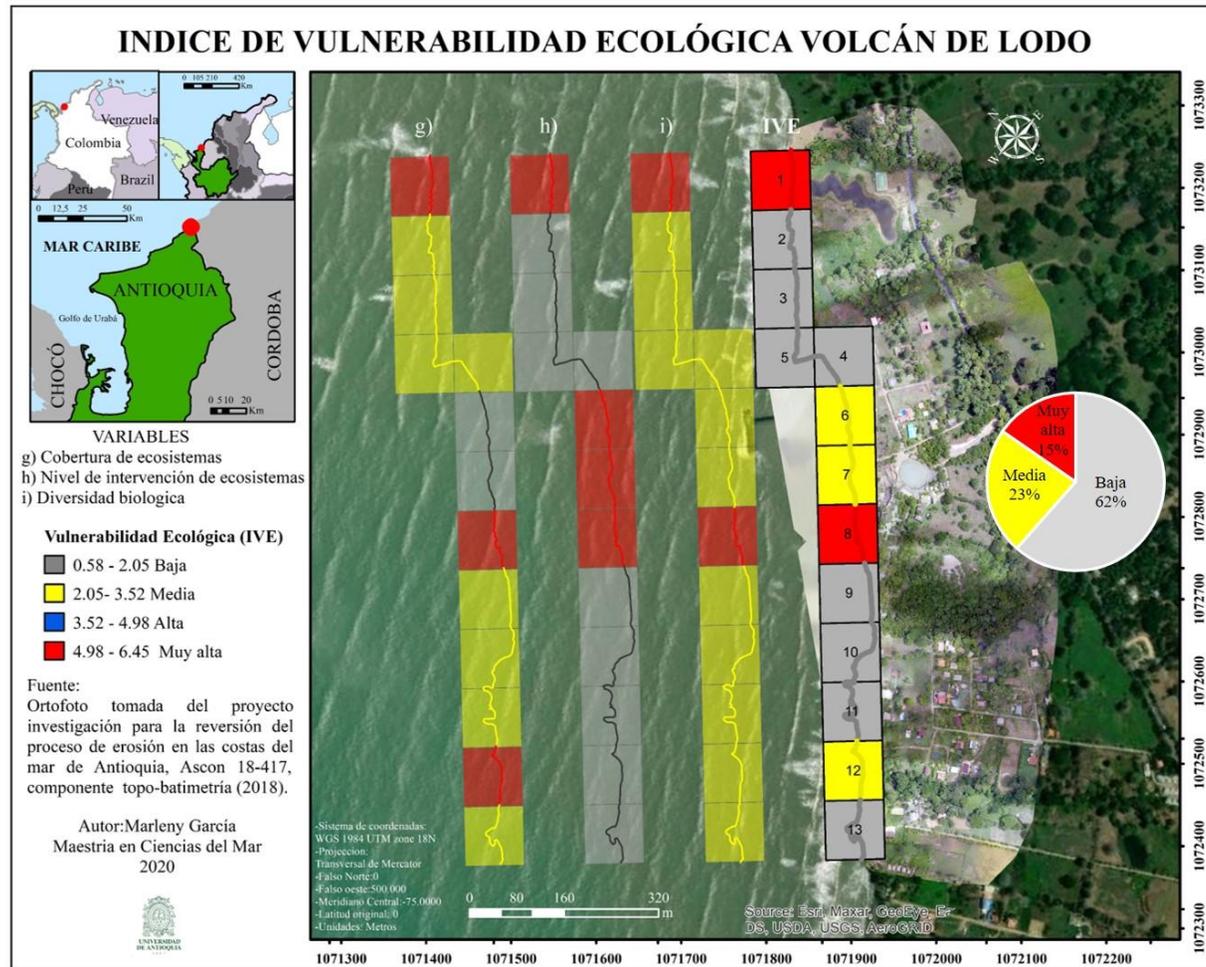
El 9% de todas las líneas estudiadas se encuentran clasificadas con vulnerabilidades muy altas y altas caracterizadas por tener ecosistemas estratégicos como los manglares, albergando gran cantidad de especies, mientras el 50% contribuye a la vulnerabilidad media, con formaciones de playas caracterizadas por ser zona de tránsito de muchas aves y el 41% a una vulnerabilidad baja correspondiente a zona residencial en su mayoría (Anexo 6. Resultados de las variables cobertura de ecosistemas, nivel de intervención de los ecosistemas, diversidad biológica y cálculo del Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE) en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas.)

El 15% de la línea de costa de Volcán de lodo está constituida por una vulnerabilidad muy alta, asociada a lugares con vegetación de manglar y diversidad de especies en la zona norte y media cerca al volcán, seguido del 23 % donde la vulnerabilidad es media son playas o acantilados que sirven como zona de tránsito de aves y finalmente el 62% restante representa una vulnerabilidad baja en las zonas donde la vegetación es poca (Figura 36).

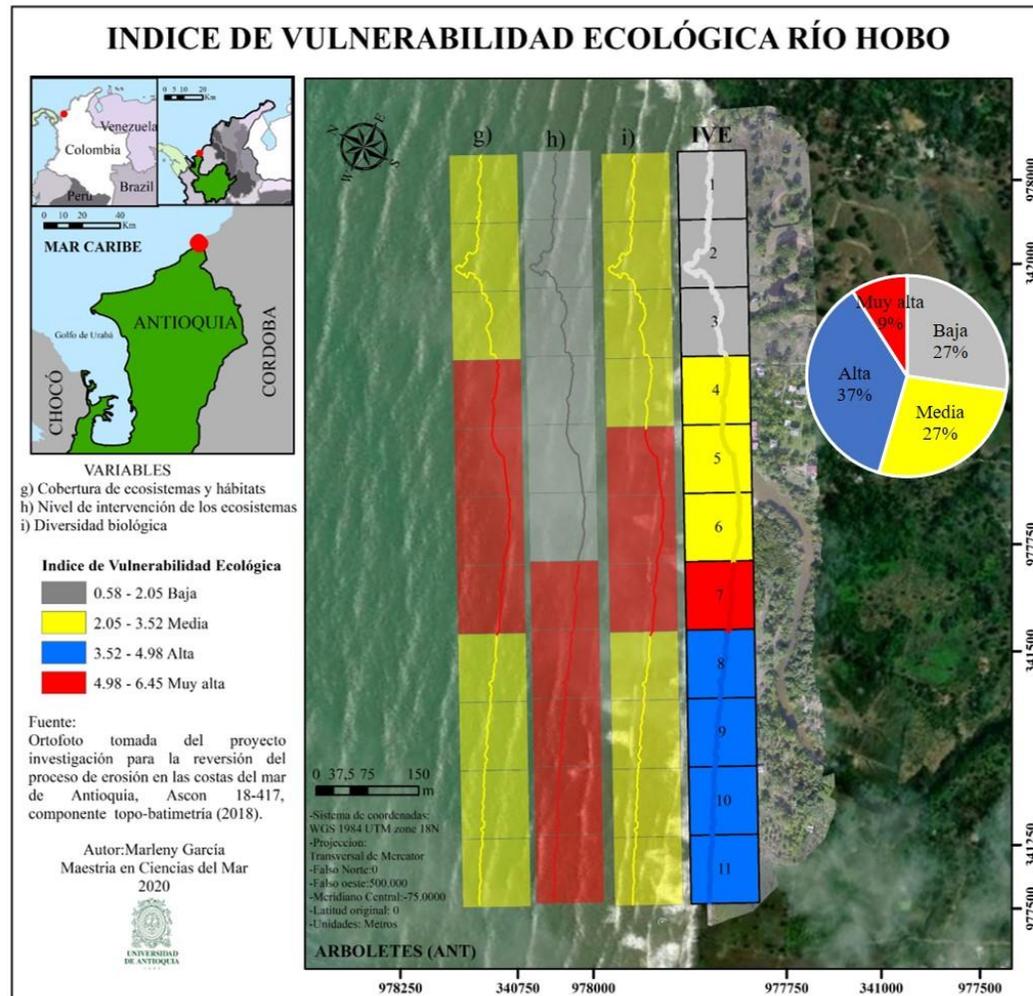
Así mismo, el 9% del área en Río Hobo se encuentra en vulnerabilidad muy alta principalmente en la zona de manglar, siguiendo con el 37% constituido por la vulnerabilidad alta se encuentra hacia el sur aledaño a la zona de manglar, mientras el 27% representado por la vulnerabilidad media es la zona de playa que se forma en la desembocadura del río y se encuentra aledaña al manglar donde transitan diferentes tipos de aves, finalmente el 27% correspondiente a la vulnerabilidad baja representando terrenos de ganadería (Figura 37).

Respecto a Zapata, el 25% tiene vulnerabilidad media, en la parte norte en la desembocadura del río cercana a la zona de manglares, en la cual habitan diferentes especies, mientras que el 75 % está constituido por una vulnerabilidad baja, el cual incluye la zona urbana y áreas con poca vegetación (Figura 38).

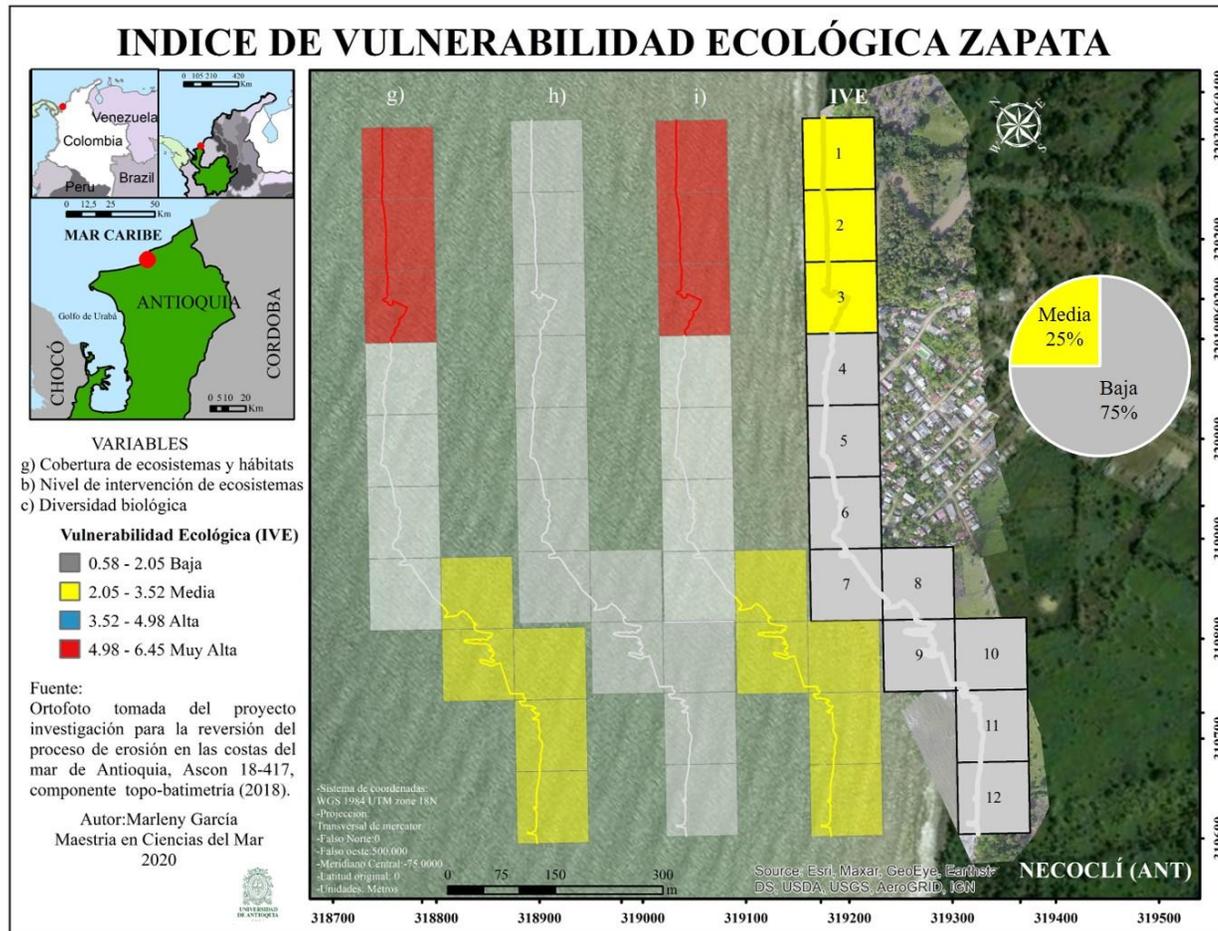
Punta Las Vacas el 74% se encuentra en vulnerabilidad media, asociada a la espiga cuya vegetación es manglar y el 26% restante lo ocupa una vulnerabilidad baja en la parte norte donde se encuentra una zona urbana (Figura 39).



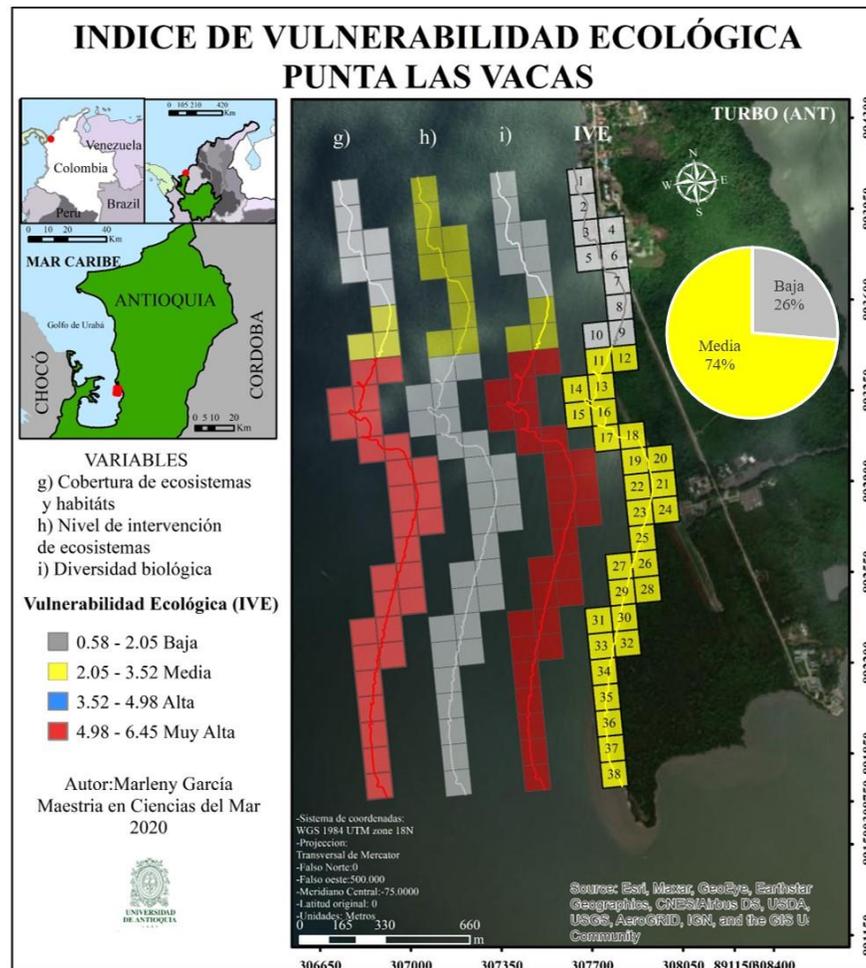
**Figura 36.** Variables g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas i) Diversidad biológica y aplicación del Índice de Vulnerabilidad Ecológica en Volcán de Lodo.



**Figura 37.** Variables g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas i) Diversidad biológica y aplicación del Índice de Vulnerabilidad Ecológica Río Hobo



**Figura 38.** Variables g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas i) Diversidad biológica y aplicación del Índice de Vulnerabilidad Ecológica Zapata.



**Figura 39.** Variables g) Cobertura de ecosistemas, h) Nivel de intervención de ecosistemas i) Diversidad biológica y aplicación del Índice de Vulnerabilidad Ecológica Punta Las Vacas.

### **8.12 Uso del suelo**

Con relación al uso del suelo, el 40% de toda la franja costera estudiada se encuentra con tejido urbano, estableciendo este por tanto como de vulnerabilidad muy alta. Otro 3% corresponde a pequeños cultivos cuya vulnerabilidad es alta, además de un 38% de superficie ocupada por mangles y bosques de galería, con vulnerabilidad media, y finalizando con vulnerabilidades bajas y muy bajas en un 19% debido a la presencia de pastos y matorrales.

En Volcán de Lodo (Figura 40), el uso del suelo está dominado en un 61% por instalaciones recreativas distribuidas a lo largo de la línea de costa, siendo su vulnerabilidad muy alta, continuando con un 8% de vulnerabilidad media clasificado como mangles y bosques de galería en el sector aledaño a el volcán de lodo, el 31% restante está distribuido en mosaico de pastos, arbustos y matorrales cuya vulnerabilidad es baja y muy baja.

En referencia a Río Hobo, contiene un 18% de tejido urbano las cuales se encuentran cercanas al río, su vulnerabilidad es muy alta, hacia la parte sur se encuentra un parche de manglar ocupando un 46% en vulnerabilidad media, por último, en el norte se encuentra el 36% en vulnerabilidad muy baja con clasificación de mosaico de pastos (Figura 41).

En Zapata, el 44% del uso del suelo presenta vulnerabilidad muy alta correspondiente al tejido urbano ubicado en la parte central de la línea de costa, seguido de un 16% de vulnerabilidad alta, donde se identifican unos cultivos de plátano, continuando con el 16% de vulnerabilidad media ocupada por el manglar hacia la parte norte, así mismo el 16% en el sur se encuentra en vulnerabilidad baja con mosaico de pastos y finalizando con un 8% de arbustos y matorrales (Figura 42).

Por último, Punta Las Vacas incluye un 38% concerniente a tejido urbano, partiendo de las viviendas iniciando la línea de costa y siguiendo con diferentes unidades militares que operan allí, un 56% cuya área es de manglar tiene vulnerabilidad media y el 6% restante es vulnerabilidad baja asociada a arbustos y matorrales (Figura 43).

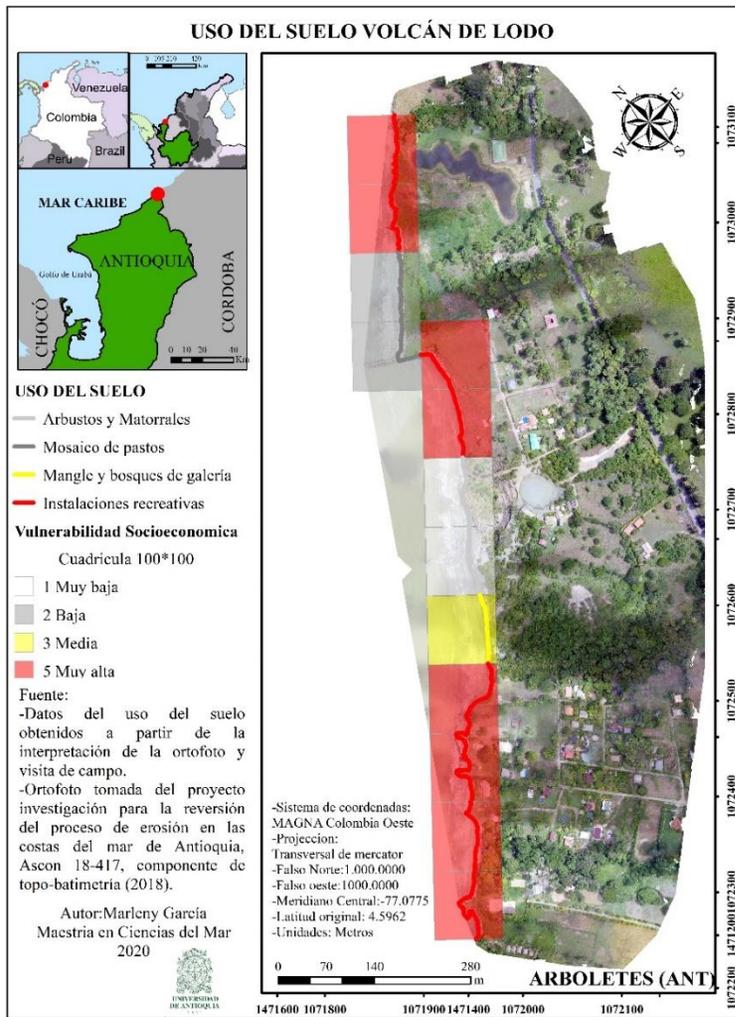


Figura 40. Uso del suelo Volcán de Lodo.

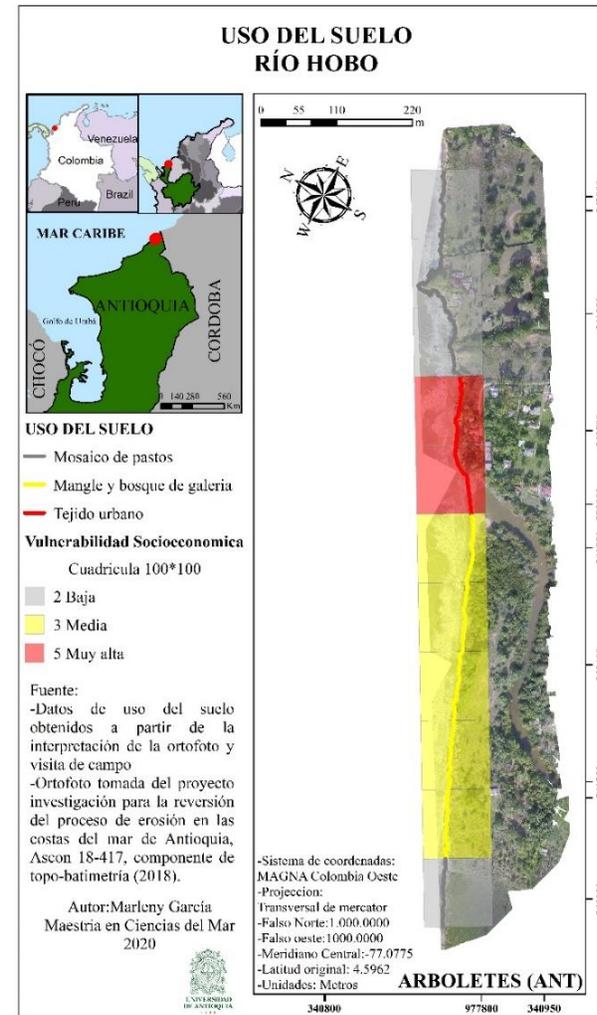


Figura 41. Uso del suelo Río Hobo.

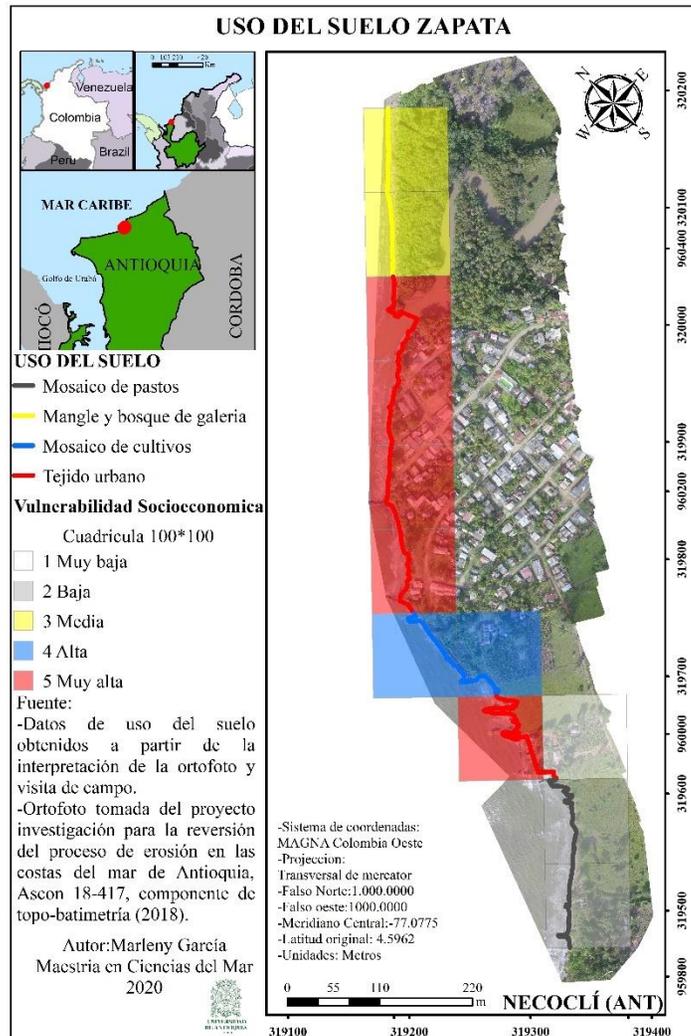


Figura 42. Uso del suelo Zapata.

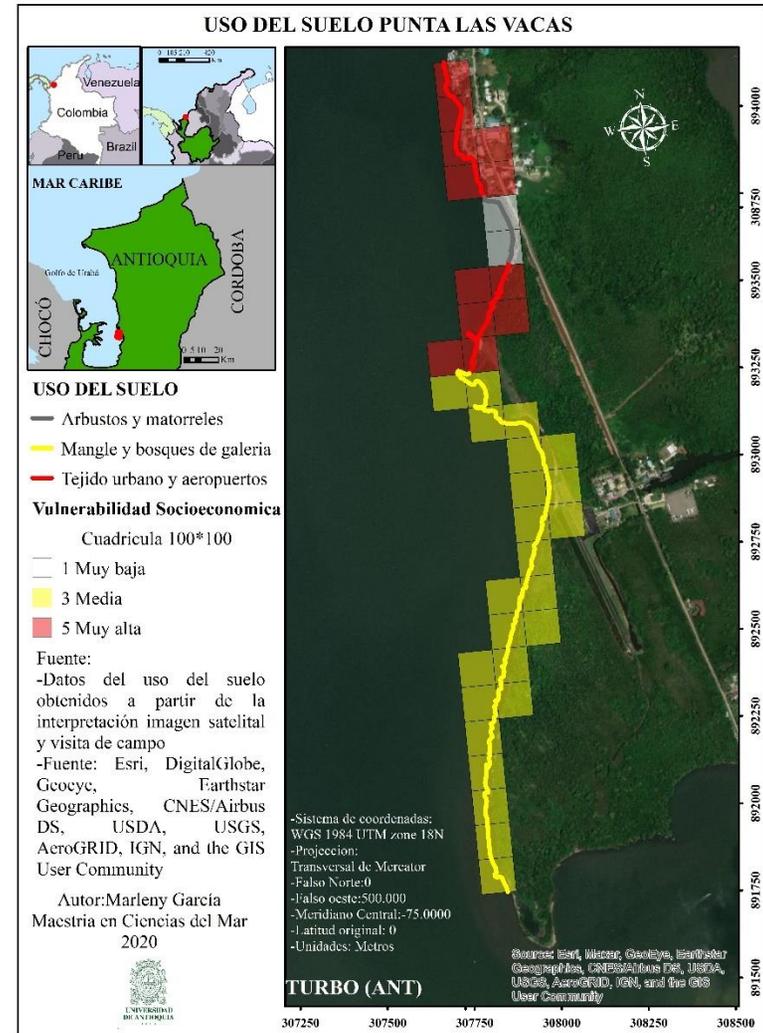


Figura 43. Uso del suelo Punta Las Vacas

### 8.13 Índice K

Las líneas de costa analizadas un 19% presentan obras costeras y como resultado una vulnerabilidad muy alta, otro 9% contiene obras pequeñas generando una vulnerabilidad entre alta y media y finalmente, el 72% de las líneas de costa estudiadas tienen vulnerabilidad muy baja, sin presencia de obras.

Volcán de Lodo tuvo el 70% de muy baja vulnerabilidad, en la que no existen ningún tipo de estructuras costeras, mientras el 15% es alto debido a la ubicación de un primer espolón hacia el norte, construido hace algunos años por la comunidad, seguido de otro 15% de vulnerabilidad muy alta por la presencia de dos tómbolos construidos al frente del volcán con el objetivo de disminuir la erosión ocasionada por el oleaje (Figura 44).

En Río Hobo el 9% de vulnerabilidad es media debido probablemente a una obra pequeña de pentápodos y enrroncado, establecida hacia la parte norte, la cual busca proteger una vivienda y un 91% de vulnerabilidad muy baja, porque no existen más estructuras en la línea de costa (Figura 45).

Zapata tiene una estructura de enrocado al frente de toda la cabecera del corregimiento, con una vulnerabilidad muy alta en un 33% de este tramo costero. También tiene varias estructuras como pentápodos en la parte sur, la cual presenta una vulnerabilidad media en 25% y el 42% restante muestra vulnerabilidad baja, ya que en ella no existen estructuras, correspondiente al inicio y final del tramo de costa analizado (Figura 46).

Finalmente, Punta Las Vacas tiene un 22% de vulnerabilidad muy alta, debido a una secuencia de pentápodos ubicados al inicio de la línea de costa que continua con un enrocado en la unidad militar. El 78% restante muestra vulnerabilidad muy baja, sin presencia de estructuras de defensa de costas (Figura 47;**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

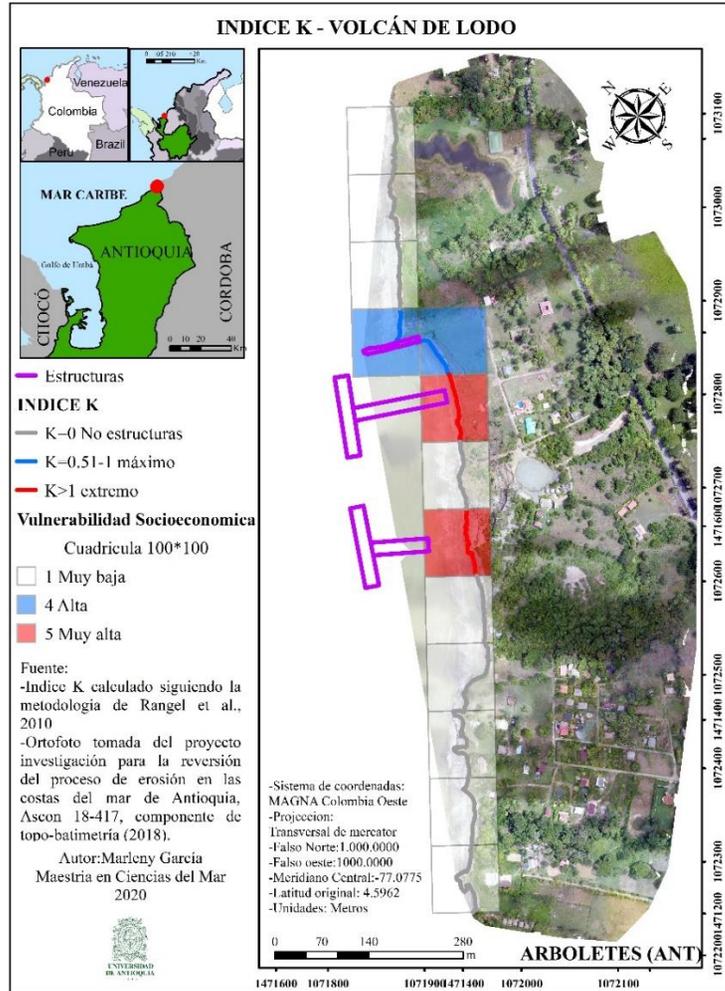


Figura 44. Índice K Volcán de lodo.

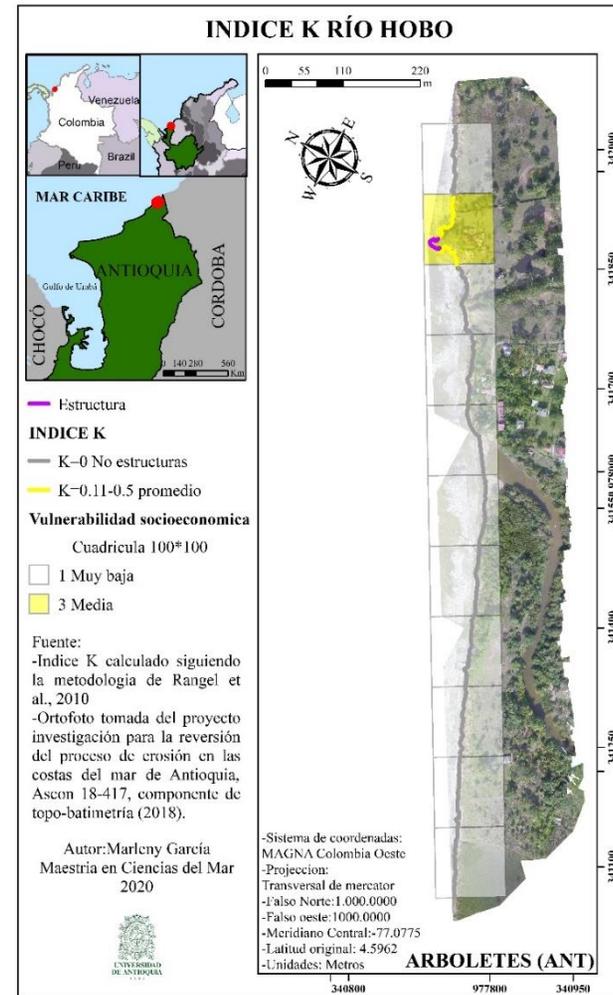


Figura 45. Índice K Río Hobo.

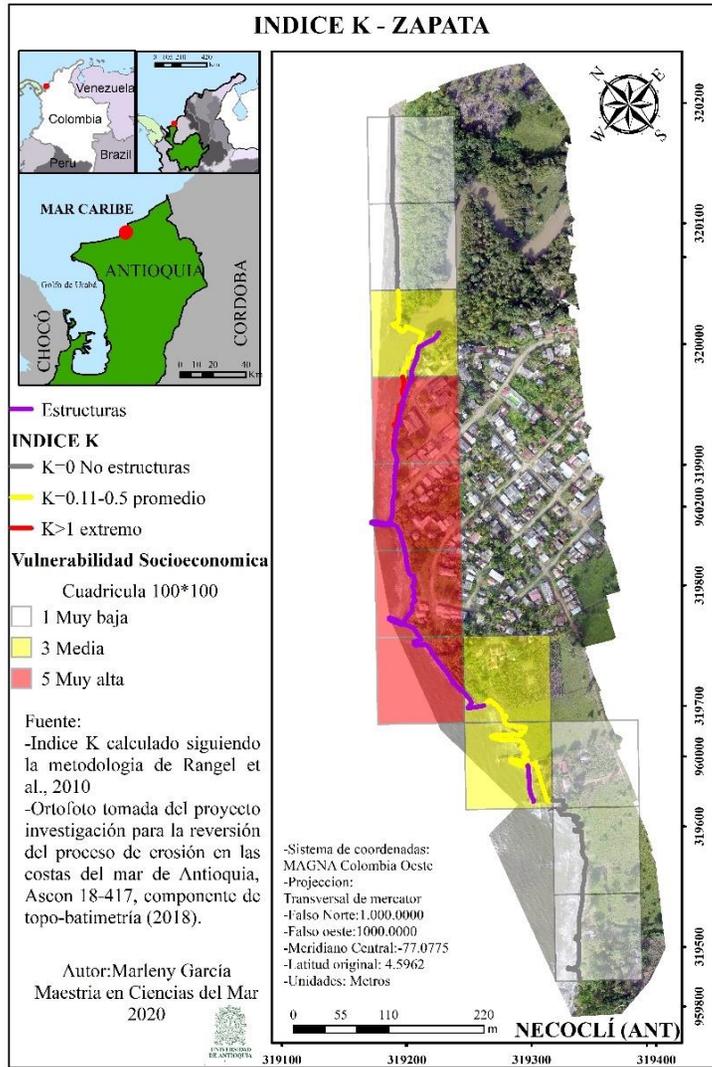


Figura 46. Índice K Zapata.

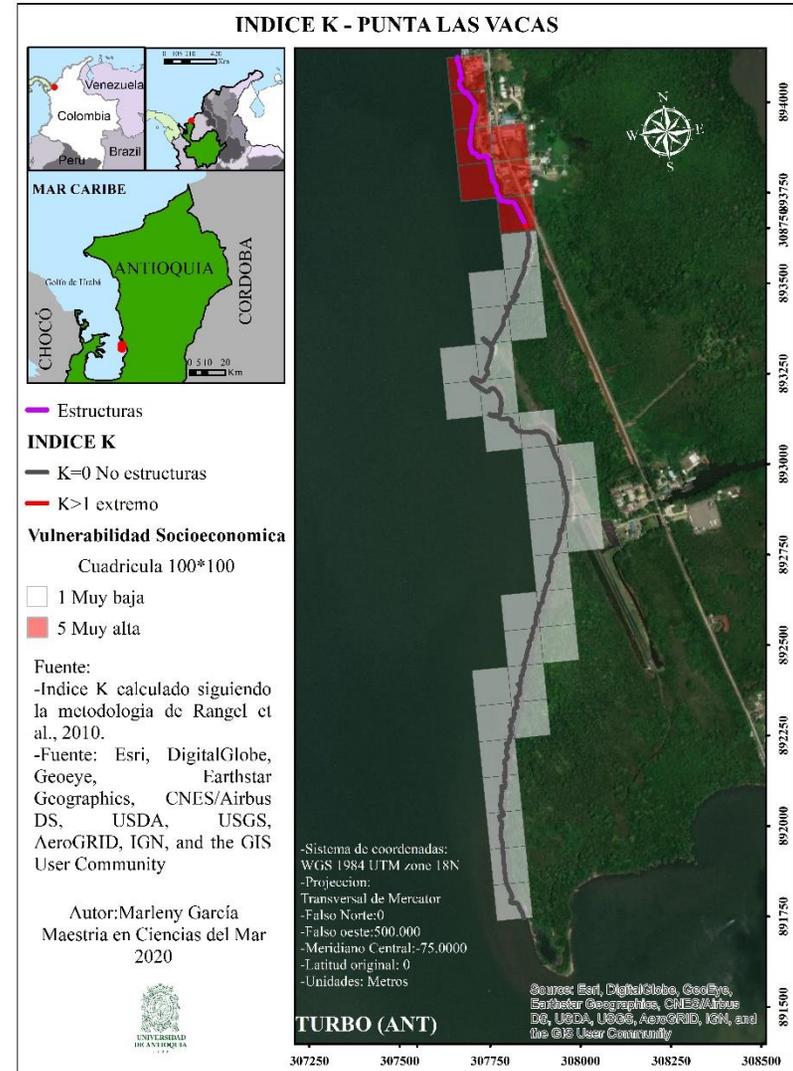


Figura 47. Índice K Punta Las Vacas.

#### **8.14 Población**

De manera colectiva, en el municipio de Arboletes y Turbo, abarcando los puntos Volcán de lodo, Río Hobo y Zapata, se reporta en 4,6 el número de personas por hogar. Por su parte, para el municipio e Necoclí, el cual incluye Zapata, dicha variable alcanza un valor de 4,8.

En Volcán de lodo y Río Hobo la vulnerabilidad poblacional es muy baja, debido a que las viviendas se encuentran distanciadas, con una densidad menor a 20 hab/cuadrícula (Figura 48, Figura 49).

En Zapata, el 17% presenta vulnerabilidades medias, en la cabecera del corregimiento donde existen entre 50 a 80 habitante/cuadrícula. Así mismo, otro 17% lo ocupan zonas con vulnerabilidad baja, en el norte. Finalmente, el 66% restante es de vulnerabilidad muy baja, distribuida en su mayoría hacia la parte sur (Figura 50).

Punta Las Vacas, considerando la población, presenta un 5% del territorio estudiado con vulnerabilidad muy alta, correspondiente a las unidades militares ubicadas a la entrada de la misma, mientras el 95% restante del territorio presenta vulnerabilidad muy baja (Figura 51).

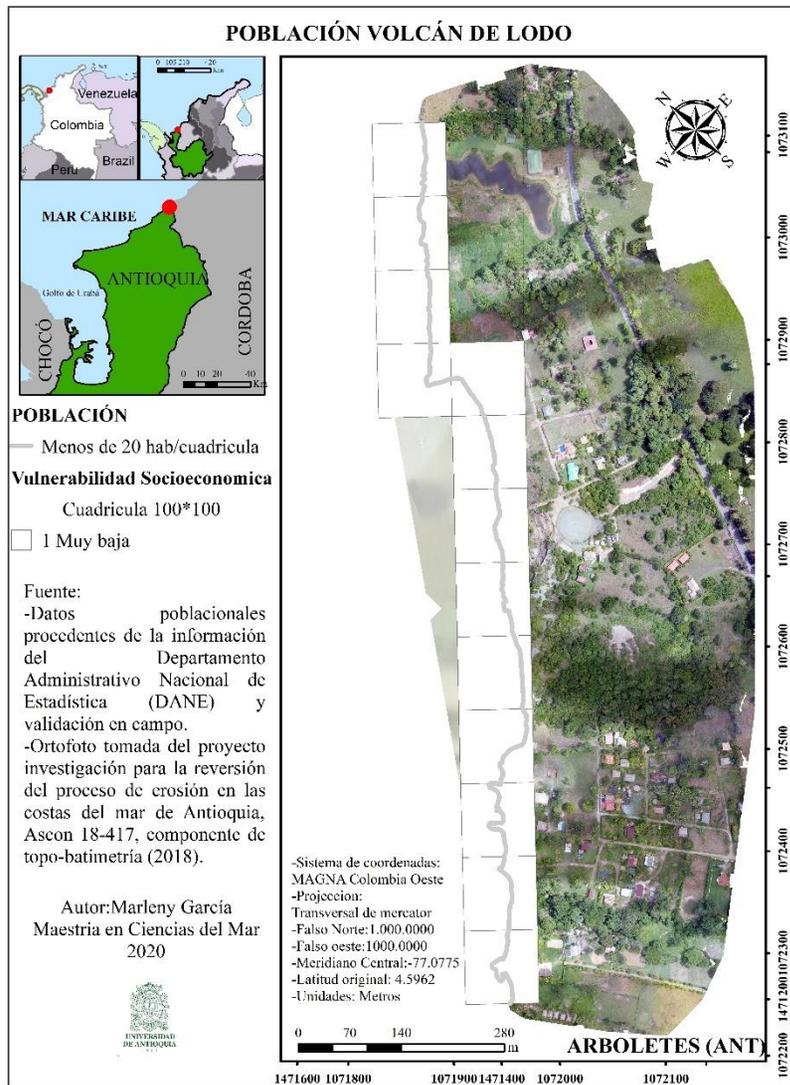


Figura 48. Población Volcán de Lodo.

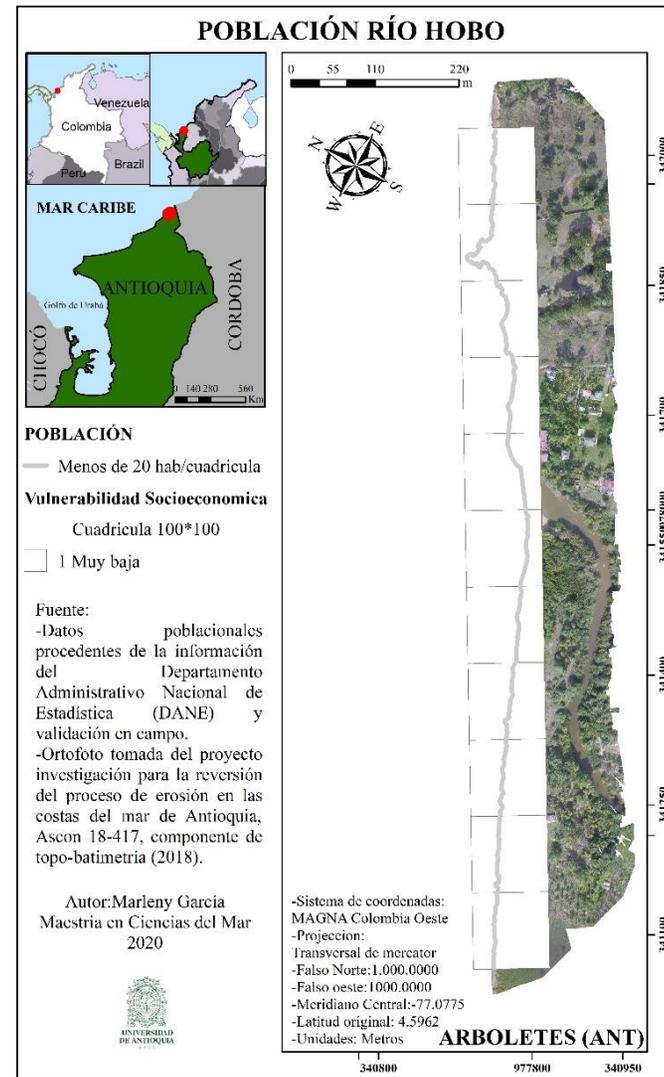


Figura 49. Población Río Hobo.

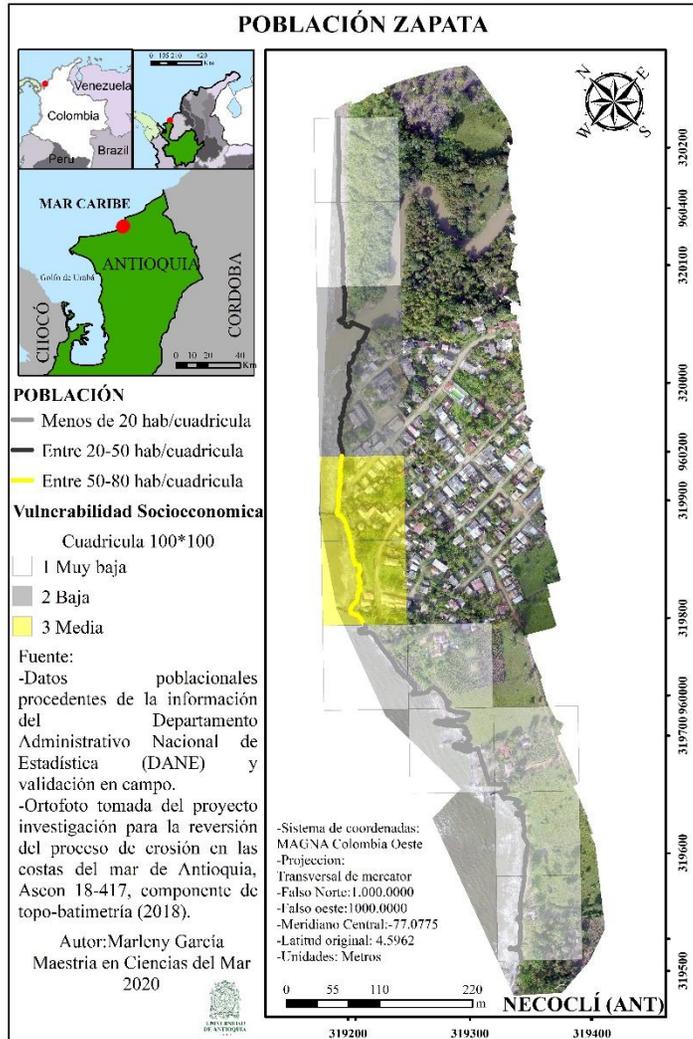


Figura 50. Población Zapata.

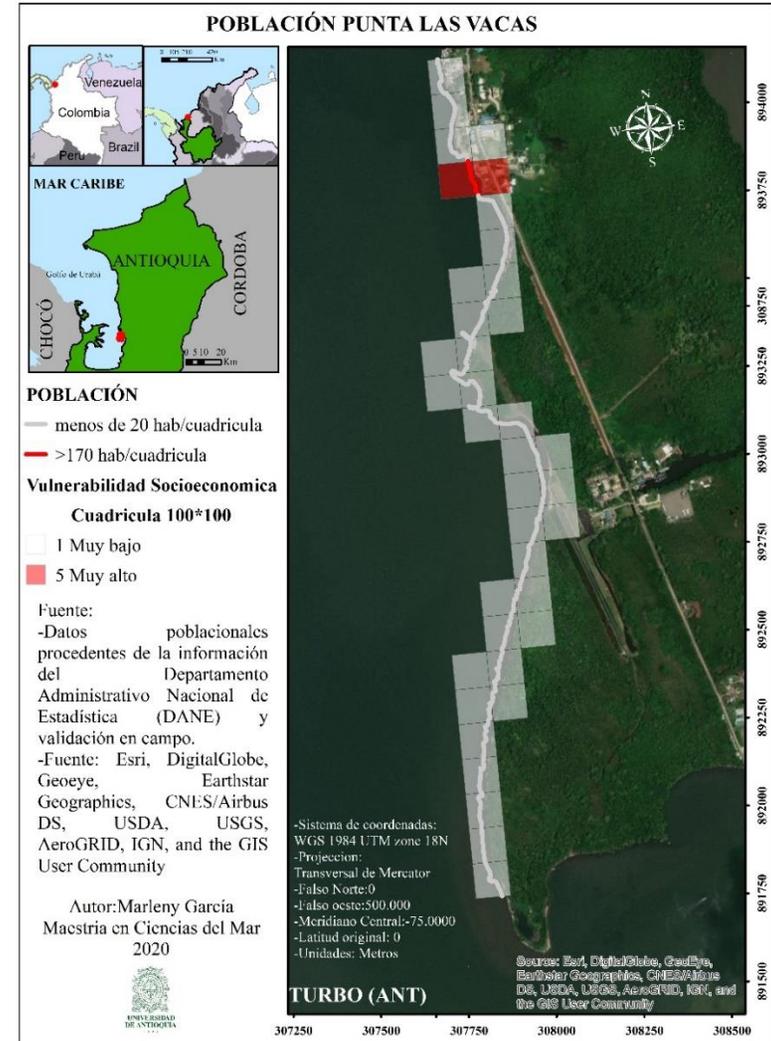


Figura 51. Población Punta Las Vacas.

### 8.15 Turismo

De todos los sitios estudiados, el que más actividad turística genera es Volcán de Lodo, demostrando ser un factor dinamizador de la economía local y que también aporta significativamente al patrimonio cultural y ambiental. Los turistas buscan conocer los atractivos de un volcán, el cual está rodeado de vegetación, en la cual se desarrollan caminatas ecológicas con observaciones de fauna y flora, además de tener el mar cerca. Por consecuencia y debido a la alta actividad turística que se desarrolla en Volcán de lodo, al poseer uno de los principales atractivos turísticos de la región norte del golfo, su vulnerabilidad es muy alta (Figura 52).

Por su lado Río Hobo a pesar de estar ubicado en el mismo municipio de Volcán de lodo y relativamente cerca de él, su nivel turístico se ha visto afectado en los últimos años, debido a la fuerte erosión que ha sufrido el sector, dificultando de esta manera el acceso de turistas, a pesar de esto el sitio aun es visitado por algunos pobladores cuya esperanza es que el lugar se recupere y pueda volver a aportar al turismo de su localidad. De acuerdo con lo anterior el turismo tiene una vulnerabilidad es media (Figura 53).

Las playas del corregimiento de Zapata se encuentran con línea de costa en dirección noreste-suroeste, la línea de costa reporta un retroceso alto en los últimos años, por lo cual, no cuenta con playas estables para el turismo, sin embargo, en el parte norte contiguo al rio, se forma una pequeña playa en época de verano, la cual es aprovechada por los pobladores para realizar actividades de ocio y disfrute. Conforme a lo anterior Zapata tienen una vulnerabilidad media (Figura 54),

Por último, Punta Las Vacas en la parte norte de la línea de costa estudiada no cuenta con playas, el colectivo de cabañas ubicadas allí tiene algún tipo de protección hacia el área del mar y por otro lado el resto de extensión al hacer parte de una unidad militar no tiene ningún tipo de turismo, calificando su vulnerabilidad como muy baja (Figura 55; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

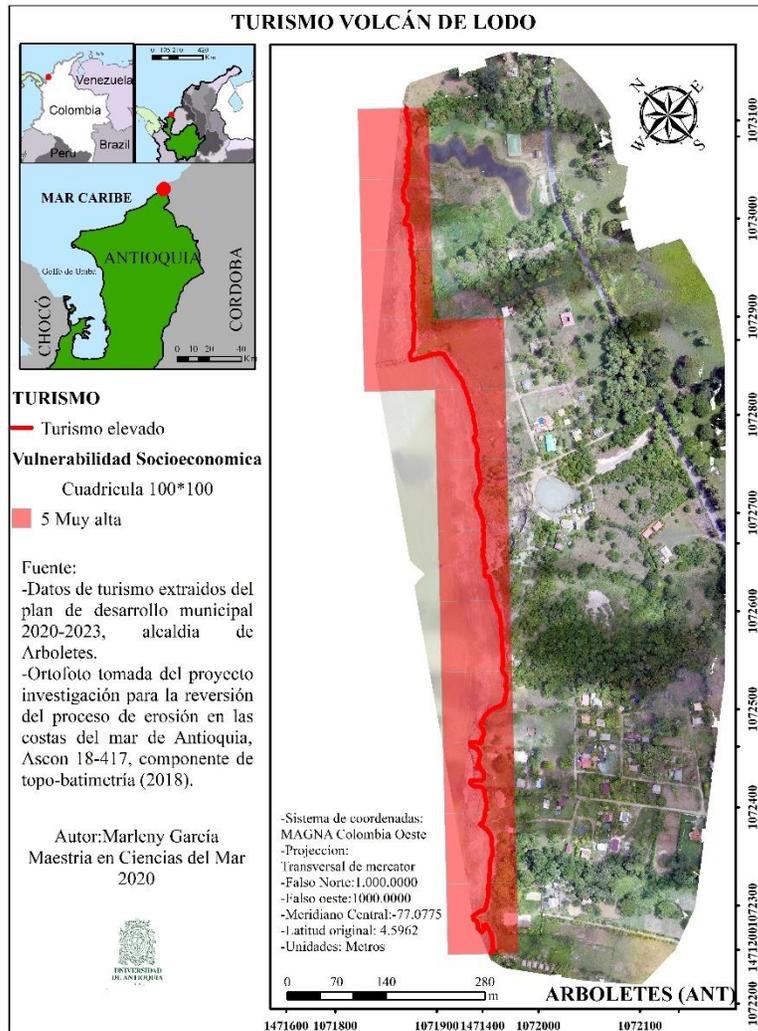


Figura 52. Turismo Volcán de Lodo.

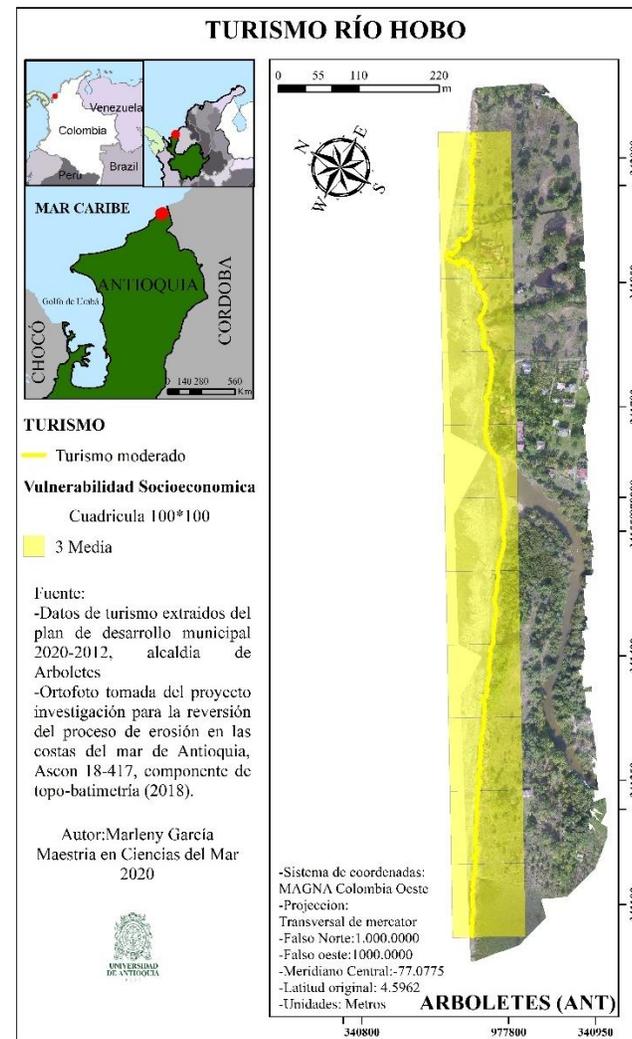


Figura 53. Turismo Río Hobo.

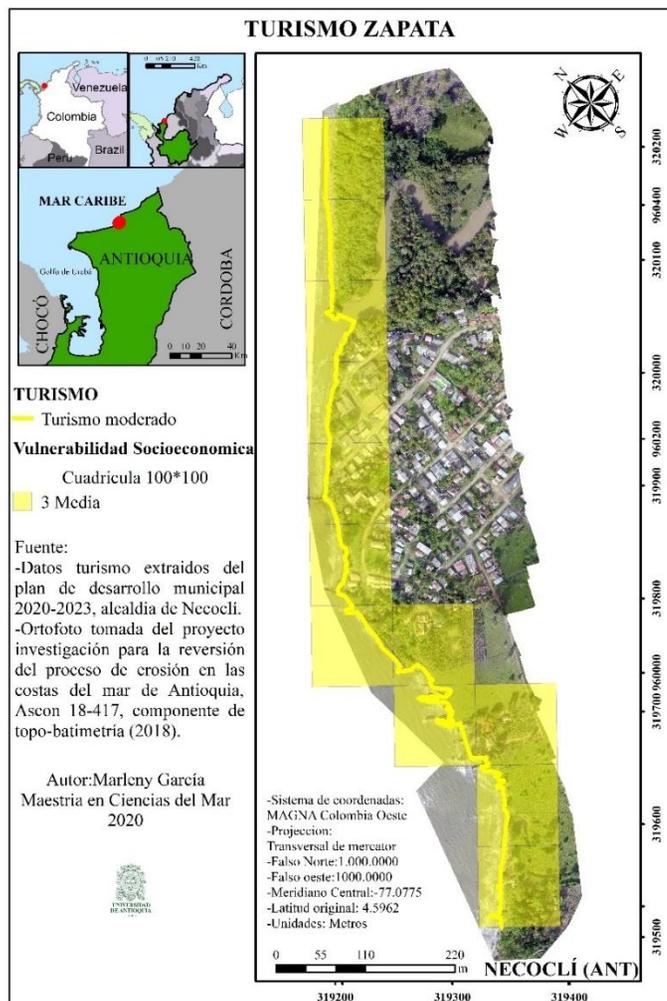


Figura 54. Turismo Zapata.

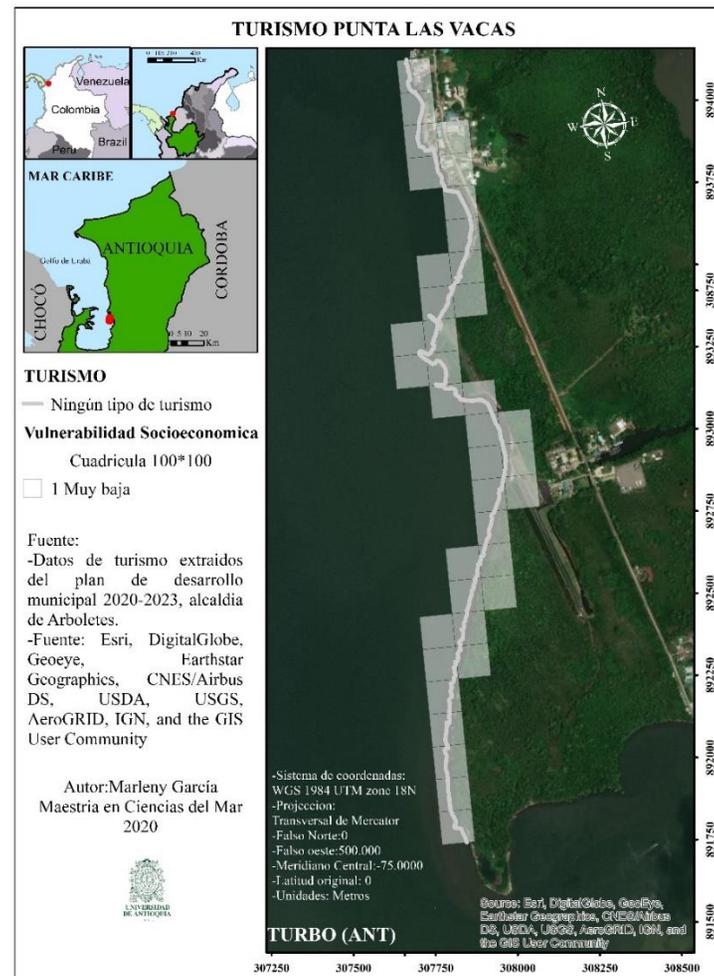


Figura 55. Turismo Punta Las Vacas.

### **8.16 Patrimonio**

De los cuatro sitios estudiados, uno posee un patrimonio natural y el otro contiene material arqueológico, ambos en Arboletes. La línea de costa de Volcán de lodo posee un patrimonio natural asociado al Volcán, con el Acuerdo 007 de 1999, el Concejo de Arboletes declaró el volcán como “patrimonio turístico y cultural del Municipio”, por el cual su vulnerabilidad es muy alta en el 8% que corresponde a la ubicación del área de este, el 92% restante de línea de costa es muy baja (Figura 56).

De otro lado Río Hobo contiene el 9% de vulnerabilidad alta, de acuerdo con la respuesta del Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH) se encontró material arqueológico en esta zona, citado del siguiente modo *“En el sector Rio Hobo se realizaron 31 muestreos y solo se encontró material arqueológico en cuatro (Un total de 47 fragmentos cerámicos todos entre 15 y 17 cm de profundidad). La metodología se adaptó a las formas topográficas de en la zona suroccidental más cercana a la playa. Se trata de terrazas fluvio-marinas que siguen algunas escorrentías presentes en el sector.”*. Se trato de acceder al informe final catalogado con ARQ 0987 donde se detallan las piezas encontradas, pero no se logró, debido a que se encuentra en la biblioteca del instituto en la ciudad de Bogotá y el trámite es de manera personal. El 91% restante es de vulnerabilidad muy baja (Figura 57).

En cuanto a Zapata y Punta Las Vacas no contienen ningún tipo de patrimonio de acuerdo con las consultas anterior mente nombradas (Figura 58, Figura 59).

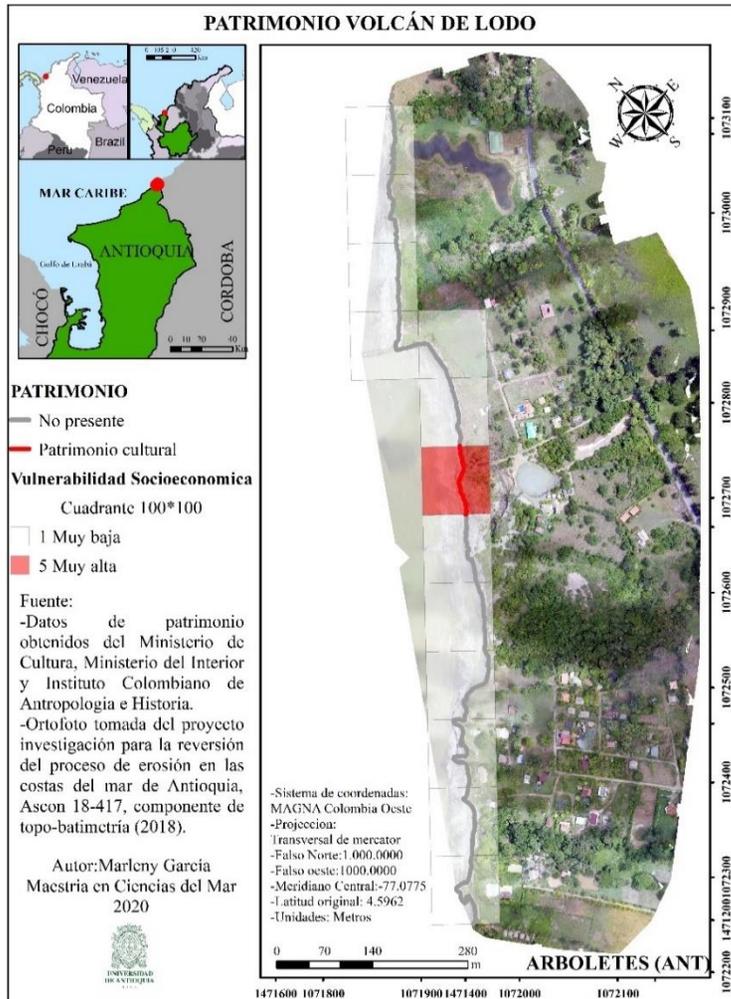


Figura 56. Patrimonio Volcán de lodo.

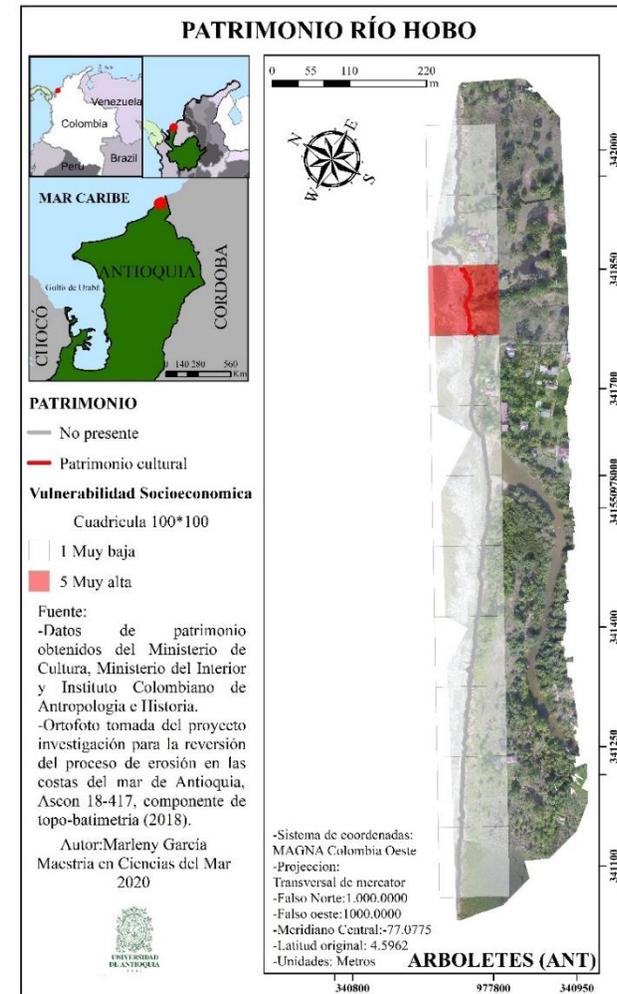


Figura 57. Patrimonio Río Hobo.

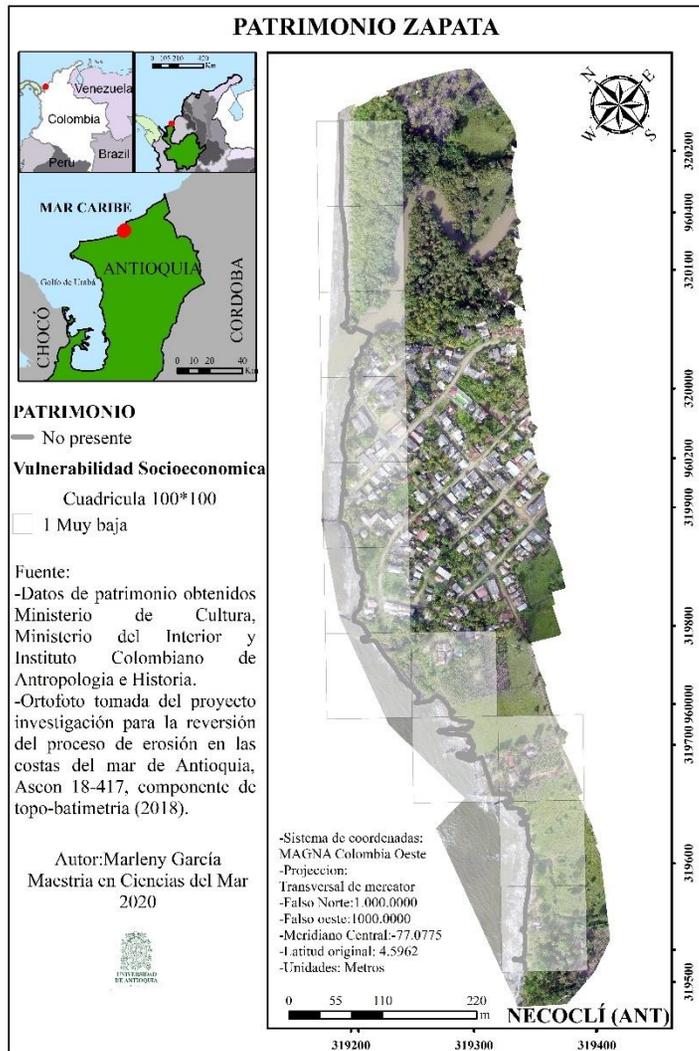


Figura 58. Patrimonio Zapata.



Figura 59. Patrimonio Punta Las Vacas.

### **8.17 Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica (IVSe)**

Los valores del IVSe calculados en general se encontraron entre 0,45 y 6,71, para realizar la clasificación del índice se utilizaron como límites los percentiles correspondientes, divididos en 4 clases. Más del 50% las líneas de costa de Volcán de lodo, Río Hobo y Zapata contienen vulnerabilidades clasificadas como muy altas y altas, caracterizadas por la confluencia de varios factores, su mayoría con flujo de turismo, con algún contenido de patrimonio y alta concentración de tejido urbano o instalaciones recreativas.

La línea de costa de Volcán de lodo por ejemplo está constituida por una vulnerabilidad alta en 77% y muy alta en 23%, que se asocia a las variables como uso del suelo, obras de defensas costeras (índice K), aunque la población que allí vive es relativamente baja, el turismo que demanda el sitio es muy alto y finalmente forma parte del patrimonio (Figura 60).

Así mismo, el 73 % del área en Río Hobo se encuentra en vulnerabilidad alta principalmente en el sector de la desembocadura del río y la zona de manglar aledaña donde se encuentran formaciones de playa, mientras el 9% tiene vulnerabilidad muy alta asociada probablemente a la zona de patrimonio histórico presente, por último, el 18% constituido por la vulnerabilidad media distribuido al inicio y final de la línea (Figura 61).

Respecto a Zapata, el 17% tiene vulnerabilidad alta hacia el norte, seguido del 58% con vulnerabilidad muy alta, la cual impacta la zona central de zapata asociada a la alta densidad poblacional, con un turismo moderado y índice k, mientras 25% es ocupado por la vulnerabilidad media en el sur de la misma (Figura 62).

Para finalizar en Punta Las Vacas el 68% se encuentra con vulnerabilidad baja, principalmente hacia el sur de la punta, debido al acceso limitado en esta área, las variables como uso del suelo, población y turismo, no son influyentes en el índice, además de que la zona no cuenta con patrimonios reportados en el momento, el 16% lo ocupa una vulnerabilidad media donde se situaba la pista de aterrizaje y existe una unidad en cercanías a la misma, seguida de un 16% con vulnerabilidad alta al norte donde se encuentra una obra de protección y el tejido urbano (Figura 63).

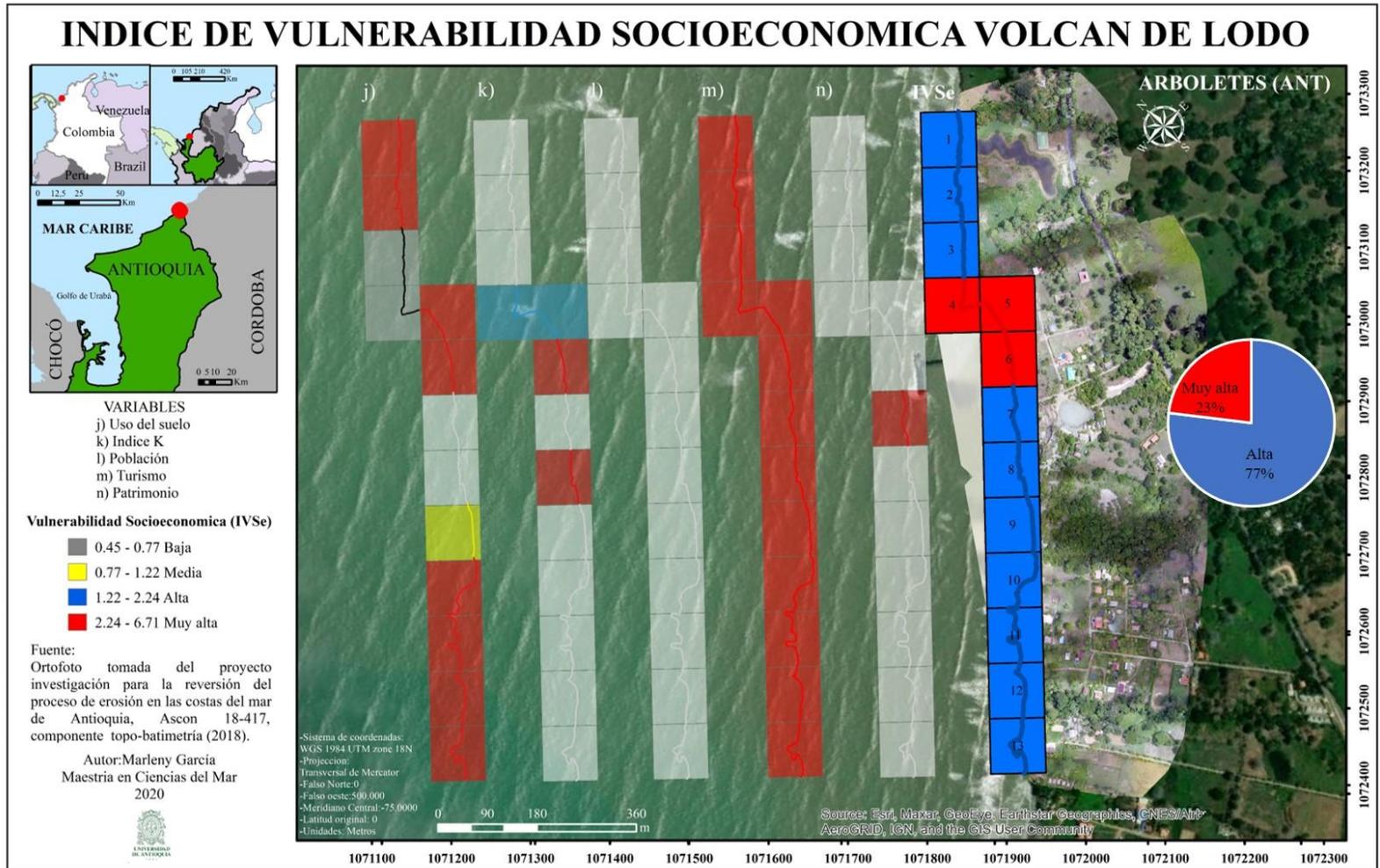
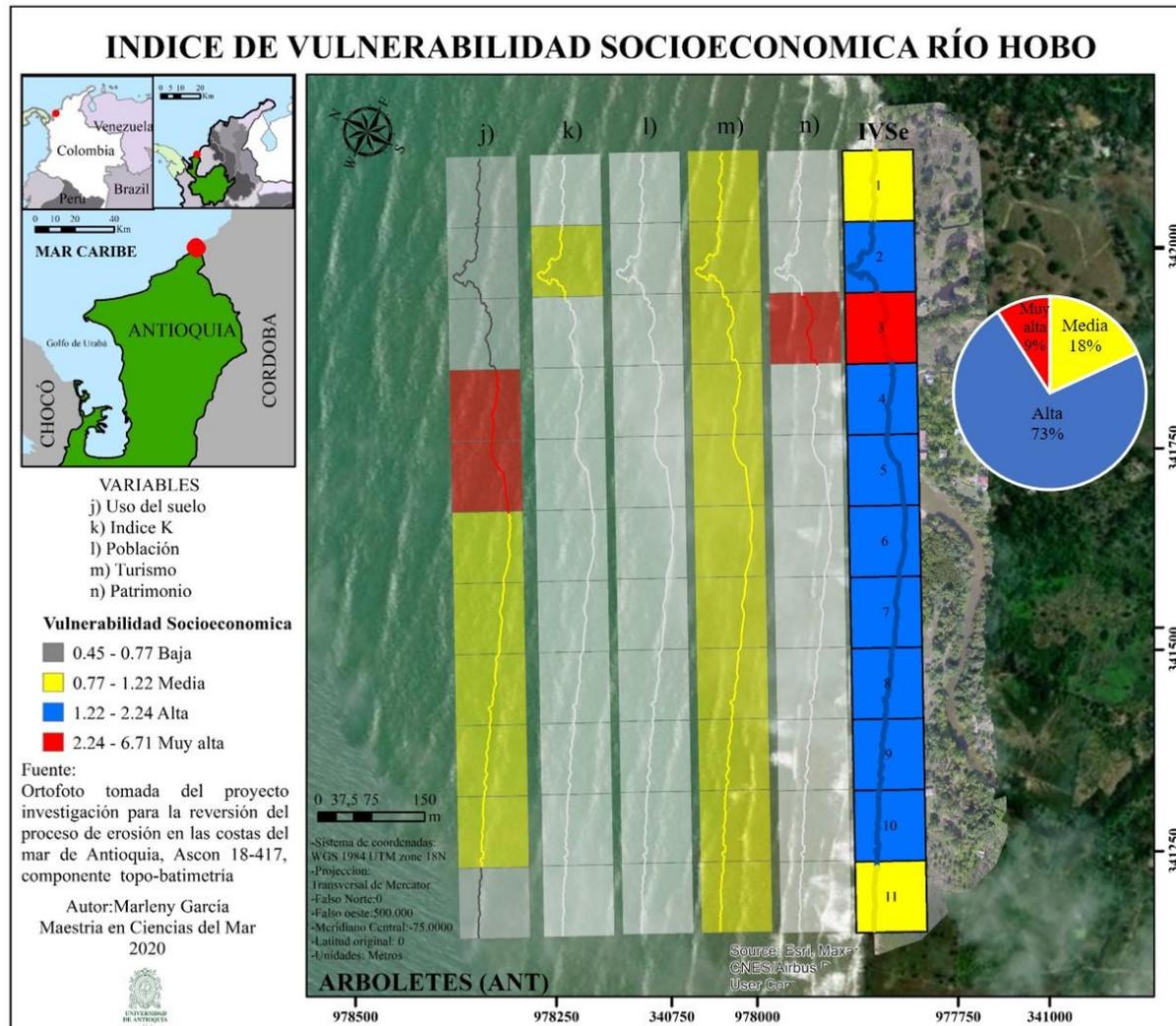


Figura 60. Variables j) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio y aplicación del IVSe a la línea de costa de Volcán de Lodo.



**Figura 61.** Variables j) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio y aplicación del IVSe a la línea de costa de Río Hobo

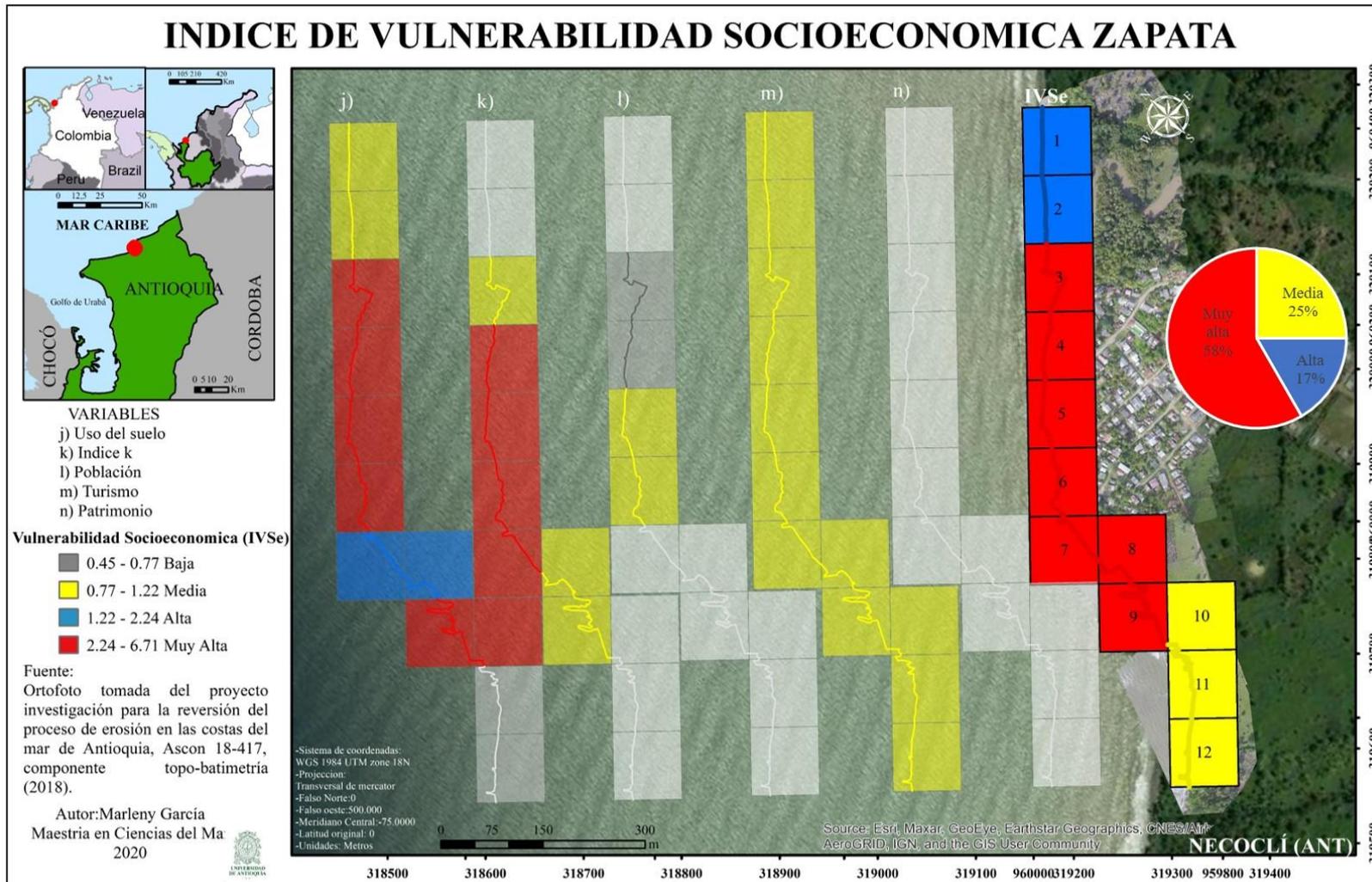


Figura 62. Variables j) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio y aplicación del IVSe a la línea de costa de Zapata

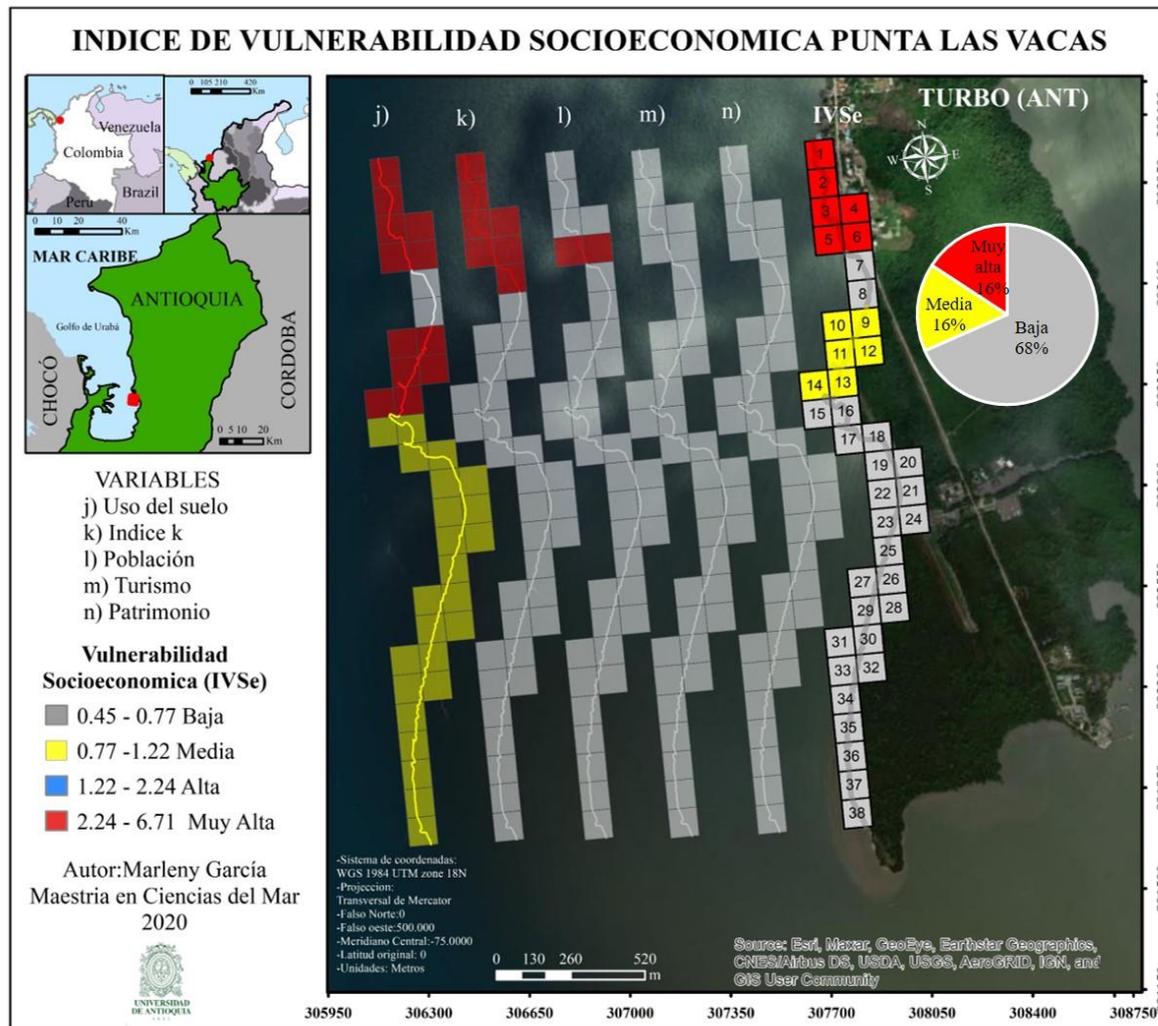
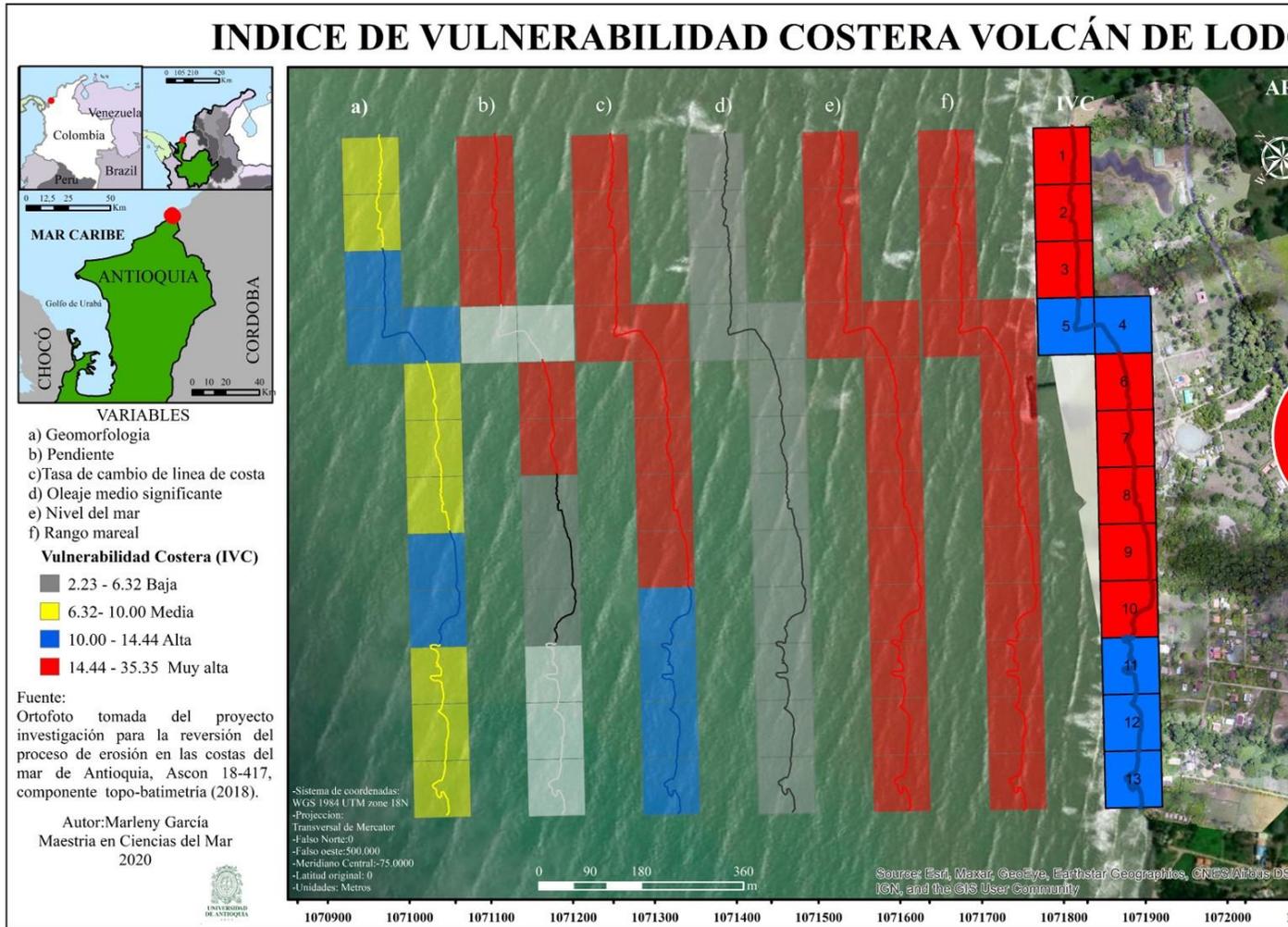


Figura 63. Variables j) Uso del suelo, k) Índice K, l) Población, m) Turismo, n) Patrimonio y aplicación del IVSe a la línea de Punta Las Vacas.

### **8.18 Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI)**

Los valores del IVCI calculados en general se encontraron entre 7,17 y 914,81, para realizar la clasificación del índice se utilizaron como límites los percentiles correspondientes, divididos en 4 clases. De manera colectiva las líneas de costa de Volcán de lodo y Río Hobo contienen vulnerabilidades muy altas y altas en un 90%, mientras Zapata y Punta Las Vacas contienen una clasificación más diversificada.

El 83% de la línea de costa de Volcán de lodo está constituida por una vulnerabilidad muy alta que va desde el norte abarcando toda la zona del volcán y el 17 % donde la vulnerabilidad es alta se ubica al sur finalizando la línea de costa. (



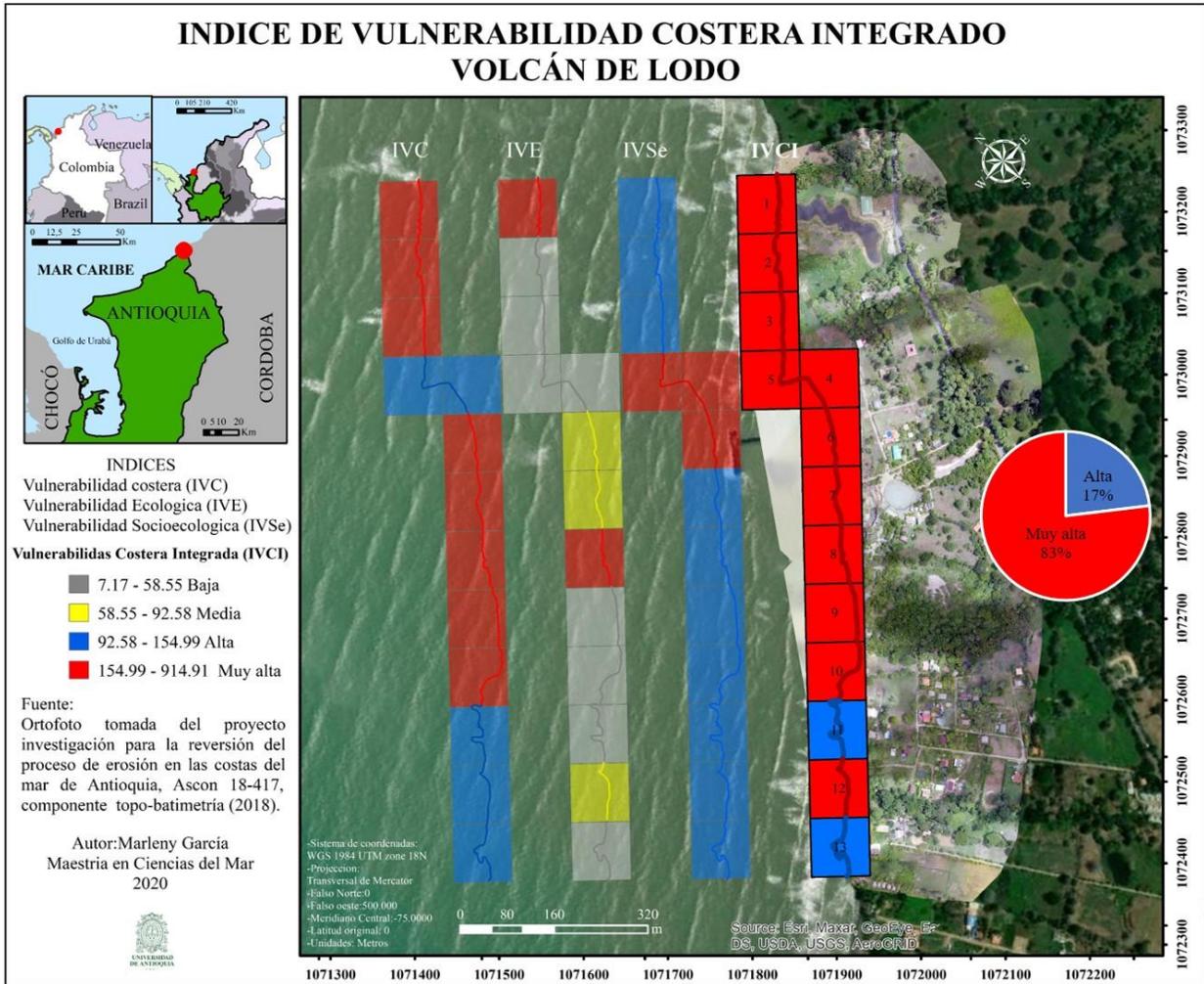
**Figura 20.** Variables a) Geomorfología b) Pendiente, c) Tasa de cambio de la línea de costa, d) Altura Significante del oleaje, e) Ascenso del nivel del mar, f) Rango mareal medio y aplicación del IVC a la línea de costa de Volcán de Iodo.).

Así mismo, el 73 % del área en Río Hobo se encuentra en vulnerabilidad muy alta principalmente en el sector de la desembocadura del río y la zona de manglar aledaña donde se encuentran formaciones de playa, mientras el 18% fue clasificado con una vulnerabilidad alta y el 9% que corresponde a un solo cuadrante hacia el norte, su vulnerabilidad es baja (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

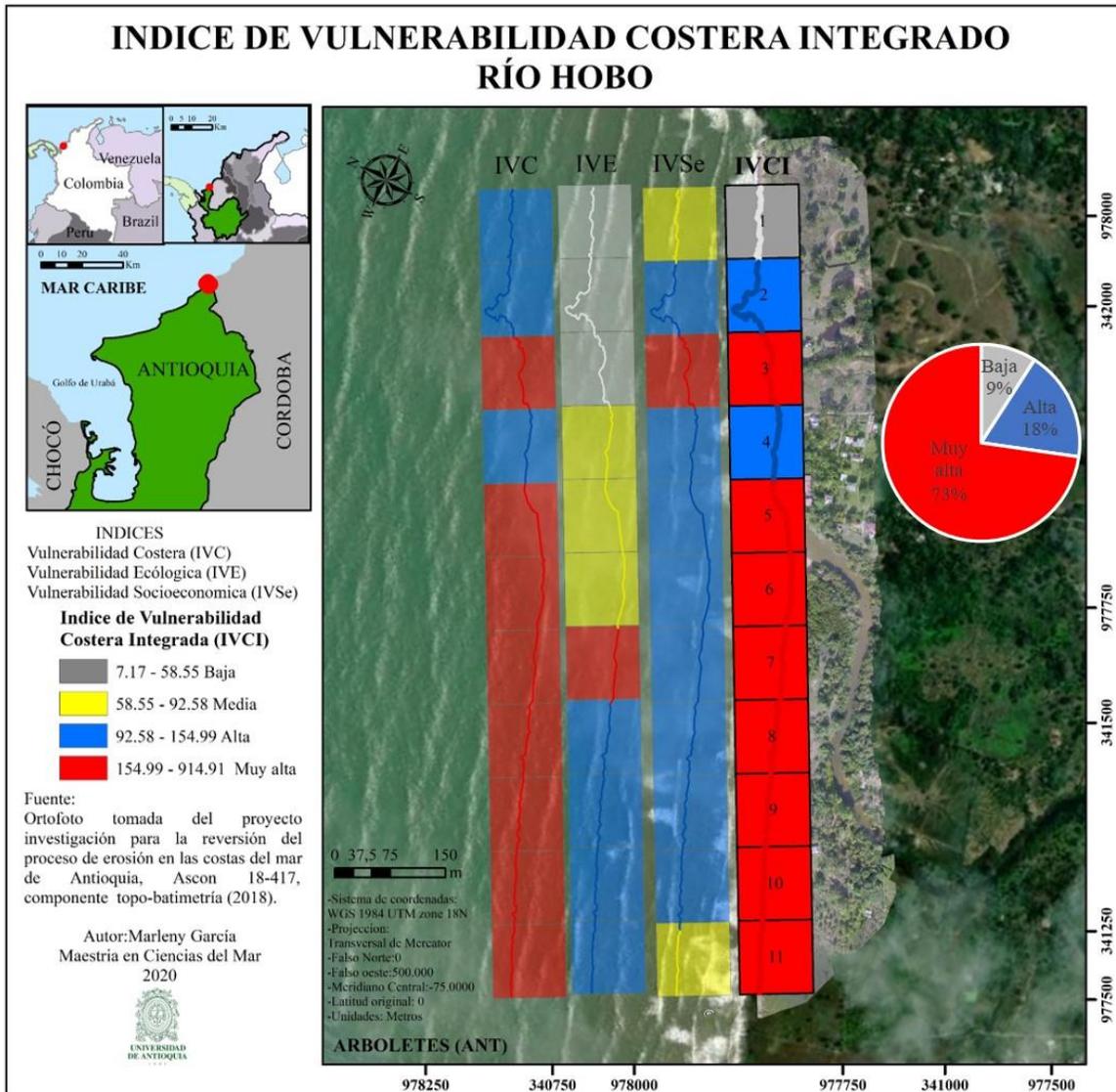
Respecto a Zapata, el 16% tiene vulnerabilidad distribuida equitativamente entre muy alta y alta, ubicada en la desembocadura del río y donde finaliza la obra de protección, mientras que el 42% está constituido por una vulnerabilidad media distribuida hacia el norte y parte

donde se concentra el tejido urbano, concluyendo en la vulnerabilidad baja, la cual ocupa el 42% en la parte sur de la línea de costa donde hay poca concentración de población (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

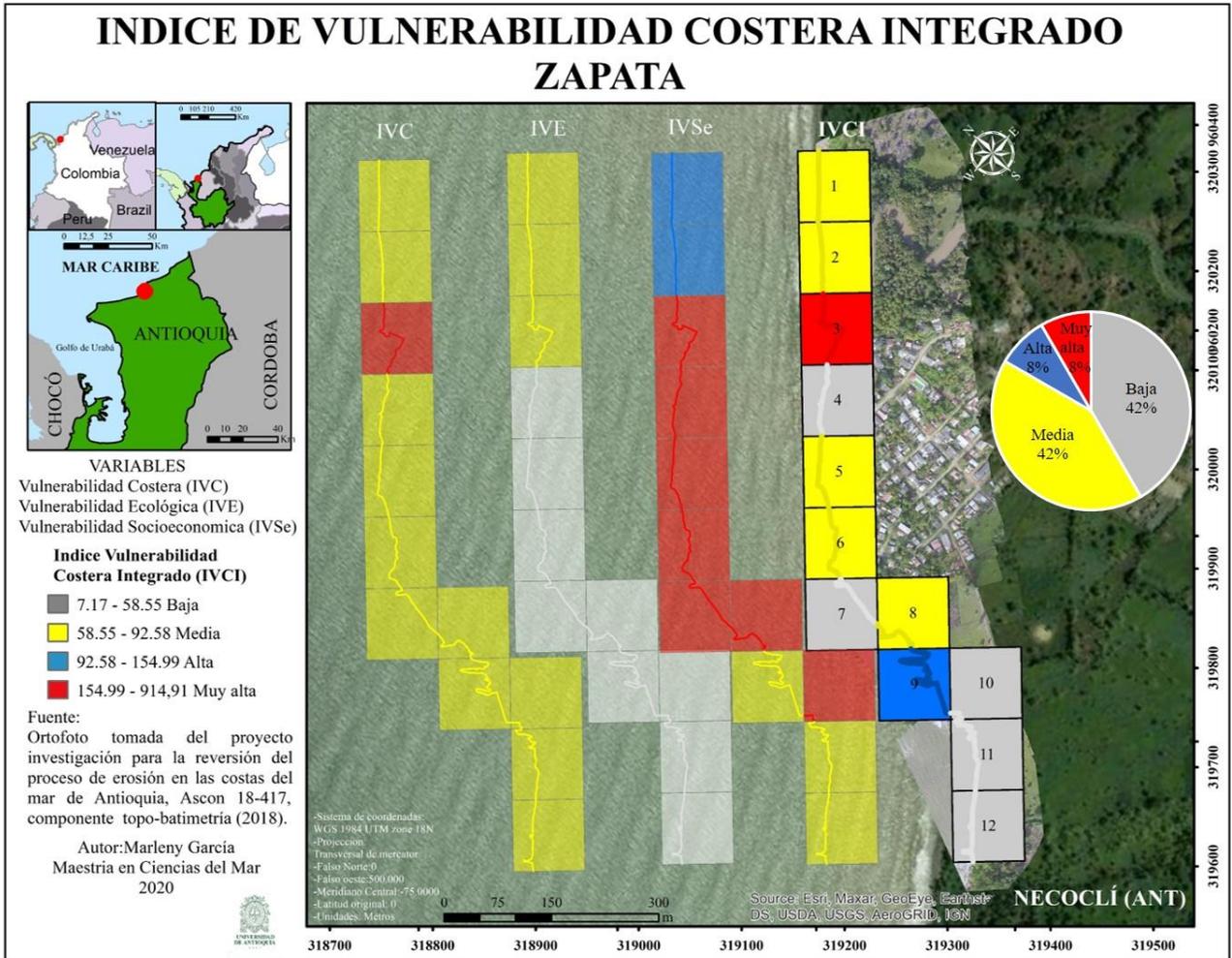
Finalmente, en Punta Las Vacas el 34% se encuentra en vulnerabilidad alta en el sector central de la espiga, el 32% lo ocupa la vulnerabilidad media distribuida un poco al norte y final de la punta y el 34% una vulnerabilidad baja al norte de la misma (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



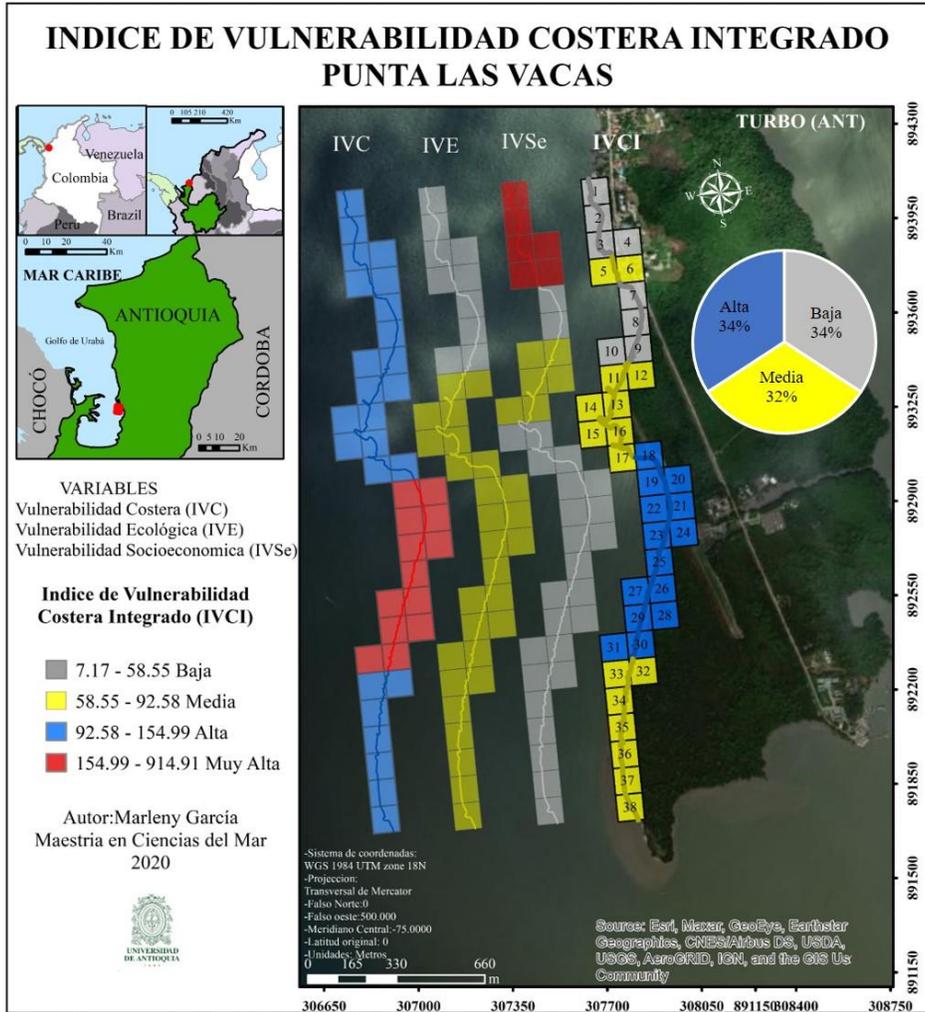
**Figura 64.** Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE), Índice de Vulnerabilidad socioeconómica (IVSe), Calculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Volcán de Lodo.



**Figura 65.** Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE), Índice de Vulnerabilidad socioeconómica (IVSe), Calculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Río Hobo.



**Figura 66.** Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE), Índice de Vulnerabilidad socioeconómica (IVSe), Calculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Zapata.



**Figura 67.** Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC), Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE), Índice de Vulnerabilidad Socioeconómica (IVSe), Cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Punta Las Vacas.

## 9 DISCUSIONES

Los trabajos realizados con IVC contemplan diferentes números de variables, Gornitz (1991, 1994), quien es una de las pioneras del índice contempla de siete a trece variables en la costa este de EE. UU, Shaw et al. (1998) tiene en cuenta en su trabajo para las costas de Canadá siete variables, mientras Nageswara et al. (2008) para las costas de la India sólo considero la importancia de 5 variables. Por su parte Ojeda et al. (2009) incluyo 6 variables para las costas de España. Es importante analizar que variables son relevantes para cada zona costera, de acuerdo con la dinámica de la misma, si bien, como muestran estos estudios previos, el número de variables también depende de la cantidad de información disponible.

En su mayoría, los artículos desarrollados bajo esta modalidad utilizan el mapeo como una herramienta de gestión, implementados en diversas regiones geográficas del mundo: Bangladesh (Hoque *et al.*, 2019; Mullick *et al.*, 2019), Malasia (Mohd *et al.*, 2019), Portugal (Narra *et al.*, 2019), Australia (Abuodha & Woodroffe., 2010), España (Ojeda *et al.*, 2009; Koroglu *et al.*, 2019), África (Hzami *et al.*, 2021), Perú (Ramirez y Correa, 2018) y Colombia (Rangel-Buitrago *et al.*, 2013). Aunque estos métodos han ido evolucionando progresivamente, el establecimiento de una única clasificación sigue siendo un desafío. Sin embargo, es importante analizar que variables son relevantes para cada zona costera, de acuerdo con su dinámica, si bien, como muestran los anteriores estudios, el número de variables también depende de la cantidad de información disponible o que se pueda recolectar al realizar la investigación.

El índice IVC, constó de 6 variables que presentan vulnerabilidades altas y muy altas en el 85% de las líneas de costa estudiadas, atribuidos a lugares con formaciones geológicas de alta erodabilidad, retrocesos altos, ascensos del nivel del mar y rango micromareal, resultados similares a las encontrados en Mar Chiquita, Argentina (Fernández *et al.*, 2018), Manga del Mar Menor en el sureste de España (Marinas *et al.*, 2020). Los anteriores concuerdan en que los valores de IVC altos se asocian directamente a retrocesos costeros. En el Caribe colombiano, otro ejemplo de un litoral muy vulnerable asociado principalmente al retroceso costero y ocupación antropogénica es Cartagena de Indias (Rangel y Posada, 2013). También cabe destacar que es posible que algunas zonas de alta vulnerabilidad puedan estar asociadas a impactos negativos de obras de protección costera mal implementadas.

Por su parte, el IVE muestra vulnerabilidades altas y muy altas en un 9%, en sitios con coberturas de ecosistemas de manglar, que por ende cuentan con una alta diversidad biológica, pero que a su vez han sido intervenidas en algún momento. Muchos estudios consideran las variables ecológicas en conjunto con las variables geomorfológicas, físicas, socioeconómicas (García-Mora., 2001; O'Higgins, T. G., y O'Dwyer, B., 2019; Coca-Domínguez., 2019;). Estos coinciden en que los sitios más vulnerables se localizan muy cerca de las zonas de riqueza ecológica, por ejemplo, el Parque Natural Corales del Rosario y San Bernardo son áreas en el Caribe Colombiano con Vulnerabilidad muy alta (Rangel y Posada, 2013). Un estudio que busca evaluar el riesgo ecológico de la costa de Antioquia concluye que ninguno de los ecosistemas costeros estudiados está ausente de presiones antropogénicas causadas por los usos del suelo, lo que indica que su salud ecológica está alterada y su vulnerabilidad ecológica sigue siendo muy alta (Yanes *et al.*, 2019).

Los manglares ubicados en las áreas de estudio se encuentran asociados a pequeños ríos, quebradas o depresiones costeras, están amenazados por la progresiva erosión costera que actualmente se evidencia, inclusive se predice que en gran parte del litoral Antioqueño desaparecerán las áreas pequeñas de manglar ubicadas en localidades con déficit de aporte de sedimentos (Blanco-Libreros, 2016).

Otros hallazgos reportados por la UNESCO (2006) consideran que las actividades humanas son más perjudiciales para la salud de los ecosistemas costeros que los mismos fenómenos naturales. A su vez, la diversidad ecológica y las características de su hábitat son fundamentales para sustentar una gran cantidad de procesos costeros y proporcionar varios servicios de los ecosistemas que son esenciales para el bienestar humano (Gracia *et al.*, 2018).

Las zonas con vulnerabilidad alta y muy alta en el IVSe, las cuales representan más de un 50% en las costas estudiadas, se encuentran relacionadas con áreas de tejido urbano o instalaciones de recreación, turismo, algún tipo de obra de protección costera y con patrimonios históricos. Igual que en otras costas un número significativo de actividades humanas como la urbanización (Rangel-Buitrago *et al.*, 2018), turismo (Papageorgiou, 2018), uso del suelo (Pilkey *et al.*, 2011), variables que fácilmente se combinan con escenarios actuales de población creciente, incrementan la vulnerabilidad de nuestras costas. Las áreas costeras altamente urbanizadas son motivo de especial preocupación porque no

solo son más susceptibles y vulnerables también pueden limitar e incluso impedir la recuperación natural y adaptación de las mismas.

Los valores finales del IVCI en nuestro estudio concluyen que el 53% de las líneas estudiadas tienen vulnerabilidad entre alta y muy alta, siendo en su mayoría sectores costeros que combinan valores de mínimo 5 variables, las más comunes fueron: tasa de cambio de la línea de costa, nivel relativo del mar, rango mareal, cobertura de ecosistemas, uso del suelo y turismo. Este trabajo logró integrar la vulnerabilidad de la máxima cantidad de variables que influenciaban la zona y de las cuales se podía adquirir la información.

A diferencia de algunos estudios que sólo utilizan el IVC combinado con el IVSe para crear otro índice y caracterizar aspectos tanto biofísicos como socioeconómicos (Boru *et al.*, 2005; Mavromatidi *et al.*, 2018), Islam *et al.* (2015) incorpora la población en el Índice de Vulnerabilidad Costera (IVC) como reflejo de los impactos socioeconómicos. Por el contrario, también existen otros estudios que emplean para el cálculo del IVSe solamente variables antrópicas (Mazumdar y Paul, 2016) y no tienen en cuenta los aspectos físicos.

La mayoría de los estudios que utilizaron el IVC incorporaron solo variables geológicas y físicas, sin referencias a la dimensión humana. Algunos ejemplos de estudios centrados en la costa india (Dwarakish *et al.*, 2009; Jeevivek *et al.*, 2013; Basheer *et al.*, 2016). Algunos autores no tienen en cuenta completamente la información socioeconómica debido a los desafíos que implica cuantificar estos los valores.

En cuanto a la evaluación de las variables individuales, el aumento del nivel del mar en las zonas estudiadas puede llegar hasta 3,93 mm/año (CORPOURABA, 2019), en ciudades como Cartagena los niveles van desde  $5,3 \pm 1,3$  mm/año Torres- Parra (2008), valores bajos comparados por ejemplo con las tendencias en el Golfo de México que van desde  $9.2 \pm 5.1$  mm/año (Zavala *et al.*, 2011). Uno de los pocos trabajos sobre el nivel del mar en esta área reporta un aumento para el período 2011-2015 de  $\sim 19,4$  mm/año (Londoño y Murillo, 2018). Sin embargo, los impactos no son iguales en todas las costas debido a que existen diferentes procesos como hundimientos naturales, aportes sedimentarios, alta presión humana, zonas protegidas con infraestructura costeras como geotubos, escolleras y espigones. En el caso particular del Caribe Sur, se reporta una subsidencia del orden de 4 mm/año en las terrazas costeras, debido a la sedimentación y tectónica compresiva (Blanco-Libreros, 2016).

Por otro lado, los retrocesos costeros en el área estudiada van de 4 a 9,8 m/año, similares a los presentados en otras costas como en Tabasco, México que presenta valores entre 2,5 a 11 m/año (Hernández *et al.*, 2008). Caleta Portales, Chile registro un retroceso de 12,6 m entre 2004 y 2016 provocado por un ligero cambio costero (Martínez *et al.*, 2018). Ninguno de los sitios estudiados obtuvo baja vulnerabilidad debido a las altas tasas de erosión continua en las últimas décadas, las cuales también pueden ser un indicativo del ascenso del nivel del mar en esta zona; si este continúa hasta ~65 cm para el 2100 (Nerem *et al.*, 2018) es probable que las costas aquí analizadas se erosionen drásticamente.

Otras opiniones con respecto a la cuenca del Mar Caribe concluyen que parece dominado por subcuencas y procesos locales, por lo tanto, las estimaciones mundiales e incluso regionales no son suficientes para proporcionar una guía de planificación y protección costera ni para la estimación de la vulnerabilidad costera ante el cambio del nivel del mar (Torres- Parra *et al.* 2008; Torres- Parra y Tsimplis, 2013). Las desembocaduras de los ríos en el caso de Río Hobo y Zapata muestran una vulnerabilidad muy alta, por su condición estos ecosistemas ya han sido nombrados como vulnerables al aumento del nivel del mar (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2001).

La composición geomorfológica de esta zona, descrita por Correa y Vernet (2004), indica que Volcán de Lodo, Río Hobo y Zapata hacen parte de un sistema de “costa abierta” y su morfología es dominada por terrazas marinas emergidas. Mientras que Punta Las Vacas hace parte de un sector de costa “semiprotégida”, dominada por terrazas marinas bajas interrumpidas por las playas, cordones de playa y espigas. Por esta razón, existen diferencias en la clasificación de algunas variables en comparación con los otros tres sitios.

Reportes históricos en Volcán de Lodo relatan problemas erosivos desde la época de 1960, con la desaparición cercana de la península Punta Rey, desencadenando una secuencia de procesos erosivos en la misma zona que alcanzaron tasas de erosión desde 7 a 40 m/año, con retrocesos de la línea de costa del orden de los 50 a 100m (Correa y Vernet, 2004). La erosión en los sitios Volcán de lodo, Río Hobo y Zapata está influenciada por dos factores principalmente, uno es por efecto de las olas rompiendo frente a la costa, la cual es resultado de los valores altos de la velocidad del viento que se encuentran asociados directamente a los vientos Alisios que llegan a la región en la época seca, provocando un fuerte oleaje que

erosiona la zona y se evidencia en la formación de cárcavas y bahías; los resultados de Toro et al. (2019) sugieren que la dirección e intensidad del viento en diferentes épocas climáticas del año, modulan la circulación en las zonas estudiadas, siendo más significativas las variaciones de la circulación a nivel espacial y establece que se deben analizar en tres zonas dentro del Golfo de Urabá: norte, centro y sur, debido a las particulares de cada una.

La otra forma de erosión corresponde a la acción de aguas de escorrentía y aguas subterráneas, generando un lavado del material sedimentario y en ocasiones hundimiento del terreno y deslizamientos de masa por reptación. Particularmente en verano, al estar compuesto principalmente por arcillas expansivas, los terrenos se contraen por el calor intenso, abriendo grietas por la evaporación del agua y en invierno se expande precisamente por las lluvias que empeoran el terreno hidratándolo y llenando las grietas, ocasionando una pérdida considerable de sedimentos (Serna, 2020).

Estos retrocesos han ocasionado pérdidas de viviendas, cultivos y sectores turísticos, impactando la economía de los pobladores. La actual preocupación y más urgente es la del Volcán de lodo el cual se encuentra en un talud con altos procesos erosivos por acción del oleaje y escorrentía. el DAPARD ha tomado acciones en el 2020 con la construcción de 3 tómbolos con los cuales se pretende mitigar el impacto erosivo en este sector y fortalecer la actividad turística del sector.

Por su parte en Punta Las Vacas, desde 1940 las velocidades de erosión se relacionan directamente con el desarrollo, al norte de la espiga y los cambio en el delta del Río Turbo, cuya desembocadura al interior de la bahía de Turbo aparentemente fue desviada artificialmente en 1954, proceso que se intensificó gradualmente hasta cubrir la totalidad de las playas y generar retrocesos de playas estimados en alrededor de 70m en algunos sectores (Correa y Vernet, 2004; Correa *et al.*, 2005). Mientras en el nuevo lóbulo su desembocadura se produce una intensa agradación (Alcántara-Carrió *et al.*, 2019).

Ahora bien, el golfo de Urabá tiene un régimen micromareal y del tipo semidiurno (Restrepo y Correa, 1994), aunque en cuerpos de agua semicerrados, la marea puede ser oscilante. En costas micromareales el nivel del mar se sitúa siempre cerca del nivel de pleamar y, por tanto, siempre cerca de una posible inundación. Por otro lado, Ramos *et al.* (2016) en su estudio en

las costas mexicanas de régimen micromareal, considera que esta variable no es influyente dentro del IVC y en cierto momento podría ser omitida o reemplazada por otra.

El método desarrollado permite evaluar y comparar la vulnerabilidad costera a nivel nacional y regional, a la vez que incorpora la mayor información disponible de los procesos costeros a esta escala. La cuantificación del IVC, IVE, IVSe y IVCI es fundamental para determinar la vulnerabilidad y complementaria a la implementación de la gestión del riesgo y la protección de zonas urbanas. No obstante, aunque son numerosos los estudios del IVC, los índices que incluyen el IVSe y IVE continúan siendo escasos.

Finalmente, los resultados de este estudio y su presentación como mapas son una herramienta para tomadores de decisiones, realizando una contribución a la gestión de riesgos. Esto permite identificar los sectores que podrían verse afectados, permitiendo planificar y priorizar las medidas de prevención o mitigación. Además de avanzar en el entendimiento de las diferencias locales significativas.

## **10 CONCLUSIONES**

El IVC clasifica a Volcán de Lodo, Río Hobo y Punta Las Vacas con vulnerabilidades entre altas y muy altas en el 100% de sus costas, mientras que en Zapata la vulnerabilidad es media en toda la línea de costa, exceptuando la desembocadura del río cuya clasificación es alta.

Esta clasificación obtenida es coherente con el alto retroceso erosivo que los lugares tienen y que a pesar de la construcción de muchas obras costeras aún no ha podido detenerse. La evaluación de las variables geomorfología, tasa de cambio de la línea de costa, nivel del mar y rango mareal influyen en gran medida en este resultado.

Para la evaluación del IVE se obtuvieron clasificaciones altas y muy altas en Volcán de Lodo y Río Hobo, mientras que en los otros dos sitios, Zapata y Punta las Vacas la vulnerabilidad es clasificada en media y baja. Aunque los cuatro sitios estudiados contienen ecosistemas de manglar, con una considerable cobertura y diversidad biológica, su vulnerabilidad no es clasificada de manera igual debido a que el nivel de intervención de los ecosistemas no es el mismo, por lo tanto esta variable fue determinante en la clasificación del índice.

En cuanto al IVSe, en los cuatro sitios estudiados, es claro en definir con vulnerabilidades muy altas aquellos espacios donde se concentra la población. Para Volcán de Lodo, Río Hobo

y Zapata las clasificaciones entre muy alta y altas ocupan más del 50%, estando influenciadas fuertemente por las variables turismo, patrimonio y uso del suelo. Por su parte, en Punta Las Vacas disminuye a un 16%, debido a que ha sido por mucho tiempo una unidad militar, permitiéndole tener características diferentes a los demás sitios.

Finamente la evaluación del IVCI, en Volcán de lodo y Río Hobo presenta una vulnerabilidad clasificada como alta y muy alta en un 95% de las costas, la cual es coherente con los resultados de los anteriores índices evaluados. El índice IVCI pone en evidencia la necesidad urgente de priorizar y proteger estas dos zonas.

Zapata y Punta Las Vacas por su parte tiene una mayor variabilidad de clasificación del IVCI, aunque más del 60% de la vulnerabilidad se distribuye entre media y baja, en los cálculos de los demás índices el comportamiento es similar. En Zapata, la obra de protección costera ubicada en la cabecera municipal ha mitigado el impacto erosivo, estabilizando un poco esta zona. Por otro lado, en Punta Las Vacas, el índice discrimina bien los ambientes con obras de protección otorgándole una vulnerabilidad baja, los lugares con manglares como vulnerabilidad media y los que presentan erosión con vulnerabilidad alta.

Las diferentes combinaciones de variables pueden producir el mismo nivel de vulnerabilidad, por lo que es importante estudiar los componentes por separado según sea el objeto. Por esta razón, los resultados representan mapas para cada variable a escala local, los cuales pueden ser tomados en cuenta para la toma de decisiones, prevención y mitigación.

Se concluye que en tramos de costa cortos como fue el caso de este trabajo, las variables físicas de Altura Significante del oleaje, Ascenso del nivel del mar y rango mareal medio no presentan variaciones en las líneas de costa, pero inciden en gran medida en la vulnerabilidad.

La hipótesis inicialmente propuesta se acepta, pues al calcular el IVCI se ve que está altamente influenciado por las variables que constituyen el IVC. A pesar de que Punta Las Vacas tiene una clasificación del IVC entre alta y muy alta, el cálculo del IVCI no sigue el mismo patrón.

La vulnerabilidad del sur oeste del Caribe Colombiano ante el incremento del nivel del mar es evidente. Los mapas mostrados en este documento indican dónde se están presentando los cambios físicos en la línea de costa. Los resultados de vulnerabilidad generados ante el

aumento del nivel del mar no evalúan la magnitud, ni la probabilidad de ocurrencia del mismo, ni intentan cuantificar daños o costos. Por lo cual se sugiere continuar con estudios más detallados en aquellas zonas que se consideren prioritarias para realizar el análisis de amenazas y cálculo de riesgo.

## 11 RECOMENDACIONES

- ⚓ Aumentar el número de variables en el IVE para tener una mayor distribución de datos y no presentar dificultades al realizar la clasificación final del índice, se podría tener en cuenta abundancia de especies de fauna y flora
- ⚓ Antes de calcular el IVCI realizar los mapas individuales, para analizar con mayor detalle la distribución de las variables.
- ⚓ Debido a que la vulnerabilidad está muy ligada a las propiedades actuales del sistema, es muy importante actualizar y cuantificar los datos para disponer de un buen análisis para el futuro.
- ⚓ Debido a la presencia de deltas en los sitios estudiados, se recomienda que para el análisis de la variable pendiente se deban realizar mediciones en diferentes épocas climáticas, en vista de que estos pueden influir significativamente la valoración de la vulnerabilidad.
- ⚓ Para obtener una mayor precisión en la valoración de la variable tasa de retroceso de la línea de costa se recomienda realizar los análisis empleando fotografías aéreas de alta resolución, como las obtenidas por los vehículos aéreos no tripulados o drones. Teniendo en cuenta, la hora y estado de la marea al momento de obtener las fotografías.

## 12 REFERENCIAS

- Abuodha, P. A. and C. D. Woodroffe. 2010.** Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: a case study from southeast Australia. *Journal of Coastal Conservation*, 14(3), 189-205pp.
- Alcántara-Carrió, J., Caicedo, A., Hernández J. C., Jaramillo-Vélez, A. and Manzolli R. P. 2019.** Sediment bypassing from the new human-induced lobe to the ancient lobe of the Turbo Delta (Gulf of Urabá, Southern Caribbean Sea). *Journal of Coastal Research*, 35(1), 196-209pp. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-17-00221.1>
- Aristizabal, O. C., Betancur, M. J., y Vásquez, C. I. 1990.** Erosión y sedimentación de la línea de costa entre Turbo y Necocli-Golfo de Urabá (Antioquia-Colombia) (Doctoral dissertation, Tesis Geología, Univ. Eafit, Medellín).
- Ardila, N. J. M., Rodríguez, O. J. y Robertson, K. G. 2005.** Amenazas naturales en el litoral Pacífico Colombiano asociadas al ascenso del nivel del mar. *Cuadernos de geografía*, (14), 83-96pp.
- Aqua y Terra. 2010.** Informe Elaboración, ajuste, adecuación, actualización de los estudio y diseños de la obra “Construcción de obras de protección para la recuperación de una parte del litoral Caribe, municipio de Arboletes.
- Basheer Ahammed, K.K., Mahendra, R.S., Pandey, A.C. 2016.** Coastal vulnerability assessment for Eastern Coast of India, Andhra Pradesh by using geo-spatial technique. *Geoinform. Geostat. Overv*, 4pp.
- Boru, B.J., Emrich, C., Cutter, S.L. 2005.** Erosion hazard vulnerability of US coastal counties. *Journal of Coast Research*, 932–942pp.
- Blanco Libreros, J. F. 2016.** Cambios globales en los manglares del golfo de Urabá (Colombia): entre la cambiante línea costera y la frontera agropecuaria en expansión. *Actualidades Biológicas*, 38 (104): 57-70pp. <http://dx.doi.org/10.17533/udea.acbi.v38n104a06>.
- Casal, G., Sánchez, N., y Freire, J. 2010.** Generación de una línea de costa digital de Galicia (NW España) a gran escala, utilizando fotointerpretación y segmentación dinámica. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 53, 7–19.
- Cendrero, A., Sánchez Arcilla, A., Zazo, C., Bardají, T., Dabrio, C.J., Goy, J.L., Jiménez, C., Mösso, J., Rivas, V., Salas, J.P., Sierra, J.P., Valdemoro, H. 2005.** Impactos sobre las zonas costeras. En: (Moreno, J.M. Coord.) *Evaluación Preliminar Impacto sobre el Cambio Climático en España*. Ministerio de Medio Ambiente, España.

- Coca-Domínguez, O., and Ricaurte-Villota, C. 2019.** Validation of the hazard and vulnerability analysis of coastal erosion in the caribbean and pacific coast of Colombia. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(8), 260pp.
- Correa, I.D. y Vernet G. 2004.** Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo) Costa Caribe Colombiana. *Boletín de investigaciones marinas y costeras*, 33(1), 7-28. <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2004.33.0.245>
- Correa, I.D., Alcántara-Carrió J. y González D.A. 2005.** Historical and recent shore erosion along the Colombian Caribbean Coast. *Journal of Coastal Research*, 52-57pp. [www.jstor.org/stable/25737404](http://www.jstor.org/stable/25737404)
- Correa I.D. y Paniagua-Arroyave J.P. 2016.** The Arboletes-Punta Rey Littoral, Southern Caribbean Coast. En: Michel Hermelin (ed) *Landscapes and Landforms of Colombia*. Springer World Geomorphological Landscape Series: 55-63pp.
- CORPOURABA. 2019.** Variación de nivel del mar en el golfo de Urabá. Informe técnico, Apartadó, 38p.
- CORPOURABA. 2019.** POMCA Río Turbo y Currulao, fase de diagnóstico, tomo V, vegetación, flora, fauna y ecosistemas, 163p.
- CORPOURABÁ Universidad Nacional. 1998.** Evaluación de zonas de erosión críticas en el litoral caribe antioqueño. Informe final. Posgrado Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Medellín, 199 p.
- Church, J. A., J. M. Gregory, N. J. White, S. M. Platten y J. X. Mitrovica. 2011.** Understanding and projecting sea level change. *Oceanography (J. Oceanogr. Soc.)*, 24 (2): 130-143p.
- CORPOURABÁ-Universidad EAFIT. 2015.** Informe final de actuaciones experimentales en los sectores de zapata y capitanía del puerto, 190p.
- DAGRAN. 2020.** Informe de caracterización ecológica de fauna en el área de influencia del proyecto “construir obras para el control de erosión en la zona suroeste del volcán de lodo ubicado en el municipio de Arboletes en el departamento de Antioquia”, 39 p
- DNP, Gobernación de Antioquia y Junta Efemérides. 2006.** Plan estratégico para la región de UrabáDarién. Primera fase: Construcción de insumos para el proceso en la región. Departamento Nacional de Planeación. Departamento Administrativo de Planeación de Antioquia. Dirección de Planeación Estratégica Integral. Junta Efemérides. Urabá. Medellín. 154 p.
- Dwarakish, G.S., Vinay, S.A., Natesan, U., Asano, T., Kakinuma, T., Venkataramana, K., Pai, B.J., Babita, M.K. 2009.** Coastal vulnerability assessment of the future sea level rise in Udupi coastal zone of Karnataka state, west coast of India. *Ocean Coast. Manag.*, 52, 467–478pp.

- Escobar, S. 2011.** Relevancia de procesos costeros en la hidrodinámica del Golfo de Urabá (Caribe Colombiano). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 40 (2): 327-346pp.
- Fernández, J.M., Bértola, G.R. y Campo, A.M. 2018.** Aplicación del Índice de Vulnerabilidad Costera (CVI) a los barrios costeros del partido de Mar Chiquita, Buenos Aires, Argentina. *Geoacta*, 42 (1):13-23pp.
- Franco, R. 2017.** Composiciones Landsat en ARCGIS Guía Básica Bogotá, Colombia 45 p  
Disponible en <http://wp.me/p2IwQU1bh>
- Gobernación de Antioquia. 2018.** Informe de gestión de fauna silvestre en jurisdicción de las autoridades ambientales del departamento de Antioquia. Año 2009-2018. <http://www.antioquiadatos.gov.co/index.php/5-4-inventario-de-especies-anfibios-2018>
- Gobernación de Antioquia y Universidad de Antioquia. 2019.** Investigación para la reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia. Informe del componente ambiental. Volcán de lodos, municipio de Arboletes. Recuperado de: proyecto 27p
- Gobernación de Antioquia y Universidad de Antioquia. 2019.** Investigación para la reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia. Informe del componente topobatimétrico. Volcán de lodos, municipio de Arboletes. Recuperado de: proyecto 27p.
- Gornitz, V. 1991.** Global coastal hazards from future sea level rise. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol*, 89:379 – 398pp. doi:10.1016/0031-0182(91)90173-O.
- Gornitz, V. M. y White, T.W. 1992.** A coastal hazards database for the U.S. West Coast. ORNL/CDIAC-81, NDP-043C, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- Gornitz, V. M., Daniels, R. C., White, T. W. y Birdwell, K. R. 1994.** The development of a coastal risk assessment database: vulnerability to sea-level rise in the US Southeast. *Journal of Coastal Research*, 327-338pp. <http://www.jstor.org/stable/25735608>
- Gornitz, V. and P. Kanciruk. 1989.** Assessment of global coastal hazards from sea-level rise. Proceedings of the 6th Symposium on Coastal and Ocean management ASCE, Charleston, South Carolina, 1345-1359pp.
- Gilman, E., J.C. Ellison, V., Jungblut, H., Van Lavieren, L., Wilson, F., Areki, G., Brighthouse, J., Bungitak, E., Dus, M., Henry, M., Kilman, E., Matthews, I., Sauni Jr., N. Teariki Ruatu, S., Tukia, and Yuknavage K. 2006.** Adapting to Pacific Island mangroveresponses to sea level rise and climate change. *Climate Research*, 32(3), 161-176pp.

- Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., Oakley, J., Williams, A.T.W. 2018.** Use of ecosystems in coastal erosion management. *Ocean Coast Manag.* 156, 277–289pp.
- Hernández Santana, J. R., Ortiz Pérez, M. A., Méndez Linares, A. P., & Gama Campillo, L. 2008.** Morfodinámica de la línea de costa del estado de Tabasco, México: tendencias desde la segunda mitad del siglo XX hasta el presente. *Investigaciones geográficas*, (65), 7-21.
- Higuita, M. y R.A. Quintana. 2019.** Modulación de las corrientes oceánicas en el Golfo de Urabá a partir de la onda de marea. Tesis de oceanografía y Ing Oceanografía, Universidad de Antioquia, Apartado. 55p.
- Himmelstoss, EA, Henderson, RE, Kratzmann, MG y Farris, AS .2018.** Guía del usuario del Sistema de análisis digital de la costa (DSAS) Versión 5.0 (No. 2018-1179). Servicio Geológico de EE. UU.
- Holdridge, Lr. 1967.** Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Ecología basada en zonas de vidas. San José, CR. 206 p
- Hoque, M. A. A., Ahmed, N., Pradhan, B., and Roy, S. 2019.** Assessment of coastal vulnerability to multi-hazardous events using geospatial techniques along the eastern coast of Bangladesh. *Ocean & Coastal Management*, 181pp.
- Hzami, A., Heggy, E., Amrouni, O., Mahé, G., Maanan, M., and Abdeljaouad, S. 2021.** Alarming coastal vulnerability of the deltaic and sandy beaches of North Africa. *Scientific reports*, 11(1), 1-15pp.
- Marinas, D. I., Pelegrín, G. A. B., Balibrea, J. S., Moreno, P. G., & Serrato, F. B. 2020.** Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España). In *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 40, No. 2, p. 373). Universidad Complutense de Madrid.
- IDEAM, P., MADS, D., y CANCELLERÍA, E. 2016.** Inventario nacional y departamental de gases efecto invernadero. DNP-MADS, Bogotá.
- INVEMAR, M. 2002.** Programa holandés de asistencia para estudios en cambio climático: Colombia. definición de la vulnerabilidad de los sistemas bio-geofísicos y socioeconómicos debido a un cambio en el nivel del mar en la zona costera colombiana (caribe, insular y pacífico) y medidas para su adaptación. resumen ejecutivo. Technical report, Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés. Vinculado al Ministerio del Medio Ambiente, Santa Marta-Colombia.
- INVEMAR. 2013.** Informe del estado de los ambientes y recursos marinos y costeros en Colombia: Año 2012. Serie de Publicaciones Periódicas No. 8. Santa Marta. 169 p.
- IPCC.1992.** Cambio climático, estrategias de respuestas del IPCC. Grupo intergubernamental de expertos sobre cambio climático. Informe Preparado por el

Grupo de Trabajo II. Versión española a cargo del Instituto Nacional de Meteorología. OMM-PNUMA Madrid. 256 p.

- IPCC. 2007.** Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.]. Switzerland, Geneva, 104 p.
- IPCC. 2013.** Glosario en: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América, 22p.
- IPCC. 2014.** Cambio climático: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I,II Y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 157p.
- IPCC .2019.** Technical Summary [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- Islam, M.A., Hossain, M.S., Murshed, S. 2015.** Assessment of coastal vulnerability due to sea level change at Bhola Island, Bangladesh: Using geospatial techniques. J. Indian Soc. Remote Sens, 43, 625–637pp.
- IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales; Dirección General para la Prevención y Atención de Desastres. 2002.** Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno El Niño en Colombia. Bogotá, D.C.52p.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2005.** Datos históricos de precipitación. Estación C.O. del Mellito,3p.
- IDEAM, P., y MADS, D. CANCELLETA.2017.** Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático.
- Joevivek, V., Saravanan, S., Chandrasekar, N. 2013.** Coastal vulnerability and shoreline changes for southern tip of India—Remote sensing and GIS approach. J. Earth Sci. Clim. Chang, 4, 144pp.

- Koroglu, A., Ranasinghe, R., Jiménez, J. A., and Dastgheib, A. 2019.** Comparison of coastal vulnerability index applications for Barcelona Province. *Ocean & coastal management*, 178pp, 104799.
- Marinas, D. I., Pelegrín, G. A. B., Balibrea, J. S., Moreno, P. G., & Serrato, F. B. 2020.** Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España). In *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 40, No. 2, p. 373). Universidad Complutense de Madrid.
- Martínez Vázquez, M.L., Gallego Fernández, J.B., García Franco, J., Moctezuma, C, Jiménez C.D. 2006.** Assessment of Coastal Dune Vulnerability to Natural and Anthropogenic Disturbances Along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation*: 33 :109-117pp.
- Martínez, C. F. D., Obeso, V. V., Panetta, P. L., Gutiérrez, L. C., Gutiérrez, A. M., Rojas, Y. G., ... & Báez, L. F. 2017.** Caracterización, Diagnóstico y Análisis de Vulnerabilidades y Amenazas en el Departamento del Magdalena Erosión Costera. CORPAMAG–UNIVERSIDAD DEL ATLÁNTICO. 45p.
- Martínez C, Contreras-López M, Winckler P, Hidalgo H, Godoy E & Agredano R . 2018.** Coastal erosion in central Chile: A new hazard?, *Ocean & Coastal Management*, 156: 141 – 155. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2017.07.011
- Marinas, D. I., Pelegrín, G. A. B., Balibrea, J. S., Moreno, P. G., & Serrato, F. B. 2020.** Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España). In *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, Vol. 40, No. 2, 373-392pp.
- Mavromatidi, A., Briche, E., Claeys, C. 2018.** Mapping and analyzing socio-environmental vulnerability to coastal hazards induced by climate change: An application to coastal Mediterranean cities in France. *Cities*, 72,189–200pp.
- Málikov, I. 2010.** Análisis de las tendencias del nivel del mar a nivel local y su relación con las tendencias mostradas por los modelos internacionales. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá, Colombia, 38p.
- Mazumdar, J., Paul, S.K. 2016.** Socioeconomic and infrastructural vulnerability índices for cyclones in the eastern coastal states of India. *Nat. Hazards*, 82, 1621–1643pp.
- Nerem, R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J. T., Hamlington, B. D., Masters, D., & Mitchum, G. T. 2018.** Climate-change–driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the national academy of sciences*, 115(9), 2022-2025.
- Montoya, L. J. y Toro, M. 2006.** Calibración de un modelo hidrodinámico para el estudio de los patrones de circulación en el Golfo de Urabá, Colombia. *Avances en recursos hidráulicos*, 13: 37-54pp.

- Mohd, F. A., Maulud, K. N. A., Karim, O. A., Begum, R. A., Awang, N. A., Ahmad, A. and Mohtar, W. H. M. W. 2019.** Comprehensive coastal vulnerability assessment and adaptation for Cherating-Pekan coast, Pahang, Malaysia. *Ocean & Coastal Management*, 182pp, 104948.
- Ministerio de Medio Ambiente (MMA) .2006.** Catálogo Nacional de Especies Amenazadas (1990-2006). Dirección General para la Biodiversidad.
- Mullick, M.R.A., Tanim, A., Islam, S.S., 2019.** Coastal vulnerability analysis of Bangladesh coast using fuzzy logic based geospatial techniques. *Ocean Coast Manag.* 174, 154–169pp.
- Nageswara Rao K., P. Subraelu, T. Venkateswara Rao, B. Hema Malini, R. Ratheesh, S. Bhattacharya, A.S. Rajawat and Ajai. 2008.** Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast India through remote sensing and GIS. *Journal of Coastal Conservation*, 12:195–207. doi:10.1007/s11852-009-0042-2.
- Narra, P., Coelho, C., and Sancho, F. 2019.** Multicriteria GIS-based estimation of coastal erosion risk: Implementation to Aveiro sandy coast, Portugal. *Ocean & Coastal Management*, 178pp, 104845.
- Nerem, R. S., Beckley, B. D., Fasullo, J. T., Hamlington, B. D., Masters, D., & Mitchum, G. T. 2018.** Climate-change–driven accelerated sea-level rise detected in the altimeter era. *Proceedings of the national academy of sciences*, 115(9), 2022-2025.
- Lacambra, C., Friess, D., Spencer, T., & Moller, I. 2013.** Resilient natural coastal defences. *The role of ecosystems in disaster risk reduction*, 82p.
- Londoño, G. y Murillo, E. 2018.** Variabilidad espacio-temporal del nivel del mar en la costa del Caribe Colombiano. Tesis Ing Oceanografica, Universidad de Antioquia, sede Turbo. 41p.
- O’Higgins, T. G., & O’Dwyer, B. 2019.** A vulnerability framework to protect coastal social ecological systems. *Anthropocene Coasts*, 2(1), 279-292.
- Ojeda, J., Álvarez, J. I., Martín, D y Fraile, P. 2009.** El uso de las TIG para el cálculo del índice de vulnerabilidad costera (CVI) ante una potencial subida del nivel del mar en la costa andaluza (España). *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (9), 83-100.
- Orejana, A., Otero, L., Dagua, A., Marriaga, L., y Herrera E. 2013.** Determinación del clima de oleaje medio y extremal en el norte del Golfo de Urabá. *Bol. Cient. CIOH*, 31:109-124.
- Papageorgiou, M., 2018.** Underwater cultural heritage facing maritime spatial planning: Legislative and technical issues. *Ocean Coast Manag.* 165, 195–202. Percival, S., Teeuw, R., 2020. A methodology for urban micro-scale coastal

- Paniagua Arroyave, J. F. 2013.** Migración histórica actualizada y predicción de la posición de la línea de costa en sectores acantilados críticos del litoral antioqueño, considerando escenarios de ascenso del nivel del mar (Doctoral dissertation, Universidad EAFIT).
- Pendleton, E.A., Thieler, E.R., Williams, S.J. 2004.** Coastal vulnerability assessment of Cape Hettaras National Seashore (CAHA) to sea level rise. USGS Open File Report, 2004-1064. doi 10.1007/s11852-009-0042-2.
- Pendleton, E. A., Thieler, E. R., & Williams, S. J. 2010.** Importance of coastal change variables in determining vulnerability to sea-and lake-level change. *Journal of Coastal Research*, 26(1 (261)), 176-183.
- Posada, B., y Henao, W. 2008.** Diagnóstico de la erosión costera en la zona costera del Caribe colombiano. *Rev INVEMAR-Colombia*, 79, 79-97.
- Pilkey, O., Neal, W.J., Kelley, J., Cooper, A., 2011.** *The World's Beaches: a Global Guid to the Science of the Shoreline.* University of California Press, Berkley.
- Prussmann, J. 2012.** Nuevos elementos para el Manejo Integrado de la Región de Urabá, Costa caribe colombiana. Base de datos espacial geomorfológica de la franja litoral de los departamentos de Antioquia y Chocó. *TraBaja de maestría, Ciencias de la Tierra, Departamento de Geología Universidad Eafit, Medellín: 91.*
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2007.** Informe sobre Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: Solidaridad frente a un mundo dividido. *Desarrollo Local Sostenible*, 1(1), 10.
- PDM (Plan de Desarrollo Municipal). 2008-2011.** Alcaldía de Arboletes (Antioquia). *Porque el desarrollo es tarea de todos*, 282.
- PDM (Plan de Desarrollo Municipal). 2012-2015.** Alcaldía de Arboletes (Antioquia). *Unidos por el futuro que queremos*, 181.
- PDM (Plan de Desarrollo Municipal). 2016-2019.** Alcaldía de Arboletes (Antioquia). *Pensando en grandes acciones para consolidar la paz*, 205.
- Raigoza, D. y Marengo J. 2007.** Generalidades sobre la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo frente al cambio climático. En boletín de los proyectos “Using Regional Climate Change Scenarios for Studeies on Vulnerability and Adaptation in Brazil and South America” y *Dangerus Climate Change*”, GOF- CPETC: 5
- Ramos Reyes, R., Gama Campillo, L. M., Núñez Gómez, J. C., Sánchez Hernández, R., Hernández Trejo, H., Ruíz Álvarez, O. 2016.** Adaptación del modelo de vulnerabilidad costera en el litoral tabasqueño ante el cambio climático. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE13), 2551-2563.
- Ramírez, G. R., y Correa, C. T. 2018.** Adaptación de un índice de vulnerabilidad costera-IVC para el litoral peruano: Un estudio de caso. *Espacio y Desarrollo*, (31), 33-57.

- Rangel-Buitrago, N.G. y Posada-Posada, B. O. 2013.** Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante la aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio en la línea de costa. *Intropica*, 8: 29-42.
- Rangel-Buitrago, N., and Anfuso, G. 2015.** Risk assessment of storms in coastal zones: case studies from Cartagena (Colombia) and Cadiz (Spain). Springer.
- Restrepo, J. y Correa, I.D. 1994.** Aspectos generales sobre el estado actual de conocimiento de la franja costera del Pacífico colombiano. Memorias del Taller de Expertos Sobre el Estado del Conocimiento y Lineamientos para una Estrategia Nacional de Biodiversidad en los Ecosistemas Marinos y Costeros, Minca-Magdalena. CCO/ENB/Colciencias, Santafé de Bogotá, 311p.
- Serna Urrea, G. 2020.** Erosión costera, memorias ilustradas. Save, Arboletes.140 p.
- Shaw, J., Taylor, R.B., Forbes, D.L., Ruz, M.H., Solomon, S. 1998.** Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise. *Geological Survey of Canada*, 505:1–79pp.
- Stainforth, D. A., Allen, M. R., Tredger, E. R. y Smith, L. A. 2007.** Confidence, uncertainty and decision-support relevance in climate predictions. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 365:2145-2161.
- Thieler, E.R., Hammar-Klose, E.S. 1999.** National assessment of coastal vulnerability to sea level rise: preliminary results for the U.S. USGS Open File Report, 99–593pp.
- Thieler, E. R., Williamms, S. J., y Beavers, R. 2002.** Vulnerability of U. S. National Parks to Sea – Level Rise and Coastal Change. U. S. Geological Survey, Woods Hole, MA, 2.
- Torres-Parra, R. R., Díaz, L. J. O., Franco, F. A., & Rocha, L. M. 2008.** Comportamiento del nivel del mar en el litoral Caribe colombiano. *Boletín Científico CIOH*, (26), 8-21.
- Torres-Parra, R. R., & Tsimplis, M. N. 2013.** Sea-level trends and interannual variability in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(6), 2934-2947.
- Toro, V. G., Mosquera, W., Barrientos, N., & Bedoya, Y. 2019.** circulación oceánica del Golfo de Urabá usando campos de viento de alta resolución temporal. *Boletín Científico CIOH*, 38(2), 26-35.
- UNESCO. 2006.** A Handbook for Measuring the Progress and Outcomes of Integrated Coastal and Ocean Management. IOC Manuals and Guides, Paris, 224pp.
- Vafeidis, A., Nicholls, R.J., McFadden, L. , Tol, R., Hinkel, J., Spencer, T., Grashoff, P. S., Boot, G., and Klein, R. 2008.** A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea- level rise. *Journal of Coastal Research*, 4(24):917-924pp.

- Vernette, G., Mauffret, A., Bobier, C., Briceno, L., & Gayet, J. 1992.** Mud diapirism, fan sedimentation and strike-slip faulting, Caribbean Colombian margin. *Tectonophysics*, 202(2-4), 335-349pp.
- Vides, M. 2008.** Adaptación costera al ascenso del nivel del mar. Santa Marta, Colombia.: 2008, 30p.
- Waylen, P., y Poveda, G. 2002.** El Niño–Southern Oscillation and aspects of western South American hydro-climatology. *Hydrological Processes*, 16(6), 1247-1260pp.
- Williams, A.T., Alverinho-Dias, J., García Novo, F., García Mora, M.R., Curr, R. and Pereira, A. 2001.** Integrated coastal dune management: checklist. *Continental Shelf Research* 21: 1937-1960pp.
- Yanes, A., Botero, C. M., Arrizabalaga, M., and Vásquez, J. G. 2019.** Methodological proposal for ecological risk assessment of the coastal zone of Antioquia, Colombia. *Ecological Engineering*, 130, 242-251pp.
- Zavala-Hidalgo, J., Buen Kalman, R., Romero-Centeno y Maguey, F. H .2011.** Tendencias del nivel del mar en las costas mexicanas. Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático (segunda edición), 249-267pp.

### 13 ANEXOS

#### Anexo 1. Especies de aves (DAGRAN, 2020).

Familia	Especie o menor nivel taxonómico identificado	Nombre común	Abundancia	Categoría UICN	Categoría amenaza nacional	Apéndice CITES	Migratoria	Endemismo	Interés cinegético	Uso	Grupo trófico
Accipitridae	<i>Buteogallus urubitinga</i>	Gavilán Caracolero	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Carnívoro
	<i>Rupornis magnirostris</i>	Gavilán	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Carnívoro
	<i>Buteogallus meridionalis</i>	Aguila Sabanera	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Carnívoro
Alcedinidae	<i>Megaceryle torquata</i>	Martín Pescador Grande	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
Anatidae	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	Pisingo	17	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Anhimidae	<i>Chauna chavaria</i>	Chavarrí	2	VU	VU	NR	No	No	No	Ninguno	Herbívoro
Ardeidae	<i>Ardea alba</i>	Garza	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
	<i>Egretta caerulea</i>	Garza azul	3	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
	<i>Butorides virescens</i>	Caga manteca	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
	<i>Butorides striata</i>	Caga manteca	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
	<i>Egretta tricolor</i>	Garza Tricolor	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
	<i>Nyctanassa violacea</i>	Guaco Manglero	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
Bucconidae	<i>Hypnelus ruficollis</i>	Bobito	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Cardinalidae	<i>Pheuticus ludovicianus</i>	Degollado	1	LC	LC	NR	Si	No	Si	Mascota	Omnívoro
	<i>Nemosia pileata</i>	Trinadora Pechiblanca	3	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Cathartidae	<i>Coragyps atratus</i>	Golero	13	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Carnívoro
	<i>Cathartes aura</i>	Laura	10	LC	LC	NR	Posiblemente	No	No	Ninguno	Carnívoro
	<i>Cathartes burrovianus</i>	Laura cabeciamarilla	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Carnívoro
Cerylidae	<i>Chloroceryle aenea</i>	Martín Pescador Enano	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
Charadriidae	<i>Vanellus chilensis</i>	Alcaraván	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Columbidae	<i>Columbina minuta</i>	Tortolita	7	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Columbina talpacoti</i>	Tórtola caminera	16	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma Coliblanca	14	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro

Familia	Especie o menor nivel taxonómico identificado	Nombre común	Abundancia	Categoría UICN	Categoría amenaza nacional	Apéndice CITES	Migratoria	Endemismo	Interés cinegético	Uso	Grupo trófico
	<i>Claravis pretiosa</i>	Tortolita Azul	5	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Cuculidae	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero Piquiestriado	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Falconidae	<i>Milvago chimachima</i>	Pigua	22	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Carnívoro
	<i>Falco rufigularis</i>	Halcón Murcielaguero	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Carnívoro
Fregatidae	<i>Fregata magnificens</i>	Tijereta	8	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
Fringilidae	<i>Euphonia laniirostris</i>	Picogordo	3	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Frugívoro
Furnariidae	<i>Synallaxis albescens</i>	Chamicero	8	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Dendroplex picus</i>	Trepatroncos	3	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Fumarius leucopus</i>	Hornero o Carga Barro	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Galbulidae	<i>Galbula ruficauda</i>	Jacamar	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Hirundinidae	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Icteridae	<i>Icterus nigrogularis</i>	Turpial	14	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Omnívoro
	<i>Quiscalus mexicanus</i>	María Mulata	60	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Icterus galbula</i>	Turpial	1	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Omnívoro
Jacanidae	<i>Jacana jacana</i>	Gallito de Ciénaga	3	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Laridae	<i>Sterna hirundo</i>	Gaviota	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
Pandionidae	<i>Pandion haliaetus</i>	Aguila pescadora	2	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Piscívoro
Parulidae	<i>Cardelina canadensis</i>	Reinita	3	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Parkesia noveboracensis</i>	Reinita acuática	3	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Setophaga castanea</i>	Reinita	3	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Setophaga petechia</i>	Reinita	10	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Protonotaria citrea</i>	Reinita	3	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Insectívoro
Pelecanidae	<i>Pelecanus occidentalis</i>	Pelícano	5	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
Phalacrocoracidae	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	Pato Cuervo	3	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Piscívoro
Picidae	<i>Melanerpes rubricapillus</i>	Carpintero	5	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Colaptes punctigula</i>	Carpintero	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro

Familia	Especie o menor nivel taxonómico identificado	Nombre común	Abundancia	Categoría UICN	Categoría amenaza nacional	Apéndice CITES	Migratoria	Endemismo	Interés cinegético	Uso	Grupo trófico
Psittacidae	<i>Brotogeris jugularis</i>	Periquito	55	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Frugívoro
	<i>Forpus conspicillatus</i>	Cascabelito	3	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Frugívoro
	<i>Eupsitula pertinax</i>	Cotorra Carisucia	23	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Frugívoro
Scolopacidae	<i>Numenius phaeophus</i>	Zarapito Trinador	1	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Piscívoro
	<i>Actitis macularius</i>	Meneaculito	4	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Piscívoro
Strigidae	<i>Megascops choliba</i>	Búho	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Carnívoro
Thamnophilidae	<i>Sakesphorus canadensis</i>	Batará	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Thraupidae	<i>Ramphocelus dimidiatus</i>	Toche	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Thraupis episcopus</i>	Azulejo	25	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Omnívoro
	<i>Thraupis palmarum</i>	Azulejo Palmero	20	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Saltator coerulescens</i>	Saltator	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Piranga rubra</i>	Piranga abejera	1	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Coereba flaveola</i>	Mielero	5	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Conirostrum bicolor</i>	Conirrostro Manglero	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Volatinia jacarina</i>	Espiguero	4	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Frugívoro
	<i>Sporophila schistacea</i>	Espiguero	2	LC	LC	NR	No	No	Si	Mascota	Frugívoro
Trochilidae	<i>Amazilia tzacalt</i>	Colibrí	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Nectarívoro
	<i>Lepidopyga goudoti</i>	Colibrí	3	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Nectarívoro
	<i>Anthracothorax nigricollis</i>	Mango Pechinegro	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Nectarívoro
Troglodytidae	<i>Troglodytes aedon</i>	Cucarachero común	11	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Campylorhynchus griseus</i>	Cucarachero chupa huevos	16	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Cantorchilus leucotis</i>	Cucarachero anteando	6	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Turdidae	<i>Turdus grayi</i>	Mirla Parda	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
	<i>Catharus ustulatus</i>	Zorzal Buchipecoso	1	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Omnívoro
Tyrannidae	<i>Elaenia flavogaster</i>	Copetón	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Machetornis rixosa</i>	Sirirí Pica buey	6	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro

Familia	Especie o menor nivel taxonómico identificado	Nombre común	Abundancia	Categoría UICN	Categoría amenaza nacional	Apéndice CITES	Migratoria	Endemismo	Interés cinegético	Uso	Grupo trófico
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Bichofué	4	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Myiozetetes cayanensis</i>	Suelda Crestinegra	5	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Sirirí	18	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Atrapamoscas Cabecinegro	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Tyrannus tyrannus</i>	Sirirí Norteño	2	LC	LC	NR	Si	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Todirostrum cinereum</i>	Espatulilla Común	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Tyrannulus elatus</i>	Tyranelo coronado	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro

**Siglas:** NR= No Registra, LC= Preocupación Menor, II=Conservación y protección del ecosistema, II=Conservación y protección del ecosistema, NT: Casi amenazado, CR:

Peligro crítico, VU: Vulnerable

**Anexo 2.** Especies de mamíferos (DAGRAN, 2020).

Familia	Especie	Nombre común	Abundancia	Categoría UICN	Categoría amenaza nacional	Apéndice CITES	Migratoria	Endemismo	Interés cinegético	Uso	Grupo trófico
Didelphidae	<i>Didelphis marsupialis</i>	Zarigüeya	10	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Sciuridae	<i>Sciurus granatensis</i>	Ardilla roja	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Bradipodidae	<i>Bradypus variegatus</i>	Perezoso de tres uñas	1	LC	LC	NR	No	No	Si	Alimento	Herbívoro
Megalonychidae	<i>Choloepus hoffmanni</i>	Perezoso de dos uñas	2	LC	LC	NR	No	No	Si	Alimento	Herbívoro
Cricetidae	<i>Rhipidomys sp.</i>	Ratón Arborícola	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Leporidae	<i>Sylvilagus brasiliensis</i>	Liebre	1	LC	LC	NR	No	No	Si	Alimento	Herbívoro

**Siglas:** NR= No Registra, LC= Preocupación Menor, II=Conservación y protección del ecosistema, II=Conservación y protección del ecosistema, NT: Casi amenazado, CR: Peligro crítico, VU: Vulnerable.

### Anexo 3. Especies de Anfibios (DAGRAN, 2020).

Familia	Especie	Nombre común	Abundancia	Categoría UICN	Categoría amenaza nacional	Apéndice CITES	Migratoria	Endemismo	Interés cinegético	Uso	Grupo trófico
Bufo	<i>Rhinella marina</i>	Sapo común	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Hylidae	<i>Scarthyla vigilans</i>	Rana vigilante	15	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Hypsiboas pugnax</i>	Rana	9	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Leptodactylidae	<i>Leptodactylus sp.</i>	Rana	10	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro

**Siglas:** NR= No Registra, LC= Preocupación Menor, II=Conservación y protección del ecosistema, I=Conservación y protección del ecosistema, NT: Casi amenazado, CR: Peligro crítico, VU: Vulnerable.

### Anexo 4. Especies de reptiles (DAGRAN, 2020).

Familia	Especie	Nombre común	Abundancia	Categoría UICN	Categoría amenaza nacional	Apéndice CITES	Migratoria	Endemismo	Interés cinegético	Uso	Grupo trófico
Corytophaginae	<i>Basiliscus basiliscus</i>	Saltarroyo	1	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Omnívoro
Gekkonidae	<i>Hemidactylus frenatus</i>	Gekko	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
	<i>Gonatodes albogularis</i>	Gekko Cabeciamarillo	2	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro
Iguanidae	<i>Iguana iguana</i>	Iguana	3	LC	LC	II	No	No	No	Ninguno	Herbívoro
Teiidae	<i>Cnemidophorus lemniscatus</i>	Lobito	3	LC	LC	NR	No	No	No	Ninguno	Insectívoro

**Siglas:** NR= No Registra, LC= Preocupación Menor, II=Conservación y protección del ecosistema, I=Conservación y protección del ecosistema, NT: Casi amenazado, CR: Peligro crítico, VU: Vulnerable.

**Anexo 5.** Resultados de las variables geomorfología, pendiente, tasa de cambio en la línea de costa, rango mareal y cálculo del Índice de Vulnerabilidad costera (IVC) en Volcán de Iodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas.

Sitios	Área	a) Geomorfología	b) Pendiente	c) Tasa de cambio en la línea de costa	d) Altura Significante del oleaje	e) Ascenso del nivel del mar	f) Rango mareal	IVC	Clasificación IVC
<b>VOLCAN DE LODO</b>	1	3	5	5	2	5	5	25,00	Muy alta
	2	3	5	5	2	5	5	25,00	Muy alta
	3	4	5	5	2	5	5	28,87	Muy alta
	4	4	1	5	2	5	5	12,91	Alta
	5	4	1	5	2	5	5	12,91	Alta
	6	3	5	5	2	5	5	25,00	Muy alta
	7	3	5	5	2	5	5	25,00	Muy alta
	8	3	2	5	2	5	5	15,81	Muy alta
	9	4	2	5	2	5	5	18,26	Muy alta
	10	4	2	4	2	5	5	16,33	Muy alta
	11	3	1	4	2	5	5	10,00	Alta
	12	3	1	4	2	5	5	10,00	Alta
	13	3	1	4	2	5	5	10,00	Alta
<b>RIO HOBO</b>	1	3	1	5	2	5	5	11,18	Alta
	2	3	1	5	2	5	5	11,18	Alta
	3	3	2	5	2	5	5	15,81	Muy alta
	4	3	1	5	2	5	5	11,18	Alta
	5	4	5	5	2	5	5	28,87	Muy alta
	6	4	5	4	2	5	5	25,82	Muy alta
	7	4	5	5	2	5	5	28,87	Muy alta
	8	3	3	5	2	5	5	19,36	Muy alta
	9	3	3	4	2	5	5	17,32	Muy alta
	10	3	3	5	2	5	5	19,36	Muy alta
	11	3	3	5	2	5	5	19,36	Muy alta
<b>ZAPATA</b>	1	4	1	3	1	5	5	7,07	Media
	2	4	1	3	1	5	5	7,07	Media
	3	4	5	3	1	5	5	15,81	Muy alta
	4	3	1	4	1	5	5	7,07	Media
	5	3	1	4	1	5	5	7,07	Media
	6	3	1	4	1	5	5	7,07	Media
	7	3	1	4	1	5	5	7,07	Media
	8	3	1	4	1	5	5	7,07	Media
	9	3	1	5	1	5	5	7,91	Media
	10	3	1	5	1	5	5	7,91	Media
	11	3	1	5	1	5	5	7,91	Media
	12	3	1	5	1	5	5	7,91	Media

Sitios	Área	a) Geomorfología	b) Pendiente	c) Tasa de cambio en la línea de costa	d) Altura Significante del oleaje	e) Ascenso del nivel del mar	f) Rango mareal	IVC	Clasificación IVC
<b>PUNTA LAS VACAS</b>	1	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	2	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	3	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	4	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	5	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	6	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	7	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	8	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	9	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	10	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	11	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	12	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	13	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	14	4	3	3	1	4	5	10,95	Media
	15	4	4	2	1	4	5	10,33	Baja
	16	4	4	2	1	4	5	10,33	Baja
	17	4	4	3	1	4	5	12,65	Media
	18	4	4	3	1	4	5	12,65	Media
	19	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	20	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	21	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	22	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	23	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	24	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	25	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	26	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	27	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	28	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	29	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	30	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	31	4	4	5	1	4	5	16,33	Alta
	32	4	4	3	1	4	5	12,65	Media
	33	4	4	3	1	4	5	12,65	Media
	34	4	4	3	1	4	5	12,65	Media
	35	4	4	3	1	4	5	12,65	Media
	36	4	4	2	1	4	5	10,33	Media
	37	4	4	2	1	4	5	10,33	Media
	38	4	4	2	1	4	5	10,33	Media

**Anexo 6.** Resultados de las variables cobertura de ecosistemas, nivel de intervención de los ecosistemas, diversidad biológica y cálculo del Índice de Vulnerabilidad Ecológica (IVE) en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas.

Sitios	Área	g) Cobertura de ecosistemas	h) Nivel de intervención de los ecosistemas	i) Diversidad biológica	IVE	Clasificación IVE
<b>VOLCAN DE LODO</b>	1	5	5	5	6,45	Muy alta
	2	3	1	3	1,73	Baja
	3	3	1	3	1,73	Baja
	4	3	1	3	1,73	Baja
	5	3	1	3	1,73	Baja
	6	1	5	3	2,24	Media
	7	1	5	3	2,24	Media
	8	5	5	5	6,45	Muy alta
	9	3	1	3	1,73	Baja
	10	3	1	3	1,73	Baja
	11	3	1	3	1,73	Baja
	12	5	1	5	2,89	Media
	13	3	1	3	1,73	Baja
<b>RIO HOBO</b>	1	3	1	3	1,73	Baja
	2	3	1	3	1,73	Baja
	3	3	1	3	1,73	Baja
	4	5	1	3	2,24	Media
	5	5	1	5	2,89	Media
	6	5	1	5	2,89	Media
	7	5	5	5	6,45	Muy alta
	8	3	5	3	3,87	Alta
	9	3	5	3	3,87	Alta
	10	3	5	3	3,87	Alta
	11	3	5	3	3,87	Alta
<b>ZAPATA</b>	1	5	1	5	2,89	Media
	2	5	1	5	2,89	Media
	3	5	1	5	2,89	Media
	4	1	1	1	0,58	Baja
	5	1	1	1	0,58	Baja
	6	1	1	1	0,58	Baja
	7	1	1	1	0,58	Baja
	8	3	1	3	1,73	Baja
	9	3	1	3	1,73	Baja
	10	3	1	3	1,73	Baja
	11	3	1	3	1,73	Baja
	12	3	1	3	1,73	Baja
<b>PUNTA LAS VACAS</b>	1	1	1	1	1,00	Baja
	2	1	1	1	1,00	Baja
	3	1	1	1	1,00	Baja
	4	1	1	1	1,00	Baja

Sitios	Área	g) Cobertura de ecosistemas	h) Nivel de intervención de los ecosistemas	i) Diversidad biológica	IVE	Clasificación IVE
	5	1	1	1	1,00	Baja
	6	1	1	1	1,00	Baja
	7	1	1	1	1,00	Baja
	8	3	1	3	1,73	Baja
	9	3	1	3	1,73	Baja
	10	3	1	3	1,73	Baja
	11	5	1	5	2,24	Media
	12	5	1	5	2,24	Media
	13	5	1	5	2,24	Media
	14	5	1	5	2,24	Media
	15	5	1	5	2,24	Media
	16	5	1	5	2,24	Media
	17	5	1	5	2,24	Media
	18	5	1	5	2,24	Media
	19	5	1	5	2,24	Media
	20	5	1	5	2,24	Media
	21	5	1	5	2,24	Media
	22	5	1	5	2,24	Media
	23	5	1	5	2,24	Media
	24	5	1	5	2,24	Media
	25	5	1	5	2,24	Media
	26	5	1	5	2,24	Media
	27	5	1	5	2,24	Media
	28	5	1	5	2,24	Media
	29	5	1	5	2,24	Media
	30	5	1	5	2,24	Media
	31	5	1	5	2,24	Media
	32	5	1	5	2,24	Media
	33	5	1	5	2,24	Media
	34	5	1	5	2,24	Media
	35	5	1	5	2,24	Media
	36	5	1	5	2,24	Media
	37	5	1	5	2,24	Media
	38	5	1	5	2,24	Media

**Anexo 7.** Resultados de las variables uso del suelo, índice k, población, turismo, patrimonio y cálculo del Índice de Vulnerabilidad socioeconómica (IVSe) en Volcán de lodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas.

Sitios	Área	j) Uso del suelo	k) índice K	l) Población	m) Turismo	n) Patrimonio	IVSe	Clasificación IVSe
<b>VOLCAN DE LODO</b>	1	5	1	1	5	1	2,24	Alta
	2	5	1	1	5	1	2,24	Alta
	3	2	1	1	5	1	1,41	Alta
	4	2	4	1	5	1	2,83	Muy alta
	5	5	4	1	5	1	4,47	Muy alta
	6	5	5	1	5	1	5,00	Muy alta
	7	1	1	1	5	5	2,24	Alta
	8	1	5	1	5	1	2,24	Alta
	9	3	1	1	5	1	1,73	Alta
	10	5	1	1	5	1	2,24	Alta
	11	5	1	1	5	1	2,24	Alta
	12	5	1	1	5	1	2,24	Alta
	13	5	1	1	5	1	2,24	Alta
<b>RIO HOBO</b>	1	2	1	1	3	1	1,10	Media
	2	2	3	1	3	1	1,90	Alta
	3	2	1	1	3	5	2,45	Muy alta
	4	5	1	1	3	1	1,73	Alta
	5	5	1	1	3	1	1,73	Alta
	6	3	1	1	3	1	1,34	Alta
	7	3	1	1	3	1	1,34	Alta
	8	3	1	1	3	1	1,34	Alta
	9	3	1	1	3	1	1,34	Alta
	10	3	1	1	3	1	1,34	Alta
	11	2	1	1	3	1	1,10	Media
<b>ZAPATA</b>	1	3	1	1	3	1	1,34	Alta
	2	3	1	1	3	1	1,34	Alta
	3	5	3	2	3	1	4,24	Muy alta
	4	5	5	2	3	1	5,48	Muy alta
	5	5	5	3	3	1	6,71	Muy alta
	6	5	5	3	3	1	6,71	Muy alta
	7	4	5	1	3	1	3,46	Muy alta
	8	4	3	1	3	1	2,68	Muy alta
	9	5	3	1	3	1	3,00	Muy alta
	10	1	1	1	3	1	0,77	Baja
	11	2	1	1	3	1	1,10	Media
	12	2	1	1	3	1	1,10	Media
<b>PUNTA LAS VACAS</b>	1	5	5	1	1	1	2,24	Alta
	2	5	5	1	1	1	2,24	Alta
	3	5	5	1	1	1	2,24	Alta

Sitios	Área	j) Uso del suelo	k) índice K	l) Población	m) Turismo	n) Patrimonio	IVSe	Clasificación IVSe
	4	5	5	1	1	1	2,24	Alta
	5	5	5	5	1	1	5,00	Alta
	6	5	1	1	5	1	2,24	Media
	7	1	1	1	1	1	0,45	Baja
	8	1	1	1	1	1	0,45	Baja
	9	5	1	1	1	1	1,00	Media
	10	5	1	1	1	1	1,00	Media
	11	5	1	1	1	1	1,00	Media
	12	5	1	1	1	1	1,00	Media
	13	5	1	1	1	1	1,00	Media
	14	5	1	1	1	1	1,00	Media
	15	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	16	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	17	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	18	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	19	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	20	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	21	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	22	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	23	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	24	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	25	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	26	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	27	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	28	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	29	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	30	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	31	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	32	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	33	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	34	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	35	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	36	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	37	3	1	1	1	1	0,77	Baja
	38	3	1	1	1	1	0,77	Baja

**Anexo 8.** Resultados de los índices IVC, IVE, IVSe y cálculo del Índice de Vulnerabilidad Costera Integrado (IVCI) en Volcán de Iodo, Río Hobo, Zapata y Punta Las Vacas.

Área	IVC	Clasificación IVC	IVE	Clasificación IVE	IVSe	Clasificación IVSe	IVCI	Clasificación IVCI
1	25,00	Muy alta	6,45	Muy alta	2,24	Alta	914,91	Muy alta
2	25,00	Muy alta	1,73	Baja	2,24	Alta	245,50	Muy alta
3	28,87	Muy alta	1,73	Baja	1,41	Alta	179,28	Muy alta
4	12,91	Alta	1,73	Baja	2,83	Muy alta	160,36	Muy alta
5	12,91	Alta	1,73	Baja	4,47	Muy alta	253,55	Muy alta
6	25,00	Muy alta	2,24	Media	5,00	Muy alta	708,68	Muy alta
7	25,00	Muy alta	2,24	Media	2,24	Alta	316,93	Muy alta
8	15,81	Muy alta	6,45	Muy alta	2,24	Alta	578,64	Muy alta
9	18,26	Muy alta	1,73	Baja	1,73	Alta	138,87	Muy alta
10	16,33	Muy alta	1,73	Baja	2,24	Alta	160,36	Muy alta
11	10,00	Alta	1,73	Baja	2,24	Alta	98,20	Alta
12	10,00	Alta	2,89	Media	2,24	Alta	163,66	Muy Alta
13	10,00	Alta	1,73	Baja	2,24	Alta	98,20	Alta
1	11,18	Alta	1,73	Baja	1,10	Media	53,79	Baja
2	11,18	Alta	1,73	Baja	1,90	Alta	93,16	Alta
3	15,81	Muy alta	1,73	Baja	2,45	Muy alta	170,08	Muy alta
4	11,18	Alta	2,24	Media	1,73	Alta	109,79	Alta
5	28,87	Muy alta	2,89	Media	1,73	Alta	365,96	Muy alta
6	25,82	Muy alta	2,89	Media	1,34	Alta	253,55	Muy alta
7	28,87	Muy alta	6,45	Muy alta	1,34	Alta	633,87	Muy alta
8	19,36	Muy alta	3,87	Alta	1,34	Alta	255,13	Muy alta
9	17,32	Muy alta	3,87	Alta	1,34	Alta	228,19	Muy alta
10	19,36	Muy alta	3,87	Alta	1,34	Alta	255,13	Muy alta
11	19,36	Muy alta	3,87	Alta	1,10	Media	208,31	Muy alta
1	7,07	Media	2,89	Media	1,34	Alta	69,44	Media
2	7,07	Media	2,89	Media	1,34	Alta	69,44	Media
3	15,81	Muy alta	2,89	Media	4,24	Muy alta	490,99	Muy alta
4	7,07	Media	0,58	Baja	5,48	Muy alta	56,69	Baja
5	7,07	Media	0,58	Baja	6,71	Muy alta	69,44	Media
6	7,07	Media	0,58	Baja	6,71	Muy alta	69,44	Media
7	7,07	Media	0,58	Baja	3,46	Muy alta	35,86	Baja
8	7,07	Media	1,73	Baja	2,68	Muy alta	83,32	Media
9	7,91	Media	1,73	Baja	3,00	Muy alta	104,15	Alta
10	7,91	Media	1,73	Baja	0,77	Baja	26,89	Baja
11	7,91	Media	1,73	Baja	1,10	Media	38,03	Baja
12	7,91	Media	1,73	Baja	1,10	Media	38,03	Baja
1	10,95	Media	1,00	Baja	2,24	Alta	35,86	Baja
2	10,95	Media	1,00	Baja	2,24	Alta	35,86	Baja
3	10,95	Media	1,00	Baja	2,24	Alta	35,86	Baja
4	10,95	Media	1,00	Baja	2,24	Alta	35,86	Baja

5	10,95	Media	1,00	Baja	5,00	Alta	80,18	Baja
6	10,95	Media	1,00	Baja	2,24	Media	35,86	Baja
7	10,95	Media	1,00	Baja	0,45	Baja	7,17	Baja
8	10,95	Media	1,73	Baja	0,45	Baja	21,51	Baja
9	10,95	Media	1,73	Baja	1,00	Media	48,11	Media
10	10,95	Media	1,73	Baja	1,00	Media	48,11	Media
11	10,95	Media	2,24	Media	1,00	Media	80,18	Media
12	10,95	Media	2,24	Media	1,00	Media	80,18	Media
13	10,95	Media	2,24	Media	1,00	Media	80,18	Media
14	10,95	Media	2,24	Media	1,00	Media	80,18	Media
15	10,33	Baja	2,24	Media	0,77	Baja	58,55	Baja
16	10,33	Baja	2,24	Media	0,77	Baja	58,55	Baja
17	12,65	Media	2,24	Media	0,77	Baja	71,71	Media
18	12,65	Media	2,24	Media	0,77	Baja	71,71	Media
19	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
20	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
21	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
22	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
23	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
24	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
25	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
26	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
27	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
28	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
29	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
30	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
31	16,33	Alta	2,24	Media	0,77	Baja	92,58	Alta
32	12,65	Media	2,24	Media	0,77	Baja	71,71	Media
33	12,65	Media	2,24	Media	0,77	Baja	71,71	Media
34	12,65	Media	2,24	Media	0,77	Baja	71,71	Media
35	12,65	Media	2,24	Media	0,77	Baja	71,71	Media
36	10,33	Media	2,24	Media	0,77	Baja	58,55	Baja
37	10,33	Media	2,24	Media	0,77	Baja	58,55	Baja
38	10,33	Media	2,24	Media	0,77	Baja	58,55	Baja