



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**VARIACIÓN DEL USO DEL SUELO Y SUS CAMBIOS,
ASOCIADO A LA EROSIÓN DE LA COSTA ANTIOQUEÑA
(URABÁ, CARIBE COLOMBIANO)**

Autor

Karen Lorena Llorente Quiñones

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Turbo, Colombia

2019



Variación del Uso del Suelo y sus Cambios, Asociado a la Erosión de la Costa Antioqueña
(Urabá, Caribe Colombiano)

Karen Lorena Llorente Quiñones

Informe de trabajo de grado presentado
como requisito para optar el título de:
Ingeniera Oceanográfica

Asesores

Alfredo Jaramillo Vélez

Ing. Ambiental, Msc Ciencias del Mar

Néstor M. Ramos Santana

Lic. Geografía, Epc. En Sistemas De Información Geográfica

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Turbo, Colombia

2019

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro a Dios y mi familia, principalmente a Miguel Hernán Llorente García y Candelaria Quiñones Escobar, mi ejemplo a seguir, mis héroes, mi mayor orgullo. Esta es mi forma de ser grata con ustedes, papá, tú siempre dices que solo logramos lo que queremos cuando no los proponemos y que nunca hay que pensar que no se puede, aquí estoy, sí pude papi, y si pude por ustedes, porque lo merecen todo.



AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios, quien me guio por este camino y me dio la sabiduría para cada reto que atraía estudiar esta carrera.

A mi familia, en especial a mis padres, quienes siempre me han apoyado y dado las fuerzas para seguir adelante, mi razón de ser y mi orgullo.

A mi hermano Miguel Hernán Llorente, porque desde que viste esos resultados dejaste tu confianza totalmente en mí sin nunca dudar que lo lograría ni dejaste de apoyarme en todo lo que necesitara, aunque eso implicara para ti más trabajo y días sin descanso.

A mis profesores por brindarme los mejores conocimientos, por enseñarme que no solo es aprender, sino que también hay que comprender para poder ser y hacer, por mostrarme lo bonito de esta carrera hasta el punto de convertirla en una pasión, mi pasión.

A mis asesores, Alfredo Jaramillo Vélez y Néstor Ramos Santana por confiar en mi para hacer este trabajo y sacar espacios para dedicármelos, sus conocimientos fueron de gran aporte desde las aulas de clases hasta las asesorías.

A mis compañeros y futuros colegas, en especial a Jairo Andrés Rojas Vargas, ese que me regañaba y se enojaba en el primer semestre conmigo cuando no quería estudiar tanto, en verdad que estoy totalmente agradecida por cada momento, valió la pena cada esfuerzo y enseñanza.

Al profesor Fernando Parra, quien sin conocerme un día no dudó en compartirme sus conocimientos y archivos para poder realizar este trabajo.

Al proyecto “Investigación para la reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia”, llevado a cabo por Gobernación de Antioquia y la Universidad de Antioquia por darme la oportunidad de trabajar y además utilizar datos aquí recolectados para este trabajo de grados.

CONTENIDO

1. Introducción	14
2. Objetivos	16
2.1. General	16
2.2. Específicos	16
3. Marco Teórico.....	16
3.1. Zona de estudio	16
Volcán de Lodo-Arboletes	18
Río Hobo-Arboletes	19
Uveros-San Juan de Urabá.....	20
Damaquiel-San Juan de Urabá.....	20
Zapata-Necoclí.....	21
Punta Las Vacas-Turbo.....	22
3.2. Erosión costera	23
3.3. Uso del suelo	24
3.4. Fotointerpretación aplicada al estudio del uso del suelo.....	25
4. Metodología	26
4.1. Geofrenciación de imágenes aéreas (Ortofotos)	28
Volcán de Lodo-Arboletes	29
Río Hobo-Arboletes	30
Uveros-San Juan de Urabá.....	30
Damaquiel-San Juan de Urabá.....	31
Zapata-Necoclí.....	32
4.2. Variación de línea de costa con ortofotos	32
4.3. Variación de línea de costa y uso de suelo con imágenes Landsat	36
4.5. Cálculo tasa de cambios con DSAS v5.0.....	37
4.6. Mapa georreferenciado de comparación y análisis por zona	43
4.7. Análisis de errores de trazado de línea de costa por mareas.....	44
4.8. Análisis cualitativo de campo con habitantes de los lugares de estudio.....	46
5. Resultados y análisis	47
5.1. Uso de suelo y sus cambios a través del tiempo.	48
Volcán de Lodo-Arboletes	48
Río Hobo-Arboletes	51
Uveros-San Jun de Urabá.....	54
Damaquiel-San Juan de Urabá.....	57
Zapata-Necoclí.....	59
Punta Las Vacas-Turbo.....	62
5.2. Tasas de cambios en la Línea de Costa Rango de Regresión Lineal (LRR).....	64
Volcán de Lodo-Arboletes	65
Río Hobo-Arboletes	66
Uveros-San Juan de Urabá.....	67
Damaquiel-San Juna de Urabá.....	68
Zapata-Necoclí.....	69
Punta Las Vacas-Turbo.....	70
5.3. Evaluación de relación entre uso del suelo y la erosión costera	71
Volcán de Lodo-Arboletes	71

Río Hobo-Arboletes	72
Uveros-San Juan de Urabá.....	74
Damaquiel-San Juan de Urabá.....	75
Zapata-Necoclí.....	77
Punta Las Vacas-Turbo.....	78
5.4. Errores por marea.....	79
6. Conclusiones y recomendaciones	80
Volcán de Lodo-Arboletes	80
Río Hobo-Arboletes	80
Uveros-San Juan de Urabá.....	81
Damaquiel-San Juan de Urabá.....	81
Zapata-Necoclí.....	81
Punta Las Vacas-Turbo.....	82
7. Discusión.....	83
8. Referencias Bibliográficas	85



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa área de estudio Arboletes-Turbo, los puntos corresponden a los sitios de interés abarcados en esta investigación	17
Figura 2. Volcán de Lodo- Arboletes	18
Figura 3. Río Hobo-Arboletes.....	19
Figura 4. Uveros-San Juan de Urabá	20
Figura 5. Damaquiel- San Juan de Urabá	21
Figura 6. Zapata- Necoclí	22
Figura 7. Punta Las Vacas-Turbo	23
Figura 8. Georreferenciación de imágenes con Herramienta Georeferencing ArcMap 10.5	29
Figura 9. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Volcán de Lodo-Arboletes.	29
Figura 10. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Río Hobo-Arboletes.....	30
Figura 11. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Uveros-San Juan de Urabá.	31
Figura 12. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Damaquiel-San Juan de Urabá.	31
Figura 13. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Zapata-Necoclí	32
Figura 14. Digitalización de Línea de Costa con banda 5 en ArcMap 10.5	37
Figura 15. Creación de Geodatabase personal en Catalog-ArcMap 10.5	38
Figura 16. Línea base creada para Río Hobo	40
Figura 17. Parámetros establecidos en DSAS y la pestaña de configuración de los transectos. ..	40
Figura 18. Parámetros establecidos en DSAS y la pestaña de configuración de la baseline.	41
Figura 19. Ejemplo de distancias calculadas por el DSAS	41
Figura 20. Herramienta <i>Intersect ArcGIS 10.5</i>	43
Figura 21. Delimitación por zonas.....	44
Figura 22. . Esquema del máximo error horizontal causado por la toma de fotografías en momentos de marea diferentes. HTL: High Tide Level; LTL: Low Tide Level; RM: Rango de Marea; α : pendiente de la playa.....	46
Figura 23. Mapa Uso de Suelos (1996) Volcán de Lodo-Arboletes.....	48
Figura 24. Mapa Uso de Suelos (2009) Volcán de Lodo-Arboletes.....	49
Figura 25. Mapa Uso de Suelos (2018) Volcán de Lodo-Arboletes.....	50
Figura 26. Mapa Uso de Suelos (1996) Río Hobo-Arboletes.....	52
Figura 27. Mapa Uso de Suelos (2009) Río Hobo-Arboletes.....	52
Figura 28. Mapa Uso de Suelos (2018) Río Hobo-Arboletes.....	53
Figura 29. Mapa Uso de Suelos (2009) Uveros- San Juan de Urabá.....	55
Figura 30. Mapa Uso de Suelos (2009) Uveros-San Juan de Urabá.....	56
Figura 31. Mapa Uso de Suelos (2018) Uveros-San Juan de Urabá.....	56
Figura 32. Mapa Uso de Suelos (1996) Damaquiel-San Juande Urabá.....	57
Figura 33. Mapa Uso de Suelos (2009) Damaquiel-San Juan de Urabá.....	58
Figura 34. Mapa Uso de Suelos (2018) Damaquiel-San Juan de Urabá.....	59
Figura 35. Mapa Uso de Suelos (1996) Zapata-Necoclí.....	60
Figura 36. Mapa Uso de Suelos (2009) Zapata-Necoclí.....	61
Figura 37. Mapa Uso de Suelos (2018) Zapata-Necoclí.....	62
Figura 38. Mapa Uso de Suelos (1996) Punta Las Vacas-Turbo.....	63
Figura 39. Mapa Uso de suelos (2009) Punta Las Vacas-Turbo	63
Figura 40. Mapa Uso de Suelos (2018) Punta Las Vacas-Turbo.....	64
Figura 41. Mapa LRR Volcán de Lodo-Arboletes.....	65
Figura 42. Mapa LRR Río Hobo-Arboletes.....	66

Figura 43. Mapa LRR Uveros-San Juan de Urabá	67
Figura 44. Mapa LRR Damaquiel-San Juan de Urabá	68
Figura 45. Mapa LRR Zapata-Necoclí.....	69
Figura 46. Mapa LRR Punta Las Vacas-Turbo	70
Figura 47. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Volcán de Lodo-Arboletes	72
Figura 48. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Río Hobo-Arboletes	73
Figura 49. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Uveros-San Juan de Urabá	75
Figura 50. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Damaquiel-San Juan de Urabá.....	76
Figura 51. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Zapata-Necoclí	77
Figura 52. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Punta Las Vacas-Turbo .	79



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de imágenes utilizadas.....	27
Tabla 2. Criterios de digitalización línea de costa.....	33
Tabla 3. Criterios de digitalización Uso del Suelo.....	35
Tabla 4. Combinación bandas para imágenes Landsat.....	36
Tabla 5. Requerimientos de la línea de costa.....	39
Tabla 6. Máximo error horizontal por marea.....	79
Tabla 7. Análisis de erosión frente a cambios en el uso del suelo.....	82
Tabla 8. Análisis de erosión frente a usos de suelo.....	83



LISTA DE ACRÓNIMOS

SIG: Sistema de Información Geográfica

DGPS: Differential Global Positioning System

LC: Línea de Costa

DSAS: Digital Shoreline Analysis System

NSM: Net Shoreline Movement

LRR: Linear Regression Rate

HTL: High Tide Level

LTL: Low Tide Level

RM: Rango de Marea

MEH: Máximo Error Horizontal



VARIACIÓN DEL USO DEL SUELO Y SUS CAMBIOS, ASOCIADO A LA EROSIÓN DE LA COSTA ANTIOQUEÑA (URABÁ, CARIBE COLOMBIANO)

Resumen

En Colombia, los departamentos costeros e insulares albergan cerca del 7,8% de la población total del país según el DANE, el cual lleva a que se dé una explotación del suelo en dichas zonas con fines económicos como cultivos, ganadería, construcción de cabañas, entre otros. El determinar los cambios de uso del suelo permite identificar y cuantificar el grado de intervención o conservación en las zonas de interés, de esta forma, puede ser una herramienta útil para diagnosticar las causas de la erosión costera a escala local en un territorio.

Este trabajo se hizo con el fin de determinar la influencia que tiene los cambios de uso del suelo en los procesos de erosión y acreción que se evidencian en el litoral antioqueño, tomando seis zonas como muestras en los diferentes municipios que la conforman de norte a sur (Volcán de Lodo y Río Hobo en Arboletes, Damaquiel y Uveros en San Juan de Urabá, Zapata en Necoclí y Punta Las Vacas en Turbo). Para esto se llevó a cabo un proceso de fotointerpretación en imágenes de los años 1996, 2009 y 2018. Además, se hicieron visitas a campo y entrevistas con los habitantes para verificar la información de la fotointerpretación. A través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), se crearon mapas multi-temporales identificando el retroceso de línea de costa, pérdida de área costera y los diferentes cambios de uso del suelo, encontrando que, el uso del suelo continuo como ganadería, agrícola, turístico y residencial, aumenta la predisposición ante el proceso de erosión, presentándose a mayor escala hacia el norte del departamento donde se encuentran terrazas marinas emergidas formadas por deposición con aspectos de acantilados que pueden alcanzar alturas de 15 m o más sobre el nivel del mar, y mayor actividad diapírica. De igual forma, otra de las geoformas más afectadas son las espigas litorales del holoceno, en donde los

cambios de uso del suelo no son significativos, como se observó particularmente en Punta Las Vacas.

Palabras claves: Erosión, acreción, zona costera, uso de suelo, línea de costa.

Keywords: Erosion, accretion, coastal zone, land uses, shoreline.



1. Introducción

La erosión costera es un proceso que hace décadas se ha venido evidenciando en todas las costas del mundo por diferentes razones como, el aumento en el nivel del mar, variaciones climáticas, movimientos tectónicos y entre otros posibles factores, trayendo consigo la inmersión de espacios continentales que pasan a ser lecho marino (Lorduy, R. & Correa, I. D., 2007). Antioquia es un departamento de Colombia que cuenta con una zona costera ubicada en el Urabá (abarcando los municipios Turbo, Necoclí, San Juan de Urabá y Arboletes), dentro del golfo de la misma zona, donde ocurrieron retrocesos de línea de costa del orden de 50-100 m en varios sectores, alcanzado tasas de erosión máxima de hasta 40 m/año (Correa, I. D. & Vernetto, G., 2004), el cual ha llevado a pérdidas de viviendas, terrenos productivos y áreas turísticas.

En Colombia, en los departamentos costeros e insulares se alberga cerca del 8,5 % de la población total del país según el DANE (2010), lo que lleva a que se dé una explotación del suelo en dichas zonas con fines económicos como la siembra o cultivo, la ganadería, construcción de cabañas, lugares para el turismo, viviendas y carreteras (Gobernación de Antioquia, 2013), de manera que se hace importante detenerse a estudiar qué está pasando con estas zonas, como lo hacen entidades territoriales de orden nacional, departamental y municipal, autoridades ambientales creadas por el Sistema Nacional Ambiental (SINA), que en compañía de institutos de investigación dan cumplimiento a algunos de los alcances de La Política Nacional Ambiental para el Desarrollo Sostenible de los Espacios Oceánicos y las Zonas Costeras e Insulares de Colombia (PNAOCI) (CONPES, 2002).

Determinar el uso del suelo permite identificar y cuantificar el grado de intervención en las zonas de interés y su estado de conservación, dejando establecer y conocer problemas ambientales que pueden llevar a la creación de estrategias para su restauración (Ángel, S. et al., 2001). Se pretende

evaluar el uso del suelo a través de imágenes aéreas con intervalos de tiempos y observaciones en campo para determinar la relación entre el cambio del uso del suelo y el aumento o disminución de la erosión en el terreno, basándose en la variación de la línea de costa en los años 2018, 2009 y 1996 y aprovechamiento del terreno costero de los mismos.

Muchos autores tanto a nivel nacional, como internacional evalúan la erosión desde diferentes aspectos (geológicos, climáticos, oceánicos) y metodologías (fotografías, evaluaciones en campo, entre otros) como en sus trabajos Nelson Rangel y Blanca Posada (2005, 2011), Andrea Arroyave, Juan Felipe Blanco y Alexander Taborda (2012, 2013, 2016), Roberto Lorduy (2007, 2008). Y en todas ellas se hace necesario observar y tener en cuenta los usos del suelo y de los recursos costeros, por ejemplo Laura Posada realizaron en las desembocaduras de los ríos Acandí y Turbo en el golfo de Urabá evaluando la cobertura, el uso del suelo y cambios en línea de costa a través de fotografías y salidas de campo, obteniendo como resultado que existe un vínculo entre los eventos que han condicionado el proceso de ocupación en las cuencas, la producción de sedimentos y parcialmente la dinámica costera (Posada, L., 2011).

Por otro lado, Correa I. D. y Vernet G. (2004), realizaron estudios sobre la erosión costera en los 146 km de línea de costa entre Turbo y Arboletes con visitas, evaluaciones de construcciones para la protección costera y revisiones fotográficas encontrando retrocesos en la línea de costa en varios sectores Uveros, Damaquiel, Zapata, Turbo, unos de hasta 1,6 km como Punta Rey-Arboletes, sumando así pérdidas de $4,5 \text{ km}^2$ y afirman que las construcciones de espolones no han recuperado arenas y más bien han generado nuevos problemas.

Ahora bien, en el ámbito internacional destaco el trabajo hecho por Luis Hernández (2002), quien analizó la evolución del sistema de dunas (Maspalomas, Gran Canaria) desde el 1960 al 2000, demostrando su hipótesis de que se debía al cambio que se ha venido dando en el uso del suelo

alrededor del turismo que se da en la actualidad a las playas, basándose en imágenes aéreas de años anteriores y además los testimonios de quienes ahí habitan.

2. Objetivos

2.1. General

Determinar la influencia del cambio del uso del suelo en los procesos de erosión y acreción de la costa antioqueña (Volcán de Lodo y Río Hobo en Arboletes, Damaquiel y Uveros en San Juan de Urabá, Zapata en Necoclí y Punta las Vacas en Turbo), Urabá, Colombia.

2.2. Específicos

1. Categorizar y caracterizar los sectores de estudio según los usos del suelo que han tenido en las últimas 2 décadas.
2. Realizar mapas multi-temporales de línea de costa en los sectores de estudio para observar cambios de acreción y/o erosión.
3. Comparar los cambios en el uso del suelo en el litoral y la variación de la línea de costa.
4. Identificar características geológicas, estructurales y topográficas que se puedan asociar a la variación de la línea de costa.

3. Marco Teórico

3.1. Zona de estudio

Los lugares estudiados están ubicados en la costa antioqueña (Figura 1), la cual está conformada por los municipios (de norte a sur) Arboletes, San Juan de Urabá, Necoclí y Turbo, y hacen parte de la región de Urabá cuyas cabeceras corresponden a los centros urbanos costeros más importantes de Antioquia en el golfo, donde las principales actividades económicas son los cultivos de banano, plátano y la ganadería (García, C., 2007).

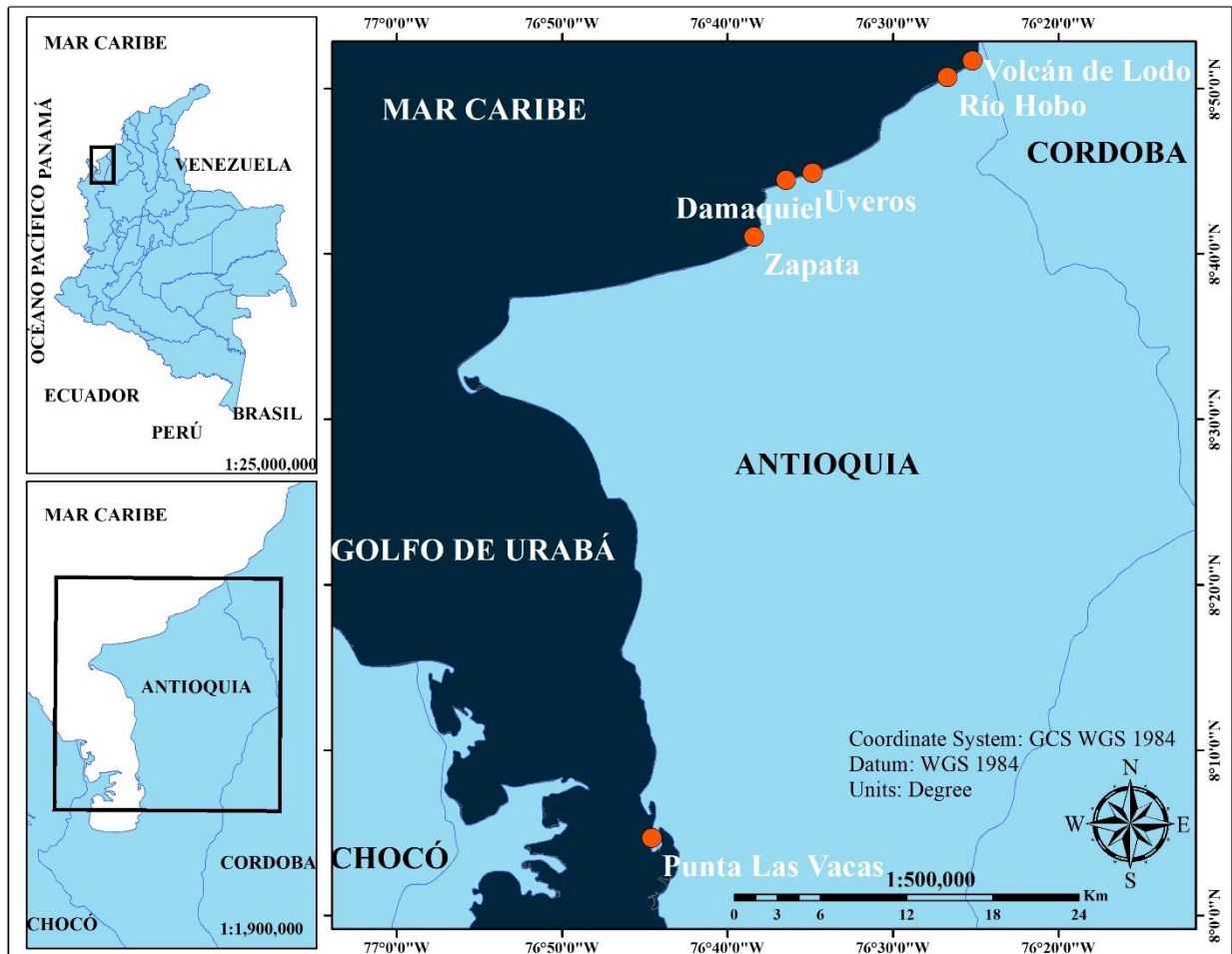


Figura 1. Mapa área de estudio Arboletes-Turbo, los puntos corresponden a los sitios de interés abarcados en esta investigación

Esta área se encuentra regida por condiciones climáticas del mar que la contiene (mar Caribe), el cual está influenciado por la migración anual y latitudinal del Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), presentando dos temporadas climáticas bien definidas, una temporada seca con fuertes vientos alisios del noreste provenientes del mar Caribe, cuando la ZCIT se encuentra al sur entre diciembre y febrero; y una temporada húmeda con vientos alisios del suroeste, cuando la ZCIT se encuentra más al norte entre mayo y noviembre. Por otro lado, entre junio y julio, antes de la migración hacia la ubicación más septentrional, se presenta la época de transición en el mar Caribe, que se conoce como el veranillo de San Juan (Bastidas, M. & Ricaute, C., 2017).

Cuenta con una hidrografía muy diversa, teniendo como ríos principales río Arboletes, río Hobo, río San Juan, río Damaquiel, río Iguana, río Mulato, río Turbo y río Atrato, además otros pequeños cauces que pueden actuar como contribución de sedimentos para las playas.

Las zonas estudiadas son presentadas a continuación con algunas de sus características más comunes e identificables:

Volcán de Lodo-Arboletes

El Volcán de Lodo de Arboletes (Figura 2) se encuentra ubicado en la franja de rocas llamada cinturón del Sinú, tiene una altura aproximada de 15 m por encima de la terraza marina y un diámetro aproximado de 200 m de base y 50 m de cráter. La acción de las olas ha erosionado la terraza, dejando al descubierto el depósito de lodo acumulado por el volcán en un escarpe de 5 m de altura el cual ha dado lugar a un retroceso de 50 m de la línea de costa en los últimos veinte años. (García C., 2007).

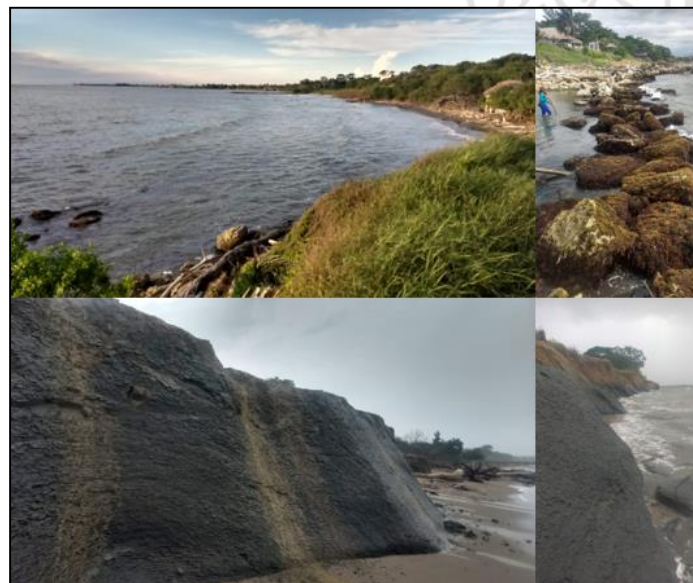


Figura 2. Volcán de Lodo- Arboletes

El volcanismo de lodo se constituye en una de las manifestaciones de un fenómeno geológico denominado diapirismo de lodos, el cual se origina por la presencia en profundidad de material

arcilloso de características plásticas y gases en condiciones de alta presión, que se movilizan lateralmente y hacia la superficie a través de fracturas o zonas de debilidad, generando tanto levantamientos y fracturamiento del terreno como expulsión de lodo y gases por bocas de variadas formas y tamaños (Carvajal, J. H. et al., 2011).

Río Hobo-Arboletes

El río Hobo se encuentra en el área geográfica ubicada en el extremo nororiental (Caribe norte o Caribe antioqueño), influenciada directamente por las aguas del mar Caribe, y con una baja pluviosidad anual que mantiene ríos y quebradas de bajos caudales, usualmente estacionales o efímeras (Blanco, J. F., 2016) y cuenta con un área de manglares pequeña en la ribera sur de la desembocadura como se puede ver en la Figura 3.



Figura 3. Río Hobo-Arboletes

En las últimas décadas se ha visto expuesto a grandes tasas de erosión, lo que ha provocado el traslado de cantidades de familias que ahí habitaban y una disminución en el turismo que atraía, según estudios realizados por diferentes autores como Correa I. D. y Vernet G., 2004, 2014; Blanco J. F., 2016 y Posada B., 2011, aseguran que no solo es causa del cambio relativo del nivel

del mar, aquí otras razones como la explotación del material de playa, la deforestación, el vulcanismo de lodo y la desaparición de la espiga Punta Rey han llevado a su deterioro, por otro lado, la construcción de obras sin buena planeación en la parte central de la cabecera del municipio también han causado el escarpe de terrazas marinas que alcanzan hasta 10 m de altura.

Uveros-San Juan de Urabá

Está ubicado en el municipio de San Juan de Urabá, se encuentra situado en el extremo norte del departamento de Antioquia, ubicándose en la parte baja del río San Juan que comprende una extensión costera sobre el mar Caribe de 21,5 km² (Medrano, J., 2016).

La geomorfología la hace parte del denominado “Cinturón del Sinú”, una secuencia sedimentaria de unos 8 km de espesor, conformada principalmente por rocas turbidíticas y hemipelágicas del Oligoceno-Plioceno (Duque, H., 1984). Se presenta a continuación en la Figura 4 algunos de sus elementos costeros más relevantes.

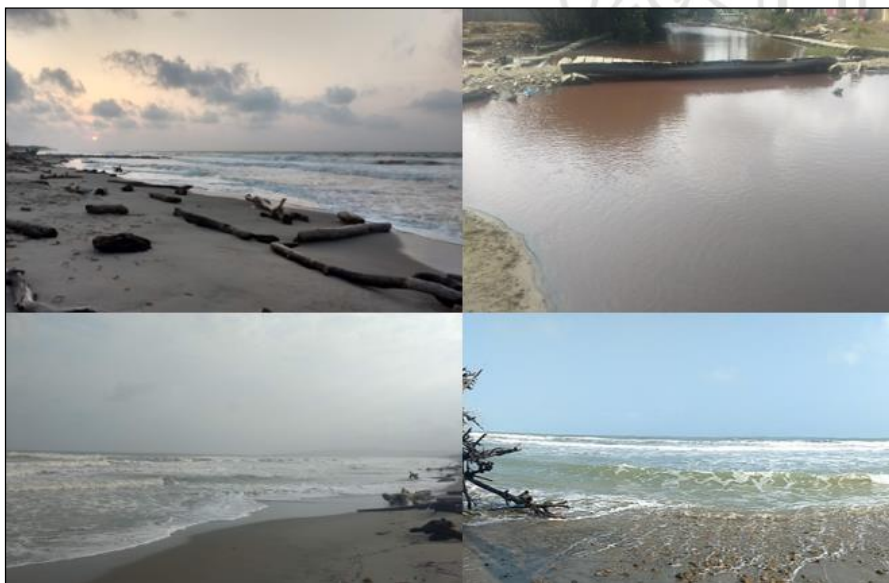


Figura 4. Uveros-San Juan de Urabá

Damaquiel-San Juan de Urabá

Al igual que Uveros, se encuentra ubicado en el municipio de San Juan de Urabá (ver Figura 5), a tan solo 1km aproximadamente de distancia del mismo, hacía el norte del casco urbano

desemboca el río Damaquiel, el cual permite la formación de playas que son de atracción turística.



Figura 5. Damaquiel- San Juan de Urabá

Cuenta con una particularidad muy especial que es la presencia de un diapiro de lodos en el mar a tan solo unos 60 m aproximados de la costa, el cual se conoce como “isla fantasma” ya que en pocas ocasiones se hace evidente o alcanza alturas que sobrepasan el agua y las olas, de tal forma que se sabe que está solo por el rompimiento de las olas que ahí se presenta.

Zapata-Necoclí

Está ubicada en una terraza marina emergida- orientada ligeramente hacía el suroeste con altura aproximada de 6 m (ver Figura 6) y se desarrolla justo al sur de la desembocadura del Río Zapata, los materiales constituyentes de la terraza son expuestos en los escarpes desnudos de los acantilados, de acuerdo con la información disponible, el adelgazamiento de las playas del Corregimiento de Zapata y la consecuente exposición del nivel base de los acantilados a los embates del oleaje, se inició hace más de 40 años, estimándose un retroceso del casco urbano de unos 40 m durante dicho periodo (Correa I. D. et al., 2016).



Figura 6. Zapata- Necoclí

Sus terrazas marinas muestran escarpes con cavidades y arcos debido al proceso de erosión, creando entre algunas salientes pequeñas playas encajadas o de bolsillo.

Punta Las Vacas-Turbo

Las espigas o puntas, son formadas por la acumulación de sedimentos en dirección de la corriente de deriva, esta se presenta en el costado oriental del golfo orientada hacia el sur con una longitud aproximada de 3 km, un ancho promedio de 800 m y siendo una formación reciente (García, 2007), cuenta con una gran área de manglar (406 ha) como se muestra en la Figura 7, ocupando así el segundo lugar en el golfo de Urabá después del delta del río Atrato (Blanco, J. F. et al., 2013).

En ella se encuentra construida la pista de aterrizaje Gonzalo Mejía que mide aproximadamente 976 m de longitud la cual hace más de dos décadas fue para uso del municipio, y desde entonces ha perdido gran parte su estructura por el retroceso de línea de costa del lugar.



Figura 7. Punta Las Vacas-Turbo

3.2. Erosión costera

Sorensen J. y McCreary S. T. (1990) definen la zona costera como la parte de interfaz o de transición entre el mar y la tierra, el cual es un área en la que los procesos físicos entre ambos ambientes son más intensos. Estos espacios no son fijos, cambian constantemente con mareas y crecidas de ríos (Jiménez, M. A., 2014). Así entonces, la erosión costera es un proceso físico mediante el cual se da una pérdida de terreno (suelo) como desbalance sedimentario cambiando la forma de la costa, a través de distintos agentes como el aire, el agua, la gravedad, hielo o actividades antropogénicas, siendo transportados y depositados en otros lugares (Bernal, F. et al., 2005). Según Correa I. D. y Vernet G. (2004) en Urabá dicho proceso ha afectado hasta más de 4,5 km² llevando a sus habitantes a prácticas inadecuadas de defensa que alcanzan valores de alrededor de \$ 10.000 millones COP sin obtener resultados positivos contra ésta.

Existen diferentes factores que pueden causar la erosión costera, entre los que son índole natural se tienen: el tipo de sustrato que conforma el litoral, acción del oleaje, aumento de tormentas tropicales, actividad tectónica, aumento relativo del nivel del mar y la bioerosión, de esta manera según estudios hechos por *Europeans Commision* muestran que los factores que afectan más

distancia (1 m-100 km) en menos tiempo (1 s -1 mes) son los de escala hidrodinámica (olas, tormentas, vientos y marea), seguidos por los de escala de ingeniería (movimientos de masa y corrientes litorales) en distancia (10 m-100 km) y tiempo (1 mes-100 años) y por último los de escala geológica (Subsidencia y aumento del mar) con distancia (100 km a más de 1000 km y tiempo (100 años a más de 10.000 años). Por otro lado, entre los factores antropogénicos se tienen factores como: la extracción de arenas en la playa o en el lecho de los ríos, la tala indiscriminada de mangles, la construcción de obras fijas en las zonas intermareales, playas y dunas, el crecimiento urbano en zonas de acantilado, crecimiento urbano en la orilla de los ríos o el mar, la construcción de represa en las partes altas de los ríos, la desviación de ríos y construcción de canales alternos para la navegación y el daño a corales y pastos marinos (García, J. I., 2012).

3.3. Uso del suelo

El suelo es aquella delgada capa, de pocos centímetros hasta algunos metros de espesor, de material terroso, no consolidado, que se forma en la interface atmósfera – biosfera – litosfera (Rangel, N. & Posada, B., 2011). abarcando el 30% de la superficie total de la tierra.

El hombre desde sus inicios se ha aprovechado de los recursos naturales, y el suelo es uno muy valioso, de manera que el uso del suelo la destinación asignada al suelo por el plan de ordenamiento territorial o los instrumentos que lo desarrollen o complementen, de conformidad con las actividades que se puedan desarrollar sobre el mismo (CONPES, 2016). Según Lambin, E. et al., (2003) el uso del suelo depende de los objetivos de aprovechamiento del hombre y las transformaciones orientadas a la consecución de tales objetivos, además de las condiciones biofísicas del territorio. Para comprender las decisiones del hombre frente al uso del suelo es necesario conocer las condiciones biofísicas, actividades económicas y contextos culturales en el territorio citado por (Posada, L., et al., 2011).

A medida de que el hombre se fue organizando como sociedad se han planteado distintas normas, leyes y herramientas administrativas que permiten una clasificación de dichos usos, como los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) según la demanda de servicios ambientales por parte de la comunidad y la vulnerabilidad ante la pérdida de calidad del recurso (Secretaría de planeación Alcaldía de Turbo, 2012) que permiten una clasificación general donde se plantea del siguiente modo, uso de suelo forestal; aprovechamiento sustentable de recursos sustentables, uso de suelo agrícola; son los suelos de mayor calidad y producción, uso de suelo pecuario; son las zonas de pastoreo, uso de suelo mixto; son aquellas zonas silvoagrícolas, silvopastoriles y/o agropecuarias y uso de suelo industrial; donde se encuentran todas aquellas empresas.

3.4. Fotointerpretación aplicada al estudio del uso del suelo

La definición y los cambios de usos del suelo, pueden ser estudiados por medio de imágenes aéreas, que según Ojeda, J., (2000) son “la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto”. Dichas imágenes conforman un fотомosaico u ortofotografía, que es una composición de las fotografías aéreas en la que han sido corregidos, los desplazamientos que se presentan en la imagen como consecuencia del relieve del terreno, la curvatura terrestre y la inclinación del eje de la cámara (INEGI, 2003).

Aparte de los usos de suelos también pueden estudiarse cambios de la línea de costa en el litoral y tenerlos en cuenta en los planes de, por ejemplo, en el Plan de Ordenamiento Ambiental de la Zona Costera del Departamento del Atlántico a través de la fotointerpretación y el conocimiento directo de algunas áreas, se logró definir las áreas de entrenamiento y obtener una clasificación tendiente a establecer un mapa actualizado de geomorfología y caracterizaciones físicas de los litorales (Invemar, 2007), de igual forma otro estudio hecho en Córdoba se hizo la caracterización de

unidades geomorfológicas, la determinación de los cambios en la línea de costa en los últimos 65 años y la interpretación y análisis de los procesos hidrodinámicos a través de herramientas aerofotogramétricas (Rangel, N. & Posada, B., 2005).

4. Metodología

El análisis en el cambio de la línea de costa, junto con la evolución en el uso del suelo se realizó a partir de una comparación de imágenes de 2018, 2009 y 1996 cuyas características se presentan en la Tabla 1. Características de imágenes utilizadas

Las imágenes aéreas fueron recolectadas de distintos estudios, las de 2009 ortofotos hechas mediante sobrevuelos por Aeroestudios S.A para el 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 y las de 1996 son satelitales disponibles en la web, hechas a través del satélite 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).

Y por último, las ortofotos hechas con dron en el año 2018 provienen del proyecto “Investigación para la reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia”, por Gobernación de Antioquia y la Universidad de Antioquia.

Además, cada imagen fue subdivida en áreas de $10.000\ m^2$ (100 m x 100 m) para generar una unidad especial que permita la comparación de cambios de uso del suelo y tener así una mejor evaluación de cada lugar.

Tabla 1. Características de imágenes utilizadas

Zona	Toma	Fecha (año/mes/día)	Resolución (m)	Datum
Volcán de Lodo- Arboletes	Dron	2018/08/20	0.03x0.03	D_WGS_1984
	Avión	2009/10/09	0.30x0.30	D_MAGNA
	Satélite	1996/07/24	30x30	WGS84
Río Hobo- Arboletes	Dron	2018/08/20	0.02x0.02	D_WGS_1984
	Avión	2009/10/09	0.30x0.30	D_MAGNA
	Satélite	1996/07/24	30x30	WGS84
Uveros-San Juan de Urabá	Dron	2018/08/20	0.02x0.02	D_WGS_1984
	Avión	2009/10/09	0.30x0.30	D_MAGNA
	Satélite	1996/07/24	30x30	WGS84
Damaquiel- San Juan de Urabá	Dron	2018/08/20	0.03, 0.03	D_WGS_1984
	Avión	2009/10/09	0.30x0.30	D_MAGNA
	Satélite	1996/07/24	30x30	WGS84
Zapata-Necoclí	Dron	2018/08/20	0.03, 0.03	D_WGS_1984
	Avión	2009/10/09	0.30x0.30	D_MAGNA
	Satélite	1996/07/24	30x30	WGS84
	Satélite	2018/08/20	9.93x9.97	D_WGS_1984

Punta Las Vacas	Avión	2009/10/09	0.30x0.30	D_MAGNA
Turbo	Satélite	1996/07/24	30x30	WGS84

4.1. Geofrenciación de imágenes aéreas (Ortofotos)

Consiste básicamente en ligar o relacionar una información geográfica a unos puntos en común, es decir, poder llevar toda la información a unas coordenadas bases para que posteriormente otros datos se puedan unir al mismo y estos guarden la misma relación especial. (Calero, R. D., 2006).

Las imágenes de 2018 fueron georreferenciadas en el software ArcGIS versión 10.5, con la herramienta *georeferencing* (ver Figura 8) y luego a través de puntos de control (al menos 4 puntos como mínimo por ortofoto), los cuales se dispersaron de forma homogénea por toda el área, y se geolocalizaron con un GPS diferencial de una precisión centimétrica. Las imágenes más antiguas que carecían de puntos de control, se traslaparon con las de 2018 usando como puntos de control algunas estructuras naturales o infraestructuras que permanecían hasta la fecha.

En el proceso de Georreferenciación se determinó el error a través del Error cuadrático medio total (Total RMS Error), calculado desde el mismo software de la diferencia entre dónde terminó el punto de partida, frente a la ubicación real especificada (la posición del punto de destino) a través de la fórmula que se presenta en la ecuación 1. Dichos errores varían debido al número de puntos de control, por lo que entre las 6 zonas de estudio se obtuvieron errores entre 0.7 y 1.9 m.

Ecuación 1

$$RMS\ Error = \sqrt{\frac{\sum_n^i x_i^2}{n}}$$

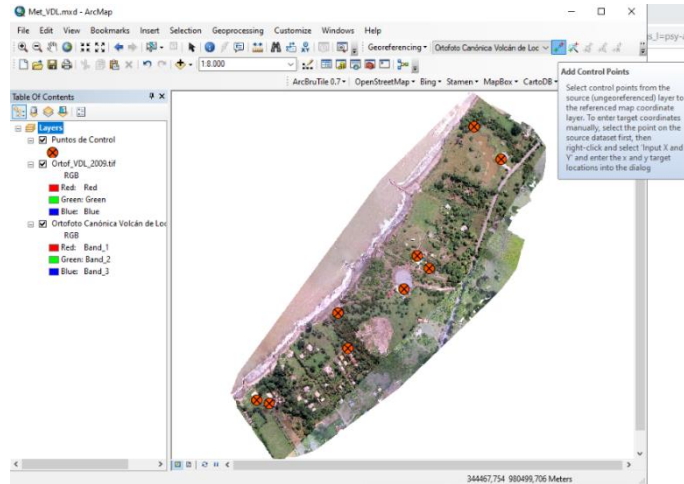


Figura 8. Georreferenciación de imágenes con Herramienta Georeferencing ArcMap 10.5

Volcán de Lodo-Arboletes

Para esta zona se pudieron identificar 9 puntos de control (ver Figura 9), entre los que se marcaron techos de casas y quioscos, equinas, entre otras estructuras identificables en las distintas imágenes.

La adaptación de la cuadrícula fue trasladando en el eje x (horizontal) -682 m, en el eje y (vertical) -532 m y se giró -45° desde la forma vertical original.

Al hacer el proceso de georreferenciación con los diferentes puntos se terminó con un error de 1.0766 m.

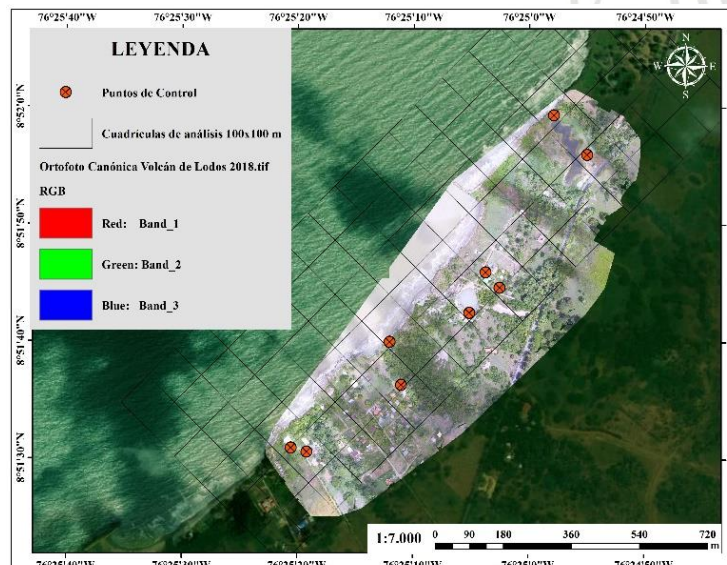


Figura 9. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Volcán de Lodo-Arboletes.

Río Hobo-Arboletes

Se tomaron como puntos de control 6 como se muestra en la Figura 10, entre los que se marcaron techos de casas y quioscos, equinas, entre otras estructuras identificables en las distintas imágenes analizadas para el estudio, para la cuadrícula se hizo un traslado en el eje x (horizontal) -230 m, en el eje y (vertical) -290 m y se giró -30° desde su forma original. Luego de hacer el proceso de georreferenciación se obtuvo un error de 1.9 m.

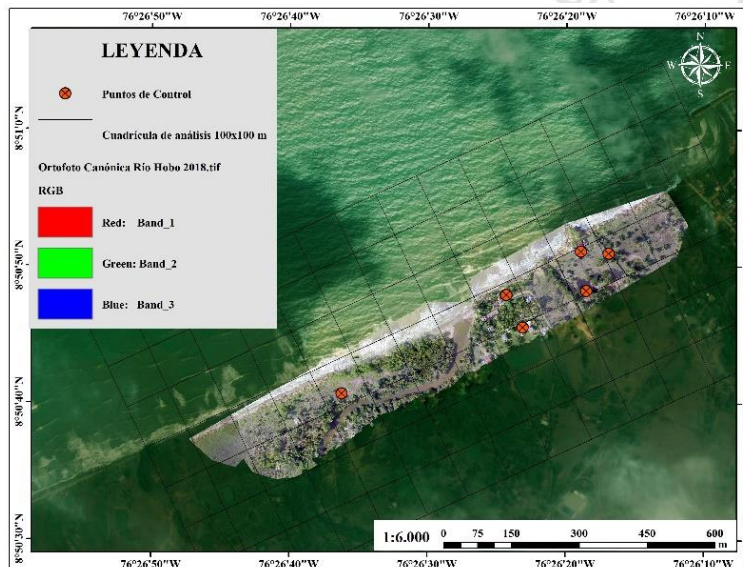


Figura 10. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Río Hobo-Arboletes.

Uveros-San Juan de Urabá

Se tomaron como puntos de control 7 (ver Figura 11) entre los que se marcaron techos de casas y quioscos, equinas, entre otras estructuras identificables en las distintas imágenes analizadas para el estudio, debido a que las estructuras se concentraban en el centro de la zona solo se pudo dispersar los puntos en la misma. Para las cuadrículas de análisis, se trasladó -150 m en el eje x (horizontal) -250 m, en el eje y (vertical) y se hizo un giro de -17° . Como resultado del proceso de georreferenciación con los diferentes puntos se terminó con un error de 0.6844 m.

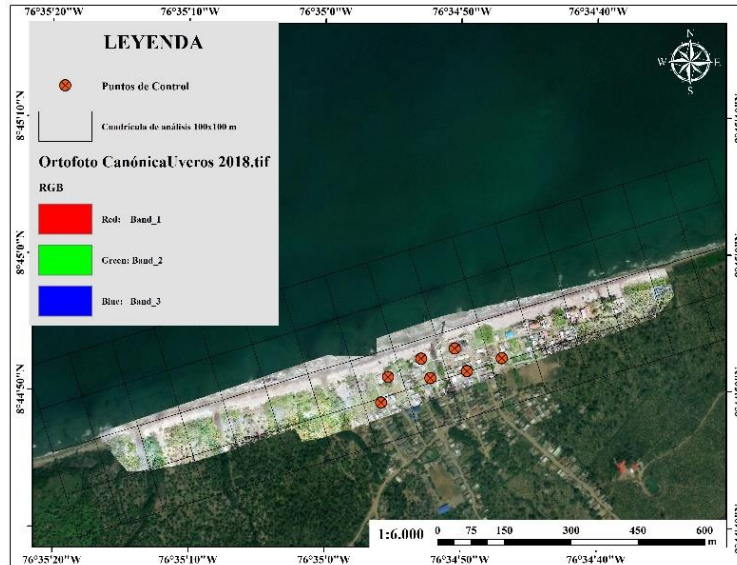


Figura 11. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Uveros-San Juan de Urabá.

Damaquiel-San Juan de Urabá

Se tomaron como puntos de control 6 como se observa en la Figura 12 entre los que se marcaron techos de casas y quioscos, equinas, entre otras estructuras identificables en las distintas imágenes analizadas para el estudio. Los ajustes de la cuadrícula fueron hechos con traslados de -90 en el eje x (horizontal), 400 en el eje y (vertical) y se giró -10° desde su orientación original. El proceso de georreferenciación con los diferentes puntos se terminó con un error de 0.6935 m.

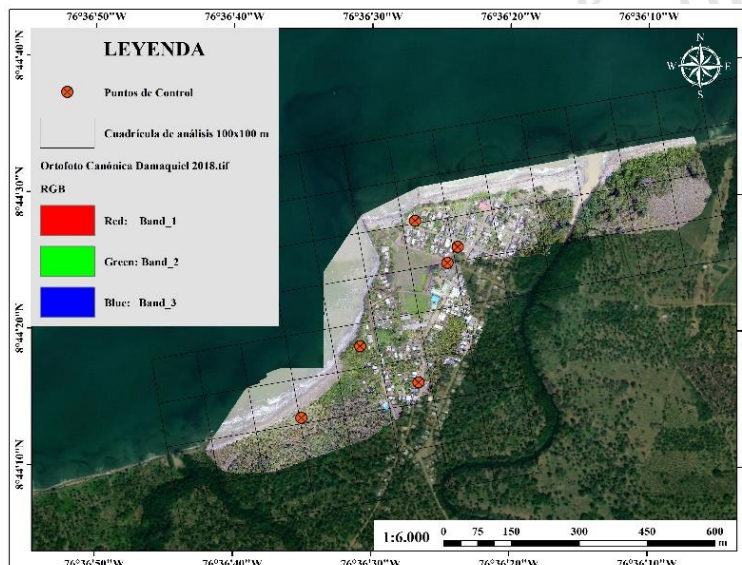


Figura 12. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Damaquiel-San Juan de Urabá.

Zapata-Necoclí

Se tomaron como puntos de control (ver Figura 13) entre los que se marcaron techos de casas y quioscos, equinas, entre otras estructuras identificables en las distintas imágenes analizadas para el estudio, ubicándose en el centro ya que lo más permanente es lo urbano y este se concentra en el centro de la zona. Los ajustes de la cuadrícula fueron hechos con traslados de -315 en el eje x (horizontal), -65 en el eje y (vertical) y se giró -25° desde su orientación original. Después del proceso de georreferenciación con los diferentes puntos se terminó con un error de 0,7447 m.

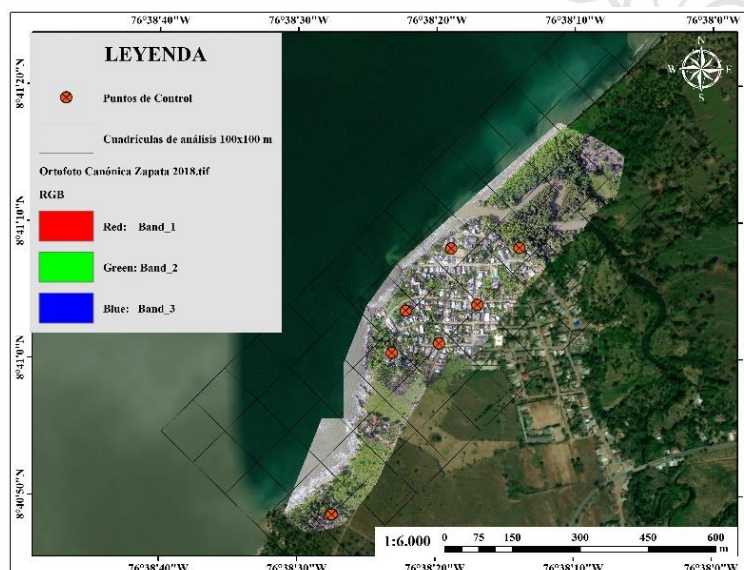


Figura 13. Puntos de control y cuadrículas de análisis, Zapata-Necoclí

4.2. Variación de línea de costa con ortofotos

A la hora de estudiar la erosión costera la principal característica que se tiene en cuenta es la línea de costa, que según Dolán, (1980) es la interfaz física entre tierra y agua.

En este trabajo las líneas de costa para ortofotos 2018 y 2009 se trazaron por un proceso de fotointerpretación (Ojeda, J., 2000) a una escala de 1:500, donde se utiliza la línea de marea 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 de la marea (la línea de última marea alta), siguiendo a autores como Dolan, et al. (1978) citado por (Casal, G. et al., 2010)

quienes definieron criterios de digitalización especiales que se deben tener en cuenta, presentadas en la Tabla 2 (Fuente: Modificado de Casal, et al., 2010), con modificaciones a consideración para la adaptación en nuestra zona de estudio.

Tabla 2. Criterios de digitalización línea de costa.

TIPOLOGÍA	DEFINICIÓN	CRITERIO GENERAL
Estructuras artificiales	Estructuras que han sido creadas por el hombre (puertos, carreteras, diques, etc.)	Cuando existen estructuras artificiales, fijas y no flotantes, se continúa la línea de costa siguiendo las mismas.
Terraza marina	Costas altas de terrazas marinas con aspectos de acantilado.	En acantilados con alto grado de verticalidad el trazado se realiza siguiendo la línea de agua, en zonas rocosas se sigue la línea de la última marea alta.
Playa	Sustrato arenoso.	Se sigue la línea de última marea alta, marcado por la línea de transición entre la arena húmeda y la seca.
Marisma	Terreno pantanoso inundado por el mar en marea alta.	Se sigue el límite de vegetación permanente que marca la zona no inundable.
Estuario	Desembocaduras de ríos o corriente de menor caudal susceptibles de ser afectadas por la marea.	El trazado de la línea se extiende río arriba hasta donde la altitud de la ribera sea menor a 4 m o se identifique zona de playa creada por el cauce.
Actividad diapírica	Zona modificada por presencia de volcanes de lodo.	El trazo de hace donde esté el límite ente la ola y el lodo proveniente de la actividad diapírica.

Se generaron mapas de cobertura de suelo para las distintas fechas, a partir de una fotointerpretación de las imágenes (aerofotografías), proceso principalmente de observación donde

a través de polígonos que hacen parte de un Shapefile, en ArcGIS 10.5, se rodea el área usando un sistema de clasificación de coberturas ya antes utilizado por Laura Posada (2011) a una escala de 1:2000, y para los mapas la clasificación de uso del suelo en el Atlas de Urabá (Ivemar, 2007) y criterios de trazado descritas en la Tabla 3. Para la cobertura del suelo en la región se escogieron 8 clases entre los que se encuentra: **bosque**: tierra que se extiende por más de 0,5 hectáreas dotada de árboles de una altura superior a 5 metros una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano (ONUAA,2010), **rastrojo alto**: esta unidad está conformada por la vegetación arbórea y arbustiva que se implantó en áreas de cultivo abandonadas o zonas de bosque intervenidas, **rastrojo bajo**: esta unidad representa la vegetación de tipo arbustivo bajo, denso y con especies heliófilas. Las alturas del estrato superior no sobrepasan los 5m, se presentan hasta dos estratos: arbustivo y herbáceo, donde éste último está conformado por especies invasoras que en un lapso de pocos años logran dominar los pastos sin ningún tipo de manejo, **pastos**: zonas utilizadas para pastoreo de animales cultivos o suelo natural, **cultivos**: para la explotación agrícola se aprovechan los suelos ubicados en zonas con facilidad de riego, vegas de los ríos y otros planos de inundación. Existen cultivos de subsistencia de carácter tanto permanente como transitorio: maíz, plátano, yuca, malanga, ñame, ahuyama, y frutales como papaya, guanábana y cítricos, **suelo erosionado**: en este espacio se encuentra una clara afección por la erosión, **urbanizado**: el cual corresponde a los sectores urbanizados tanto en la cabecera municipal como en las áreas comunales de la zona rural (Ángel, S. et al., 2001) y además por adaptaciones a la zona de estudio se presenta una última clasificación **actividad diapírica**: zona en el cual se hace visible la presencia de actividad diapírica, como cráter del diapiro.

Tabla 3. Criterios de digitalización Uso del Suelo

Uso de Suelo	Cobertura de Suelo	Criterio General
FORESTAL	Bosque	Área mínima de 0,5 hectáreas de especie de alturas considerables donde se encierra toda la parte del dosel y que no haya presencia de elementos antrópicos al interior, monocultivos ni eras.
	Rastrojo Alto	Rodeando toda la parte donde se ve vegetación con alturas significativa.
GANADERO	Rastrojo Bajo	Se sigue la zona donde la vegetación no muestra una altura significativa y además está mezclada.
	Pastos	Área mínima de 0,5 hectáreas con presencia de potreros, ganado, bebederos y/o árboles dispersos; el trazado sigue la línea de cerca que los limita y además cuando se hace visible un cambio de cobertura del suelo.
AGRÍCOLA	Cultivos	Área mínima de 0,5 hectáreas; el polígono sigue la línea hasta donde se hace visible un sembrado que muestra un patrón de organización (alineación o eras) y es una misma especie.
RESIDENCIAL TURÍSTICA	Infraestructura	Está limitado por las casas construidas, que pueden tener represas, carreteras de acceso y vías principales donde se nota una dinámica habitacional.
TURÍSTICA	Actividad Diapírica	Su trazado incluye cráter del volcán los lugares que se utilizan para atención de turista que visitan el mismo.
	Playa	Cubre toda la parte de acumulación de arenas cercanas a la línea de costa.
MIXTO	Forestal Cultivos Infraestructura	Zona donde se identifican diferentes coberturas de pequeñas áreas o fincas de pocas hectáreas dedicadas de varias actividades.
	Suelo erosionado	Se sigue la línea de trazado por toda la zona de suelo erosionado donde se noten cárcavas.

4.3. Variación de línea de costa y uso de suelo con imágenes Landsat

Para las imágenes satelitales del año 1996 el proceso de trazado se hizo un poco diferente, trabajadas a una escala de 1:2000 siguiendo los colores de los píxeles. Las imágenes satelitales son efectuadas mediante un radiómetro multispectral de barrido MSS embarcado en la plataforma que registra la energía solar reflejada por el suelo en cuatro bandas de longitud de onda (Chancos, 1997), y están conformadas por píxeles de un tamaño de 30 m.

Para el trazo de líneas de costas y áreas con distintos usos de suelo se analizaron imágenes creadas con diferentes combinaciones de bandas mostradas en la Tabla 4 (Fuente: Modificado de Franco, R., 2017).

Tabla 4. Combinación bandas para imágenes Landsat,

Combinación RGB en LANDSAT 8	Aplicación principal / Descripción
432	Color Natural Es una composición que se aproxima al color real de las coberturas ante la vista humana Su equivalente en Landsat 7 es la combinación 321
543	Infrarrojo Color Esta combinación da como resultado una imagen muy similar a la tradicional fotografía área a infrarrojo color. Es útil para estudios de vegetación, patrones de suelos, crecimiento de cultivos y monitoreo de drenajes. La vegetación saludable tiende a una apariencia rojo brillante
562	Combinación útil para distinguir vegetación saludable
564	Combinación útil para diferenciar tierra/agua y para destacar áreas de bosque
652	Agricultura
654	Análisis de vegetación
754	Combinación de infrarrojos
764	Permite destacar formaciones rocosas. También útil para distinguir áreas urbanas

Para la línea de costa se utilizó la banda 5 NIR (*Near Infra Red*) tal como se muestra en la Figura 14, útil para la delimitación de costas, por ser la banda que más se acerca al infrarrojo (Franco, R., 2017), haciendo un trazado por el límite entre el cambio de color de píxeles (gris y negro) para luego ser comparada visualmente con la combinación de bandas 564 (aplicada para todas las zonas de estudio).

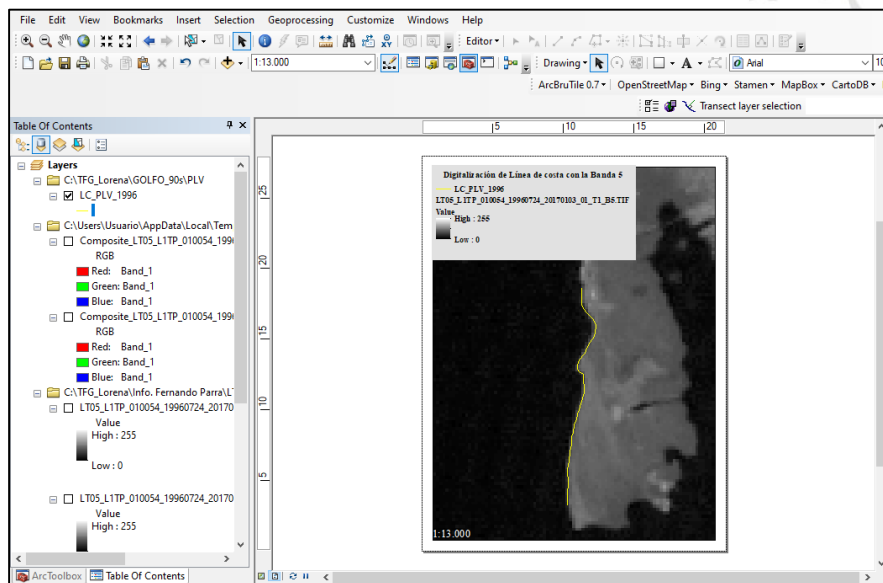


Figura 14. Digitalización de Línea de Costa con banda 5 en ArcMap 10.5

4.5. Cálculo tasa de cambios con DSAS v5.0

Para el dimensionamiento de las líneas de costas y la cuantificación del movimiento de las mismas, se generarán archivos de vector (shapefile) los cuales fueron ingresados al software DSAS v5.0 (*Digital Shoreline Analysis System*) quien mide transversal a la línea de costa para determinar el retroceso o avance de la misma. Teniendo en cuenta que, dadas las condiciones descritas de dinámica, la marea se considera sin efecto apreciable en el golfo de Urabá (García, C., 2007), para este caso no se hicieron correcciones en ninguna de las líneas de costa trazadas ni el programa para cálculo de tasas de cambio.

El complemento DSAS se basa en utilizar las líneas de costa georreferenciadas temporalmente para calcular los parámetros de variabilidad entre ellas. Para poder llevar a cabo el análisis, se precisan, tal y como señalan Thieler E. R. et al. (2009) en el manual del usuario de DSAS, cuatro elementos básicos.

i) Geodatabase:

Una geodatabase es una base de datos que puede almacenar, consultar y administrar tanto datos espaciales como datos no espaciales. Dado a que se almacenan en Access, las geodatabases tienen un tamaño máximo de 2 GB.

Todos los datos de entrada que se usaran para el procesado con DSAS deben ser gestionados con una geodatabase personal, funcionando como almacén de los resultados obtenidos y, a su vez, proporcionando una fuente de datos que permite la aplicación de la tipología, lo que refuerza las referencias espaciales entre distintas clases de entidad. Es necesario que todos los datos de la geodatabase personal estén expresados en metros y en un sistema de coordenadas proyectado.

La geodatabase fue creada siguiendo la ruta que se muestra en la Figura 15 y una vez creada permite la importación y exportación de datos hacia y desde la misma.

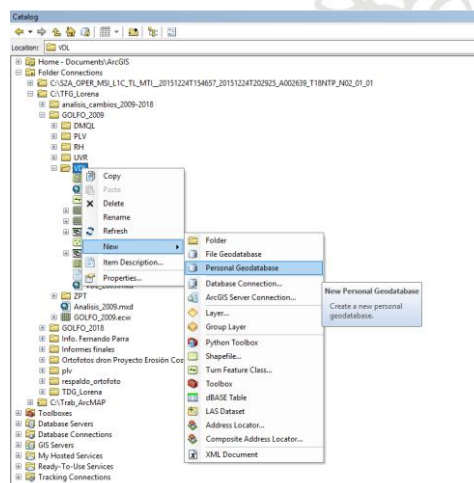


Figura 15. Creación de Geodatabase personal en Catalog-ArcMap 10.5

ii) Líneas de costa:

Todas las líneas de costa deben estar en una única clase de entidad dentro de la geodatabase personal. Dado que las líneas trazadas fueron como *shapefile*, se unieron e importaron los archivos a la geodatabase creada con ciertos atributos imprescindibles tal como se muestra en la Tabla 5 modificado de Thieler et al., (2009).

Tabla 5. Requerimientos de la línea de costa

Field name	Date type	Origin
OBJECTID	Object ID	Auto-generated
SHAPE	Geometry	Auto-generated
SHAPE_Length	Double	Auto-generated
DATE_	Text (Lengrh=10 or Lengrh=20)	User-created
UNCERTAINTY	Any numeric field	User-created

En el campo “DATE_” se hizo necesario expresar las fechas de las líneas de costa en el formato mm/dd/aaaa, editándolo en la tabla de atributos. Para el campo “UNCERTAINTY” se utilizaron diferentes valores, basándose el tamaño de pixel de las diferentes imágenes utilizadas para el trazado de línea de costa.

iii) Línea da base o Baseline:

Las líneas de base de este estudio fueron creadas mediante la herramienta “*Buffer*” en ArcGIS en el cual se hicieron polígonos a 60 m, distancia tomada por preferencia personal que permitieron trazar la línea base como se muestra en la Figura 16, completando con valor de 1 el campo “ID” para poder ser reconocido por la extensión DSAS.



Figura 16. Línea base creada para Río Hobo

iv) Transectos:

La *baseline* servirá como inicio para los transectos que definimos perpendicularmente a las líneas de costa, distribuidos de forma equidistante a largo de la *baseline*, y que nos permitirán medir las diferencias de distancia registradas entre las intersecciones con las diferentes líneas de costa y la línea base. Se ha optado por distribuir los transectos con una separación de 25 m entre ellos, asegurando que los transectos, de 600 m de longitud, tienen una longitud suficiente para intersectar todas las líneas de costa (ver Figura 17).

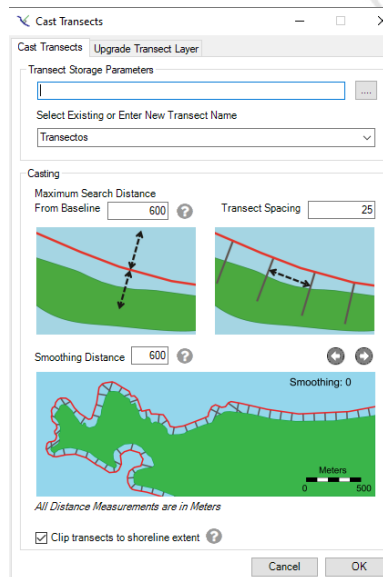


Figura 17. Parámetros establecidos en DSAS y la pestaña de configuración de los transectos.

Los transectos se crean automáticamente por la herramienta DSAS, definiendo previamente los parámetros que se muestran en la Figura 18. Parámetros establecidos en DSAS y la pestaña de

configuración de la baseline. Además de las distancias de separación y de longitud de los transectos, también se debe indicar en la ventana de selección de parámetros la disposición de la *baseline*; en este caso *onshore*.

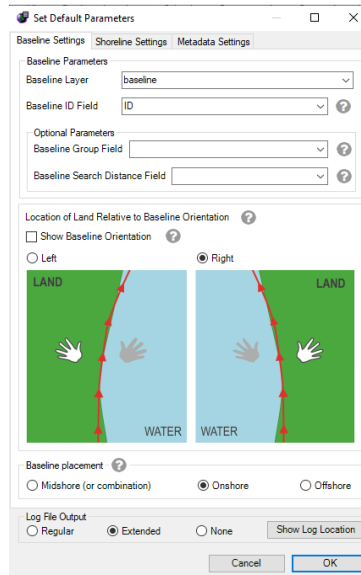


Figura 18. Parámetros establecidos en DSAS y la pestaña de configuración de la baseline.

Una vez se obtienen todos los atributos necesarios para llevar a cabo el análisis con DSAS, lo que se obtiene es, tal y como muestra el esquema de la Figura 19(Thieler et al., (2009).), un compendio de líneas de costa referenciadas espacial y temporalmente que son cruzadas por cada uno de los transectos determinados que surgen de la *baseline*, previamente construida, la distancia desde la *baseline* a cada punto de medida es usada conjuntamente con la fecha de las líneas de costa correspondientes para computar los estadísticos de las tasas de variación de las mismas.

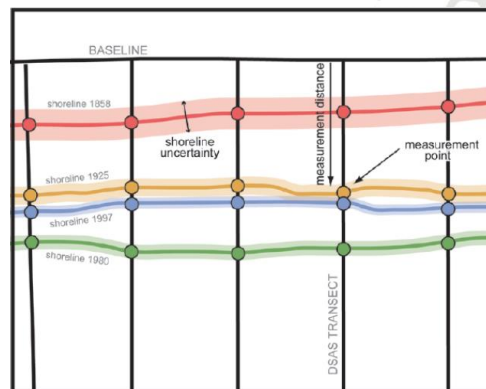


Figura 19. Ejemplo de distancias calculadas por el DSAS

DSAS permite obtener distintos parámetros estadísticos descritos por Thierler y col. (2009). De los diferentes que ofrece, en este estudio, a pesar de haber obtenido los datos para todos ellos, se ha estimado que los que más se ajustan a los objetivos determinados son los siguientes:

- Net Shoreline Movement (NSM): Expresa el movimiento neto de la línea de costa como su nombre indica. Este estadístico muestra la distancia recorrida entre la línea de costa más antigua y la más nueva. Determina la variabilidad de la línea de costa atendiendo a la fecha inicial de toma de datos y la fecha final, lo que proporciona una buena fuente de resultados para cuantificar la tendencia global de las playas en estudio.

Obtenidos los valores de NSM mediante DSAS, se realizó un mapa con ArcMap 10.5 para cada uno de los seis lugares de costa en estudio atendiendo al período general, que incluye los tres años dentro del estudio. En los mapas se muestra cada una de las zonas con los transectos realizados diferenciando, con colores distintos, aquellos que se encuentran en zonas en las que el movimiento neto de la línea de costa presenta valores positivos (acumulación) y negativos (erosión). Además, se destacan los transectos que presenten valores máximos y mínimos, dentro de los grupos de valores positivos y de los negativos, en cada zona de estudio.

- Linear Regression Rate (LRR): Expresa la tasa de regresión lineal tal y como su nombre indica. Se puede determinar mediante el ajuste de una línea de regresión de mínimos cuadrados a todos los puntos del litoral de un transecto en particular. La línea de regresión se aplica de tal modo que la suma de residuos cuadrados es minimizada. Básicamente se determina cruzando las posiciones de las líneas con respecto al tiempo, respetando la cronología de las líneas, y haciendo la regresión lineal simple de los puntos obtenidos. Ofrece resultados positivos, asociados a transectos con tendencia acumulativa y, resultados negativos, asociados a transectos con tendencia erosiva. Se

trata de un buen estadístico para confirmar la tendencia de la línea de costa que complementa el análisis del NSM.

Para representar el estadístico, se ha utilizado la misma metodología que la explicada para la representación del NSM, en el apartado anterior. Consiste en realizar mapas del período completo con los transectos de cada zona coloreados en función de si presentan resultados positivos o negativos y atendiendo también a los valores máximos y mínimos dentro de cada grupo (valores positivos o valores negativos).

4.6. Mapa georreferenciado de comparación y análisis por zona

El análisis de la relación entre erosión y el cambio de usos de suelo, a través de observación en campo y por fotointerpretación histórica se realizó para cada punto crítico a través de matrices donde se compararon entre ellos zonas iguales nombradas desde zona 1, hasta la zona enésima, dependiendo de la distancia de línea de costa estudiada, con 30000 m^2 de área un caso en especial fue de 20000 m^2 para Uveros como se muestra en la **Figura 21**. Luego aplicando la herramienta *Intersect* (ver Figura 20) a los Shapefile creados con los usos de suelo y la grilla de áreas, dando como resultado un nuevo Shapefile donde se pudo obtener los cambios en cada zona para así pasar a la creación de mapas con diferentes combinaciones de usos.

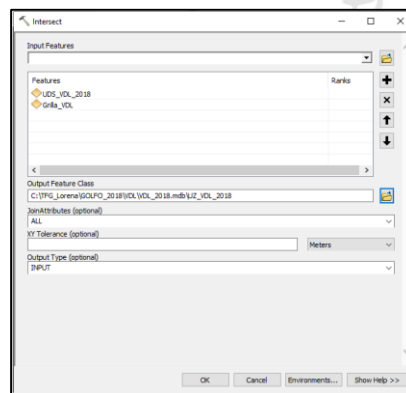


Figura 20. Herramienta *Intersect* ArcGIS 10.5

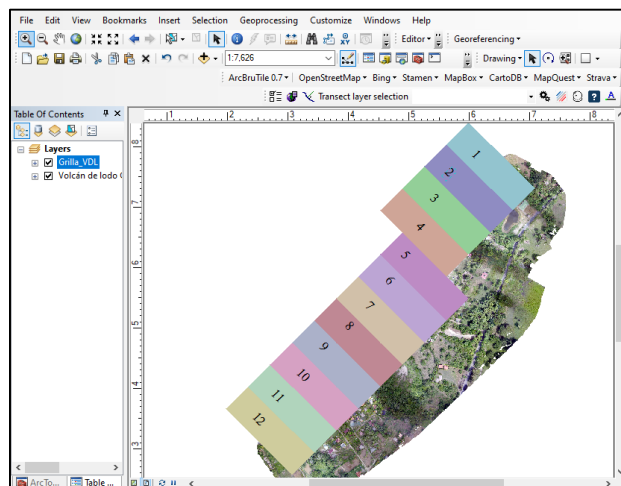


Figura 21. Delimitación por zonas

Con el fin de visualizar los cambios en el uso del suelo y las tasas de cambio netas entre los años 1996-2009, 2009-2018 y 1996-2018, dando como resultado unos mapas comparativos, para estos se utilizó la herramienta *Unión* clasificando los cambios de uso de suelo en los diferentes años y aplicándoles colores diferentes a los mismos como se muestra en el apartado 5.3 Evaluación de relación entre uso del suelo y la erosión costera.

4.7. Análisis de errores de trazado de línea de costa por mareas

Cuando se trazan líneas de costas el estado de la marea puede intervenir proporcionando errores, en este trabajo no se tuvieron en cuenta a la hora de hacer el trazado, debido a que se tiene un comportamiento micromareal y según la metodología seguida se considera poco significativo, sin embargo, se realizó el análisis para estimar el Máximo Error Horizontal que se pudo tener usando la metodología DSAS para las tasas de erosión neta de todos los años analizados a partir de imágenes aéreas sin conocer el nivel de marea al momento de los sobrevuelos en los diferentes lugares estudiados.

Para el cálculo de este error en la horizontal al desconocer el estado de la marea en cada fotografía aérea que se analiza, se procedió a calcular la distancia horizontal que existe entre el nivel de marea alta y el nivel de marea baja (rango de marea), entendiendo que dicha distancia horizontal es

función del rango de marea y de la pendiente de la playa, la cual se calculó a partir de datos de topobatómétricos tomados 2017 para Punta Las Vacas (Torres, P. A., 2018) y 2018 para los demás lugares (proyecto “Investigación para la reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia”, por Gobernación de Antioquia y la Universidad de Antioquia, 2018). A continuación, en la ecuación 1 y ecuación 2, se presentan los procedimientos para calcular la pendiente media de cada lugar.

Ecuación 1

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{z_2 - z_1}{x_2 - x_1}, \text{ donde:}$$

α = pendiente

z_1, z_2 = profundidades o cotas topográficas

x_1, x_2 = distancias topográficas de cada cota z_1 y z_2

Ecuación 2

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha}{n}, \text{ donde:}$$

$\bar{\alpha}$ = pendiente media de la playa

n = número de pendientes calculadas

Posteriormente, al comprender que el Máximo Error Horizontal (**MEH**) se daría cuando las fotos estén tomadas en momentos de marea opuestos (foto 1 en altamar y foto 2 en bajamar o viceversa) y en momento de marea viva (luna llena o luna nueva) como se muestra en la Figura 22 y se calcularon los rangos de marea viva del mismo año (2018) a partir de los 3 valores máximos de marea para cada mes, los cuales se promediaron para obtener un único valor de rango de marea viva y proceder tal como lo indica la ecuación 3 a calcular el Máximo Error Horizontal. Los valores de marea se extrajeron del portal: <https://tablademareas.com/co/antioquia>.

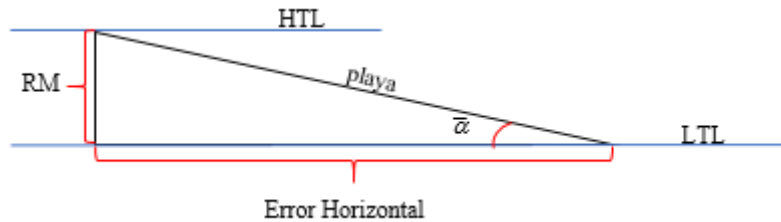


Figura 22. . Esquema del máximo error horizontal causado por la toma de fotografías en momentos de marea diferentes. HTL: High Tide Level; LTL: Low Tide Level; RM: Rango de Marea; α : pendiente de la playa.

Ecuación 3

$$ME_H = \frac{RM}{\tan \alpha}, \text{ donde:}$$

RM: Rango de Marea

Ecuación 4

$$\text{pendiente (\%)} = \frac{\sum Z_2 - Z_1}{\sum D} * 100, \text{ donde}$$

$$D = \sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 + x_2)^2}$$

4.8. Análisis cualitativo de campo con habitantes de los lugares de estudio.

Con el objetivo de conocer y acceder a datos y aspectos no claros en la fotointerpretación, se hicieron entrevistas que según Denzin, N. K. y Lincoln, Y. S. (2005), tomado de (Vargas, I., 2012) la entrevista es “una conversación, es el arte de realizar preguntas y escuchar respuestas”, esta fue hecha por el equipo de trabajo de la componente social del proyecto “Investigación para la reversión del proceso de erosión en las costas del mar de Antioquia” a habitantes de la zona que su estancia en esta supere los 15 años. De manera muy interactiva y vivencial a partir de los relatos de los sectores/protagonistas sociales de nuestro ámbito de estudio, con encuestas cerradas y abiertas, con preguntas comunes y charlas pretendiendo adquirir información y datos que no son accesibles a través de la lectura de imágenes.

Entre las preguntas encontramos:

1. ¿Nombre Completo?
2. ¿Tiempo que lleva viviendo en el lugar?
3. ¿Cuál ha sido su profesión (desde que vive en el lugar en cuestión)?
4. ¿Ha sufrido pérdidas de terreno por acción del mar u otros factores, cuáles?
5. ¿Qué cultivos o de qué manera explotaba tales terrenos?
6. ¿Recuerda algún evento extremo que le haya causado angustia o miedo en el lugar por fenómeno natural (lluvia, viento, oleaje fuerte u otro)?
7. ¿Qué acciones solía hacer en tal caso?
8. ¿Tiene usted conocimiento de a qué entidad acudir cuando se viven estas situaciones?
9. ¿A dónde quién acude?
10. ¿Ha construido algún tipo de defensa con el fin de frenar o mitigar lo que sucede con el terreno?

Y preguntas que se puedan ir dando dependiendo de la fluidez de la conversación.

5. Resultados y análisis

Los resultados de este trabajo son presentados a continuación subdivididos en 4 apartados 5.1 donde se muestra todo lo encontrado sobre uso del suelo, características de la línea de costa y los cambios a través del tiempo, 5.2 abarca la evolución interanual de la línea de costa mediante DSAS, 5.3 que trata de toda la evaluación determinando la relación entre uso del suelo y la erosión costera y además los aspectos geológicos, topográficos y antropogénicos de cada zona estudiada y 5.4 los posibles errores por cambios de marea que pudo tener el trabajo. Aclarando que durante todos estos apartados fueron tenidos en cuenta los análisis con los habitantes y las salidas de campo a los lugares bajo el marco del proyecto “Investigación para la reversión del proceso de erosión en

las costas del mar de Antioquia”, llevado a cabo por Gobernación de Antioquia y la Universidad de Antioquia.

5.1. Uso de suelo y sus cambios a través del tiempo.

Volcán de Lodo-Arboletes

Para el año 1996 el área de estudio total era $339,712 \text{ m}^2$ (ver Figura 23) de los cuales más del 50 % del uso del suelo es ganadero. En la época se contaba con una gran zona de turismo y la parte residencial de la zona tan solo era el 4%, el uso forestal se hace evidente en las descargas de aguas que van al mar.

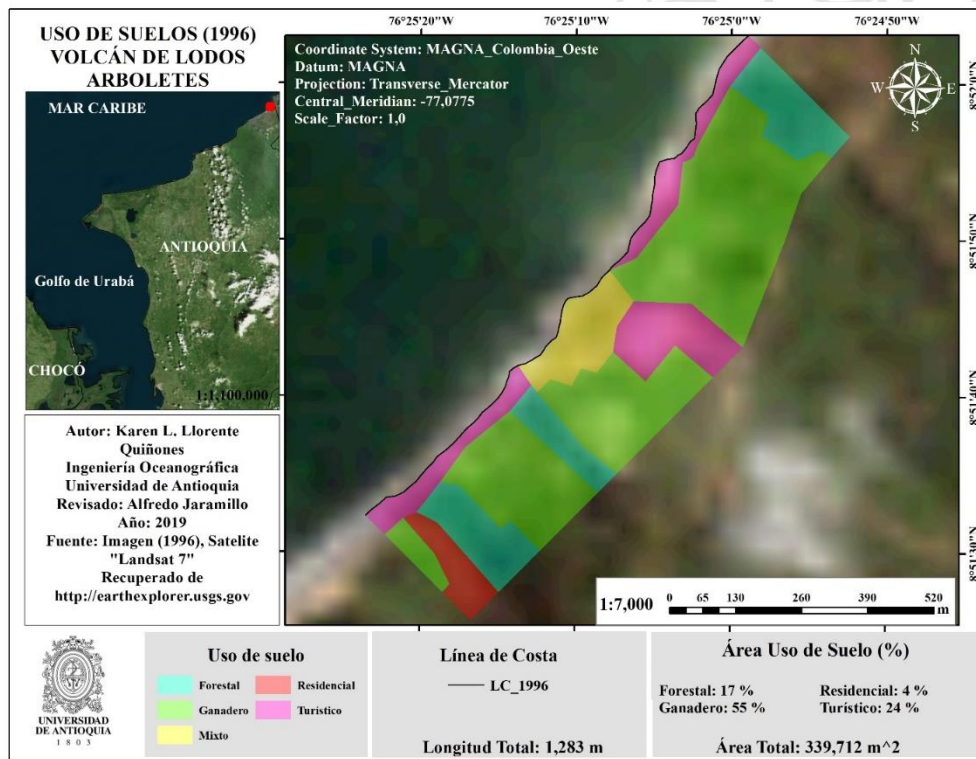


Figura 23. Mapa Uso de Suelos (1996) Volcán de Lodo-Arboletes

En el 2009 se encontró un área total de $300,199 \text{ m}^2$, lo que indica una disminución de la misma en comparación con el 1996, de igual forma se hacen evidentes los cambios en el área del uso del suelo como se observa en la Figura 24 con aumento en el uso residencial y forestal especialmente en la parte más costera del cráter del diapiro de lodo, conocido como Volcán de Lodo, el área

turística disminuyó en la línea costera pero una parte ganadera y forestal pasó a ser turística mostrando de esta forma un cambio del uso ganadero en general, también así el sector residencial aumentó tanto en viviendas como en turismo, llevando entonces a la construcción indebida de obras de protección costera.

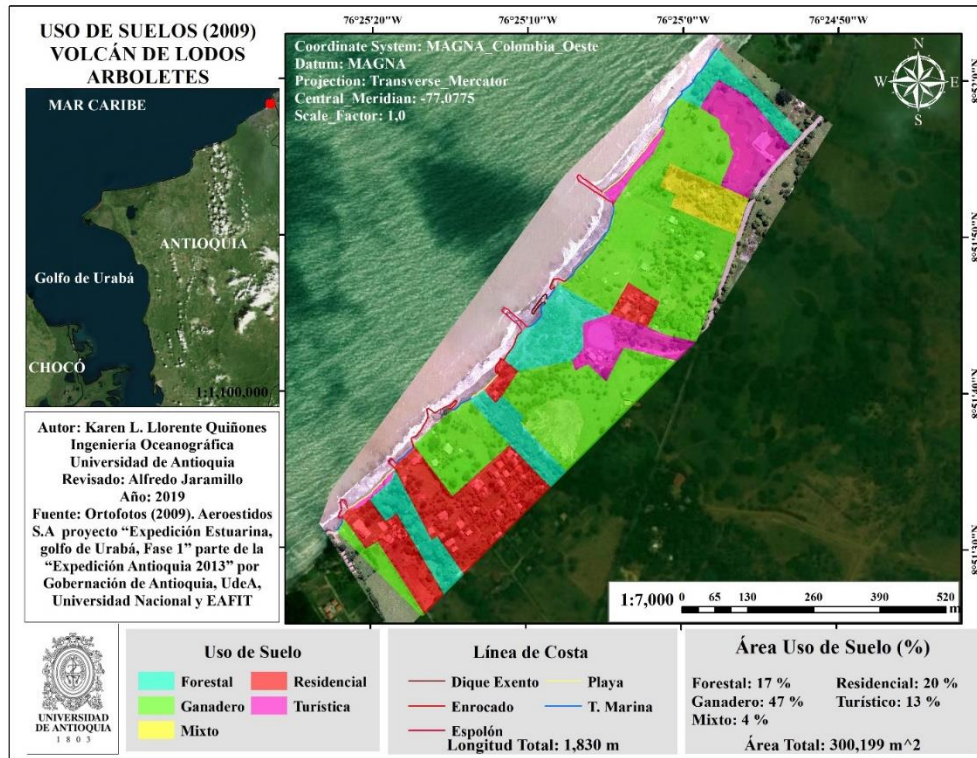


Figura 24. Mapa Uso de Suelos (2009) Volcán de Lodo-Arboletes

Las obras encontradas en el lugar están ligadas principalmente a la parte del cráter del volcán donde se encuentran dos espolones a los extremos, un dique exento y un enrocado en el centro, en la parte más sur se encuentran 3 obras protegiendo principalmente zonas residenciales. En cuanto a la parte geológica de la zona en general se encuentran terrazas marinas erosionadas principalmente de material lodolítico y poca línea de playas en la parte norte de obras que además están en las descargas de agua al mar, como cauces pequeños. Para este año se hace evidente una parte deforestada en el uso ganadero al sureste del cráter del diapiro de lodos, el cual es debido a una pequeña erupción.

Pero al pasar al 2018 se da un cambio en el uso del suelo predominando forestal tal como se muestra en la Figura 25, dicho cambio indica una disminución casi a la mitad de uso ganadero, terminando con un sector del 27 % de 287, 511 m² del área total estudiada.

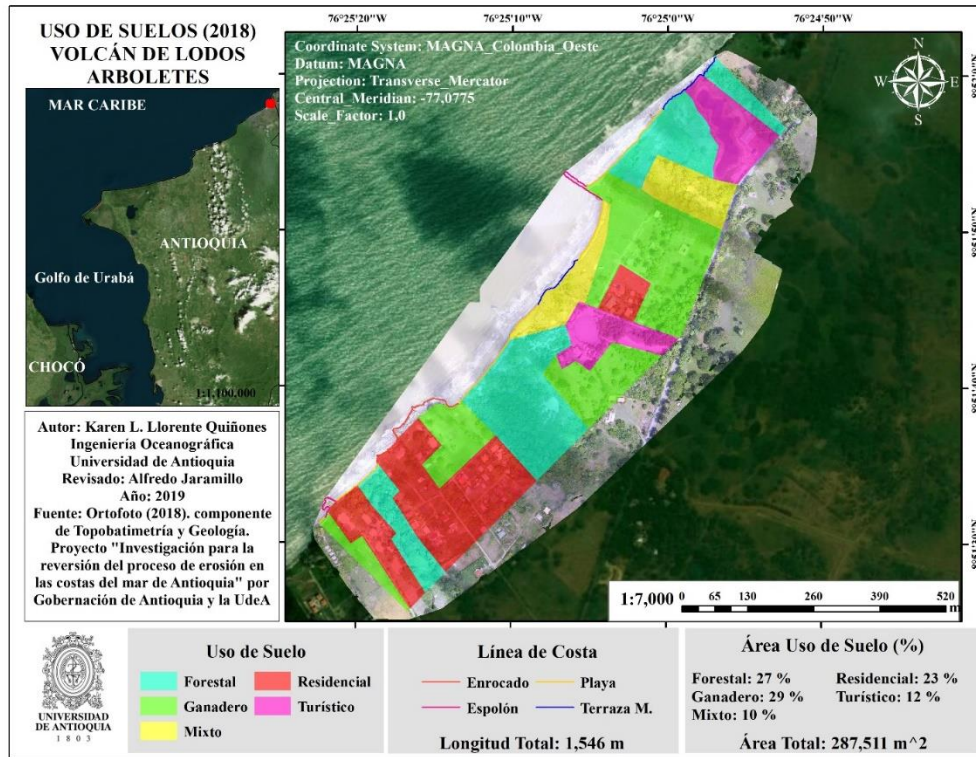


Figura 25. Mapa Uso de Suelos (2018) Volcán de Lodo-Arboletes

Se puede ver que a lo largo de la costa no tiende a ser homogéneo, sino por el contrario se da ese comportamiento hacia dentro del continente como es el caso del uso residencial que su mayor área está aproximadamente a 100 m de la línea de costa, encontrado en esa primera franja un uso ganadero el cual es ahora tan solo 2 % más que el uso forestal.

Las obras de protección en el año 2018 muestran un deterioro, quedando evidente un espolón y dos enrocados principales, ya que las otras a la fecha están sumergidas, y geológicamente se ve un aumento en la línea de playas poco anchas para la zona.

En general la zona de Volcán de Lodo paso de ser un lugar que principalmente era utilizado para la ganadería a tener mucho más uso residencial, turístico y forestal que es este caso donde se

evidencian las playas, aquí se han construido tres tipos de obras (enrocados, diques exento y espolones) con pocos resultados satisfactorios, confirmando así datos dados por Iván Darío Correa en una investigación hecha para el año 2004 de la misma zona.

Río Hobo-Arboletes

El área inicial fue de $164,004 m^2$ para el años 1996, en el que el uso ganadero representa la mayor parte, siendo el 47 % del área total como se puede ver en la Figura 26, el uso forestal del 32 % asociándose al cauce del río de la zona que sigue una falla geológica hasta llegar al mar.

En el entonces se contaba con área turística del 11 % por toda la línea de costa que se extiende en el río, lo que podía permitir verlo como atractivo para el turismo, para la época los habitantes confirmaban el hecho de que ahí se encontraban playas, las suficientes como para recibir turistas y además extraer arenas de la misma (practica que se realiza con menor insistencia que los años anteriores debido a algunos controles) para la distribución y construcciones de casas que también implicaba la explotación de manglares y árboles de la zona.

Lo anteriormente encontrado para el año 2009 (ver Figura 27), se hace evidente la extensión del uso residencial que abarca el 14 % de un área total de $148,246 m^2$, el área de uso forestal tuvo un cambio hacia la costa mientras el ganadero avanzó hacia la rivera sur del río disminuyendo solo un poco el área, ya que una parte paso a ser utilizado en cultivos (uso agrícola) en lo que anteriormente era la desembocadura de río mientras las otra continua siendo de uso ganadero según versiones de los habiantes.

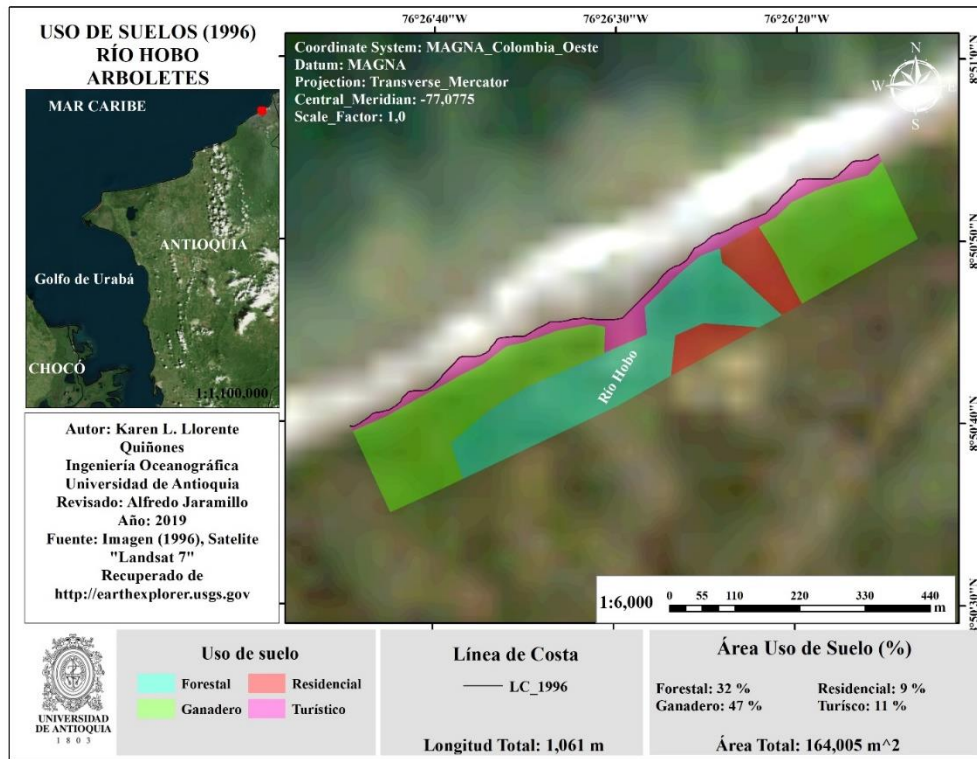


Figura 26. Mapa Uso de Suelos (1996) Río Hobo-Arboletes

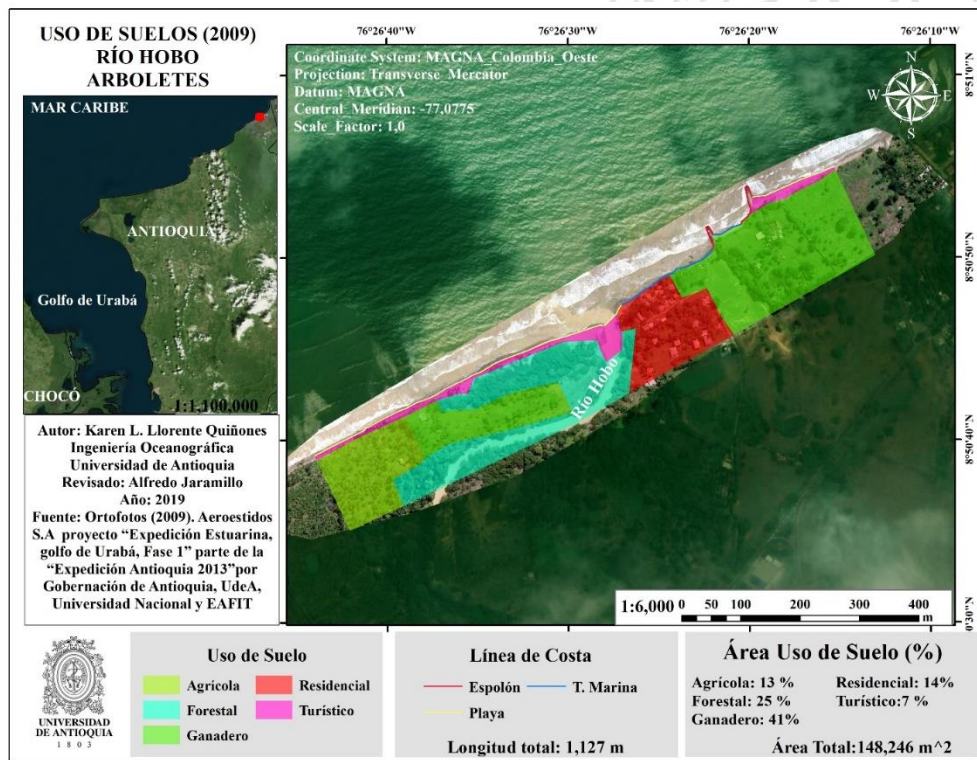


Figura 27. Mapa Uso de Suelos (2009) Río Hobo-Arboletes

Para el mismo año ya estaban presente las obras de defenzas que en su caso eran dos espolones construidos principalmente para la protección de dos casas que se encuentra en medio de fincas dedicadas a al ganadería, donde se encontrarón terrazas marinas de alturas que pueden alcanzar hasta los 10 m sobre el nivel del mar con playas que se dan por la presencia de obras en la parte norte, y playas naturales en la parte sur del río que se extiende como en el pasado año en la desembocadura del río, pero se hacen muy angostas en toda la línea en general con una terraza marina de aproximadamente 2 m sobre el nivel del mar en la parte extrema del sur.

Finalmente se llego a un area de $128,433 \text{ m}^2$ como se observa en la Figura 28 donde el uso del suelo agrícola fue reemplazado por uso ganadero que abarca el 51 % y gran parte de este que se encontraba el la rivera sur del río fue abandonado quedando como uso forestal que representa el 32 % del area total.

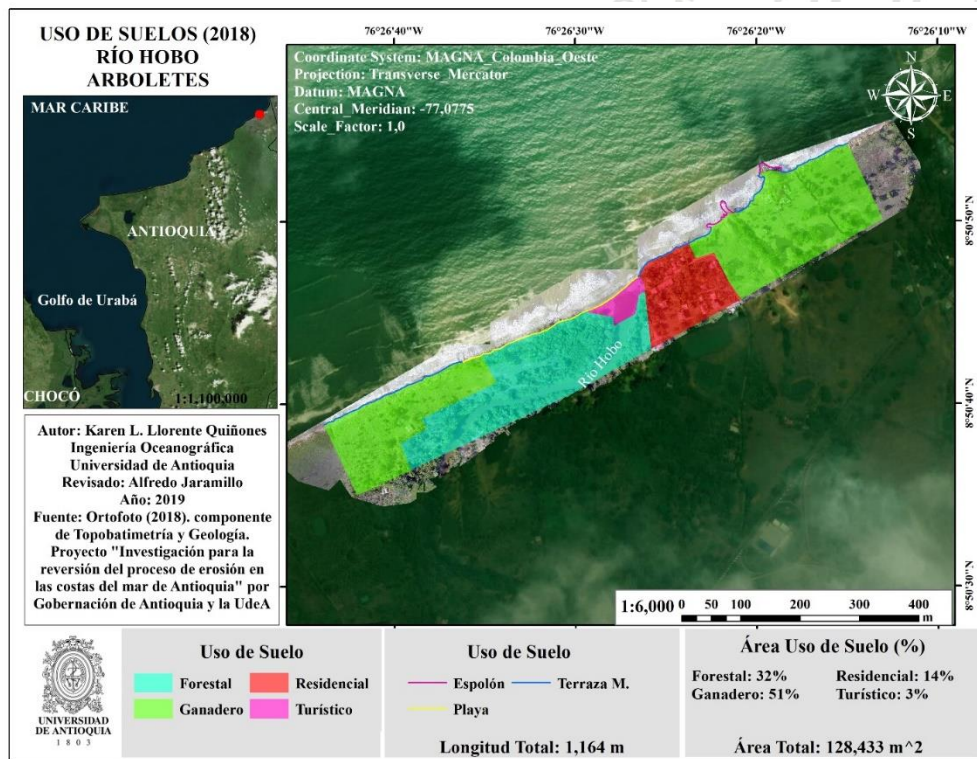


Figura 28. Mapa Uso de Suelos (2018) Río Hobo-Arboletes

El area turistica de la zona es muy mínima en la actualidad, viéndose solamente en la parte de la desembocadura del río, dejando en evidencia la perdida como atracción turistica de la zona y además de esto la parte de uso residencial se esta viendo afectada por la erosión de las terrazas marinas que principalmente estan colapsando debido a la consntrucción de obras de protección costera en el centro de la cabecera urbana del municipio, y para efectos las obras del lugar dejaron de funcionar represetando ahora peligro para la comunidad que actualmente se ve al borde en las terrazas marinas sin muchas veces poner tener acceso al mar ni al río por las altas pendientes de los taludes.

Los usos encontrados a través de los diferentes años se han mantenido en la parte norte, pero en el sur han ido variando, a veces por temor en cuanto a cambios en la erosión logrando de esta forma que el uso forestal crezca, pero además se ve una exposición en toda la línea de costa de las terrazas marinas que van aumentado la pendiente.

Uveros-San Jun de Urabá

En esta zona para el año 1996 se encontraron cuatro usos de suelos diferentes (ver Figura 29), donde predomina el uso agrícola con 51 % del área total, que según las encuestas eran principalmente de arroz por ser zonas de inundación y ya en menor proporción se encuentran el uso residencial con 17 % ubicado en la parte centro.

Las playas en la línea de costa se hacen más amplias en algunos lugares representado un el 19 % del área total y el uso forestal se encuentra al extremo norte con un 13 %.

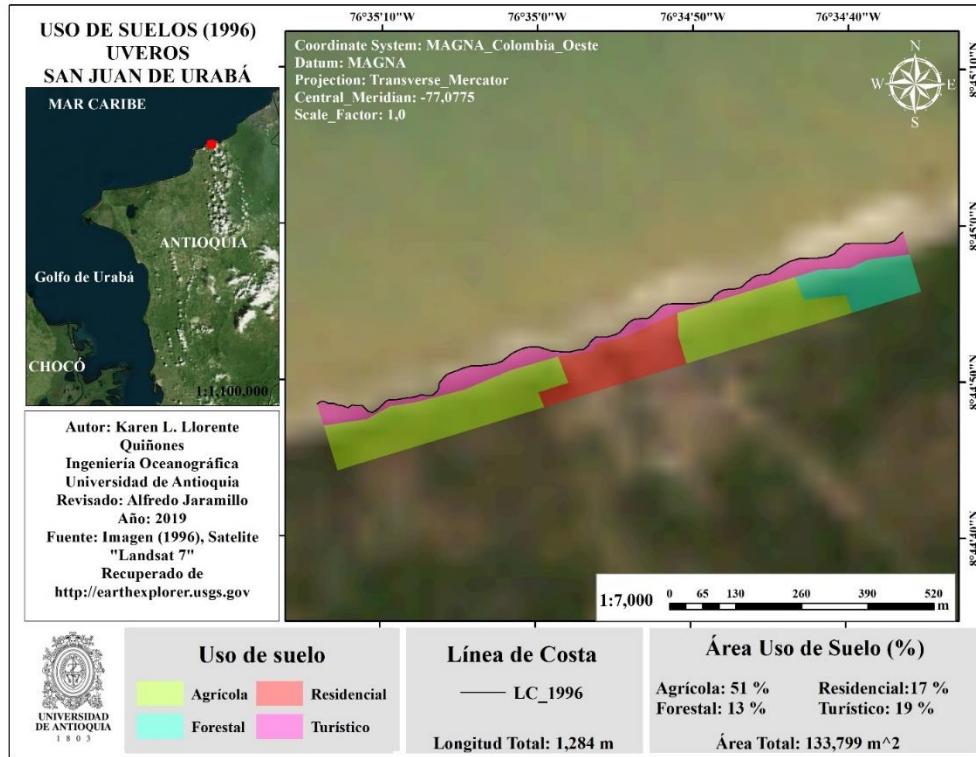


Figura 29. Mapa Uso de Suelos (2009) Uveros- San Juan de Urabá

Para el año 2009 como se observa en la Figura 30 el uso residencial de la zona pasó a ser el 40 % del área total ($98,973 \text{ m}^2$) viéndose además favorecido por la construcción de dos obras para la defensa costera (espolones), los cuales permitieron la recuperación y estabilización de playas para un uso turístico (19 %) y quedando una pequeña área del 7 % como uso agrícola.

En el año 2018 el área total fue de $112,140 \text{ m}^2$ mostrando entonces una recuperación de la zona, lo que permite y da la confianza nuevamente a sus habitantes para utilizar algunas zonas de uso forestal en la construcción de viviendas y siembras, como se muestra en la Figura 31, quedando de esta manera el uso forestal en 27 %, residencial en 35 %, agrícola en 8 %, mixto en 7% y una recuperación de playas significantes que ahora abarcan el 26 % del area total.

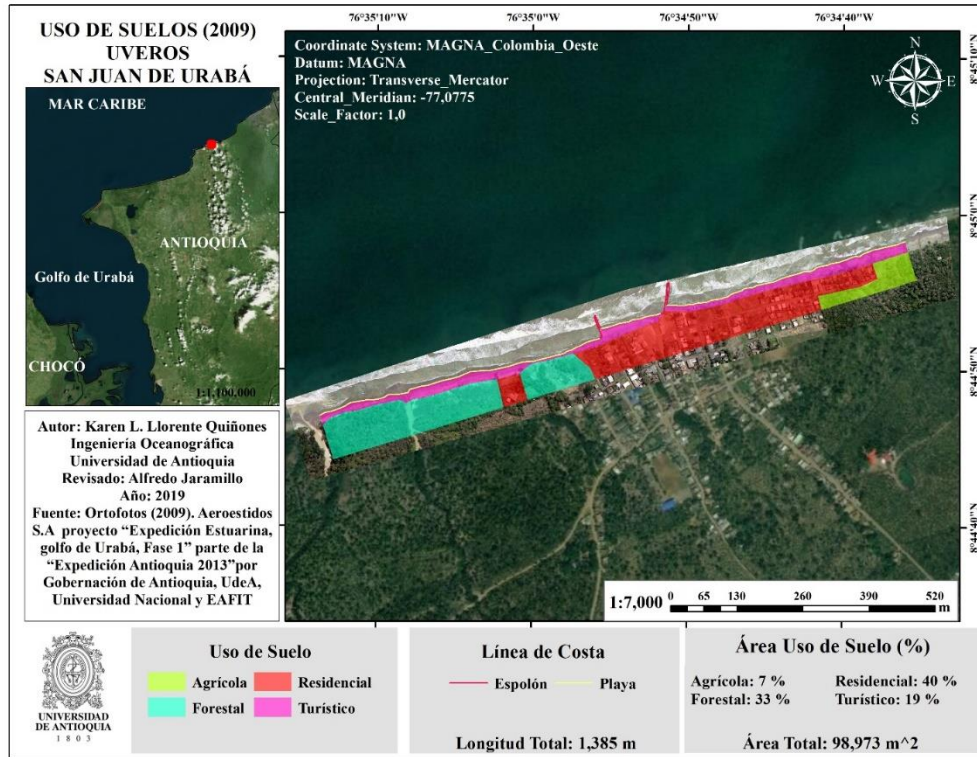


Figura 30. Mapa Uso de Suelos (2009) Uveros-San Juan de Urabá

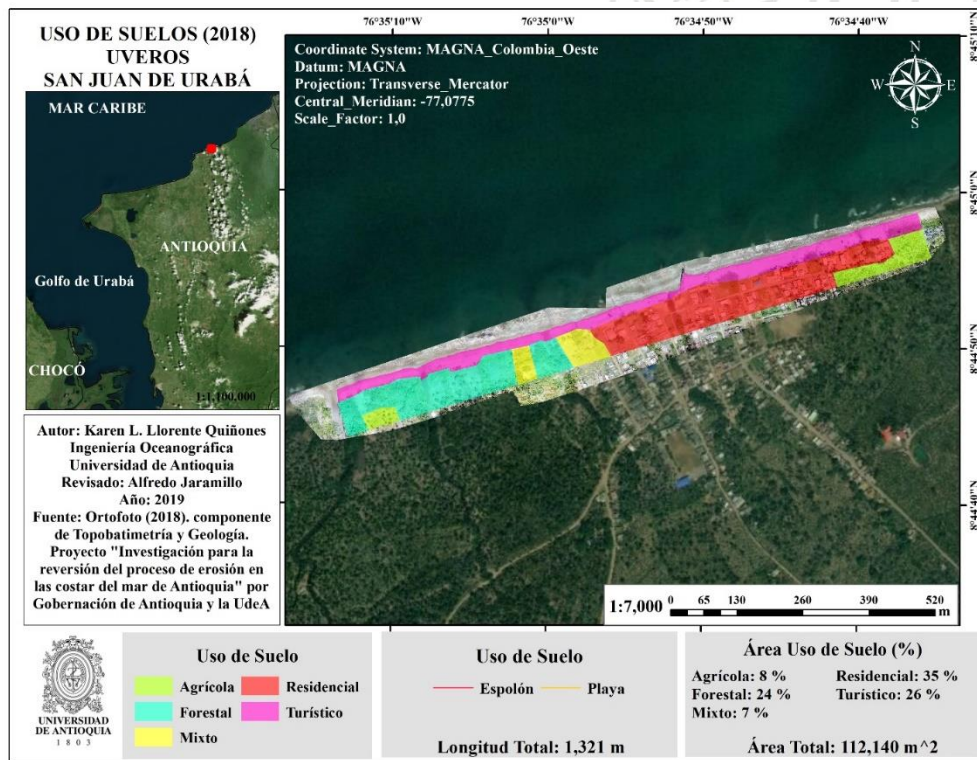


Figura 31. Mapa Uso de Suelos (2018) Uveros-San Juan de Urabá

La zona de Uveros pasó de ser un lugar dedicado a la agricultura, para en la actualidad ser turístico, mostrando además un crecimiento significativo de su uso residencial y forestal hasta la actualidad que se caracteriza por tener amplias playas que pueden verse afectadas en el cambio de épocas del año.

Damaquiel-San Juan de Urabá

En el año 1996 en área total alcanzaba los 214, 156 m², donde el uso ganadero era mínimo, con tan solo 4 % y el uso de suelo forestal abarcaba el 37 % siendo el de mayor cobertura como se puede ver en la Figura 32. Este uso se encuentra tanto en la ribera del río Damaquiel como al extremo sur de la playa después del uso residencial que se concentra al sur del río con un 25 % que se extiende hasta un área de finca (uso mixto) que abarca el 13 %, una zona ganadera del 4% y una turística de tan solo 10 %.

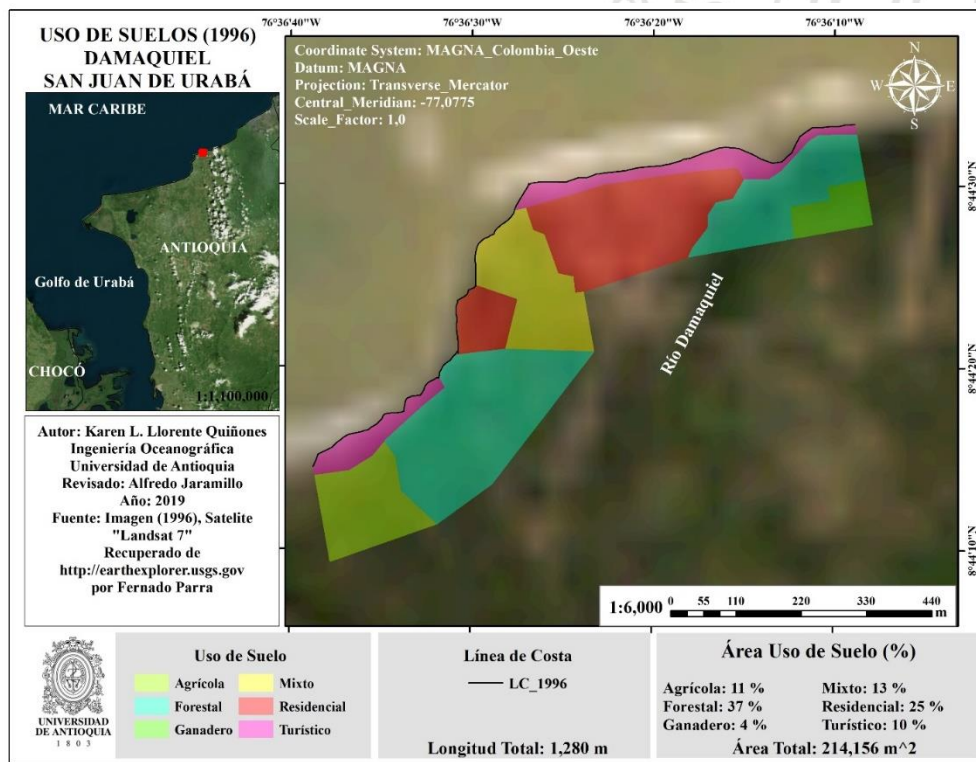


Figura 32. Mapa Uso de Suelos (1996) Damaquiel-San Juande Urabá

Donde se encuentra la saliente de la zona cerca de las coordenadas $76^{\circ}36'32''\text{W}$ y $8^{\circ}44'32''\text{N}$ se hace evidente la presencia del diapiro de lodo sumergido mencionado anteriormente en las características de zona de estudio y de igual forma se nota una rompiente de ola para la playa desde una distancia alejada de la costa en la parte norte o antes de la isla y más acercada a la costa en la parte sur o después de la isla.

Para el año 2009 (ver Figura 33) el área forestal disminuye significativamente y pasa a ser de uso residencial, permitiendo que para entonces este sea el 52 % del área total encontrada en el año que fue de $196,465\text{ m}^2$, quedando el uso forestal en el 26 % solamente, agrícola en 12% y turístico en el 10%.

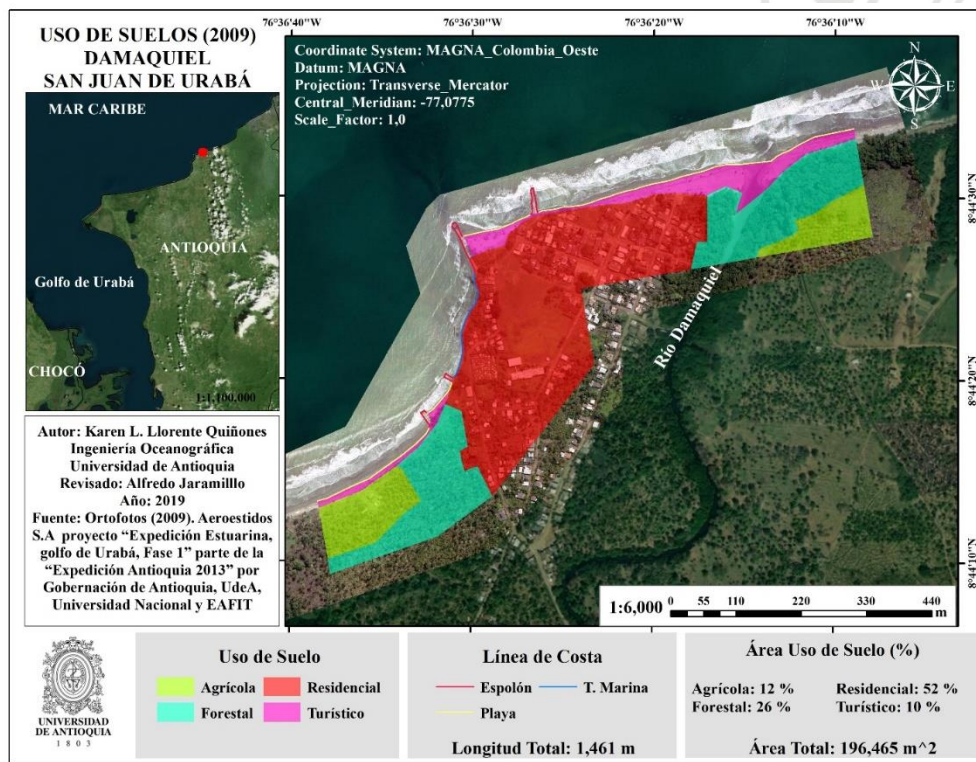


Figura 33. Mapa Uso de Suelos (2009) Damaqueiel-San Juan de Urabá

En el año 2018 como se observa en la Figura 34, el área total de la zona logra tener un pequeño aumento, pasando a ser $198,949\text{ m}^2$ del cual el uso forestal que se encontraba en la parte sur desaparece por completo, terminando con una parte de tan solo el 16 %, otro que se reduce es el

residencial, debido a la erosión principalmente, el uso ganadero ya no existe, siendo ahora agrícola que alcanza el 22 % y un aumento turístico por la construcción de dos espolones terminando en un área de 13 %.

Damaquiel es una zona con una gran parte residencial que se ha mantenido en los últimos años, aunque viéndose afectada por la erosión, que cuenta con una parte norte con playas representativas, una central de terrazas marinas afectada por la erosión (protegidas en la actualidad por un enrocado como obra de defensa costera) y sur de playas en poco menos anchas que están seguidas por terrazas marinas bajas que no superan el metro de altura respecto al nivel de la playa.

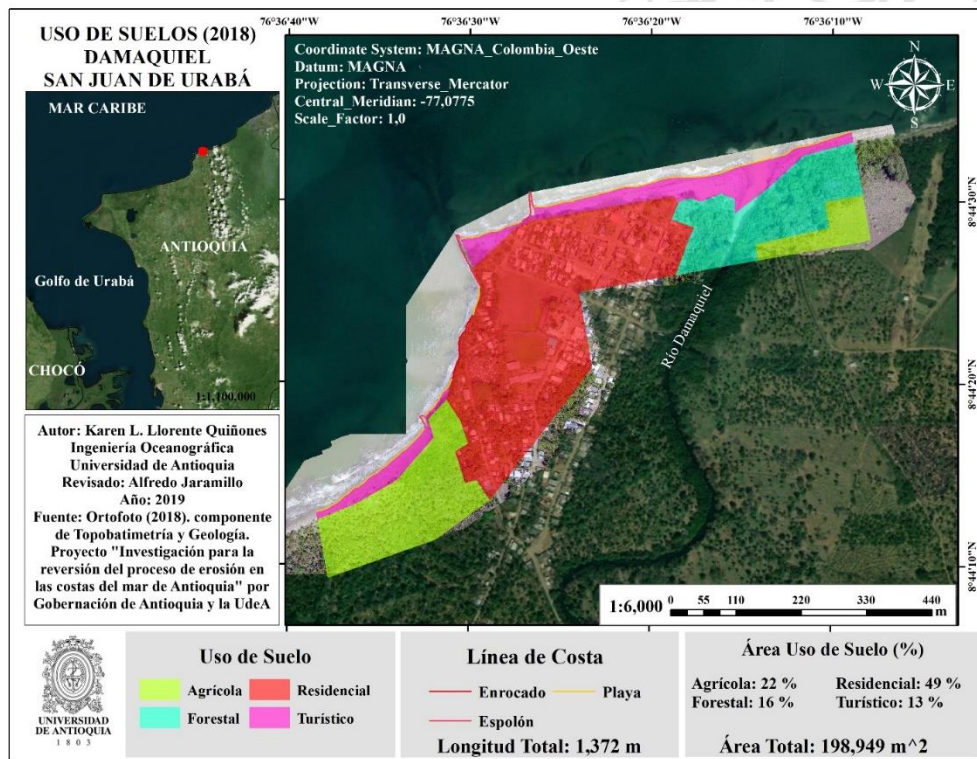


Figura 34. Mapa Uso de Suelos (2018) Damaquiel-San Juan de Urabá

Zapata-Necoclí

Para el año 1996 se encontró un área de 179,438 m² del cual se identificaron 5 tipos de usos de suelos diferentes que tienden a ir desde la costa hacia el continente sin tener mezclas, donde, el uso residencial abarca la mayor parte con el 37 % como se muestra en la Figura 35 del total y se

encuentra en la ribera sur del río Zapata mientras el uso forestal se encuentra en la ribera norte con el 15 % al igual que el agrícola siendo el de menor área con el 7 %, al extremo sur se encontraba un área de uso ganadero del 26 % y el turístico del 13 % con una disminución notable en la desembocadura del río, indicando de esta forma que en esa época el río pasaba directamente al mar con comportamiento deltaico como suele pasar en invierno.

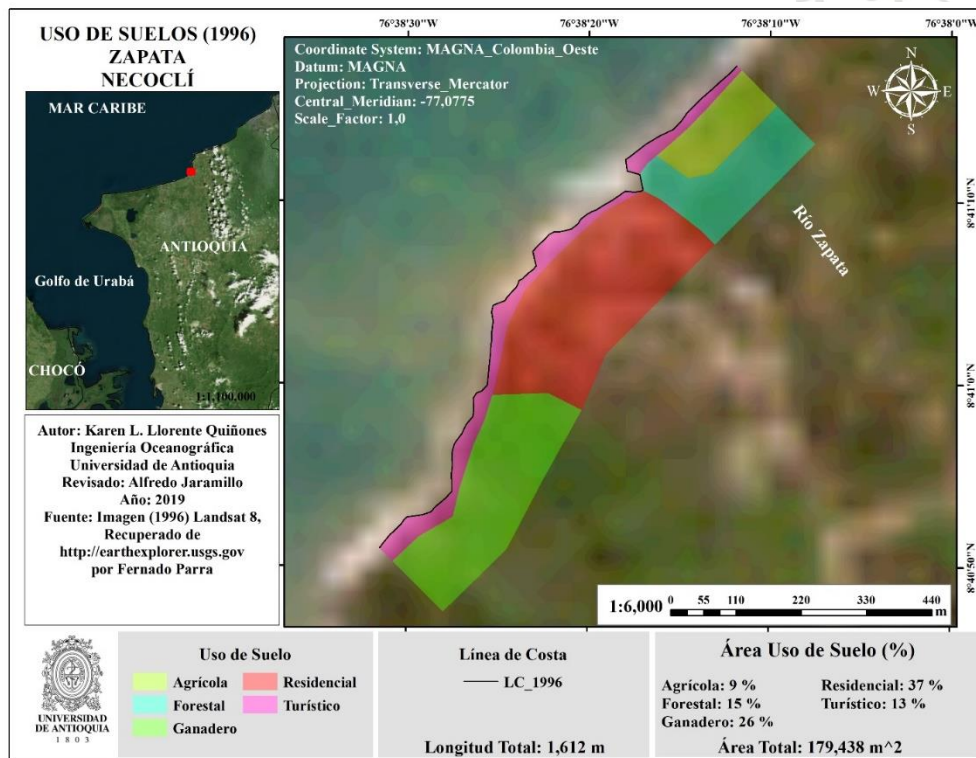


Figura 35. Mapa Uso de Suelos (1996) Zapata-Necoclí

En el año 2009 el área de la zona pasó a ser de 156,744 m² (ver Figura 36) aumentando el uso residencial a un 41 %, ahora ubicado en partes que eran de uso ganadero el cual queda en 19 %, representado en 10%, este uso agrícola para esta época se encontraba más a riberas del río tanto a extremo norte como sur de la desembocadura mientras que el uso forestal que abarca un área de 19 %, y el turismo está presente solo en la costa del uso residencial quedando un área de tan solo 7%, esta puede asociarse a la construcción 4 espolones que se evidencia en la zona.

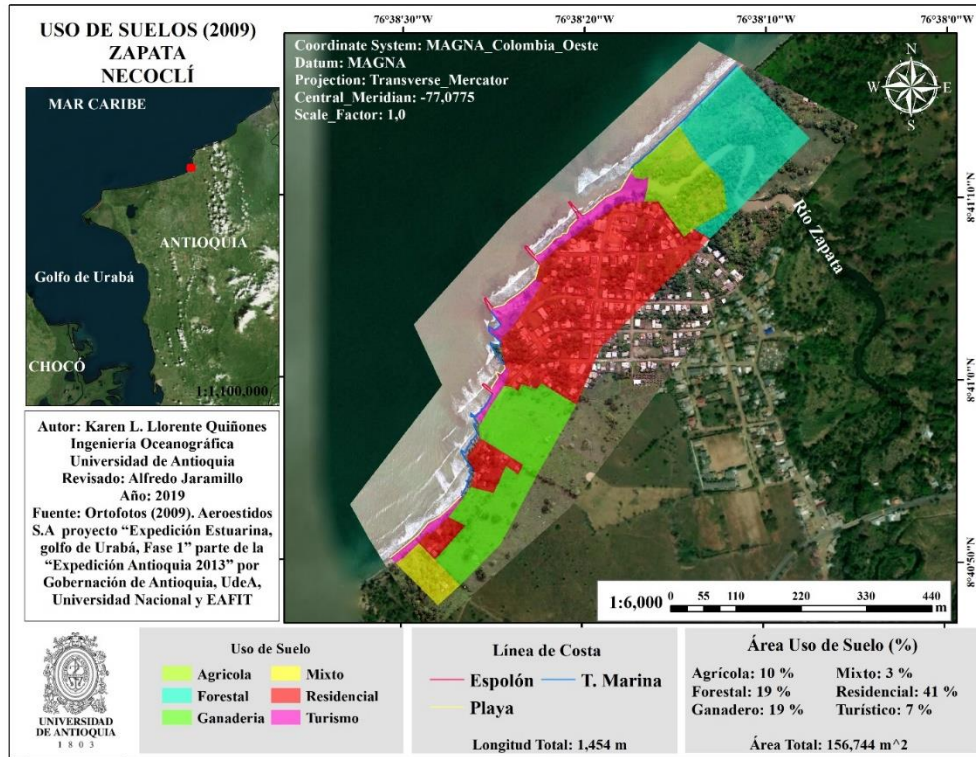


Figura 36. Mapa Uso de Suelos (2009) Zapata-Necoclí

Ya en el 2018 el área disminuyó hasta los 137,464 m² con algunos cambios en sus usos y las construcciones de obra, en el entonces se encuentra un enrocado que protege toda la zona residencial y 3 espolones, el uso forestal aumentó a un 29 % debido al abando de cultivos y fincas como se observa en la Figura 37 al igual que el residencial quedando en 45 %, de igual forma se pudo evidenciar un cambio de actividades como fue el de ganadero a agrícola y la disminución total de playas en toda la parte al sur del río, quedando ahora uso turístico solo en la desembocadura y la parte norte que abarca apenas el 4%.

Las obras presentes han logrado una estabilización de la zona residencial, pero representan peligro para quienes están en las partes aledañas a las mismas haciéndose evidente la erosión en terrazas marinas en formas cóncavas al extremo sur de la costa.

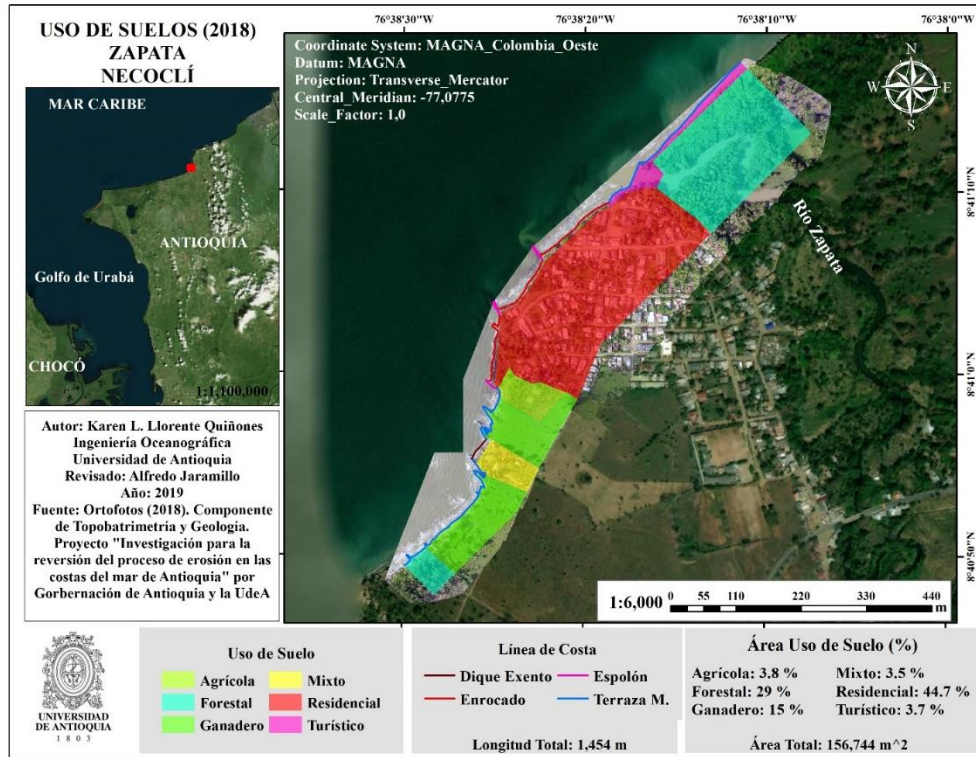


Figura 37. Mapa Uso de Suelos (2018) Zapata-Necoclí

Punta Las Vacas-Turbo

Es un lugar caracterizado por su gran zona de manglares (uso forestal), que se pudo identificar desde el año 1996 (ver Figura 38), siendo el 80 % de un área total de 646,468 m².

En medio de la espiga fue construida la pista de aterrizaje de aviones para el municipio de Turbo, el cual ocupa 12 % (identificado como uso mixto) y algunas infraestructuras para otras actividades, además de eso, el 8% de la zona es utilizado desde entonces para actividades militares quienes residen en la misma y prestan algunos servicios como la seguridad marítima.

Los cambios encontrados para el 2009 fueron pocos (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por las entrevistas con la comunidad se conoce que la pista ya no es utilizada para los despegues de aviones, sino para actividades militares principalmente, y que los mismos se encargan del cuidado de la flora y fauna de la zona con un 517, 116 m² donde el 75 % es forestal, el 11% residencial y el resto es dedicado a varias actividades.

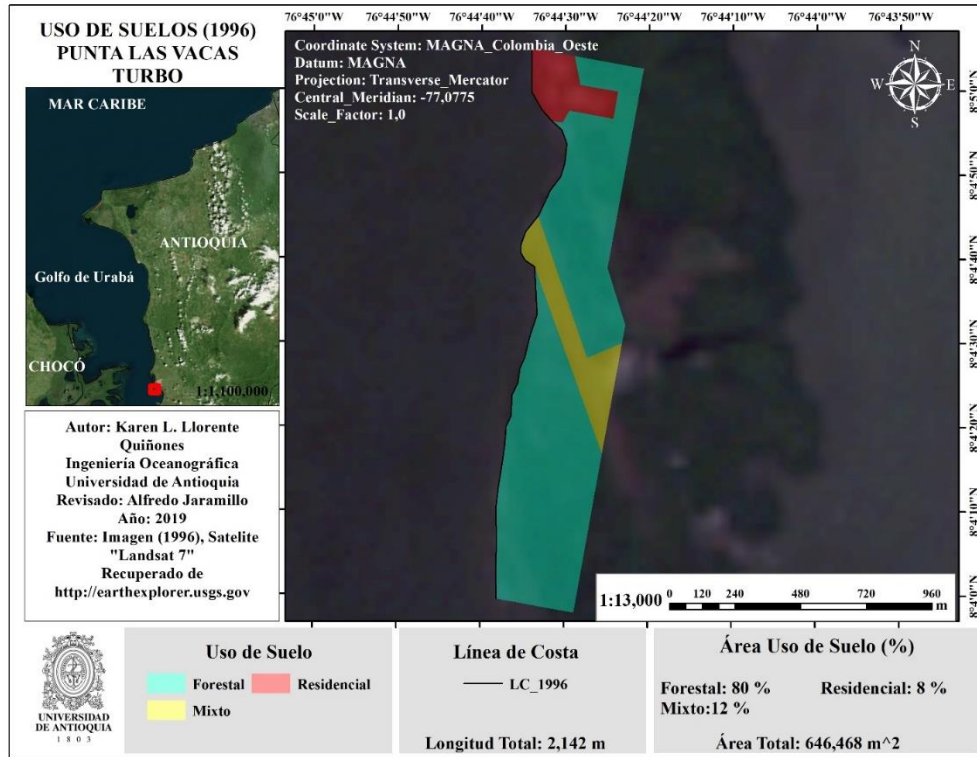


Figura 38. Mapa Uso de Suelos (1996) Punta Las Vacas-Turbo

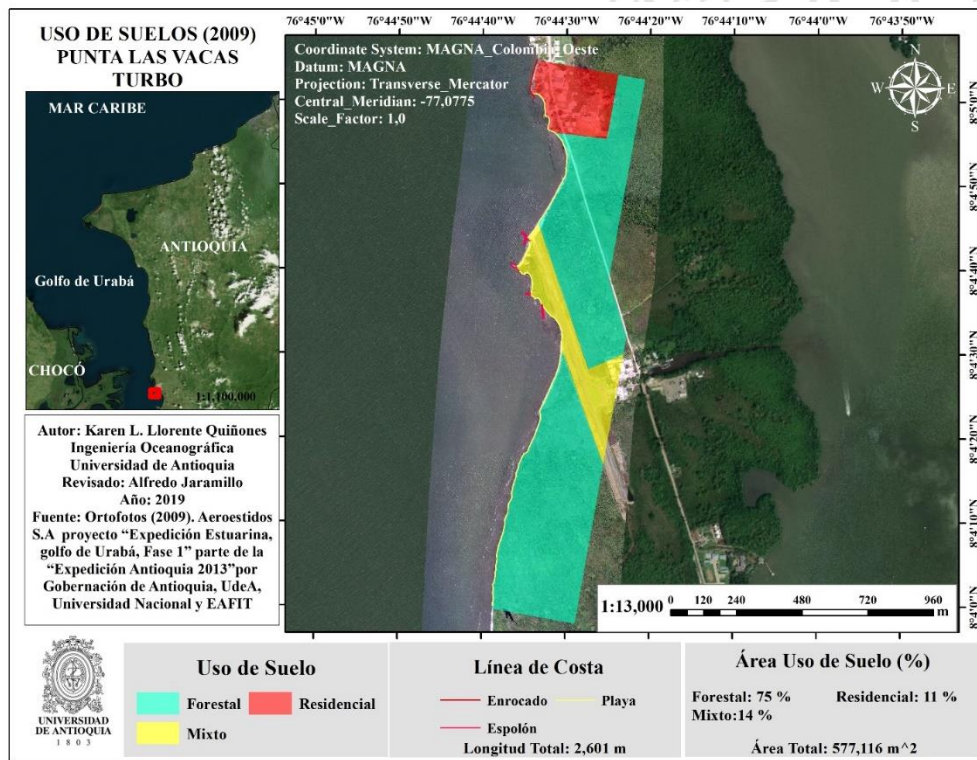


Figura 39. Mapa Uso de suelos (2009) Punta Las Vacas-Turbo

Por otro lado, se encuentra a la fecha que fueron construidos tres espolones en la zona de playa para el sector de uso mixto (pista de aterrizaje) y un enrocado que resguarda todo el sector de uso residencial.

En el último año como se observa en la Figura 40 el área pasa a ser de 524,683 m² y se continua con los mismos usos encontrados en las años anteriores, donde el uso forestal ahora ocupa el 85 %, mixto 12% y el resto residencial en el cual se hizo un alargamiento del enrocado y se encontró un deterioro de los espolones antes presentes, por la sumersión casi completa de algunos.

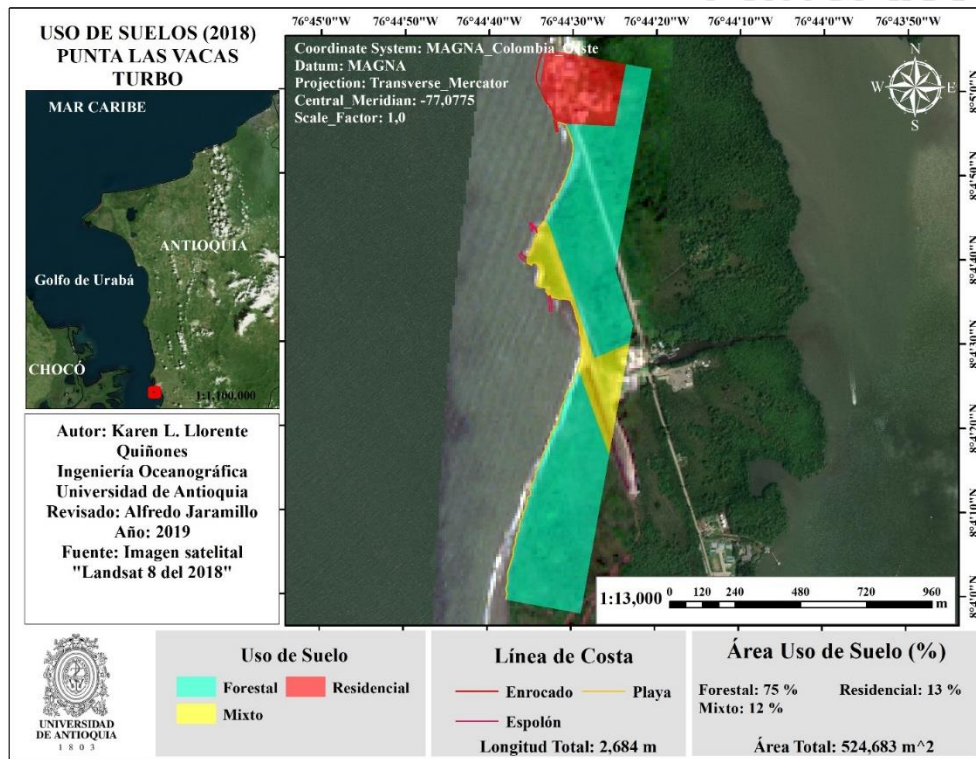


Figura 40. Mapa Uso de Suelos (2018) Punta Las Vacas-Turbo

Para la zona de Punta las vacas no se encontraron cambios significativos en las áreas de los usos del suelo.

5.2. Tasas de cambios en la Línea de Costa Rango de Regresión Lineal (LRR)

A continuación, se presentan los resultados de la tasa de retroceso de línea de costa a través de la metodología del Rango de Regresión Lineal (LRR) obtenidos mediante la herramienta DSAS

Volcán de Lodo-Arboletes

Es un lugar que se encuentra bastante afectado por la erosión, en la Figura 41 se puede ver que la tasa de erosión que predomina corresponde al rango entre los -1.5 y -3.0 m/año encontrando algunos sectores con pérdidas hasta -63 m de terreno desde el 1996 hasta el 2018.

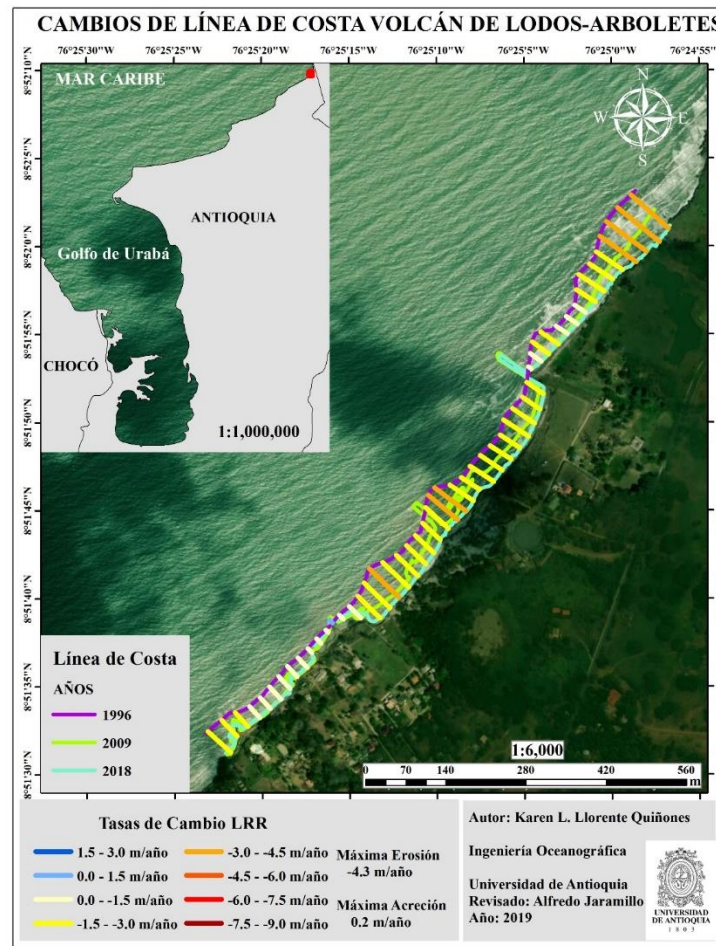


Figura 41. Mapa LRR Volcán de Lodo-Arboletes

Las tasas de erosión mayor son presentadas en el extremo norte de la zona y la parte central que está asociada principalmente al cráter del diapiro de lodos (Volcán de Lodo) con un valor de -4.3 m/año, mientras en el extremo sur se pudo evidenciar una recuperación que se asociada a la construcción de un enrocado, dando como resultado una tasa que va hasta +1.5 m/año, mostrando una recuperación de +4.2 m localmente.

Por otro lado, en la obra de defensa costera como espolón que se encuentra en la parte norte, hay un control como tal de la erosión en la costa cercana, pero en el espolón y dique exento construido en el centro de la costa del diapiro no muestra resultados de control o recuperación de costa alguna.

Río Hobo-Arboletes

Las tasas de erosión presentadas en Figura 42 para esta zona, alcanzan un máximo de -2.9 m/año en la parte sur cerca a la desembocadura del río, donde quedaba el cauce anterior del mismo.

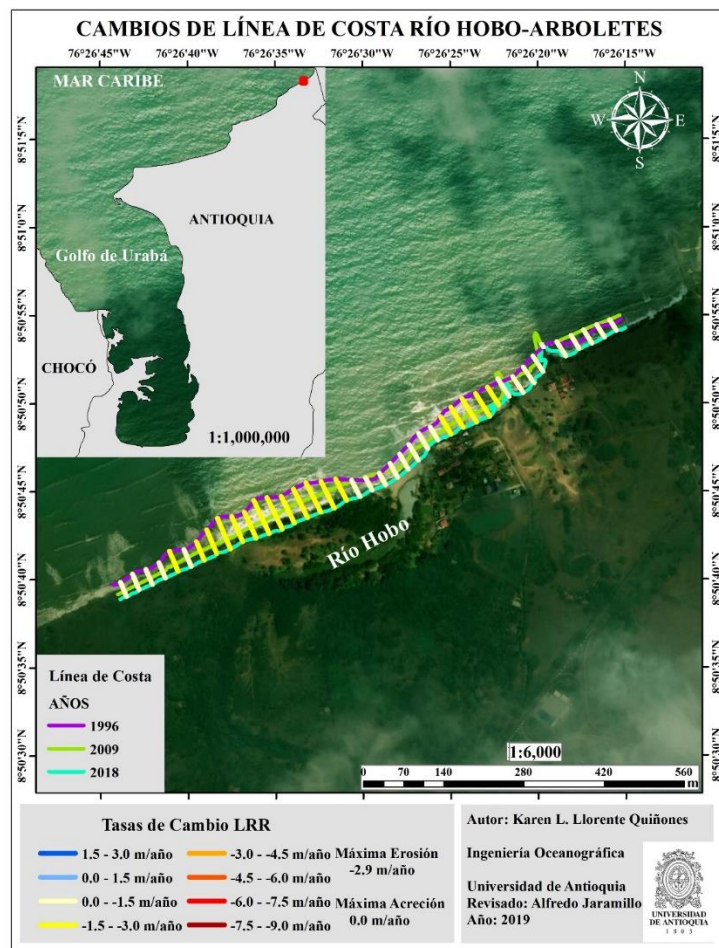


Figura 42. Mapa LRR Río Hobo-Arboletes

Siendo constante en casi toda la costa un rango entre -1.5 y -3.0 m/año que se puede interpretar como una pérdida neta de hasta -62 m para los 22 años de análisis para gran parte de los sectores del lugar; para el año 2009 se ve una recuperación de playas en el extremo norte de la zona por la

construcción de una obra de protección como espolón (saliente notable en la línea de costa 2009), pero a la fecha este ha dejado de funcionar dando como resultado una erosión neta de hasta -31.5 m en ambos lados de la misma.

Uveros-San Juan de Urabá

Las tasas de erosión encontradas para este lugar, tal como se muestra en la Figura 43, son de máximo -3.0 m/año, siendo muy pocas y dispersas por toda la zona, que da una erosión neta de aproximadamente -60 m desde el 1996 hasta el 2018.

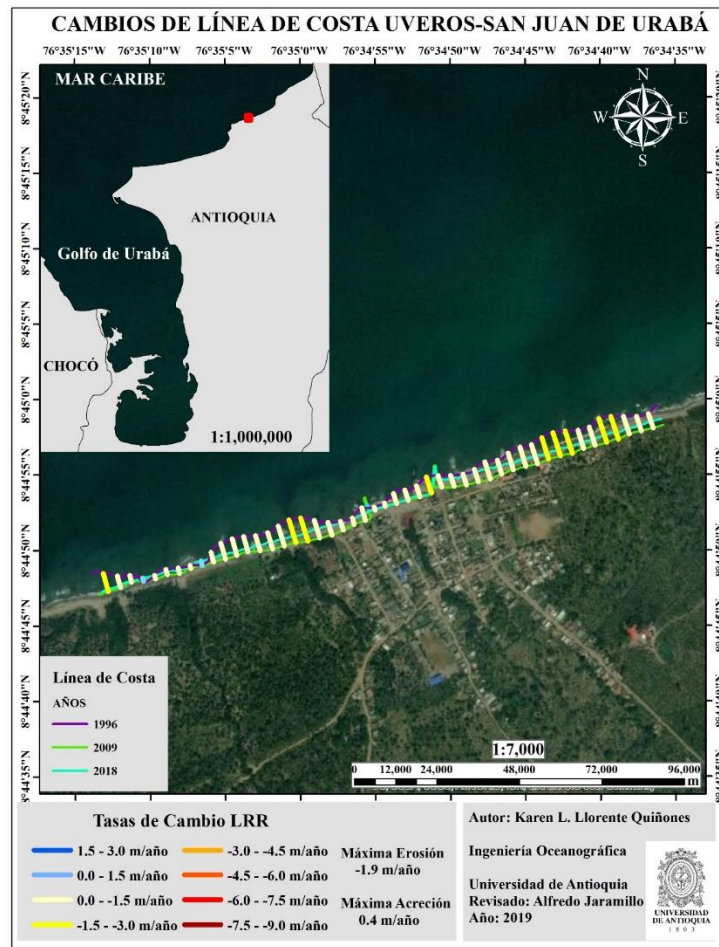


Figura 43. Mapa LRR Uveros-San Juan de Urabá

La construcción de obras costeras como espolones encontradas en el 2009 muestran una buena respuesta con la estabilización de la costa, logrando que la erosión fuera menor y en algunos casos

como al extremo sur de la zona se presenta en sectores recuperación de costa de hasta +0.4 m/año que lleva a una neta de +8.4 m entre 1996 y 2018.

Damaquiel-San Juna de Urabá

Siendo uno de los lugares con menor tasa de erosión, Damaquiel presenta un promedio de erosión de -1.5 m/ año como se muestra en la Figura 44 erosión neta de -31.5 m, en el periodo comprendido entre 1996 y 2018, sin embargo, en la parte más sur la tasa de erosión aumenta casi al doble, alcanzando un valor neto de -63 m en los 22 años de análisis.

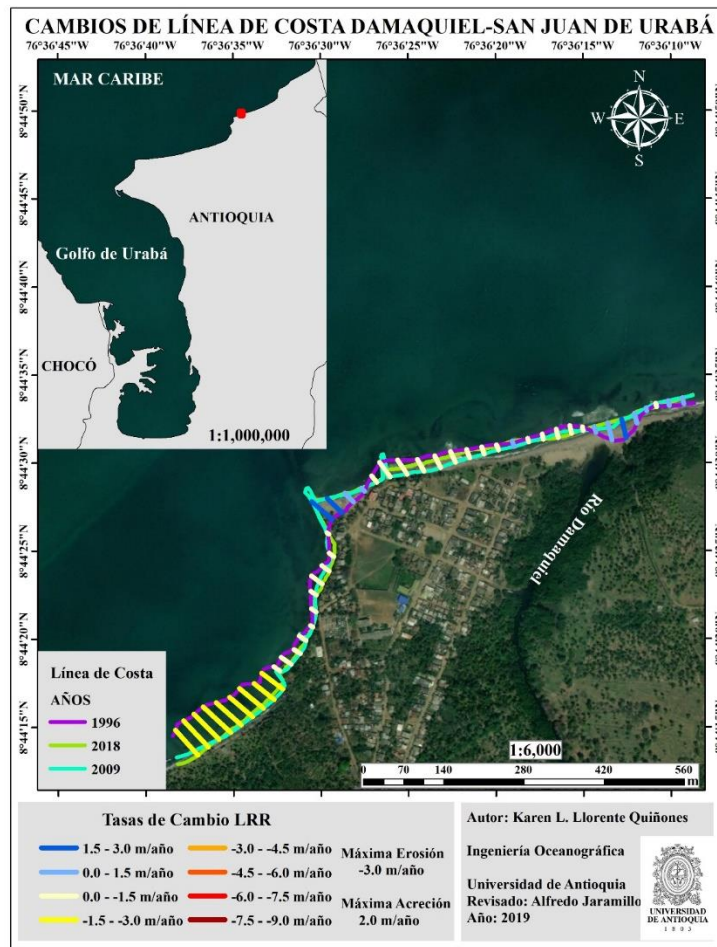


Figura 44. Mapa LRR Damaquiel-San Juan de Urabá

La principal recuperación y estabilización de la zona se encuentra en los lugares de construcción de obras para la defensa costera que fueron 2 espolones y la desembocadura del río, logrando

entonces avances progradantes en línea de costa de hasta +2.0 m/año dando como resultado una longitud neta para la costa de 42 m.

Zapata-Necoclí

Las tasas de erosión para este lugar superan los -1.5 m/año en gran parte de la costa (ver Figura 45), llegando hasta una máxima de -3.6 m/año que da como resultado una tasa de erosión neta de -75.6 m en algunos sectores durante el periodo comprendido entre 1996 y 2018, y disminuye hacía la parte norte del río donde las tasas de erosión son de menos de -1 m/año y una mínima recuperación neta directamente en la desembocadura de +4 m aproximadamente.

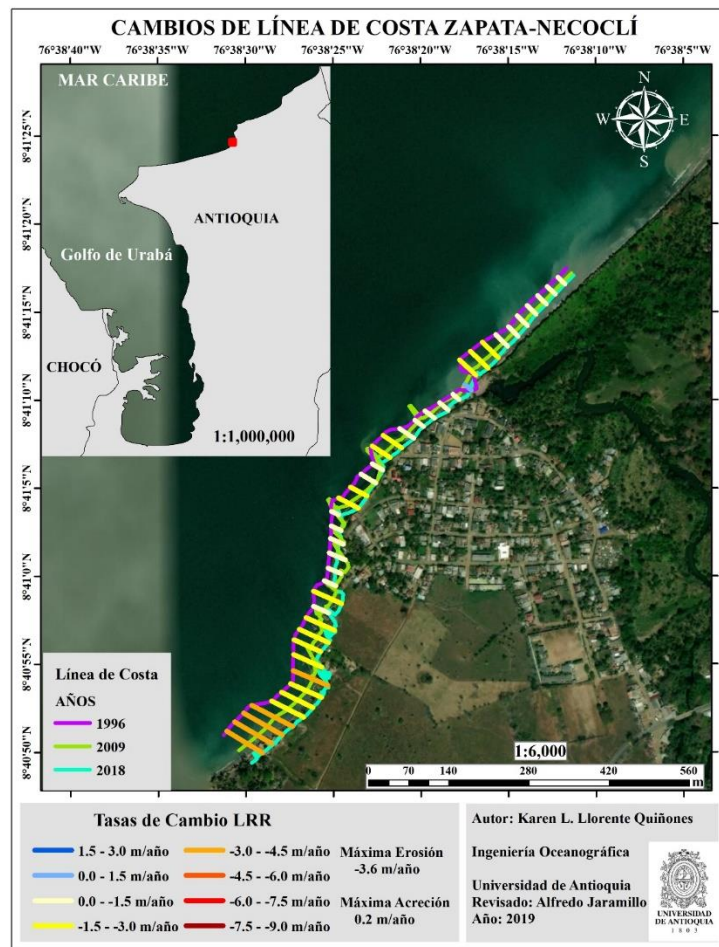


Figura 45. Mapa LRR Zapata-Necoclí

En la última década se nota una disminución de la aceleración del proceso de erosión para los sectores donde se encuentran las distintas obras de protección costera.

Punta Las Vacas-Turbo

Esta es una de las zonas más afectadas donde se presentan tasas de erosión de hasta -8.1 m/año, lo que conlleva una tasa neta de erosión que logra sobrepasar los -170 m en el periodo de 22 años, tal como se observa en la Figura 46.

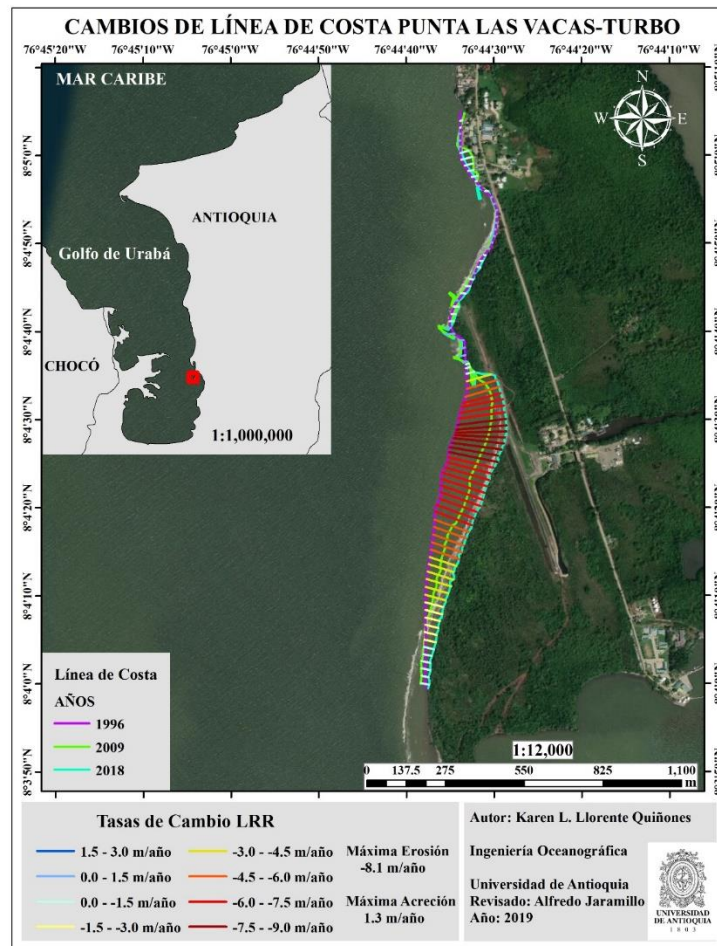


Figura 46. Mapa LRR Punta Las Vacas-Turbo

Esta erosión ha representado pérdidas significativas como por ejemplo la pista de aterrizaje Gonzalo Mejía del municipio de Turbo que está comprometida en casi un 1/3 de su longitud, por lo cual para la zona se han construido distintas obras para la defensa costera sin obtener resultados

de recuperación en la mayor parte, por otro lado se encontró una estabilización mínima de +1.3 m/año en el sector de la construcción de un gran enrocado que protege las infraestructuras utilizadas para servicios militares prestados en la zona.

5.3. Evaluación de relación entre uso del suelo y la erosión costera

A continuación se presentan los resultados al comparar los cambios de uso del suelo respecto a las tasas de erosión o acreción en cada uno de los lugares analizados, cabe anotar que hay otros factores que promueven la dinámica de la costa generando acreción o erosión, como por ejemplo las prácticas de extracción de material, las construcciones de obras de protección costera la desviación de ríos, entre otros, sin embargo en los resultados que se presentan a continuación solo se tendrá en cuenta la variable del cambio de uso y la tasa de cambio de la línea de costa.

Volcán de Lodo-Arboletes

A través el tiempo los cambios para esta zona han sido significativos, pasó de una zona con uso principalmente **ganadero a residencial, forestal y turístico** (ver Figura 47), aunque para el ultimo uso ya no exista suficiente espacio como lo es las playas en la costa ya que fueron las erosionadas casi en un 100 %.

Tomando de norte a sur para el 1996-2009 con las mayores tasas de erosión, los cambios asociados al uso turístico erosionado fueron de **forestal a turístico** lo que se traduce como una debilidad de los suelos al ser sedimentos no consolidados, de **mixto a forestal** que puede verse como una predisposición que hace vulnerable al suelo al igual que mantener el uso **ganadero** y pasar de **ganadero a residencial, de** igual forma al observar los cambios ocurridos entre 2009-2018 en los mismos lugares como el extremo norte se mantuvo para entonces el uso **turístico** la erosión continuó a igual rango llegando a un total entre los -85.5 y -9.5 m, pero en la zona que hubo el cambio a uso **forestal** y se mantuvo dicho uso, se hace evidente una disminución de la tasa erosiva

y recuperación en algunos puntos también ayudados por las obras de defensa costera (espolón), viéndolo como una solución adicional o complementaria hasta en los casos de uso **residencial** (enrocado), encontrando así que la parte de la costa más afectada por la erosión fueron las zonas de uso principalmente **ganadero** que se le daba en el pasado a los suelos.

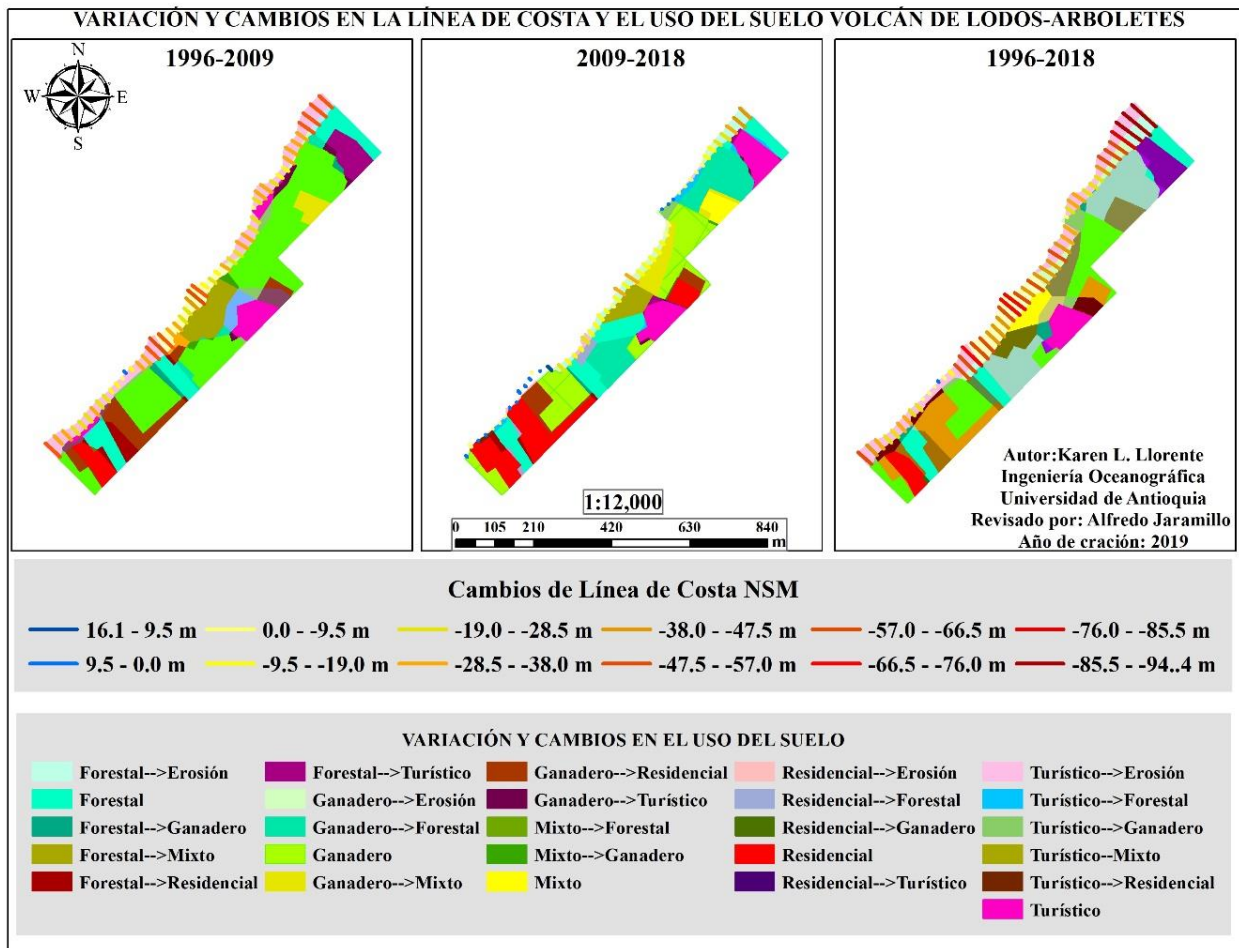


Figura 47. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Volcán de Lodo-Arboletes

Río Hobo-Arboletes

Los cambios de uso de suelo encontrados en la zona fueron pocos, como se puede ver en la Figura 48, de donde se destaca un crecimiento del uso **residencial** en partes antes utilizadas como uso **forestal**, y **ganadero** en áreas de antes usos residenciales y agrícolas, para los cuales se mantiene en la actualidad.

Las tasas de máxima erosión en el tiempo de 12 años (1996-2009) se encuentran mayormente en la zona que pasó de uso **forestal a turístico** y **forestal a ganadero** encontrando tasas netas de hasta 52.0 m y ya en menor proporción de hasta 26 m en cambios de **forestal a agrícola** y a **residencial**. Para el mismo sitio se contó con una recuperación mínima en la parte de la desembocadura del río y donde existe la construcción de un espolón pudiendo mantener un uso **turístico**, aunque lo procede un uso **ganadero**, pero cuando se construyen obras para la defensa costera al norte (centro de la cabecera municipal) como se ve en 2009-2018 se presentan las tasas de máxima erosión de hasta 39.0 m en la costa de esta zona.

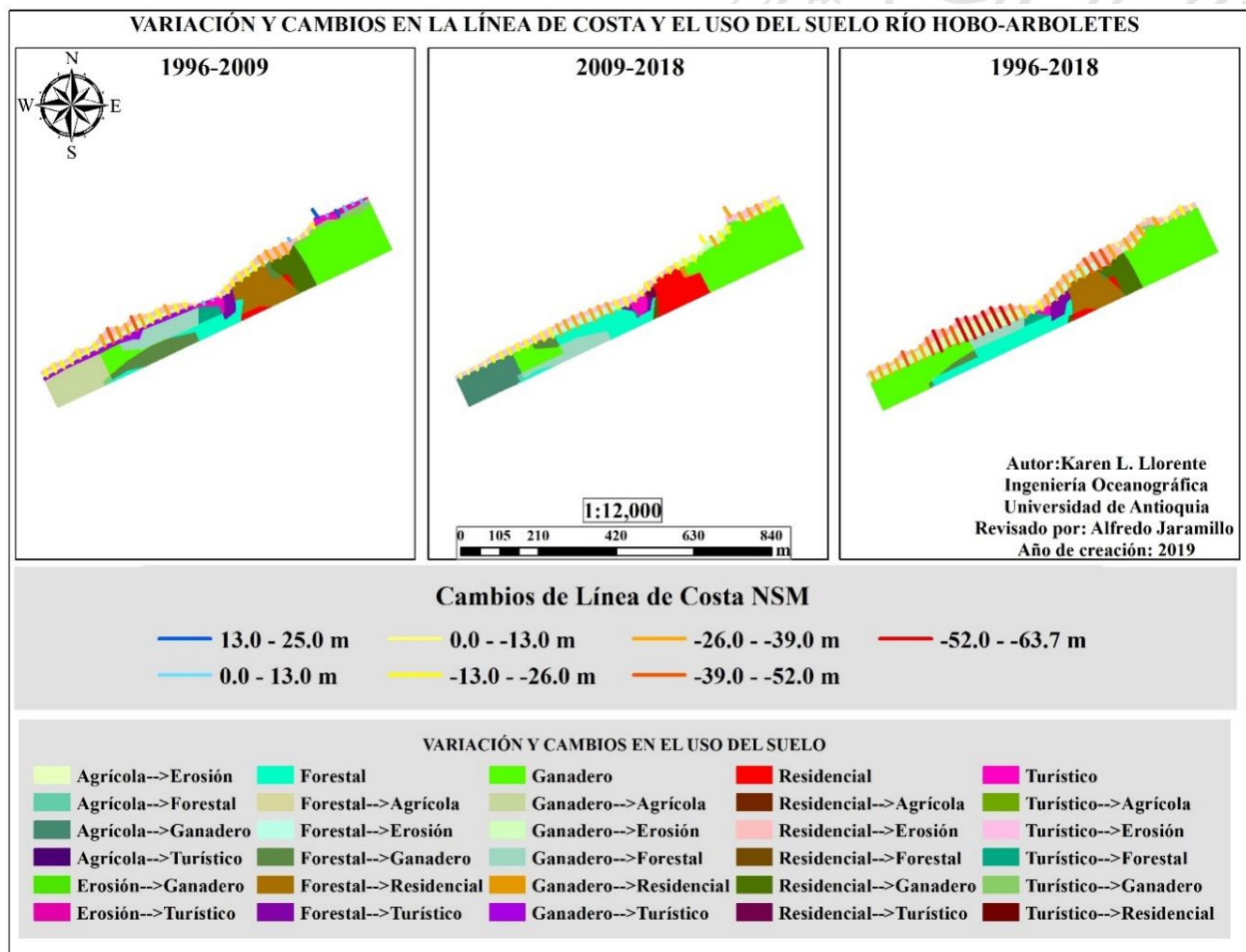


Figura 48. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Río Hobo-Arboletes

La erosión entre el rango de -13.0 y -26.0 m fue constante en las zonas sin cambios en los usos **residencial**, **ganadero** y el cambio de **agrícola** a **ganadero** para los 9 años (2009-2018) que resaltan la erosión de hasta -39.0 en una zona de uso forestal sostenida. Finalmente, el resultado neto durante los 22 años la erosión máxima de -63.7 m se hizo evidente en cambios de uso de suelo de **ganadero** a **forestal**, viceversa, y de **forestal** a **residencial**. Para entonces, el río sigue siendo quien trae a la costa la mayor contribución de sedimentos, mostrando de esta manera la menor tasa de erosión para la zona en la desembocadura a medida de la disminución de explotación de arenas que se daba para décadas anteriores en el lugar.

Uveros-San Juan de Urabá

Esta área de estudio pasó de ser un área principalmente de uso **agrícola** a uso **residencial** y **forestal** (ver Figura 49) obteniendo buenos resultados con la construcción de dos obras para la defensa costera como espolones.

En el lapso de tiempo de 12 años (1996-2009) se encontraron retrocesos netos de la línea de costa de hasta -50.3 m asociados principalmente a usos **turísticos** y los cambios de uso **agrícola** a **residencial** y **turísticos**. En este periodo los usos de suelo tienen cambios principales donde se pasa a usos como el **forestal** y **residencial** principalmente, que se mantienen para los años de 2009 a 2018 donde se da una recuperación de las playas (uso **turístico**) en toda el área costera hasta la magnitud de +21.4 m en total que es sostenido en la mayor parte de la misma, el cual se atribuye a la construcción de dos espolones que contribuyen con la retención de sedimentos dando paso a su decantación.

En todo el tiempo analizado las menores tasas de erosión fueron presentadas en el uso residencial que se ha mantenido y los mejores resultados en general son evidenciados en los cambios a uso

forestal de la zona de tal manera que en las áreas de mayor recuperación se están construyendo nuevas infraestructuras para la zona.

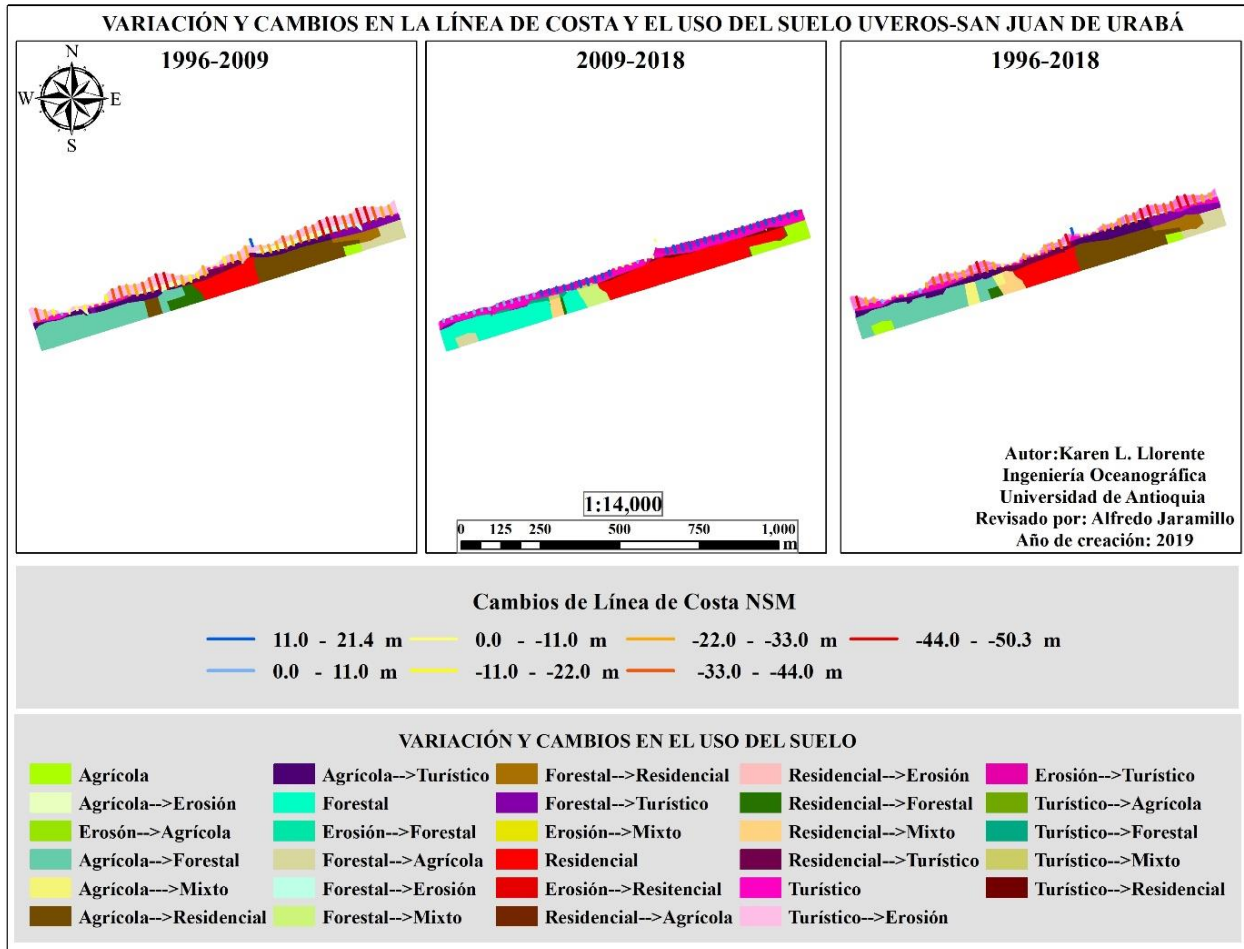


Figura 49. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Uveros-San Juan de Urabá

Damaquiel-San Juan de Urabá

Los cambios principales de esta zona fueron inicialmente de uso **mixto** a **residencial** como se observa en la Figura 50 convirtiendo fincas en lotes para la construcción de infraestructuras de vivienda o cabañas de turismo, el cual alcanzó para la actualidad abarcar casi que el 50 % de la zona.

Las tasas de erosión máxima en esta zona que llegan hasta -42 m son presentadas en cambios de uso **forestal** a **agrícola** y aún mayores donde se pasa de **agrícola** a **turístico** y lo precede un uso **agrícola**, por otro lado, la acreción de la zona ha alcanzado hasta +47 m en la costa por la

construcción de una obra para la defensa costera como espolón en la línea de costa de uso **residencial**, dando sus mejores resultados en las zonas de uso **forestal** que se encuentran en la ribera este del río, funcionando de esta manera como trampa de sedimentos para la recuperación de la zona oeste en la última década (parte este de los dos espolones), sin embargo en la parte oeste del espolón más grande también se han presentado sectores con acreción, aunque mínimas alcanzando tan solo +14 m en lo corrido del 2009 al 2018 por lo que se puede considerar más como una estabilización.

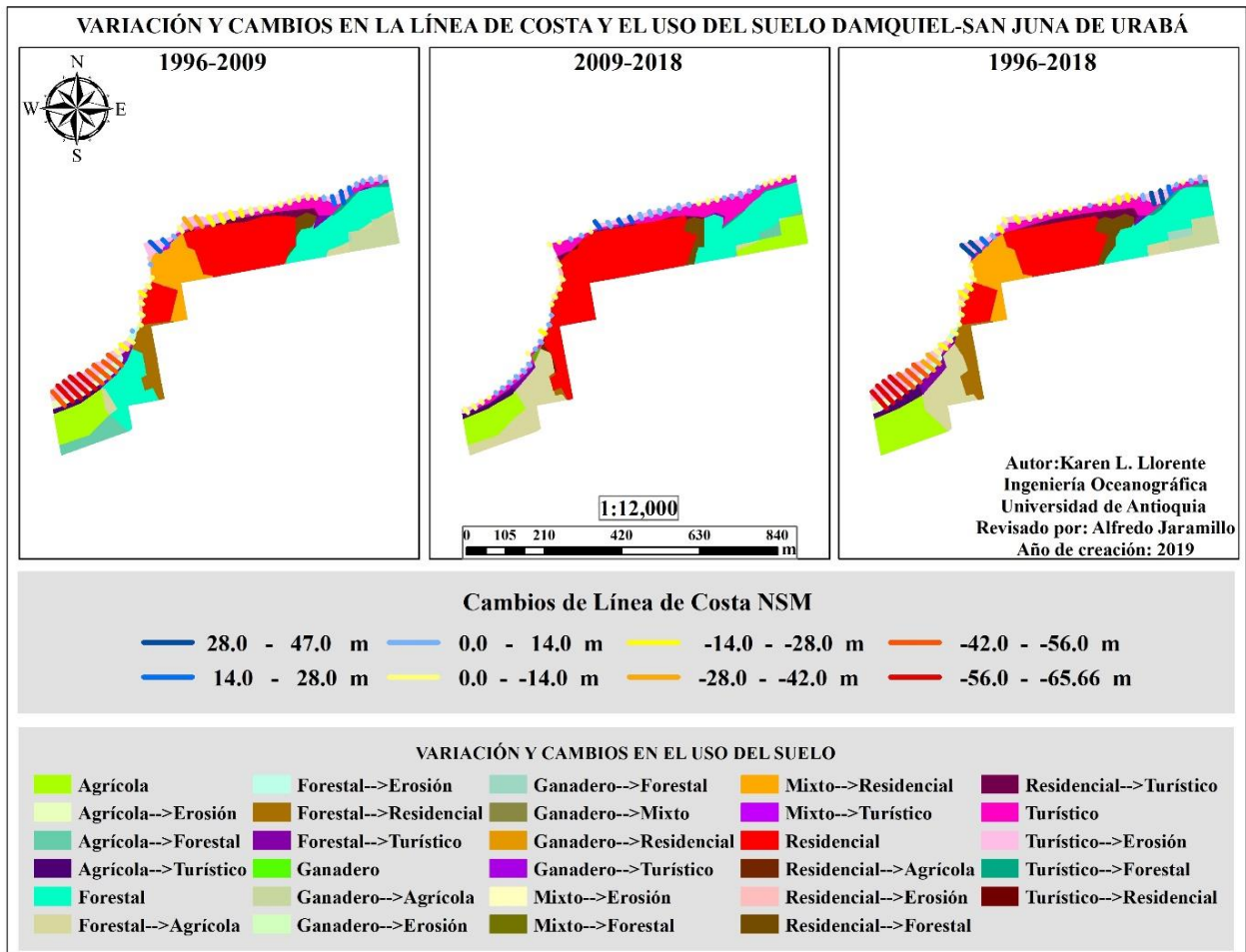


Figura 50. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Damaquiel-San Juan de Urabá

En general para esta zona en la última década se dio una recuperación en la mayor parte de la costa, volviendo entonces a tener área para el uso **turístico** que ha permitido la protección del uso **residencial**.

Zapata-Necoclí

Es una zona principalmente de uso **residencial** durante todo el tiempo, donde los sectores más afectados por la erosión son los de uso **ganadero** y **agrícola** como se puede ver en la Figura 51, en el cual se alcanzaron longitudes de hasta -80.6 m de pérdida de terreno y los de uso **turístico** fueron erosionados en su totalidad.

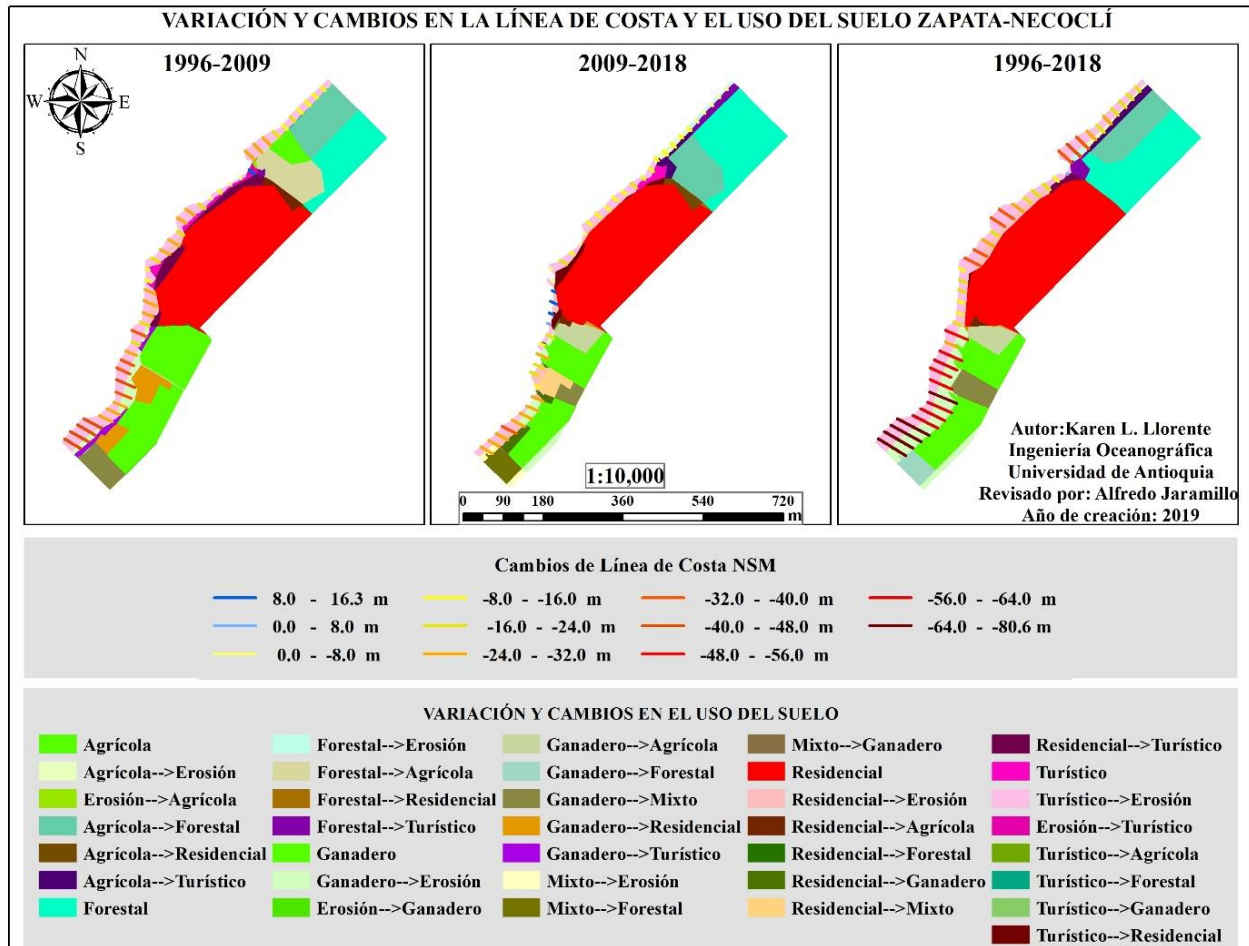


Figura 51. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Zapata-Necoclí

A través del tiempo los cambios de la zona se han dado en los usos ganaderos y forestales, donde se han presentado de **ganadero a residencial**, en otros casos a **mixto** (varias actividades) y de uso **forestal a agrícola** o viceversa, resultando las tasas de erosión para las zonas de **ganadero a residencial** hasta de -64 m que disminuyen en los cambios de **ganadero a mixto** con la construcción de algunas obras.

En la parte noreste se puede observar un control de la erosión con el cambio de uso **agrícola** a **forestal** al seguirlo manteniendo en los últimos 9 años cerca al río que termina por ser completamente de uso **forestal** a la fecha, pero también una diferencia entre las zonas que pasaron de **forestal** a **turístico** y de **agrícola** a **turístico**, dando tasas de menor erosión para el sector.

Teniendo en cuenta que este es uno de los lugares donde se encuentra una de las obras para la defensa costera más grandes que es un enrocado, este abarca toda la línea costera del uso residencial logrando estabilizarla. Por otra parte, las zonas donde no se ha podido controlar la erosión son las zonas que anteriormente eran de uso **ganadero** y en la actualidad se desarrollan en ellas usos como **residencial** y **agrícola**.

Punta Las Vacas-Turbo

Este es un lugar donde los resultados fueron totalmente diferentes a los comúnmente encontrados, el suelo no ha tenido cambios máximos o significativos de uso como se puede observar en la Figura 52, siendo entonces una de las zonas con mayor cobertura de uso **forestal**, pero que a su vez es la más afectada por las tasas de erosión alcanzando en estos 22 años en su parte central longitudes de más de -170 m perdidos, pero que ha logrado estabilizar la zona de uso **residencial** con la construcción de un gran enrocado deteniendo en sectores erosión de hasta -60 m y en otros de uso forestal logrando acreción de hasta +15 m.

Se observa que las mayores tasas de erosión se dan en la pista de vuelos que para el caso es uso **mixto**, se pasa a hacer investigaciones que puedan dar una respuesta a lo que en verdad afecta esta zona, ya que los cambios de uso de suelo no muestran ser un detonante como tal, hallando escritos por autores como García C., (2007) quien afirma que se experimenta erosión debido al déficit de sedimentos desde que se desvió el río Turbo y que se quedan atrapados en el nuevo delta, así como por la fuerte incidencia oblicua del oleaje en la zona, y por último se le suma la construcción de

espolones de forma inapropiada no solo en el área crítica de Puna las Vacas, sino que también en la parte norte donde se encuentran las playas turísticas del municipio.

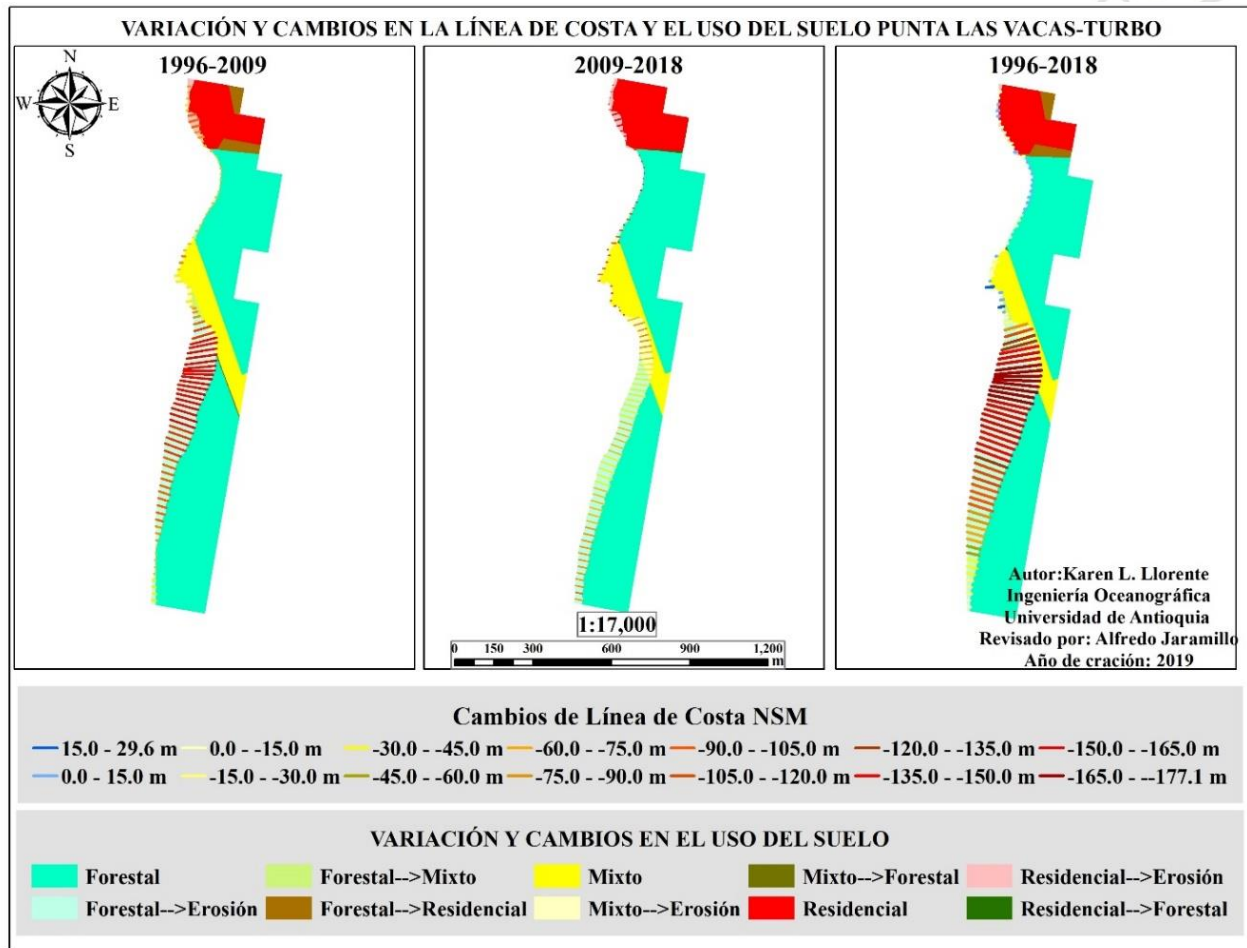


Figura 52. Variación y cambios en el uso del suelo y la línea de costa Punta Las Vacas-Turbo

5.4. Errores por marea

Tal como se mencionó anteriormente en la metodología, se realizó un análisis del Máximo Error Horizontal, cuyos resultados se presentan a continuación en la Tabla 6

Tabla 6. Máximo error horizontal por marea

Lugar	Pendiente media(°)	Pendiente media(%)	Rango de marea medio 2018 (m)	Máximo Error Horizontal (m)
Punta Las Vacas	6.24	10.96	0.36	±3.29
Zapata	2.65	4.64	0.22	±4.75
Damaquiel	4.49	7.86	0.21	±2.68

Uveros	3.83	6.71	0.21	±3.28
Río Hobo	3.11	5.44	0.20	±3.68
Volcán de Lodo	2.50	4.36	0.20	±4.48

Se puede observar que el error mayor es para la zona de Zapata y Volcán de Lodo, superando entonces los 4 m, mientras para Damaquiel alcanza tan solo un error de 2,68 m, teniendo en cuenta que este error se debe tener en cuenta para los valores de tasas de erosión netos en todos los años que se analizaron.

6. Conclusiones y recomendaciones

En la costa antioqueña a través el tiempo los usos de suelos han ido cambiando, pasando de ser principalmente de uso **ganadero** y **agrícola** a **residencial** y **turístico** y tienen una gran influencia que afecta la susceptibilidad del terreno a la hora de enfrentarse al fenómeno de erosión y en algunos casos pueden ser favorables para llevar la zona a una recuperación como de **turístico** a **forestal** y **ganadero** a **residencial**.

Volcán de Lodo-Arboletes

Las áreas de uso **ganadero** en el pasado guardan memoria de debilidad para el terreno, de tal manera que cuando se pasan a cambios considerados como favorables en este caso el uso **forestal**, estos llevan un tiempo en ser reestablecidos. Cabe destacar que, para la zona el hecho de estar sobre terrazas marina emergidas con alturas de hasta 6 m y contar con actividad diapírica, le hace ser mucho más susceptible a la erosión (Correa I. D., 2004) ya que los movimientos de placas y erupciones hacen desestabilizar el terreno.

Río Hobo-Arboletes

Como en la zona anterior, mantener un uso **ganadero** en las costas vuelve vulnerable el terreno y más aún cuando las terrazas marinas superan los 10 m de altura sobre el nivel del mar, además los

cambios de uso **forestal** a **residencial** en riveras de ríos pueden llevar a riesgos en el futuro para quienes allí habitan.

Por otro lado, cuando las zonas de uso **forestal** son recién formadas, no le favorecen los cambios a uso **ganadero** ni **turístico**, debido a que, al no ser zonas con buena estabilidad, pueden llegar a presentar tasas muy altas de erosión y ser muy débiles frente al oleaje, de igual manera que mantener un uso **ganadero** ante la construcción de un espolón o enrocado en terrazas marinas altas, sin embargo no se puede descartar que en la zona la construcción de obras de defensa costera en el centro de la cabecera del municipio también fueron detonante para la erosión.

Uveros-San Juan de Urabá

La construcción de dos espolones instalados un poco antes del estudio (inicio de los 90) en esta área, fue favorecida por los cambios encontrados para la zona de uso **agrícola** a **forestal** principalmente contribuyendo así con la recuperación de área para el uso **turístico** de la misma, además en uso **residencial** también se ve una estabilización ya en menor proporción, de esta manera se llega a la conclusión de que el uso **residencial** asociado a una variación en la costa con uso **forestal**, también puede dar buenos resultados.

Damaquiel-San Juan de Urabá

Mantener un uso **forestal** en las riberas de los ríos y pasar de usos **forestales** a **agrícolas** no afecta en gran escala los suelos, de esta forma se llega a que las construcciones de obras tengan buenos resultados en la recuperación de la zona estabilizando un uso residencial que puede estar seguida al área de construcción.

Zapata-Necoclí

Los cambios de uso **agrícola** a **ganadero** aumentan la predisposición de los suelos ante el proceso de erosión costera en gran escala y suelen ser mucho más afectados cuando se pasa de un uso

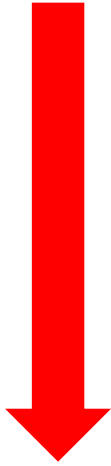
ganadero a **residencial** o **mixto**. Sin embargo, las construcciones de enrocados que protegen zonas de uso **residencial** logran una estabilización que frena el proceso de erosión costera.

Punta Las Vacas-Turbo

Las geoformas más afectadas son las espigas holocenas, en donde los cambios de uso del suelo no son detonantes, como se observó particularmente en esta zona, pero no se pueden dejar de tener en cuenta que algunas infraestructuras pueden hacer que el terreno sea inestable, ya la hora de ser afectada la zona por el proceso de erosión esa parte es la más perjudicada.


Para concluir se puede afirmar que los cambios a usos del suelo continuo como el **ganadero**, **turístico**, **agrícola** y **residencial**, aumenta la predisposición ante el proceso de erosión. De esta forma, en la siguiente tabla Tabla 7 se pretende mostrar un orden de cambios de uso del suelo encontrados, comparándolo con la erosión que pueden presentar al existir de mayor a menor.

Tabla 7. Análisis de erosión frente a cambios en el uso del suelo

EROSIÓN	CAMBIOS EN EL USO DE SUELOS
	Forestal → Ganadero
	Agrícola → Ganadero
	Agrícola → Turístico
	Forestal → Turístico
	Forestal → Residencial
	Agrícola → Residencial
	Ganadero → Residencial
	Ganadero → Mixto
	Ganadero → Turístico
	Mixto → Forestal
	Agrícola → Forestal
	Turístico → Forestal
	Menor

De igual manera la Tabla 8 muestra un orden de como los usos pueden predisponer los suelos costeros dejándolos susceptibles a la erosión.

Tabla 8. Análisis de erosión frente a usos de suelo

EROSIÓN	USO DE SUELOS
	Ganadero
	Agrícola
	Turístico
	Mixto
	Residencial
	Forestal

Las zonas que son formaciones holocenas pueden verse muy afectadas por el proceso de erosión sin que el uso de suelo sea un detonante principal, como se pudo observar en Punta Las Vacas y la desembocadura de Río Hobo, siendo ambas principalmente uso **forestal** en la costa.

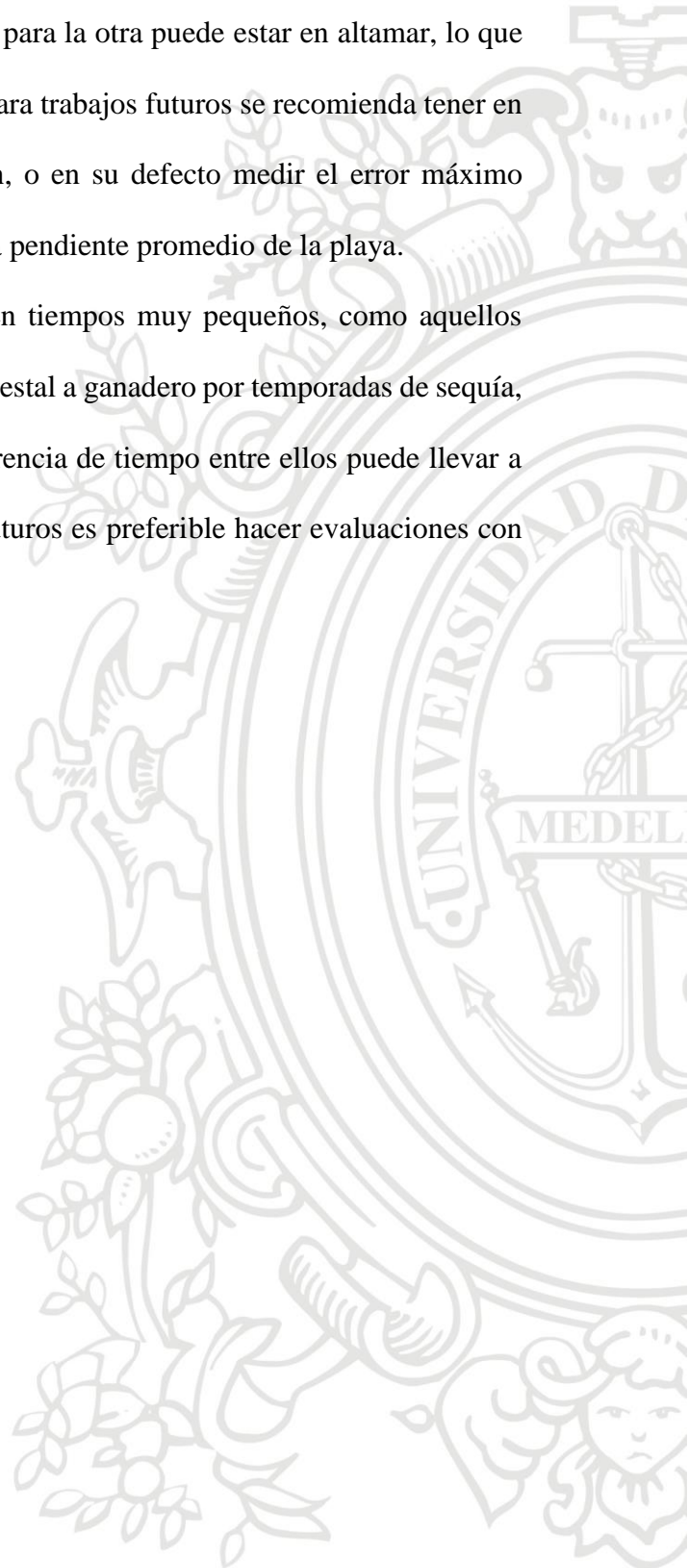
Por lo tanto, se recomienda que el uso que los usos tanto **ganaderos** como **agrícolas** y **residenciales** cuenten distancias considerables a la costa, siendo resguardados principalmente por usos **forestales** y no sean asentados en zonas de formaciones holocenas o muy recientes, de estalos es preferible que se haga una reubicación de las mismas. Las obras de defensa costera como enrocados se utilicen para proteger zonas de uso principalmente residencial, los espolones tengan a su alrededor usos principalmente forestales al igual que las riberas de los ríos, funcionando como trampas de sedimentos y disipadores de olas.

7. Discusión

Los errores que se pueden presentar cuando se trabaja con imágenes donde no se conocen con exactitud las horas de toma de las mismas no son tan irrelevantes, llevando entonces a que muchas

veces se sobredimensionen resultados como en el caso de comparar imágenes donde para una imagen la marea puede estar en bajamar, mientras que para la otra puede estar en altamar, lo que daría como resultado una erosión mayor, por lo tanto para trabajos futuros se recomienda tener en cuenta esos datos a la hora de recolectar información, o en su defecto medir el error máximo horizontal en función del rango de marea medio y de la pendiente promedio de la playa.

El uso de suelo de muchos terrenos puede cambiar en tiempos muy pequeños, como aquellos dedicados a cultivos diferentes, también en casos de forestal a ganadero por temporadas de sequía, que al ser evaluados en años con mucho lapso de diferencia de tiempo entre ellos puede llevar a conclusiones confusas, de esta manera para trabajos futuros es preferible hacer evaluaciones con más información.



8. Referencias Bibliográficas

- Ángel, S., Carmona, M., & Villegas, R. (2001). *Gestión ambiental en proyectos de desarrollo* (No. Doc. 21580) CO-BAC, Bogotá).
- Arroyave, A., Blanco, J. F., & Taborda, A. (2012). Exportación de sedimentos desde cuencas hidrográficas de la vertiente oriental del golfo de Urabá: influencias climáticas y antrópicas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 11(20), 13-30.
- Bastidas, M., & Ricaute, C. (2017). Regionalización oceanográfica, una visión dinámica del Caribe. *Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras José Benito Vives De Andrés (INVEMAR). Serie de Publicaciones Especiales-INVEMAR # 14*, 180.
- Bernal, G., Montoya, L.J., Garizábal, C., & Toro, M. (2005). La complejidad de la dimensión física en la problemática costera del Golfo de Urabá, Colombia.
- Blanco, J. F. (2016). Cambios globales en los manglares del golfo de Urabá (Colombia): entre la cambiante línea costera y la frontera agropecuaria en expansión.
- Blanco, J. F., Taborda, A., Amortegui, V., Arroyave, A., Sandoval, A., Estrada, E. A. & Narváez, A. V. (2013). Deforestación y sedimentación en los manglares del Golfo de Urabá. Síntesis de los impactos sobre la fauna macrobéntica e íctica en el delta del río Turbo. *Gestión y Ambiente*, 16(2), 19-36.
- Blanco, J.F., Taborda, A. & Vásquez J. G. (2013). Actualización de la zonificación y ajustes al plan de manejo del ecosistema de manglar en la jurisdicción de CORPOURABA. Convenio de investigación 520 de 2012. Informe final. 179 pp.
- Calero, R. D. (2006). *Metodología para la georeferenciación en el Software Arcview 3.2 con la ayuda de la extensión Santitools*. Santiago de Cali.

- Carvajal, J. H., Mendivelso, D., Obando, G., Forero, H., Gómez, J. F., Vásquez, L., & Pinzón, L. (2011). Características del “volcanismo de lodo” del Caribe central colombiano. *Informe Servicio Geológico Colombiano en proceso de publicación.*
- Casal, G., Sánchez, N., & 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.
- Chancos, J. (1979). *Cartografía Y Lectura De Mapas*. Lima, Perú: Editorial A.O.M. 38 p
- CONPES. (2002). *Política nacional ambiental para el desarrollo sostenible de los espacios oceánicos y las zonas costeras e insulares de Colombia plan de acción 2002-2004.*
- CONPES. (2016). Programa nacional para la formulación y actualización de planes de ordenamiento territorial: POT modernos (3870). Bogotá, D.C. 54 p
- CORPOAIRE (2002). 2.6 cobertura vegetal y uso actual del suelo, 154–167.
- Correa, I. D., & Lorduy, R. (2008). Implicaciones del ascenso del nivel del mar sobre los litorales de Colombia. *Cambio Climático; Una Caja de Pandora?.*(1ª ed.). CORANTIOQUIA, Oficina Asesora de Comunicaciones. pp 26-38.
- Correa, I. D., & Vernet, G. (2004). Introducción al problema de la erosión litoral en Urabá (sector Arboletes-Turbo), costa Caribe colombiana. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras- INVEMAR*, Santa Marta, v. 33, n. 1, Dec. 2004, pp 07-28.
- Correa, I. D., & Tavera, M. (2016). Actuaciones experimentales en los sectores del corregimiento de zapata y la capitania del puerto, litoral antioqueño. *Informe tecnico final, Universidad EAFIT.*
- DANE, (2010). Proyecciones de población departamentales por área. 2005-2020, 20/12/2010

- Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (2005). *The Sage Handbook of Qualitative Research*. London, Inglaterra: Sage.
- Dolan, R., Hayden B.P., May, P., 6 May, S.K. (1980): «The reliability of shoreline change measurements from aerial photographs». *Shore and Beach* n°48 (4), 22–29
- Duque, H. (1984). Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú - San. Jacinto en el Noroccidente de Colombia. *Boletín Geológico INGEOMINAS*. 27, (2) 1-29.
- Franco, R. (2017). *Composiciones Landsat en ARCGIS Guía Básica Bogotá, Colombia* 45 p
Disponibile en [http :://wp me/p 2 IwQU 1 bh](http://wp.me/p2IwQU-1bh)
- Hernández, L. (2002). Análisis de la evolución del sistema de dunas de Maspalomas, Gran Canaria, Islas Canarias (1960-2000) (Doctoral dissertation).
- Garcia, C. (2007). *Atlas del golfo de Urabá: una mirada al Caribe de Antioquia y Chocó*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras –INVEMAR– y Gobernación de Antioquia. (N°12).
- Garcia, J. I. (2012). Diagnóstico de la erosión costera en el caribe colombiano. *INVEMAR, Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Cartagena*.
- Gobernación de Antioquia. (2013). *Lineamientos de Ordenación Territorial para Antioquia*. Medellín.
- Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (INVEMAR). (2007). *Ordenamiento Ambiental de la Zona Costera del Departamento del Atlántico*. Informe Final. Editado por: A. López. INVEMAR- CRA. Santa Marta 588 p + Cartografía (Vol. 1996).
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2003). *Manual de procesamientos de ortofotografía*.

- Jiménez, M. A. (2014). Diagnóstico del estado actual del uso y manejo de la zona costera en el Estado de Chiapas (*Doctoral dissertation, El Colegio de la Frontera Sur*).
- Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2003). Dynamics of land use and land cover change in tropical regions. *Annual Review of Environment and Resources*, 205 - 241.
- Lorduy, R., & Correa, I. D. (2007). Implicaciones del ascenso del nivel del mar sobre los litorales de Colombia: introducción desde una perspectiva geológica. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2547.0487>
- Medrano, J. (2016). Plan de desarrollo municipio de San Juan de Urabá 2016 – 2019. “Un Pueblo con Esperanza”.
- Ojeda, J. (2000). Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta, 103–118.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010: informe principal*.
- Posada, L. (2011). Efecto del cambio de las coberturas del suelo sobre la geomorfología costera en las cuencas de los ríos Acandí y Turbo del golfo de Urabá (*Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*).
- Rangel, N., & Posada, B. (2005). Geomorfología y procesos erosivos en la costa norte del departamento de Córdoba, Caribe colombiano (sector Paso Nuevo-Cristo Rey). *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR*, 34(1), 101–119.
- Rangel, N., & Posada, B. (2011). Determinación de la vulnerabilidad y el riesgo costero mediante aplicación de herramientas SIG y métodos multicriterio.

Secretaria de planeación Alcaldía de Turbo. (2012). *Revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial POT*.

Sorensen, J. C., & McCreary, S. T. (1990). Institutional arrangements for managing coastal resources and environments (No. 1). National Park Service, US Department of the Interior.

Tablas de Marea. (2018). Tablas de marea para Urabá en tablademareas.com. [online] Available at: <https://tablademareas.com/co/antioquia> [Accessed 13 Sep. 2019]

Thieler, E. R., Himmelstoss, E.A., Farris, A.S., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., Ergul, Ayhan, Zhang, Ouya, & Zichichi, J.L., (2018), Digital Shoreline Analysis System (versión 5.0): versión del software del Servicio Geológico de EE. UU., <https://code.usgs.gov/cch/dsas>

Torres, P. A. (2018). Diagnostico para la viabilidad de regeneración y recuepración de las playas en Punta Las Vacas utilizando el material de dragado del proyecto portuario Pisisí S.A.. Universidad de Antioquia y Puesto Pisisí S.A., Turbo.

Vargas, I. (2012). La entrevista en la investigación cualitativa: nuevas tendencias y retos. the interview in the qualitative research: trends and challengers. *Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior*, 3(1), 119-139.