

Acercamiento a un estudio sobre la influencia histórica del Rio Magdalena sobre la Erosión/Sedimentación en los alrededores del municipio de La Dorada, durante el periodo 1953 - 2003

Luis Gerardo Astaiza Amado
Departamento de Ingeniería de
Sistemas e Industrial.
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
lgastaizaa@unal.edu.co

Juan Camilo Liberato Luna
Departamento de Ingeniería de
Sistemas e Industrial.
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
jcliberatol@unal.edu.co

Juan Carlos Soto Orjuela
Departamento de Geociencias
Universidad Nacional de Colombia
Bogotá, Colombia
jcsotoo@unal.edu.co

Abstract—Meanders are parts of a river that form, and exist sporadically in the river's life, these meanders, have their own life cycle, in which they shape and change the terrain around them, This presents a problematic to human populations that live within the river's meanders, since the terrains where they have built settlements are in constant change, and in risk of disappearing, thus numerous natural disasters can occur in these settlements, such as : floods, landslides, erosion, sedimentation, and many other which can affect the lives of the population in the area. An approach to the analysis of this kind of problematic can be done from the GIS perspective, using information technologies to confirm, evaluate, and analyze the problematic, providing work paths for the academic community or the governments to mitigate or prevent the disasters that may be caused by the natural phenomena.

Palabras Clave—*Geomática, SIG, Geomorfología, Dinámica de Ríos, Río Magdalena, Teledetección Espacial, Modelamiento.*

I. INTRODUCCIÓN

Sin lugar a duda, estudiar el ciclo de vida de los ríos y en particular la evolución de los meandros es de suma importancia dada las implicaciones sociales y económicas para las poblaciones que habitan las riveras de los ríos. Especialmente, para aquellas poblaciones que como la Dorada tienen una gran proporción de su cabecera municipal al interior de un meandro y por la cual esta sometida a inundaciones, cambios del cauce del río, erosiones y sedimentaciones.

Precisamente para analizar esta problemática y plantear alternativas de solución bien sea de forma anticipada o en el momento de ocurrencia de los hechos se procedió a la aplicación de una Metodología conformada por recopilación de información, digitalización y procesamiento de la Información, análisis de la información, y planteamiento de alternativas a la solución de la problemática.

Es así como este artículo esta organizado como sigue: sección II presenta el planteamiento de la problemática, realizando una descripción de la misma y la descripción

general del estudio a realizar; sección III presenta la metodología a seguir; sección IV Desarrollo; sección V Resultados; y finalmente, la sección VI presenta las conclusiones a las que ha llegado este estudio.

II. PROBLEMÁTICA

A. Descripción de la problemática

El municipio de La Dorada, Caldas, como muchos en Colombia, vio su fundación y crecimiento en la rivera del río Magdalena, sin embargo, debido a la falta de información en la época, o a otros factores que hayan afectado la planeación del municipio, este, como fruto del desarrollo urbano, se ha ido expandiendo de forma tal, que hoy en día, una gran proporción de la cabecera municipal se encuentra ubicada hacia el sur, al interior de un meandro del Río Magdalena.

Actualmente se sabe que los meandros [5],[6], presentan un ciclo de vida, en el cual modifican la región en la que están ubicados, mediante varios procesos naturales como son las inundaciones, los deslizamientos, la erosión, la sedimentación e incluso cambiando el cauce del río. Estos procesos naturales, representan varios problemas para la población, en aspectos sociales y económicos, dando lugar a **la necesidad de pronosticar los cambios geomorfológicos que podrán ocurrir en la región** y mitigar las consecuencias asociadas a dichos cambios.

B. Descripción General del estudio a realizar

Con miras a identificar y disminuir los posibles desastres que podrían ser ocasionados por los cambios naturales del río, evaluaremos la evolución histórica del meandro mencionado, en el marco de la geomorfología del Magdalena medio, así revisando y relacionando los cambios sufridos por la rivera aledaña al municipio mediante el uso de herramientas SIG, se puede llegar a pronosticar posibles desastres que afectaran la población, y por ende, plantear posibles acercamientos a

trabajos futuro que permitas dar una solución a la problemática mencionada.

III. METODOLOGÍA

Con miras a identificar la evolución histórica de la geografía de la región a estudiar, se siguió la metodología que se expone a continuación:

A. Recopilación de Información

Para poder efectuar el estudio, se recolecto información de varias fuentes, entre ellas, imágenes satelitales, fotografías aéreas, planos de ordenamiento territorial de la región, documentos sobre la geología de la región a estudiar, así como bastante información en forma de artículos de investigación, que están orientados a analizar, predecir y mitigar, los fenómenos presentados en el marco de la problemática a estudiar.

B. Digitalización y Procesamiento de la Información

La información obtenida, debió ser digitalizada, y trasladada a un formato apropiado para poder utilizarla en el estudio, para ello se procedió a digitalizar las imágenes aéreas impresas, convertir los datos que se requirieran y diseñar e implementar un sistema de información geográfica, de manera que podamos abordar correctamente el problema.

Luego, con los datos en el SIG, estos fueron procesados, teniendo en cuenta los procesos geológicos, que toman parte, y que producen los fenómenos, para identificar, y obtener evidencias de la existencia de los cambios que nos permitan verificar la hipótesis planteada.

C. Análisis de la información

Ahora, con los datos sobre los cambios debidamente obtenidos, se procede a realizar un análisis de la evolución histórica de la región, esto, con base no solo a los datos presentados sino a la teoría geológica que respalda las conclusiones que sean obtenidas en el proceso, dándonos así la capacidad de predecir los fenómenos naturales que pueden ocurrir en el futuro.

D. Planteamiento de alternativas a la solución de la problemática

Con base en el análisis desarrollado, es posible plantear diferentes alternativas de solución a la problemática. Para ello, nos valdremos de distintos acercamientos a problemáticas similares que han sido expuestos en distintos artículos científicos [], que nos permiten obtener una perspectiva de como prevenir, o abordar las emergencias cuando ocurran.

IV. DESARROLLO

A. Recopilación de Información

i. Imágenes Satelitales

Al comenzar a recopilar información, se opto por las imágenes satelitales disponibles para buscar como cambiaba la rivera del rio a lo largo de los años, estas, fueron descargadas, gracias al ESDI, en [1], Sin embargo, las imágenes satelitales, tienen una resolución espacial muy baja, lo que dificulta los cálculos exactos con las riveras, e impide realizar un análisis de calidad, Así mismo, las imágenes satelitales, están disponibles desde un tiempo relativamente corto, (Aproximadamente 20 Años), y por esta razón se decidieron utilizar fotografías aéreas.

ii. Fotografías Aéreas

Para obtener imágenes aéreas del área de La Dorada, Caldas, nos remitimos al IGAC [2], donde dichas imágenes pueden ser encontradas con base en la combinación vuelo-Numero de foto, dichos números de vuelo, se buscan , en diferentes mapas, donde se pueden identificar los vuelos para un determinado territorio en un intervalo de tiempo (Generalmente décadas), para este caso, el cuadrángulo a utilizar, es J-9 La Dorada, el mismo que se usara mas adelante para revisar la geología del área, y con el que se buscaran todas las fotografías en el instituto, después de pedir la orden al instituto geográfico, esta puede tardar hasta 10 días hábiles, en los que busaran y revelaran las fotografías de los vuelos históricos, y finalmente serán entregadas, en la tabla 1, se especifican los números de vuelo, fechas y diferentes datos de las fotografías elegidas.

TABLA I. NUMEROS DE VUELO DE LAS FOTOGRAFIAS TOMADAS

a. Tabla con los datos de los vuelos y las fotografías, las resaltados en rojo, fueron las fotografías elegidas para el estudio.

Vuelo			Sobre		Fecha	Escala (1:XXXXX)	Foto(s)
B	51	38	48	10218	01/09/1948	38000	
C	666	20	53	20326	08/10/1953	20000	1
C	927	9	60	3238	24/05/1960	16000	53-54
C	1543	40	68	27238			
M	1273	18	69	24547	01/10/1969	19000	76
C	1357	28	71	25585			
R	933	4	83	4356			
C	2136	22	84	32468	26/12/1984	21600	104
C	2556	54	95	37247	24/01/1995	53600	11
C	2679	140580	2003	38588	14/07/2003	40580	140
C	1572			27458-A	10/06/1972	31350	200

iii. Puntos de control en el Área

Para la Georeferenciación adecuada de algunos puntos en fotografías históricas, se recurrió a tomar puntos con un dispositivo GPS al que se tenia acceso en el área, y luego, se tomo nota de dichos puntos, así de como las características geográficas y geológicas del área de los puntos, entonces identificando varios puntos que podrían después ayudar al análisis de los datos recolectados sobre el área. Entre estos puntos se encontraron las playas de Bucamba, el peñón de Bucamba (Fig. 1.) entre otras localizaciones, que ayudaron después a confirmar la geología del Área.



Fig. 1. El peñón de Bucamba, formación clasificada como Tsh por [3] y que se ha mantenido constante al menos en los últimos 60 años.

iv. Geología del Área

Otros datos que fueron recolectados, corresponden a la Geología del Cuadrángulo K-9 y J-9 [3], dichos documentos, muestran la geología de un gran área perteneciente al Magdalena medio, entre la que se incluye el municipio de La Dorada, Caldas, estos datos, nos permiten hacer un análisis cualitativo, debido a que al conocer los tipos de roca, y apoyados en la teoría de la geomorfología [5] y [6], podemos revivir la historia reciente del área del río, y ayudarnos en el análisis de estimar su futuro.

v. Bibliografía asociada a la problemática

Para poder incrementar el entendimiento de la problemática y luego de efectuar la aproximación al estudio que se había previsto, aconsejar sobre posibles soluciones al problema, se abordaron múltiples áreas de investigación, como son:

- Simulación de corrientes, y meandros
- Simulación para prevención de riesgos
- Inundaciones , Logística y Manejo de emergencias
- Dinámica de Meandros
- GIS

vi. Bibliografía y tutores asociadas a las herramientas a utilizar

En vista de la necesidad de procesar, digitalizar y analizar tanta información geográfica para poder abordar la problemática se optó por usar un software de SIG, para efectuar todas las operaciones necesarias, para ello, se buscaron múltiples tutoriales del Software elegido (ArcGis 10) y también se usaron múltiples herramientas para efectuar los cálculos, y el tratamiento de imágenes necesario.

B. Digitalización y Procesamiento de la Información

i. Digitalización de Fotografías aéreas

La digitalización de las fotografías aéreas se llevó a cabo utilizando un escáner, debido a que las fotografías que provee el IGAC son impresas, luego de esto, estas deben ser recortadas, y mejoradas digitalmente para poder manejarlas mas fácil con el software de GIS.

ii. Georeferenciación de las fotografías Aéreas

Para poder utilizar las fotografías aéreas y hacer cálculos espaciales con ellas, se debió georeferenciar cada una de ellas, para esto, se empezó por abrir la foto de satélite (Fig. 2) (que es un GEOTIFF) y por lo tanto ya estaba georeferenciada, y usarla como fondo para ver como las fotografías que eran georeferenciadas.



Fig 2. Imagen satelital de La Dorada, Caldas

Luego para verificar si estaban bien georeferenciadas, luego, se procedió a georeferenciar cada foto, con respecto a la fotografía del 2003, que fue georeferenciada, con la fotografía satelital, y con los puntos que se tomaron en el área con ayuda del GPS, cada fotografía, hacia entonces parte de una imagen

raster dentro de el GIS, que desde este paso ya puede ser usado para evaluar cualitativamente los cambios históricos del río. En la Fig. 3. se presentan las imágenes georeferenciadas con respecto a la imagen satelital y con respecto a el sistema de coordenadas proyectado WGS 18N, Bogotá.

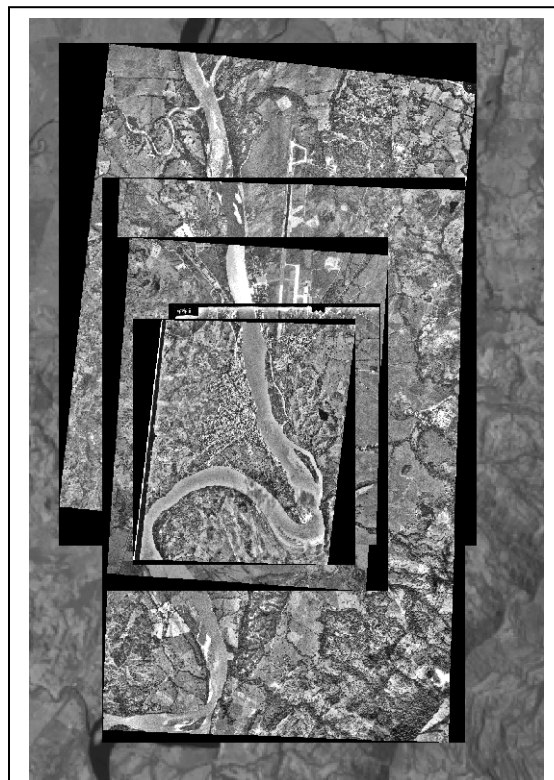


Fig. 3. Fotografías aéreas Georeferenciadas en la imagen satelital inicial.

En la Tabla. II. se presentan las distintas fotografías que fueron georeferenciadas, con su respectiva fecha, que con la tabla I. Pueden ser encontradas con sus respectivos vuelos.

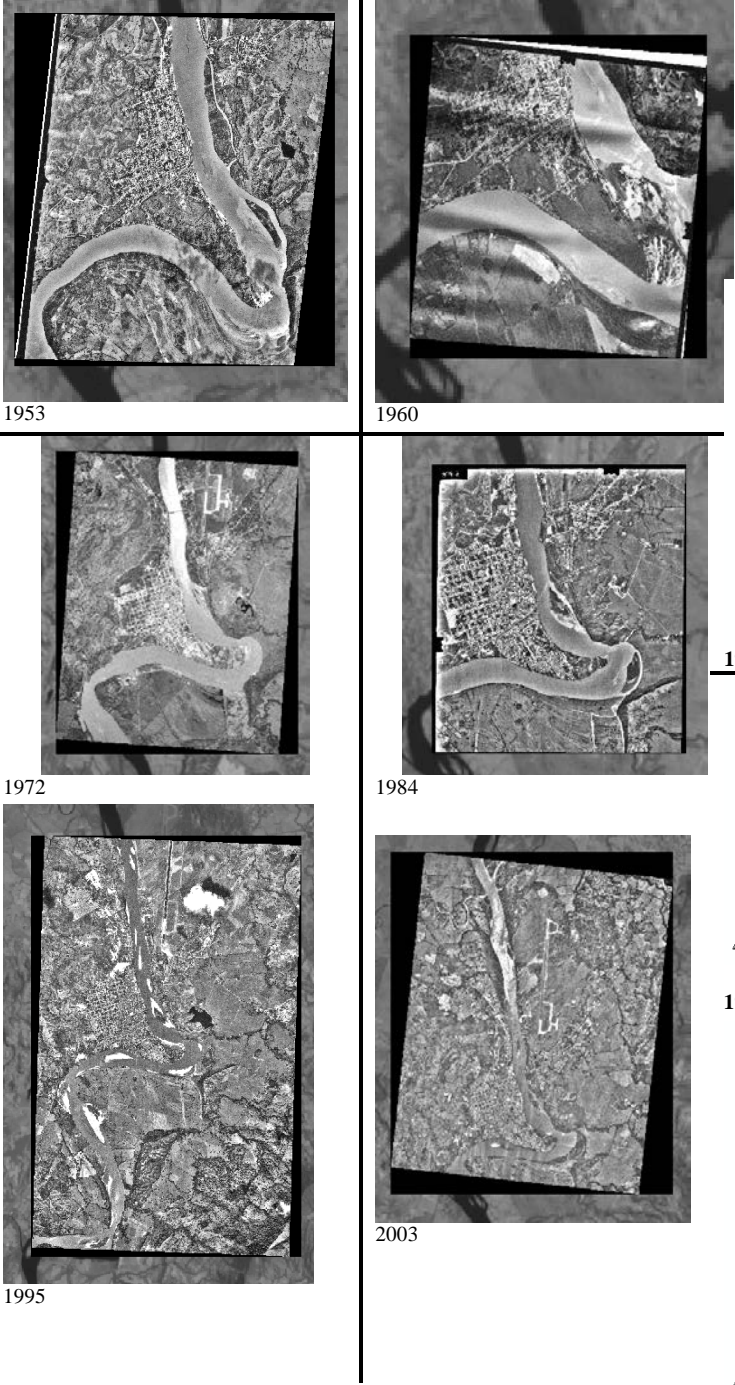
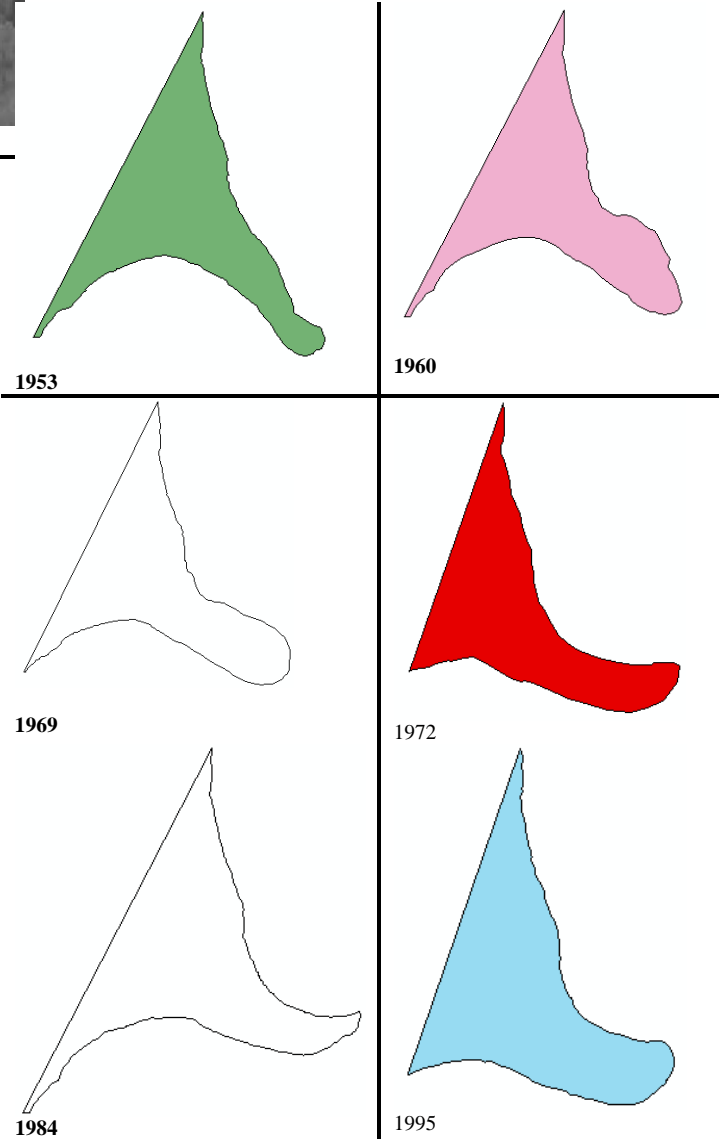


TABLA II. FOTOGRAFÍAS AERÉAS GEOREFERENCIADAS EN EL GIS

iii. Generación de Polígonos
 En ArcMap, se procedió a dibujar los polígonos sobre cada una de las fotos georeferenciadas, para con estos medir las masas de tierra de dichos polígonos. Para ellos se siguió el siguiente procedimiento:

- Definir puntos de control para la masa de tierra (El puente en la dorada, y El final de una vía conocida como “La Carrilera”)
- El polígono a dibujar corresponderá a la rivera del río entre estos puntos, y los mismo puntos, es decir, la masa de tierra que conforma la península del meandro y gran parte del municipio, es importante señalar que los cambios en esta masa de tierra, están dados por los cambios en el área y la forma de la rivera, que se traducen directamente a sedimentos erosionados y depositados, Véase la tabla III para los diferentes polígonos obtenidos.



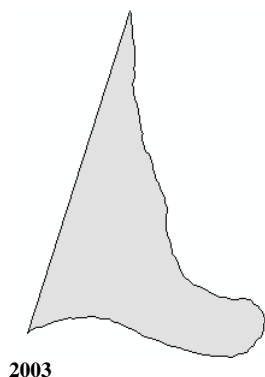


Tabla III : Imágenes de los polígonos obtenidos al convertir las imágenes de cada año a formato vectorial (Polígonos)

TABLA III. POLIGONOS OBTENIDOS AL VECTORIZAR LAS IMÁGENES RASTER.

iv. Operaciones con polígonos

Luego de obtener los polígonos por el método antes mencionado, entonces se procedió a tomar dos polígonos, generalmente de dos fechas consecutivas para hacer las siguientes operaciones entre los polígonos:

- Unión: Se unen ambos polígonos, para obtener un polígono unión resultante
- Intersección: Se buscan las áreas comunes entre los dos polígonos.
- Diferencia: Se resta el polígono intersección al polígono unión, y entonces se encuentran las partes de los polígonos que no están en común, esto da como resultado, dos polígonos A y E, que corresponden a la Acreción de el terreno y a la Erosión del terreno, en la tabla IV, se pueden apreciar los distintos polígonos resultantes para ver las diferencias entre ambos polígonos, y así reconocer el área Acrecionada, y el Área Erosionada.

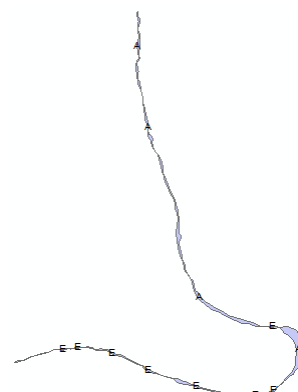
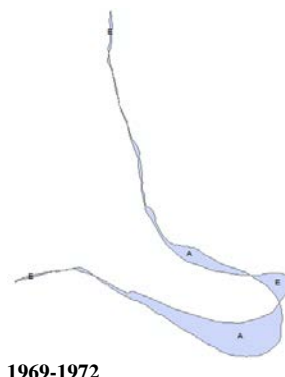
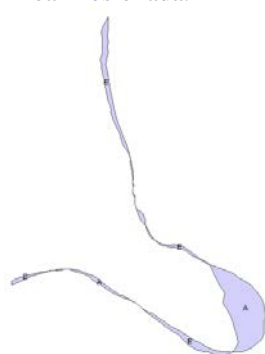


TABLA IV. DIFERENCIAS ENTRE POLIGONOS

v. Mediciones y Tabulación de datos

Luego de efectuar las operaciones con los polígonos, procedemos a medir las áreas entre los polígonos de erosión y acreción para saber cuanta área de tierra se ha ganado y se ha perdido en el rango de tiempo que transcurrió entre un polígono y otro, esta será una medida inicial que nos permitirá analizar los fenómenos que se presentan en la península. La tabla V muestra los cambios en la península en términos de acreción y erosión

TABLA V. ACRECION Y EROSION EN EL TIEMPO

Año 1	Año 2	Erosión (Km ²)	Acreción (Km ²)	Delta (Tierra Ganada)	Tiempo	Promedio Anual de ganancia
1953	1960	0.14426	0.30541	0.16115	7	0.023021429
1960	1969	0.11549	0.24733	0.13184	9	0.014648889
1969	1972	0.05805	0.41163	0.35358	3	0.11786
1972	1984	0.2488	0.04085	-0.20795	12	-0.017329167
1984	1995	0.03986	0.10973	0.06987	11	0.006351818
1995	2003	0.01076	0.05267	0.04191	8	0.00523875

C. Analisis de la informacion

i. Analisis de poligonos y areas obtenidas

Analizar los polígonos de las diferencias no es tarea fácil, debido a la gran complejidad de los sistemas que están involucrado en el proceso, en [8] y [11] se discuten algunas aproximaciones a la simulación de los procesos que forman parte en el cambio de la geomorfología de la zona, y se discute como simular dichos procesos usando temas tan variados como la dinámica de fluidos, o incluso una metodología para analizar los meandros con base a fotografías e imágenes satelitales [12], aunque es bastante difícil probar dichas teorías debido al tiempo que toma el rio para cambiar.

Analizando las áreas que podemos obtener, se puede apreciar que la longitud de la península se ha decremto desde el año inicial, aunque estos depósitos se han mudado hacia el frente de la península, cabe agregar que una gran parte de tierra, no perteneciente a la península, se ha mantenido constante, esto es explicado con un análisis de los datos geológicos que fueron obtenidos también del área, abordaremos la discusión del tema mas adelante, cuando analicemos la geología del área, junto con los datos obtenidos para explicar la razón por la que los cambios de tierra se dan de dicha manera.

Cabe agregar, que los ríos, transportan sedimentos, y los van depositando a medida que van por su cauce, un caso especial, que vale la pena mencionar, es el expuesto en [7], donde se muestra la delta del rio Sinú, que al ser cambiada, por el hombre, acreción una muy grande cantidad de sedimentos, así ganando tierra al mar, y esto se puede evidenciar en la Fig. 4, donde se muestra el cambio del delta al pasar los años.

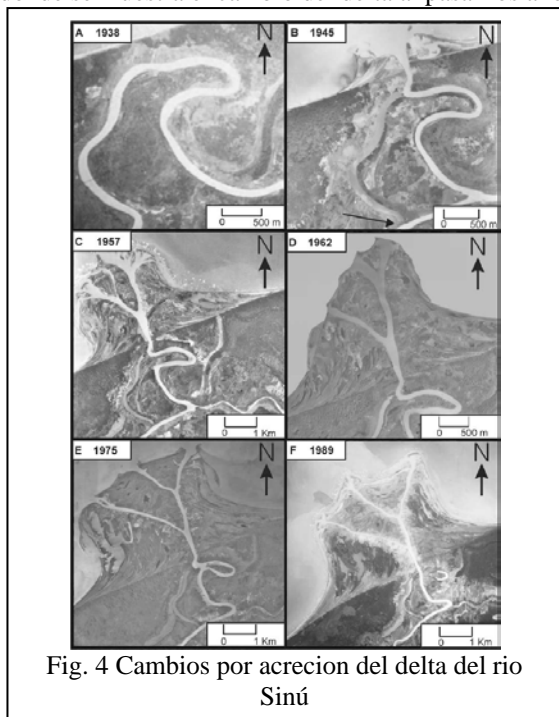


Fig. 4 Cambios por acrecion del delta del rio Sinú

ii. Determinacion de tendencias

Con los datos de los cambios del terreno, se hizo una función que interpola dichos datos y que nos permite extrapolarla hacia el pasado y hacia el futuro para saber cual es la tendencia, si la función crece, o decrece o fluctúa, aunque la cantidad de datos sea pequeña, igualmente nos puede dar pistas sobre el cambio en la península. En la Fig. 5 se muestra una grafica de la función interpolada con respecto al tiempo, que fue obtenida en base a los datos

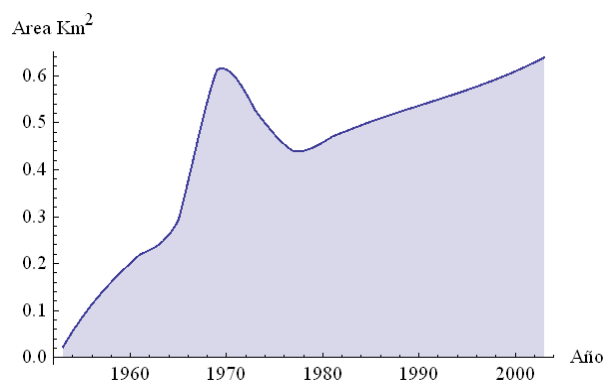
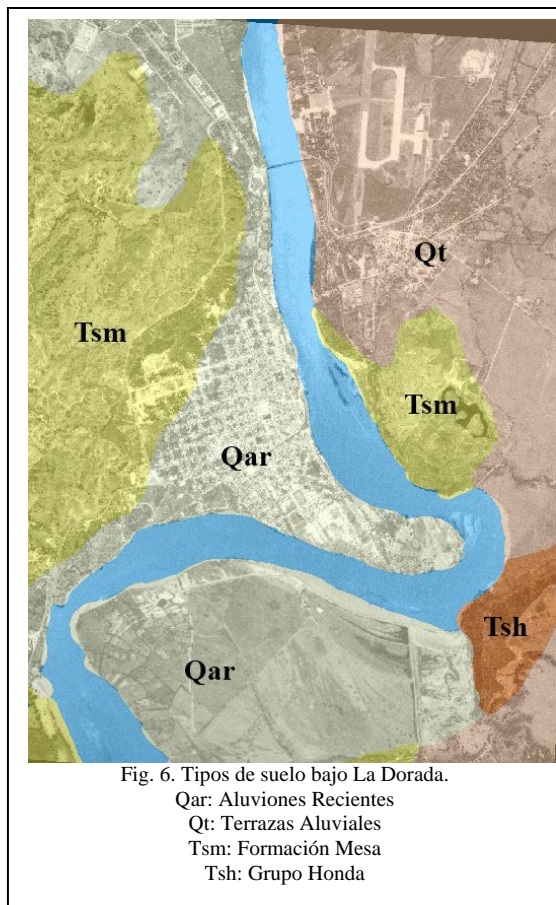


Fig 5. Grafica de la funcion interpolada con los cambios en el terreno desde el año 1953.

La grafica, presenta un pico entre 1970 y 1980, resultado, posiblemente de un cambio del régimen de lluvias, y que se evidencia en grandes cambios en la península en este tiempo, sin embargo, la tendencia inicial que tenía la grafica continúa hacia el futuro, donde el pico se restablece y continua la trayectoria que llevaba inicialmente, aunque este comportamiento, no puede ser una tendencia que se mantenga por mucho tiempo, si es una tendencia que puede durar mientras el área de el rio se llena de sedimentos, y después este se tendrá que desbordar por alguna zona, o cambiar su cauce. La comparación de los datos geológicos nos permitirá determinar cualitativamente cual será el futuro del rio.

iii. Comparacion con datos geologicos

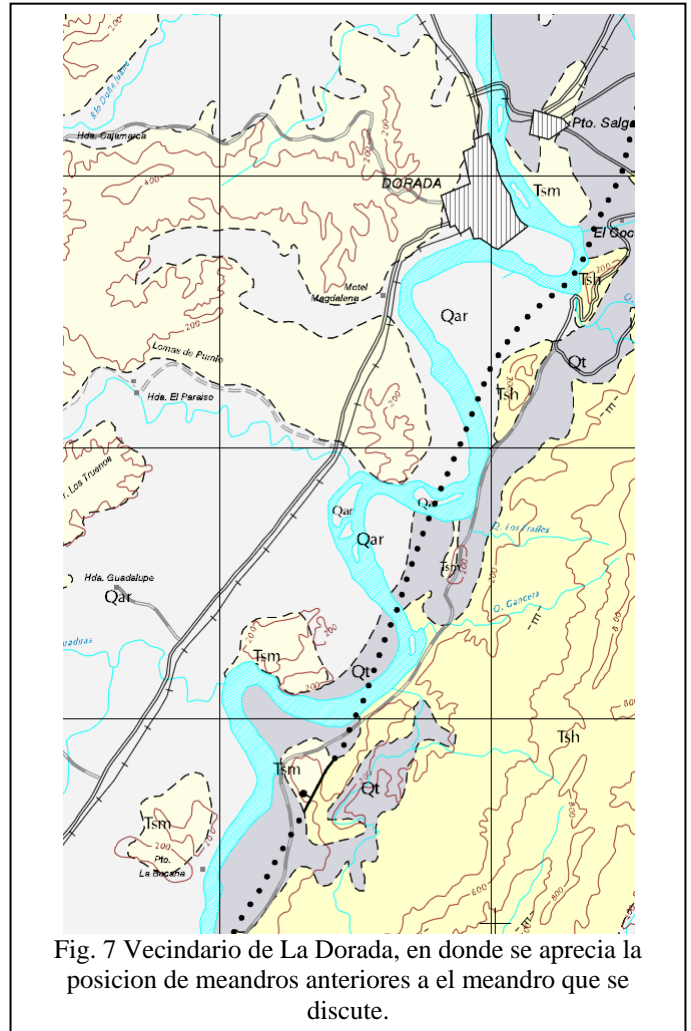
Para realizar un análisis cualitativo de los datos recolectados, y de lo que podría suceder en la zona desde un punto de vista geológico. Para ello se uso la geografía del cuadrángulo [], la cual nos permite ver como es el comportamiento de el rio en la zona aledaña, y al hacer un análisis podemos ver como esta enmarcado el meandro en la situación del rio. En la Fig. 6 se muestran los tipos de suelo que se encuentra bajo La Dorada.



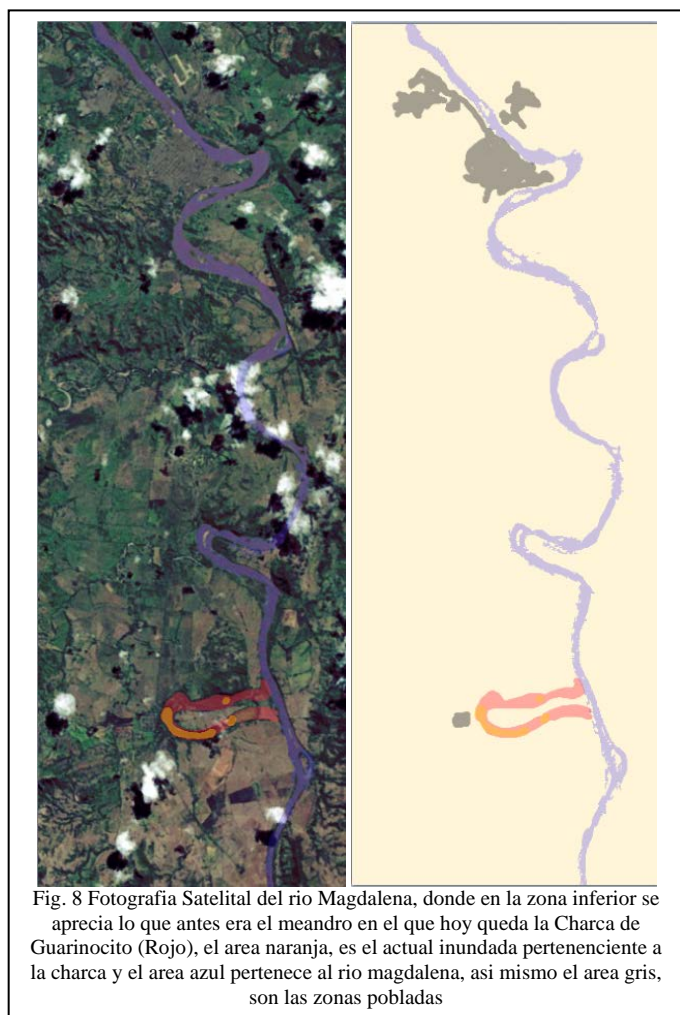
En la Fig 6, se evidencian los distintos tipos de suelo que toman parte en la región de La Dorada, Caldas, las regiones Qar y Qt, conforman diferentes tipos de suelos que corresponden a antiguos lechos de río, siendo Qt mas viejo que Qar, y por lo tanto mas difícil de erosionar, por esto mismo, el canal que esta en la parte sur de la imagen presenta muchos cambios al pasar de los años, ya que esta tierra es fácilmente erosionable, mientras que la zona Tsh (que es suelo duro comparado con Qt y Qar), permanece igual en todas las fotografías, es por ello, que también la península sobre la que se asienta la dorada, es tan propensa a los cambios, ya que esta es bastante susceptible a la erosión, e incluso en las playas de Bucamba, el suelo es meramente arcilla y arena desplazada del río. Aun así algunas construcciones han sido erigidas allí.

La rívera de Puerto Salgar, el asentamiento al otro lado de la orilla, en cambio, esta “protegida” por la Formación Mesa que se encuentra al sur de este pueblo, y sus terrazas aluviales son mas difíciles de erosionar que las que conforman el municipio de La Dorada.

A continuación, en la Fig. 7 se presentara, el área del municipio en el marco de esta sección del río, y se mostrara mas evidencia que puede apuntar a los riesgos que genera el meandro sobre el río.



El meandro que se esta discutiendo, es uno en una cadena de meandros que empiezan poco después del corregimiento de Guarinocito, que no es alcanzado a ser detallado en el mapa, sin embargo en la Fig. 8 se pueden ver imágenes de la Geología actual de dicho corregimiento, y del meandro abandonado que se encuentra ahora allí, y es más conocido como la charca de Guarinocito o Madre vieja.



En la Fig. 8 se aprecia como el meandro abandonado, antes era el primero en la cadena de meandros, pero desapareció, dejando el río relativamente recto en la zona, así mismo, ahora el flujo del agua puede alcanzar mayor velocidad y erosionar más rápido el siguiente meandro en la cadena, siguiendo un ciclo que eventualmente llegará al meandro en La Dorada.

D. Planteamiento de alternativas a la solución de la problemática

Resolver la problemática está fuera del alcance de este proyecto, sin embargo, la búsqueda exhaustiva de artículos de investigación y el conocimiento obtenido durante el análisis, nos otorgan la posibilidad de presentar caminos en los que se podría profundizar para llegar a resolver, o mitigar los problemas causados por la problemática.

- Simulación de cambios del cauce del río.[11],[10],[12],[24],[17],[30]
- Establecimiento de riesgos de inundación y manejo de emergencias en inundaciones.[26],[13],[14],[15],[16]
- Evaluación de crecimiento y planeación urbana.[13]
- Evaluación de daños económicos en casos de inundación, o desastres naturales.[31],[33]

- Uso de dinámica de meandros para prever cambios de la rivera del río.

V. RESULTADOS

Los resultados principales conseguidos se pueden expresar en términos de las fases finales del desarrollo, y estos consisten en varios hechos que se cree, según el análisis y los argumentos ya establecidos en el desarrollo del estudio, pueden ocurrir y serán de una importancia clave para poder, en trabajos futuros determinar el tiempo en el que los eventos naturales, ocurrirán, y de que forma, así combatiendo la problemática que se discutía desde el principio.

VI. CONCLUSIONES

- La península del meandro localizado en la región correspondiente a la cabecera municipal de La Dorada, Caldas, está en constante cambio, junto con la rivera entera del río en las inmediaciones, aunque aquí es donde el cambio es más evidente.
- El cambio discutido incrementa el área de tierra de la dicha península, aunque también la deforma, presentando un gran riesgo a la población que allí se ha asentado.
- La altitud sobre el nivel del río en la parte baja de el municipio, que así mismo coincide con la península mencionada, está tan solo unos pocos metros por encima del río, lo que la hace muy propensa a inundaciones por parte del río, esto se evidenció en las inundaciones de el año 2010, en las cuales una gran parte de la cabecera municipal quedó cubierta de agua.
- El suelo bajo la cabecera municipal, es débil y muy propenso a erosión por el río, no siendo así en el municipio de Puerto Salgar, que queda al otro lado del río Magdalena, con respecto a La Dorada, lo que le da, al municipio, no solo una evidente desventaja en su lugar de asentamiento, sino una amenaza, que está enmarcada en el marco de la problemática discutida.
- Los diferentes tipos de suelos que se encuentran en el área, son fácilmente relacionables con los cambios en el río, notando como las tierras más blandas y susceptibles a la erosión fluctúan fácilmente y como los suelos más viejos y estables, siguen constantes a través del tiempo.
- El río Magdalena, en la zona al sur del municipio de La Dorada, presenta al menos 4 Meandros, los cuales, irán desapareciendo con el pasar del tiempo siguiendo la misma mecánica que sufrió el extinto meandro ubicado en lo que hoy en día es el corregimiento de Guarinocito (Fig. 8), al enderezarse el río, este puede fluir más rápido erosionando el meandro que este más cerca del flujo en donde el río está enderezado.
- Podemos afirmar que los meandros al sur de la cabecera municipal “Protegen” al municipio, siendo no estos los únicos, sino también los tipos de suelo Tsm, que no dejan erosionar la costa del pueblo.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- [1] Global Land Cover Facility, Earth Science Data Interface (ESDI), University of Maryland: <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>
- [2] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, Bogotá, Colombia.
- [3] Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear. INGEOMINAS. Geología del Cuadrángulo K-9 Armero y J-9 La Dorada, 1976.
- [4] GeoEye imagery, Google Earth (c) 2012
- [5] E. J. Tarbuck. F. K. Lutgens, Ciencias de la tierra, Una Introducción a la Geología Física 8 ED, Prentice Hall 2005
- [6] R. J. Huggett. , Fundamentals of Geomorphology, 2ED, ROUTLEDGE, 2007.
- [7] Beatriz Elena Serrano Suarez*, The Sinu´ river delta on the northwestern Caribbean coast of Colombia: Bay infilling associated with delta development
- [8] Spatial autoregressive structure of meander evolution revisited, İnci Güneralp, Bruce L. Rhoads ,Texas A&M University, R810, O&M Eller Bldg., College Station, TX 77843-3147, USA, University of Illinois, R220, 607 S. Mathews Ave., Urbana, IL 61801-3671, USA
- [9] Alessandro Frascati and Stefano Lanzoni, Morphodynamic regime and long-term evolution of meandering rivers JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH
- [10] Davide Motta a, Jorge D. Abad b, Eddy J. Langendoen c, Marcelo H. Garcia ,A simplified 2D model for meander migration with physically-based bank evolution
- [11] N. Rüther , N.R.B. Olsen Modelling free-forming meander evolution in a laboratory channel using three-dimensional computational fluid dynamics
- [12] NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM, NCHRP REPORT 533 ,Research Sponsored by the American Association of State Highway and Transportation Officials in Cooperation with the Federal Highway Administration Handbook for Predicting Stream Meander Migration, P. F. LAGASSE, W. J. SPITZ, L. W. ZEVENBERGEN
- [13] AL-GHAMDI, N. MIRZA , A. ELZAHIRANY , M. DAWOD, Gis Evaluation Of Urban Growth And flood Hazards: A Case Study Of Makkah City, Saudi Arabia
- [14] Karim Solaimani: Flood forecasting based on geographical information system, African Journal of Agricultural Research Vol. 4 (10), pp. 950-956, October, 2009
- [15] Carlin, Nancy. 2009. Spatial Analysis Using Geographic Information Systems (GIS) to Evaluate Areas Susceptible to Repeat Flash Flooding in La Crosse County, Wisconsin. Volume 11, Papers in Resource Analysis. 12 pp. Saint Mary's University of Minnesota Central Services Press
- [16] Use of GIS in Flood Risk Mapping Sun Yan Evans*, Neil Gunn**, Daniel Williams* ,*Mott MacDonald, DemeterHouse, Station Road, Cambridge, England, **Environment Agency, Orchard House Endeavour Park, London Road, Addington.
- [17] Integration of GIS and Simulation Models : Andrea Giacomelli
- [18] M. Galan, A. Lopez, R. Olmo: Modelado y Simulación basada en agentes con SIG para la gestión de agua en espacios metropolitanos, X Congreso de Ingeniería de Organización, Valencia, 7 y 8 de septiembre de 2006
- [19] TSINGHUA SCIENCE AND TECHNOLOGY, ISSN 1007-0214 56/67 pp 348-353 Volume 13, Number S1, October 2008
- Development of Simulation System for the Disaster Evacuation Based on Multi-Agent Model Using GIS :Keisuke Uno, Kazuo Kashiyma
- [20] Agent-Based Modeling Of Emergency Evacuation In A Spatially-Aware And Time-Aware Environment Chen X. Northern Illinois University, DEKALB, UNITED STATES
- [21] Emergency Evacuation Modeling Based On Geographical Information System Data Akhilesh Pal, Andrew J. Graet-tinger, Michael H. Triche. Interim Department Head
- [22] GIS Applications in Logistics: A Literature Review, Avijit Sarkar, School of Business, University of Redlands, 1200 East Colton Avenue, Redlands, CA 92373, USA
- [23] S.M.J.S. Samarasinghe, H. K. Nandalalb, D. P. Welivitiyac, J. S. M. Fowzed, M. K. Hazarikad, L. Samarakoond, APPLICATION OF REMOTE SENSING AND GIS FOR FLOOD RISK ANALYSIS: A CASE STUDY AT KALU- GANGA RIVER, SRI LANKA. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan 2010
- [24] Modeling flood inundation in river catchment using hydraulic and geographical information system (GIS) simulation approach
- [25] M.E. Toriman; Othman Jaafar; Khairul Nizam Abdul Maulud; S.A. Sharifah Mastura; Nor Azlina Abdul Aziz; Muhammad Barzani Gasim; A.C. Er.; Mohd Fuad Mat Jali; Nor Rohaizah Jamil; Md. Pauzi Abdullah Modeling flood inundation in river catchment using hydraulic and geographical information system (GIS) simulation approach, Journal of Engineering and Applied Sciences 2011;6(6):428-432.
- [26] J. Fowler and S. Mason, eds. Agent-based Discrete Event Simulation Modeling for Disaster Responses , Proceedings of the 2008 Industrial Engineering Research Conference
- [27] Yu Yan, Guo Qingsheng, Tang Xinming, GRADUAL OPTIMIZATION OF URBAN FIRE STATION LOCATIONS BASED ON GEOGRAPHICAL NETWORK MODEL
- [28] Tang, W., 2008, Simulating complex adaptive geographic systems: A geographically aware intelligent agent approach. Cartography and Geographic Information Science, 35(4): 239-263.
- [29] António S. Gonçalves Arminda Rodrigues Luís Correia MULTI-AGENT SIMULATION WITHIN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS
- [30] Christian J. E. Castle, Andrew T. Crooks, Paul A. Longley, Mike Batty, Agent-Based Modelling and Simulation using Repast: A Gallery of GIS Applications ,Centre for Advanced Spatial Analysis. Geographic Automata Systems: A New Paradigm for Integrating GIS and Geographic Simulation, Itzhak Benenson, Paul M. Torrens ,Environment Simulation Laboratory Porter School of Environmental Studies,
- [31] Alena Bartošová, David E. Clark, Vladimir Novotny, Kyra S. Taylor Marquette University, Milwaukee, USING GIS TO EVALUATE THE EFFECTS OF FLOOD RISK ON RESIDENTIAL PROPERTY VALUES , WI 53201-1881
- [32] Wang Cheng, Yang Bo*, Li Lijun, Huang Hua ,A Modified Particle Swarm Optimization-based Human Behavior Modeling for Emergency Evacuation Simulation System, Digital Valley Technology Lab of Hubei province, Huazhong University of Science and Technology
- [33] Ching-Chin Chern, Yu-Lin Chen, and Ling-Chieh Kung, Dept. of IM, NTU, Taipei, Taiwan, Heuristic Relief Transportation Planning Algorithm for Emergency Supply Chain Management