

Cambios en las coberturas de la tierra en el periodo 1984 – 2017 y análisis de la amenaza ante inundaciones en el municipio de Campo de la Cruz, Atlántico, Colombia

Luis Alejandro Esquea Valencia¹
Universidad del Atlántico

Steffani María Sanjuán Murillo³
Corporación Universitaria Reformada

Yamileth Domínguez Haydar²
Universidad del Atlántico

Duvan Roberto Pérez Peluffo⁴
Grupo de Investigación en Biodiversidad
del Caribe Colombiano – RIWISAKA

Recibido: 5 de agosto de 2019

Aceptado: 30 de agosto de 2019

Pag. 13-37

Resumen

El presente estudio tuvo el propósito de evaluar los cambios producidos en las coberturas de la tierra y usos del suelo generados por las inundaciones en época lluviosa del municipio Campo de la Cruz, ubicado al sur oriente del departamento del Atlántico, Colombia. Se realizó una clasificación supervisada del territorio, mediante el uso sistemas de información geográfica (SIG), para identificar las superficies de cobertura del municipio entre los períodos 1984 – 2017; utilizando el método CORINE Land Cover para indagar estos fenómenos. Dentro de los resultados se destaca que durante el periodo 1987 – 2007 la vegetación natural aumentó significativamente en 993,6 ha; por otra parte, durante 2007 – 2012 se produjo mayor afectación después de la inundación ocurrida en 2010, reduciéndose en 2685,6 ha. Además, es importante resaltar la identificación de un incremento importante de los cultivos de 22,13 %, en el periodo de estudio, en contraste con la pérdida de terreno de los pastos. De forma complementaria, se encontraron 31 eventos extremos de máximos caudales asociados con la ocurrencia del fenómeno de La Niña. En consecuencia, con base en los análisis realizados, es posible concluir que la amenaza alta aumenta progresivamente en las coberturas más susceptibles como el suelo desnudo, los cultivos y la zona poblada.

Palabras clave: Cambios en las coberturas de la tierra; usos del suelo; caudales máximos; amenazas de inundación.

Doi: 10.25100/re.v23i2.9348

¹ORCID: 0000-0001-6542-1496

²ORCID: 0000-0002-0774-8391

³ORCID: 0000-0003-2136-5335

⁴ORCID: 0000-0002-5270-9949

Changes in Land Cover in the Period 1984 - 2017 and Flood Threat Analysis in the Municipality of Campo de la Cruz, Atlántico, Colombia

Abstract

The present study had the purpose of evaluating the changes produced in the land cover and land use generated by the rainy season floods of the Campo de la Cruz municipality, located south east of the department of Atlántico, Colombia. Therefore, a supervised classification of the territory was carried out, through the use of geographic information systems (GIS), to identify the coverage areas of the municipality between the periods 1984 - 2017; using the CORINE Land Cover method to investigate these phenomena. The results highlight that during the period 1987 - 2007 the natural vegetation increased significantly by 993.6 ha; on the other hand, during the period 2007 - 2012 there was greater affection after the flood that occurred in 2010, reducing by 2685.6 ha. Additionally, it is important to highlight the identification of a significant crop increase of 22.13 %, in the study period, in contrast to the loss of pasture land; and in a complementary way, 31 extreme events of maximum flows associated with the occurrence of the La Niña phenomenon were found. Consequently, based on the analyzes carried out, it was possible to conclude that the high threat increases progressively in the most susceptible covers such as bare soil, crops and the populated area.

Keywords: Changes in land cover; land uses; maximum flows; flood threats.

1 Introducción

Colombia es destacada por poseer una variedad importante de recursos hídricos debido a su ubicación geográfica y las condiciones del terreno que posee, además se abastece de un promedio de 3.000 mm de precipitaciones anuales, representando una significativa abundancia hídrica en comparación con el nivel promedio de lluvias mundiales (900 mm al año) y las ocurridas al sur de América (1.600 mm al año)⁽¹⁾. Sin embargo, esta abundancia ha traído consecuencias en los últimos treinta años, generando cerca de 8.000 inundaciones, dejando lamentablemente miles de damnificados en todo el país⁽²⁾. Estas catástrofes tienen sus raíces en la fase fría del ENSO (El Niño-Southern Oscillation), conocida como fenómeno de *La Niña*⁽³⁾, que ocasiona el aumento de las precipitaciones en diferentes áreas del territorio colombiano, incrementando así el nivel de los ríos y la posibilidad de inundaciones en zonas de baja pendiente⁽⁴⁾, tal como ha ocurrido en el departamento del Atlántico entre los años 2010 y 2011, donde la mayoría de los municipios del sur del departamento quedaron parcial y totalmente inundados, siendo Campo de la Cruz uno de los más afectados⁽⁵⁾.

Las inundaciones han provocado desplazamientos, pérdidas materiales y humanas, daños en la infraestructura vial y de viviendas en el municipio de Campo de la Cruz, tal como lo reporta el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)⁽⁵⁾ durante 2011; al respecto, algunos autores han establecido que una de las causas que ha generado mayor impacto en este fenómeno es la existencia de zonas de ciénagas desecadas por el hombre para sus actividades de agricultura y ganadería, de tal manera, que estas zonas acuíferas tienden a recuperarse de forma natural cuando existen precipitaciones de altos volúmenes, provocando así las inundaciones⁽⁶⁾; de este modo, para el año 2010 se reportaron pérdidas de ganado que alcanzaron el 81,57 % y el 30,3 % de los cultivos⁽⁷⁾. Así mismo, a la fecha

aún no se ha dado solución efectiva a la población damnificada afectada, abriendo paso a nuevos problemas de orden social y económico para esta comunidad⁽⁸⁾.

En este sentido, el estudio buscó hacer un análisis de las amenazas que enfrenta el municipio de Campo de la Cruz de cara a los cambios en las coberturas de la tierra y usos del suelo, tomando como base el periodo comprendido entre los años 1984 – 2017, con miras a realizar un aporte significativo para el planteamiento de propuestas de gestión del riesgo por inundaciones y contribuir a la toma de conciencia sobre los efectos que generan los hábitos poblacionales en este tipo de fenómenos; para esto, se desarrolló un análisis de los datos relacionados con la intensidad, duración y frecuencia de los eventos extremos que pudieron incidir en la presencia de inundaciones en este territorio; y posteriormente, se realizó una asociación de los cambios en las coberturas que han sido identificadas frente a las amenazas de inundaciones en este municipio.

2 Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El municipio de Campo de la Cruz se encuentra ubicado en el Centro-Oriente del cono sur del departamento del Atlántico, Colombia, ($10^{\circ} 23' 05''$ N y $74^{\circ} 53' 23''$ O) (Figura 1); colindando al norte con los municipios de Manatí y Candelaria; al sur con Suan y Santa Lucía; al occidente con Santa Lucía, Manatí y San Juan; y al oriente con río Magdalena⁽⁹⁾. Por otra parte, en cuanto a su extensión, abarca un área aproximada de 114 Km², conformada por un 87,85 % de área rural, 4,37 % urbana y 7,78 % de cuerpos de agua.

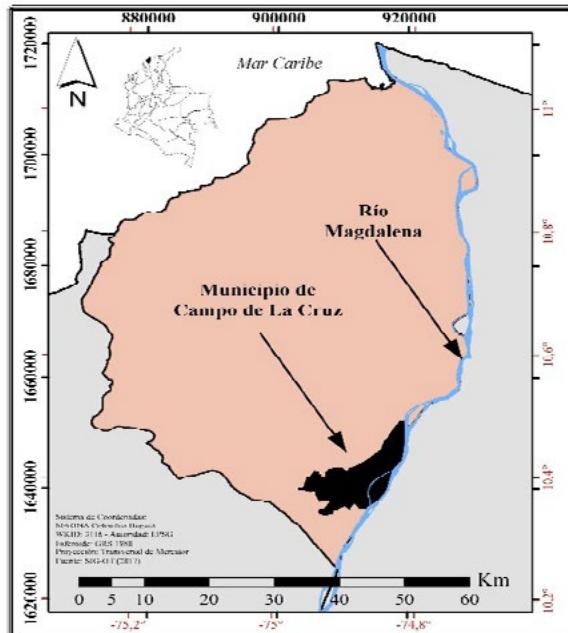


Figura 1. Departamento del Atlántico. En negro: ubicación del Municipio de Campo de la Cruz.

2.2 Recolección y análisis de datos

La información cuantitativa utilizada corresponde a datos obtenidos de la comunidad participante y damnificada por eventos de inundaciones, contrastándose con los análisis de cambios en el uso del suelo, apreciables en imágenes satelitales de los años 1984 al 2017, sumado al análisis de los eventos extremos de máximos caudales del río Magdalena. De esta manera, se utilizó como fuente principal los datos suministrados por el SIG, ajustados de acuerdo a la metodología de clasificación CORINE Land Cover, con una escala de descripción y categorización 1: 100000 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

2.2.1 Análisis de cobertura

En la primera fase, se analizaron los cambios en la cobertura de tierra en el municipio de Campo de la Cruz, por medio de cinco (5) imágenes satelitales, obtenidas del Servicio Geológico de los Estados Unidos, con bajo porcentaje de formaciones nubosas, durante los años 1984 y 1987 (Landsat 5), 2007 y 2012 (Landsat 7), 2017 (Landsat 8). En la fase dos se determinaron los cambios en las coberturas de tierra más relevantes; seguidamente, en la fase tres se procesaron y clasificaron las imágenes satelitales obtenidas y pre-procesadas, haciendo las correcciones atmosféricas pertinentes, calculando los valores reales de coloración y reflectancia.

Además, se realizó una reclasificación supervisada de las imágenes obtenidas del satélite, según lo indicado por Márquez, Treviño y Jurado ⁽¹⁰⁾, para capturar su firma espectral a través de la clasificación de los píxeles que representaron los patrones de los tipos de cobertura de suelo. Esta etapa (fase 3) constó de dos subfases principales, preparación y procesamiento; en la primera, se hizo un reconocimiento de seis tipos de cobertura (cuerpos de agua, cultivos, pastos, suelo desnudo, vegetación y zona poblada) por cada año, determinando en la imagen un conjunto significativo de píxeles que se puedan asignar a un tipo específico de cobertura encontrada; y en la segunda, se asignaron nombres a cada patrón encontrado mediante algoritmos que permitieron una interpretación de la reflectancia de cada pixel en la imagen ⁽¹¹⁾.

Posteriormente, en la fase cuatro se determinó la cobertura del suelo, tomando en consideración la clasificación de las imágenes, en las que se obtuvieron seis tipos de cobertura adaptadas a la metodología CORINE Land Cover a escala 1:100.000, lo que permitió identificar los cambios en las unidades y escalas de trabajo seleccionadas ⁽¹²⁾. En la fase cinco se analizan los cambios en las coberturas de suelo, teniéndose en cuenta el método propuesto por Durán *et al.* ⁽¹³⁾, consistente en comparar los mapas de coberturas para una misma área, correspondiente a dos períodos distintos de par en par: 1984 – 1987; 2007 – 2012 y 2012 – 2017. De este modo, se inició la fase seis en donde se estudiaron las métricas a partir de los productos obtenidos del proceso anterior, calculando datos estadísticos de las superficies de las coberturas y sus porcentajes dentro de la zona; además, se hizo un análisis de la distribución de las coberturas presentes en la zona, describiendo cada uno de los aspectos más relevantes. Para culminar este primer segmento, en la fase 7 se verificó en campo la cobertura actual corroborándola con la imagen satelital de 2017, se trazó una red de puntos al azar acorde a lo propuesto por Ruiz, Savé y Herrera ⁽¹⁴⁾.

2.2.2 Análisis de la amenaza

Para el análisis de amenaza (inundaciones) en el municipio de Campo de la Cruz, se escogieron series históricas (1940-2015) de caudales (C) diarios medidos por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Medio Ambiente (IDEAM, <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>) del río Magdalena. Los resultados de las series fueron analizados para encontrar los eventos extremos que posiblemente resultaron en inundaciones. Los máximos de C se calcularon probando diferentes distribuciones de probabilidad y utilizando el método de pico sobre umbral⁽¹⁵⁾. Solo se seleccionaron los eventos más intensos y duraderos de esta variable y se compararon con la ocurrencia del fenómeno de La Niña.

2.2.3 Relación cobertura vs amenaza

En este último segmento, se realizó una asociación de cambios en las coberturas y su amenaza por inundación; de esta manera, las seis coberturas obtenidas se reclasificaron asignándole un puntaje indicador de la amenaza ante un evento de desbordamiento de acuerdo con las características físicas intrínsecas. Para ello, se cruzaron las capas *raster* que describen la distribución de la amenaza, permitiendo así identificar patrones repitentes en cada proceso de inundación y reconocimiento de aquellos cambios que, de darse, pondrían aumentar la amenaza o disminuirla.

De acuerdo con lo anterior, para la distribución de las áreas inundable, se establecieron tres categorías o niveles de amenaza, las cuales se definieron a partir de los niveles de peligrosidad que tienen las coberturas, en función relativa de la frecuencia de las crecidas, de sus características físicas y capacidad de infiltración. En este sentido, esa distribución espacial se categorizo en tres niveles: alta amenaza, media amenaza y baja amenaza, siguiendo la metodología propuesta por Barrantes y Vargas⁽¹⁶⁾ y parte de la metodología de Ruiz y Salazar⁽¹⁷⁾. Con base a la información obtenida se realizó una agrupación de elementos representativos de un determinado nivel de amenaza, para la elaboración de un mapa múltiple conforme al SIG, teniéndose en cuenta la digitalización de las coberturas, agrupadas de acuerdo a los niveles de amenaza, mediante una reclasificación en la que los resultados muestran la distribución de las coberturas y las áreas de amenaza. Finalmente se hace la respectiva recomendación para el uso del suelo en función del nivel de amenaza, dado que las zonas de amenaza ofrecen la posibilidad de hacer un uso adecuado de la tierra, no obstante, éste debe estar regulado por el nivel de peligro a que se exponen los bienes materiales, vidas humanas, infraestructuras y servicios públicos y privados.

3 Resultados

3.1 Clasificación de las coberturas de la tierra y análisis de sus cambios a través de imágenes satelitales

A partir de la edición de cinco escenas multiespectrales correspondientes a los años 1984, 1987, 2007, 2012 y 2017 cuya superficie promedio es de 14.400 ha, se realizó una clasificación supervisada mediante el programa de ArcGIS 10.5, obteniéndose los mapas temáticos con seis coberturas (Zona poblada, Cultivos, Vegetación, Pastos, Suelo desnudo y Cuerpos de agua) (Figuras 2, 3, 4).

3.1.1 Cobertura de la tierra 1984 - 1987

En el año 1984, las clases que presentaron mayor extensión fueron los cuerpos de agua y la vegetación con 22,37 % y 33,42 % respectivamente. Por otra parte, las coberturas de cultivos se dispersan al norte y suroeste del municipio en una proporción del 13,73 % y los pastos en un 13,90 % al sur y la zona poblada en un 3,57 % del territorio. Por su parte, en el año 1987 la principal cobertura fueron los cultivos, abarcando 3.683,52 ha, equivalente a un 25,58 % total del territorio. Asimismo, los cuerpos de agua corresponden al 19,04 % de norte a sur, seguido por los pastos que ocupan un 18,68 % del territorio. La vegetación ocupa un 14,88 % y se distribuye al noroccidente, la cobertura con menor proporción la presentó la zona poblada con un 2,85 % situada en su mayor parte en el sur y centro del municipio.

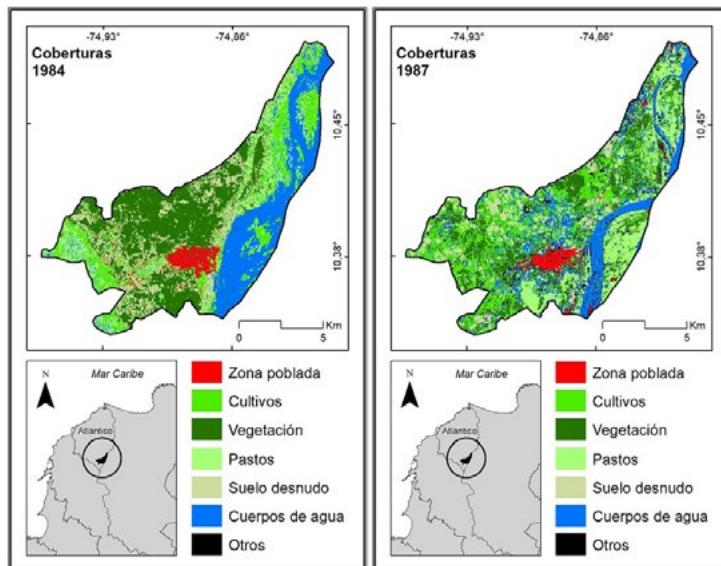


Figura 2. Mapa cobertura de la tierra 1984 -1987 en el municipio de Campo de la Cruz.

Fuente: Información tomada de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3.1.2 Cobertura de la tierra 2007 -2012

De acuerdo con lo reportado en el 2007, las coberturas predominantes fueron los cultivos (22,68 %), los pastos (22,25 %) y la vegetación (33,78 %). La vegetación se encontró en el territorio de sur a norte, mientras que los pastos y cultivos se evidencian en centro y occidente del municipio de Campo de la Cruz. La zona poblada presentó una extensión 1.617,12 ha ubicándose en centro y sur del territorio. Los cuerpos de agua ubicados de norte a sur en el municipio y dispersos en el oriente se encuentran en una proporción de un 12,89 %. Asimismo, en 2012 los cultivos constituyeron la mayor cobertura dentro del territorio, enfocándose en el sur y occidente del municipio, abarcando un área de 6.336 ha, equivalente al 44,81 %. Las coberturas, como la zona poblada y los cuerpos de agua, se encontraron en una proporción de 13,40 % y 13,33 %, respectivamente. Por otra parte, en el oriente y hacia el sur del municipio se ubicaron los pastos con un área 1.543,68 ha, equivalente a un 10,72 %; mientras que la vegetación fue la cobertura con menor proporción al norte con un 3,13 %.

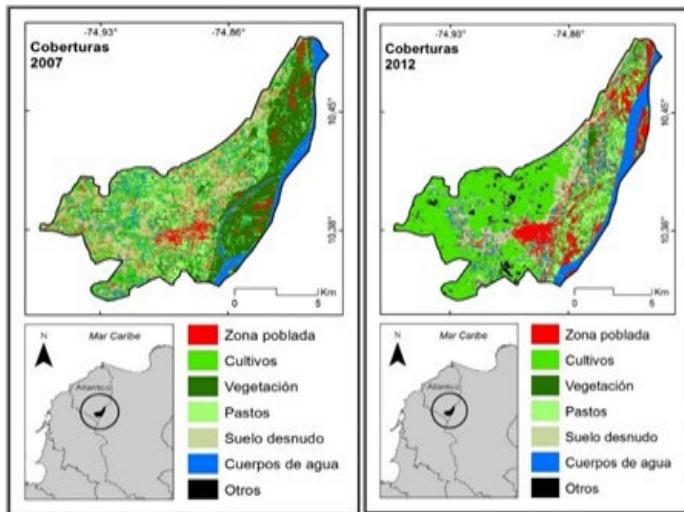


Figura 3. Mapa de cobertura de tierra 2007 -2012 en el municipio de Campo de la Cruz.

Fuente: Información tomada de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3.1.3 Cobertura de la tierra 2017

En 2017 la cobertura predominante en el municipio fueron los cultivos, ocupando un área del territorio de 4.636,80 ha, equivalente a 32,2 %; por otra parte, los pastos fueron la clase que ocupó el segundo lugar dentro del municipio con un área de 2.738,88 ha, correspondiente a un 19,02 %. La zona poblada concentrada en el centro y dispersada un poco al norte de este territorio se encontró con un 15,17 %, le siguieron los cuerpos de agua (11,71 %) y el suelo desnudo (11,77 %); la vegetación fue la clase menor de todas las coberturas con un 10,12 %.

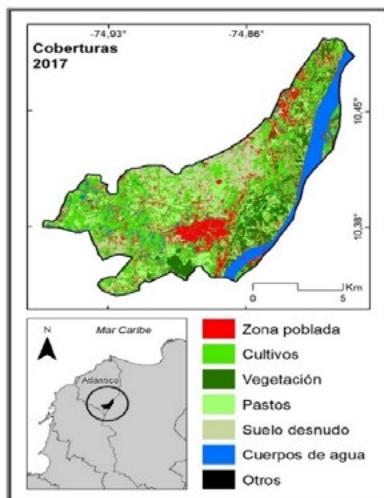


Figura 4. Mapa de cobertura de la tierra 2017 en el municipio de Campo de la Cruz.

Fuente: Información tomada de <https://earthexplorer.usgs.gov/>

3.1.4 Determinación de los cambios en las coberturas

Para las transformaciones ocurridas entre el periodo 1984- 1987 se puede observar una disminución del porcentaje de superficie de los cuerpos de agua en 3,33 % representando una pérdida de 479,52 ha; de igual modo, se detalla un comportamiento similar en la vegetación que ha cedido 2669,76 ha de su cobertura, lo que significa una variación significativa de 18,54 %. Entre tanto, un resultado atípico fue el registrado por los cultivos y los pastos, los cuales aumentaron en el territorio, son considerados una de las principales causas de los cambios en las coberturas y uso de suelo en el mundo, suponiendo este hecho que su dinámica debería ser generalmente positiva. La Tabla 1 resume este análisis.

Tabla 1. Área y porcentaje de cobertura y uso del suelo periodo 1984-1987, Campo de la Cruz.

Cobertura	1984		1987		Variación área (ha)	Variación Porcentaje (%)	Variación respecto año anterior (%)
	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)			
Cuerpos de agua	3.221,28	22,37%	2.741,76	19,04%	-479,52	-3,33%	-14,88%
Cultivos	1.977,12	13,73%	3.683,52	25,58%	1.706,40	11,85%	86,30%
No determinado	0,00	0,00%	1.262,88	8,77%	1.262,88	8,77%	8,77%
Pastos	2.001,60	13,90%	2.689,92	18,68%	688,32	4,78%	34,38%
Suelo desnudo	1.874,88	13,02%	1.467,36	10,19%	-283,00	-1,41%	-10,82%
Vegetación	4.812,48	33,42%	2.142,72	14,88%	-2.669,76	-18,54%	-55,47%
Zona poblada	514,08	3,57%	410,40	2,85%	-103,68	-0,72%	-20,16%
Total general	14.401,44	100,00%	14.398,56	100,00%	-2,88	0,00%	-2,88%

Variación área = área año posterior- área año anterior. Variación % = % Año posterior - % año anterior.

Variación % año = variación área/área año anterior* 100.

Seguidamente, para el periodo 1987-2007 la cobertura de cultivos redujo su representación espacial dentro del municipio perdiendo 417,6 ha, representando un cambio neto de 2,9 %; en contraparte, los pastos incrementaron notablemente su superficie en 514,08 ha en la zona occidental, pudiendo esto favorecer el uso del suelo destinado a ganadería intensiva. Adicionalmente, en las cifras se puede observar que la vegetación natural incrementó su representación espacial en 993,6 ha (de 2.142,72 a 3.136,32 ha), en consecuencia, se presentan datos complementarios en la Tabla 2.

Tabla 2. Área y porcentaje de cobertura y uso del suelo periodo 1987-2007, Campo de la Cruz.

Cobertura	1987		2007		Variación área (ha)	Variación Porcentaje (%)	Variación respecto año anterior (%)
	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)			
Cuerpos de agua	2.741,76	19,04%	1.856,16	12,89%	-885,60	-6,15%	-32,30%
Cultivos	3.683,52	25,58%	3.265,92	22,68%	-417,60	-2,90%	-11,33%
No determinado	1.262,88	8,77%	0,00	0,00%	-1.262,88	-8,77%	-100,00%
Pastos	2.689,92	18,68%	3.204,00	22,25%	514,08	3,57%	19,11%
Suelo desnudo	1.467,36	10,19%	1.320,48	9,17%	-146,88	-1,02%	-10,00%
Vegetación	2.142,72	14,88%	3.136,32	21,78%	993,60	6,90%	46,37%
Zona poblada	410,40	2,85%	1.617,12	11,23%	1.606,72	8,38%	391,50%
Total general	14.398,56	100,00%	14.400,00	100,00%	1,44	0,00%	0,01%

Variación área = área año posterior - área año anterior. Variación % = % Año posterior - % año anterior.

Variación % año = variación área/área año anterior* 100.

Con relación al periodo 2007 – 2012, el análisis de las coberturas revela un paisaje dominado por tierras de cultivos (44,81 %) con un aumento significativo de 22,13 % (3.070,08 ha) respecto al registro anterior; por otra parte, los cuerpos de agua incrementaron su superficie espacial en 63,36 ha hacia el suroccidente del municipio en las zonas bajas, posiblemente por fenómenos de escorrentía; además, los pastos perdieron terreno en 1.660,32 ha (cambio neto 11,53), lo cual significa un aumento de los cultivos. En relación con lo anterior vale la pena destacar que la vegetación fue una de las coberturas más afectadas después del evento de desbordamiento del año 2010, disminuyendo su distribución espacial dentro del territorio en 2.685,6 ha; con base en esto, se presenta la Tabla 3 en donde se resume este comportamiento.

Tabla 3. Área y Porcentaje de cobertura y uso del suelo Periodo 2007-2012. Campo de la Cruz.

Cobertura	2007		2012		Variación área (ha)	Variación Porcentaje (%)	Variación respecto año anterior (%)
	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)			
Cuerpos de agua	1.856,16	12,89%	1.919,52	13,33%	63,36	0,44%	3,40%
Cultivos	3.265,92	22,68%	6.336,00	44,81%	3.070,08	22,13%	94,00%
No determinado	0,00	0,00%	336,96	2,34%	336,96	2,34%	2,34%
Pastos	3.204,00	22,25%	1.543,68	10,72%	-1.660,32	-11,53%	-51,82%
Suelo desnudo	1.320,48	9,17%	1.768,32	12,28%	447,48	3,10%	33,88%
Vegetación	3.136,32	21,78%	450,72	3,13%	-2.685,60	-18,65%	-85,62%
Zona poblada	1.617,12	11,23%	1.929,60	13,40%	312,48	2,17%	19,32%
Total general	14.400,00	100,00%	14.285,00	100,00%	-115,20	0,00%	0,80%

Variación área = área año posterior - área año anterior. Variación % = % Año posterior - % año anterior.

Variación % año = variación área/área año anterior* 100.

Finalmente, para el periodo 2012- 2017, después de 6 años de la inundación de 2010, los cuerpos de agua disminuyeron su representación espacial en 1,61 %, representando una pérdida de 233,38. La cobertura de cultivo perdió 1.699,2 ha (cambio neto 12,61), por lo que su representatividad en el territorio se redujo de 44,81 % a 32,20 %, sin embargo, hay una potencialización indiscutible del pasto que aumentó en 1195,2 ha por causa de la disminución del cultivo; este análisis indicaría que el uso del suelo se transformó de agricultura a ganadería intensiva. Por otra parte, el suelo desnudo disminuyó en un 0,41 %, mientras que la vegetación incrementó en 1.006,56 lo cual indica que hay una recuperación por fenómenos de sucesión o por repoblación en zonas afectadas por entes gubernamentales. La Tabla 4 indica estas cifras.

Tabla 4. Área y porcentaje de cobertura y uso del suelo periodo 2012-2017, Campo de la Cruz.

Cobertura	2012		2017		Variación área (ha)	Variación Porcentaje (%)	Variación respecto año anterior (%)
	Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)			
Cuerpos de agua	1.919,52	13,33%	1.686,24	11,71%	233,28	-1,61%	-13,83%
Cultivos	6.336,00	44,81%	4.636,80	32,20%	-1.699	-12,61%	-26,81%
No determinado	336,96	2,34%	0,00	0,00%	-337	-2,34%	-100,00%
Pastos	1.543,68	10,72%	2.738,88	19,02%	1.195	8,30%	77,42%
Suelo desnudo	1.768,32	12,28%	1.694,88	11,77%	-73	-0,61%	-4,15%
Vegetación	450,72	3,13%	1.457,28	10,12%	1.007	6,99%	223,32%
Zona poblada	1.929,60	13,40%	2.184,48	15,17%	255	1,77%	13,20%
Total general	14.285,00	100,00%	14.398,56	100,00%	114	0,00%	0,79%

Variación área = área año posterior - área año anterior. Variación % = % Año posterior - % año anterior.

Variación % año = variación área/área año anterior* 100.

En cuanto a la cobertura vegetal y uso actual de la tierra la Tabla 5 se registra diferentes áreas como son: rastrojos pequeños, pastos naturales, maleza, cultivo, rastrojos altos, áreas de pesca y otros, como áreas construidas.

Tabla 5. Cobertura y uso actual de la tierra.

Cobertura de la tierra	Área hectáreas	%
Áreas agrícolas heterogéneas	728	9,50%
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	72	0,30%
Bosques	31	0,40%
Pastos	6.635	86,30%
Zonas urbanizadas	277	3,60%
Total cobertura Campo de la Cruz	7.690	100,00%

3.2 Análisis de la amenaza ante inundaciones en el municipio de Campo de la Cruz

3.2.1 Estimación de máximos caudales y su relación con índice ONI

Los flujos máximos del río Magdalena (Figura 5), mayores a 11.519 m^3 , ocurrieron durante la estación lluviosa en los meses intermedios o al final de los años registrados. Se encontró un total de 31 eventos que combinaron la duración y la intensidad ($11.685 - 16.913 \text{ m}^3/\text{s}$) y se relacionaron directamente con los informes de lluvias. Además, se observó que el 58,06 % de los flujos máximos del río Magdalena estaban relacionados con las condiciones de La Niña (Figura 5).

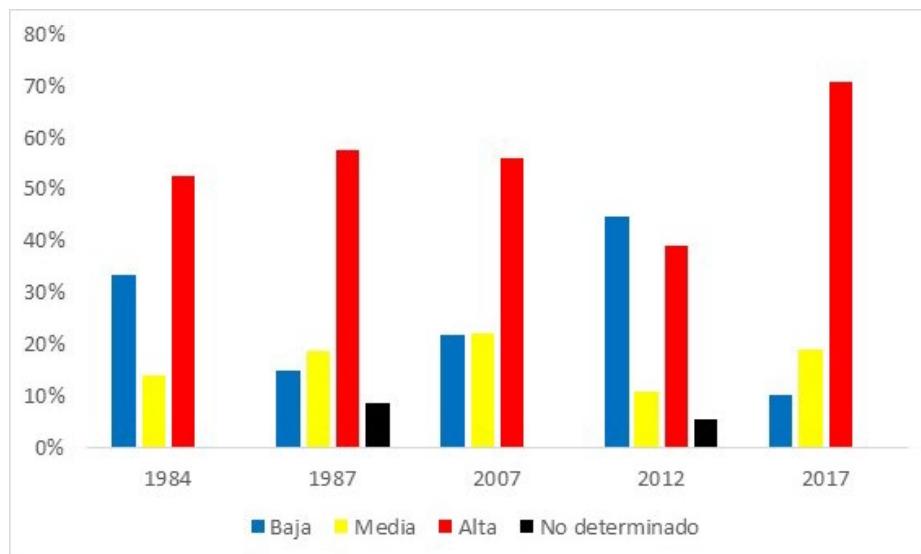


Figura 5. Variación de la amenaza por acumulado de área del factor de cobertura, entre 1984 al 2017.

Seguidamente, en la Tabla 6 se compara la serie de caudales máximos de la estación Calamar en las respectivas ocurrencias de los distintos eventos, clasificados de acuerdo con el valor del índice ONI, se puede confirmar lo señalado en la Figura 5, obteniéndose diecinueve eventos “C” (frío).

Tabla 6. Segmentación de un subconjunto de serie de tiempos de caudales máximos de la estación Calamar entre 1950–2012.

Año/ Mes (Inicio)	Año/Mes (Final)	Caudal (m ³ /s)	ONI	Evento	
09/07/1950	31/12/1950	11.700	-0,50	-0,80	C (Frío)
18/11/1954	30/12/1955	11.700	-0,70	-0,70	C (Frío)
30/10/1970	4/01/1971	11.700	-0,90	-1,40	C (Frío)
14/06/1971	3/07/1971	11.867	-0,70	-0,80	C (Frío)
30/10/1971	12/12/1971	12.348	-1,00	-0,90	C (Frío)
18/10/1973	8/01/1974	13.060	-1,90	-1,80	C (Frío)
25/10/1974	30/12/1974	15.348	-0,60	-0,80	C (Frío)
30/09/1975	9/01/1976	16.913	-1,40	-1,70	C (Frío)
21/10/1984	25/12/1984	13.659	-0,90	-1,10	C (Frío)
15/09/1988	16/01/1989	13.844	-1,80	-1,90	C (Frío)
18/10/1999	14/01/2000	13.663	-1,50	-1,70	C (Frío)
28/11/2005	29/12/2005	13.549	-0,60	-0,80	C (Frío)
18/06/2007	13/07/2007	12.444	-0,40	-0,50	C (Frío)
03/11/2007	23/12/2007	14.494	-1,50	-1,60	C (Frío)
17/07/2008	8/01/2009	14.909	-0,40	-0,70	C (Frío)
27/07/2010	15/01/2011	14.460	-1,00	-1,70	C (Frío)
11/05/2011	10/07/2011	13.139	-0,40	-0,50	C (Frío)
22/11/2011	15/01/2012	13.826	-1,00	-0,80	C (Frío)

Fuente: Datos tomados del IDEAM y ONI.

De este modo, en el periodo comprendido entre 1950 al 2011, se identificaron dieciocho (18) eventos “C (frío)”, correspondientes al 58,06 % de los eventos clasificados conforme al valor del índice de ONI relacionados con el fenómeno de La Niña, de los cuales el 44,4 % equivale a los ocho (8) eventos de máximos caudales con más de 82 días de duración y valores mayores a 11.700 m³/s (175 días) en los años más críticos: 1950, 1954, 1973, 1975, 1988, 1999, 2008, 2010, los cuales se utilizaron para determinar su relación hidrológica y la influencia del fenómeno correlacionando los caudales con respecto a los índices de ONI, a partir de la segmentación de la serie de tiempo mediante el coeficiente de correlación r de Pearson, según lo expuesto en la Tabla 7.

Tabla 7. Coeficientes de correlación r de Pearson entre los caudales máximos de la estación Calamar y el índice de ONI, para los eventos “C (fríos) de los años 1950, 1954, 1973, 1975, 1988, 1999, 2008, 2010.

	C1 (1950)	C2 (1954)	C3 (1973)	C4 (1975)	C5 (1988)	C6 (1999)	C7, (2008)	C8 (2010)
Calamar r	0,673	0,256	0,372	0,321	0,394	0,005	0,501	0,618
duración/ Meses	3	14	4	5	5	4	3	7

Fuente: Datos tomados del IDEAM y ONI.

Se nota que los signos del coeficiente de correlación r son positivos, esto indica una relación creciente entre los caudales y el índice de ONI. En la Tabla 7, se puede ver que los eventos C1, C7 y C8 presentaron valores de $r > 0,5$ esto demuestra que tienen una relación alta de probabilidad con el fenómeno de La Niña. Por su parte los eventos C2, C3, C4 y C5 mostraron una moderada relación con valores $0,2 < r < 0,5$, mientras que con el evento C6 la relación fue muy débil. Los eventos de los años 1950 y 2010 presentaron mayor correlación, correspondiendo junto con el año 1984 con los fenómenos de desbordamiento, asociados también con el fenómeno ENSO fase fría denominado La Niña que afectaron considerablemente el municipio y sus coberturas.

3.3 Distribución espacial de la amenaza por factor de cobertura

La reclasificación de las seis coberturas identificadas en los niveles de amenaza se fundamentaron en las características físicas del suelo y su capacidad de infiltración del agua, considerando que entre mayor sea la capacidad de infiltración del suelo, menor vulnerabilidad presenta frente al fenómeno de inundación, clasificando de este modo las coberturas de acuerdo a la metodología propuesta por Ruiz y Salazar ⁽¹⁷⁾ y analizando los cambios en el contexto histórico de los períodos a través de descripción de imágenes por factor de cobertura como se aprecia en la Tabla 8.

Tabla 8. Clasificación de las coberturas según nivel de amenaza.

Cobertura	Amenaza	Calificación	Color
Bosque denso, vegetación	Baja	1	
Pastos enmalezados, Pastos limpios mosaico de cultivos	Media	2	
Tejido continuo: cuerpos de agua, zona desnuda, cultivos, zona poblada	Alta	3	

Fuente: Elaboración propia a partir de la metodología propuesta por Ruiz y Salazar, 2017.

La tabla anterior muestra la reclasificación de las coberturas obtenidas entre periodos 1984 a 2017 y se complementa con la Figura 6, que muestra los acumulados de los niveles de amenaza por factor de cobertura, dejando en evidencia que la mayor parte del suelo se encuentra categorizado en amenaza alta, en un 52,68 %, 57,67 %, 55,96 %, 83,82 % y 70,86 %, respectivamente para los años descritos. Se aprecia que la amenaza fue aumentando en 1987, después de la inundación de 1984 y su valor fue significativo en el 2010, pues se observó un aumento en un 19,60 %, en promedio con relación a años anteriores. La figura que se muestra a continuación ilustra los niveles de amenaza por factor de cobertura con mayor detalle.

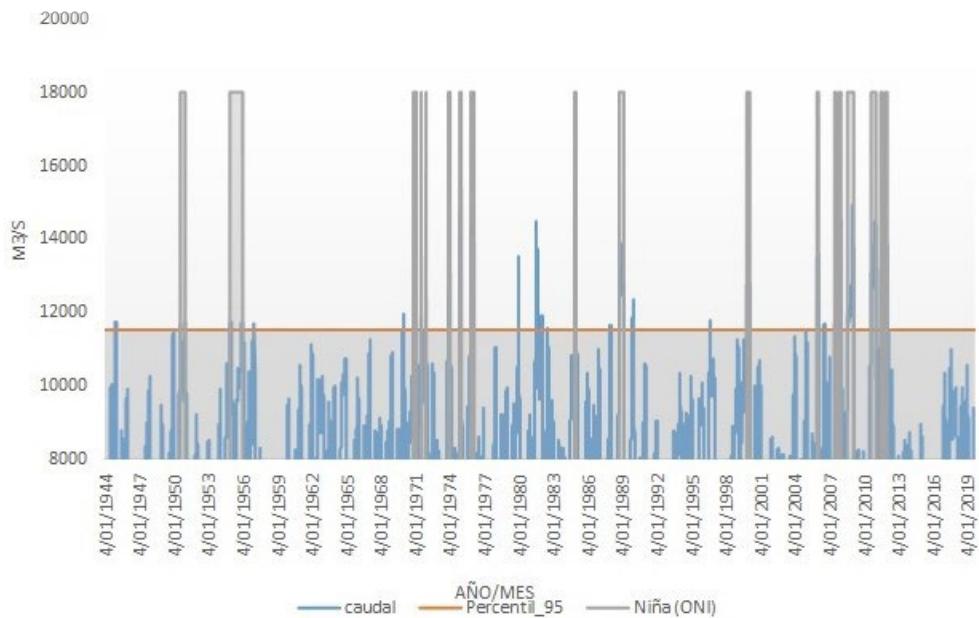


Figura 6. Eventos máximos de caudales del río Magdalena y la relación con la ocurrencia del fenómeno de “La Niña” (franjas grises). Se muestra la escala vertical solo la sección superior de la serie.

Fuente: datos tomados del IDEAM.

La Figura 7 muestra la combinación de los mapas originales de cobertura y la distribución espacial de la amenaza por factor de cobertura en el periodo 1984-2017. La información presentada, así como la clasificación y el análisis constituyen un pilar fundamental para la toma de decisiones ante escenarios de amenaza frente a eventos de inundaciones. De este modo, es posible resaltar que en todos los períodos ha prevalecido una amenaza alta en el municipio, no obstante, se observa una disminución notable en los períodos de 1987 y 2007, y presentando el pico más alto en el 2012.

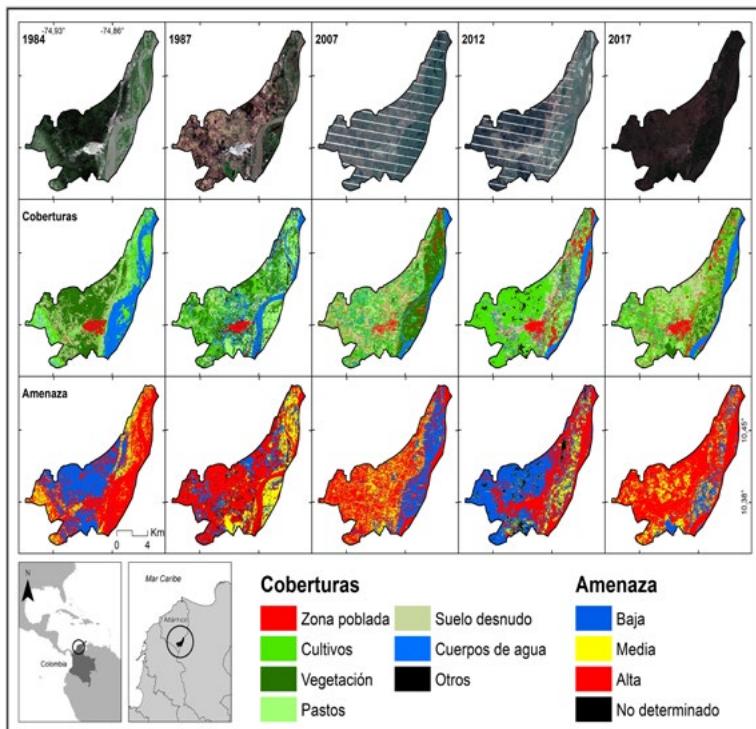


Figura 7. Mapas de corte, coberturas y amenazas en el municipio de Campo de la Cruz.

4 Discusión

De acuerdo con el análisis de los resultados se infiere que la cobertura de mayor presencia ha sido la de cuerpos de agua, posiblemente causado por la geoforma de planicie inundable que caracteriza el municipio de Campo de la Cruz, que en épocas de escasa lluvia favorece la proliferación de cultivos. Por otra parte, se observó que los cuerpos de agua han variado poco, debido a la localización geográfica del municipio, la cual cuenta con un área mayor a la subregión de la ribera del río Magdalena y zonas aledañas y en menor cuantía a la del sur del Atlántico y el Canal del Dique. Lo anterior demuestra que el municipio tiene un alto potencial hídrico en la zona de desborde del río Magdalena que rodean su perímetro, además, este mismo componente permite explicar el porqué de la afectación durante el fenómeno de La Niña ocurrido durante los años 2010-2011.

Por otro lado, las inundaciones históricas del municipio en 1984 y 2010 se presentaron por el colapso del Canal del Dique en cercanías del río Magdalena. De acuerdo con lo registrado por Cuervo y Peña ⁽⁶⁾, quienes analizaron la dinámica de las inundaciones, se encontró que los mapas topográficos en la zona de inundación del canal mostraron una serie de ciénagas que fueron intervenidas para procesos de desecación en usos agrícolas y ganaderos hasta su desaparición total; es así como, a partir de esta información se infiere que, durante las inundaciones de esos años, las aguas volvieron a ocupar las áreas naturales de sus ciénagas.

En relación con lo anterior, la vegetación fue una de las coberturas más afectadas después del evento de desbordamiento del año 2010, fenómeno que puede ser explicado por lo descrito por Neiff⁽¹⁸⁾ quien afirma que la duración de un evento de inundación genera una deficiencia permanente de oxígeno en el suelo, como consecuencia de la lenta difusión e incorporación de este elemento en el agua, condiciones que provocan que minerales como el hierro, el manganeso, el aluminio entre otros pasen a su estado reducido y solubilicen en el agua intersticial del suelo y alcanzando concentraciones toxicas para las raíces de la vegetación adulta y por consiguiente su alta exposición conlleve a la muerte de esta.

En cuanto a la cobertura de zona poblada, se observó un incremento del 8,38 % equivalente a 1.606,72 ha de área ocupada en el periodo 1987 – 2007; este crecimiento, frente a las consecuentes amenazas de desbordamiento en el municipio de Campo de la Cruz por eventos extremos de máximos caudales del río Magdalena, constituyen otro factor de omisión al fenómeno, lo que tiene concordancia con lo señalado por Franco⁽¹⁹⁾ al considerar las inundaciones como eventos naturales en ocasiones influenciados por la actividad del hombre como consecuencia de los efectos que genera en el territorio a través del inadecuado urbanismo, por medio del cual se ocasionan deterioros progresivos a las cuencas, los cauces de los ríos y quebradas, la creación de basuras tapando drenajes naturales, limitando las ciénagas, aumentando la erosión con talas y quemas de árboles⁽⁴⁾.

El evento del año 2010 a consecuencia de la ruptura del jarillón del Canal del Dique se debió a la poca capacidad de respuesta del Estado frente a eventos climáticos adversos, además las debilidades en el desarrollo de una estructura civil sólida acorde al ordenamiento territorial como se demostró este estudio y que pone en evidencia el escenario planteado anteriormente, relacionado con lo afirmado por Franco⁽¹⁹⁾ y Gordillo⁽⁴⁾, además, en función de lo expuesto por Amar *et al*⁽²⁰⁾.

En cuanto a la cobertura de cultivos en el 2012, se aprecia un aumento de 22,13 %, generado por la necesidad de la población por recuperar la infraestructura y la reactivación de sus operaciones económicas, tales como la actividad agrícola; sumado a los factores de controles en los niveles de agua en el Canal del Dique, la pérdida de cobertura en pasto en un 11,53 %, el aumento del suelo desnudo en un 3,10 %, la disminución de la vegetación en un 18,65 %, en zonas comunes y el aumento de la población en un 2,17 %. De acuerdo con estos resultados y lo planteado por Halaunova y Holubec⁽²¹⁾, es relevante anotar que el fortalecimiento de la cobertura de cultivos beneficia solamente al sector agrícola, sin embargo, la expansión de estos en áreas forestales (desforestación) sin tener en cuenta el tipo de cultivo apropiado en la región afecta sustancialmente el impacto de futuras inundaciones.

La elección de cultivos y el sentido de las filas de cultivos juegan un papel importante en la protección contra estos fenómenos en las áreas urbanas, tal como lo afirman Halaunova y Holubec⁽²¹⁾ en su estudio acerca de las inundaciones en la Republica Checa. Los eventos de inundaciones repentinas ocurridas en ese país se debieron en gran parte a la creciente urbanización después de la segunda guerra mundial que causó una transformación de grandes áreas agrícolas en superficies impermeables; lo anterior fue corroborado por medio de la detección remota de los SIG, en donde la metodología

aplicada le permitió determinar áreas inundadas, analizarlas y mejorar las condiciones para fortalecer la capacidad de recuperación de dicha área.

En contraste con el estudio de Halaunova y Holubec ⁽²¹⁾, la amenaza en la cobertura de cultivos con respecto a inundaciones es progresiva, entre el periodo 1984-2017, esto se debe al conflicto por sobreutilización, donde el uso actual predominante es más intenso en comparación con la utilización principal asignada a las tierras, sobrepasando su capacidad natural productiva y generando así graves riesgos de tipo ecológico y social.

Por su parte, la Ciénaga Real era el cuerpo de agua que poseía el municipio en su zona continental en esa época, la cual se fue deteriorando en la medida que la utilización de la tierra se transformó, en su mayoría a ganadería, posterior al año 1984; hoy en día, este cuerpo de agua ha perdido su comunicación con el Río Magdalena debido a la construcción de la carretera oriental, secado en gran parte al igual que otros humedales que fueron desecados entre el periodo de 1960-1970 con la implementación del distrito de drenaje a través de la construcción de canales, siendo convertida en potreros usados para la ganadería en máxima extensión y algunas partes por la agricultura. Lo anterior, aunado al uso excesivo e intensivo del suelo urbano para actividades comerciales y residenciales que ha provocado una disminución de las áreas verdes, asimismo, la ausencia de planificación y la debilidad estructural de la plataforma física urbana municipal son las principales causas de deterioro del municipio que ayudaron a profundizar la situación de emergencia presentada durante la ola invernal 2010-2011 ⁽²²⁾. En este sentido, el evento de 2010 se convirtió en un factor crucial para que estas actividades desaparecieran, sumado a la grave situación por la falta de apoyo de los entes gubernamentales hacia la disposición de tierras e insumos (semillas, abonos, herramientas, maquinaria, asistencia técnica y capital); adicionalmente, se puede observar en la actualidad, que alguno de esos lugares, que antes fueron inundados, son utilizados como corral de bovinos para los pocos animales que lograron sobrevivir después de la crecida de 2010. Cabe destacar, que desde el año 2012 se viene dedicando aproximadamente el 9,5 % del uso del suelo a la producción de actividades agrícolas de siembra de cultivos de Yuca, maíz, guayaba, tomate, melón, ciruela, ahuyama, patilla y, una importante superficie dedicada a la producción pecuaria.

En relación con lo anterior, la cobertura vegetal en los periodos 1984-1987 y 2007-2012 disminuyó considerablemente en un 18,54 % y un 18,65 % respectivamente, todo ello generado por las inundaciones en 1984 y 2010 y por la ruptura del jarillón del Canal del Dique; estos eventos son consecuencia del uso inadecuado del suelo que provoca la alteración de la dinámica hidráulica del río Magdalena y del Canal del Dique, en la medida en que un suelo desprovisto de vegetación está expuesto a ser arrasado por el agua, y a ello se suman las pérdidas de la capacidad de infiltración debido actividades antrópicas, lo que puede provocar un aumento en los cursos de agua.

Tal argumento concuerda con lo propuesto por Morales, Carrillo, Farfán y Cornejo ⁽²³⁾, quienes en su estudio asociado con el análisis espacial-cuantitativo de las coberturas por medio de SIG, en el periodo 1979-2013, en la región de Bahía Banderas en México, demostró que las modificaciones en las coberturas pueden ser originadas por factores antropogénicos; en este sentido se pudo evidenciar que se registran diferentes áreas como son: Rastrojos pequeños, pastos naturales, maleza, cultivo, rastrojos altos, áreas de pesca y otros, como áreas construidas en la cobertura

vegetal y uso actual del suelo; por su parte, los pastos naturales y áreas agrícolas heterogéneas ocupan la mayoría de áreas con 7.363 ha y su uso es la ganadería intensiva.

Con respecto al análisis de la amenaza por eventos extremos, se encontró que el alto porcentaje de relación (58,06 %) de los eventos de máximos caudales correspondieron con la fase fría del fenómeno ENSO, denominada La Niña; además, en concordancia con la variabilidad en los coeficientes de correlación, se halló que los períodos de años con mayor amenaza de inundación pudieron ser 1950, (2008 – 2009), (2010 – 2011), en los que el coeficiente r de Pearson señaló una relación marcada con valores $r > 0,5$, apreciándose que los signos de los coeficientes de correlación son todos positivos, indicando una relación creciente entre los máximos caudales del río Magdalena y el índice de ONI; esto significa que en la medida que aumenta el valor del índice los caudales tienden a crecer, lo cual es comparable con otros estudios desarrollos por Paolini, Blanch, Sureda y Rosales ⁽²⁴⁾.

Esta asociación entre el caudal del Magdalena y el índice ONI ya ha sido analizada previamente por Gómez y Poveda ⁽²⁵⁾, Restrepo y Restrepo ⁽²⁶⁾, Poveda y Meza ⁽²⁷⁾, al igual que Bedoya, Contreras y Ruiz ⁽²⁸⁾, en su estudio sobre alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad de cambio climático en Colombia; estos autores encontraron aumentos significativos en los caudales en los meses de septiembre, octubre y noviembre por encima de lo esperado con respecto a los años catalogados como normales en las 180 estaciones de los estudios. De tal modo, se considera así que el ENSO en su fase fría afectó el aumento de caudales considerablemente a un 20 % y 40 %, en el trimestre septiembre – octubre – noviembre, con respecto a trimestre de caudales normales en el caribe y Magdalena medio durante la última inundación del año 2010. Lo anterior es comparable con el estudio de Paolini, Blanch, Sureda y Rosales ⁽²⁴⁾ quienes analizaron la relación entre los caudales máximos y la influencia del ENSO en la región Guayana venezolana a partir de la segmentación de la serie de tiempo, utilizando el coeficiente r de Pearson; sus resultados arrojaron que los signos de este coeficiente fueron positivos en la relación con los eventos “C fríos”, indicando una relación creciente los caudales y el índice de ONI. Otro punto de referencia, acerca de la correlación entre la fase fría del ENSO y las inundaciones en el territorio, lo aportan Poveda y Mesa ⁽²⁷⁾ quienes hicieron las correlaciones cruzadas entre los caudales y el índice de SOI (índice definido como la diferencia entre las presiones estandarizadas entre Tahití y Darwin), encontrando que los valores obtenidos de las anomalías positivas de este índice están asociados con eventos fríos (NIÑA).

Con base en la literatura, en el presente estudio no se emplearon períodos de tiempo fijo, sino que fueron segmentados los datos de acuerdo con la duración del evento; de esta manera, los resultados solo dependen de la intensidad del evento para el tiempo de su detección y duración. Mediante este procedimiento, los valores encontrados son semejantes a los reportados en el trabajo por Paolini, Blanch, Sureda y Rosales ⁽²⁴⁾, cuando se utiliza las relaciones entre los caudales y el índice de ONI con mes de retorno, concordando en el hecho de que este encontró una relación marcada con valores de $r > 0,8$ con respecto a algunas de las estaciones de su estudio. Cabe destacar que algunos rangos fueron moderados entre $0,55 < r > 0,6$ considerándose estos últimos similares a los encontrados en este estudio donde el rango fue $0,5 < r > 0,673$.

Posteriormente, en la tercera etapa de este estudio se asociaron los cambios en las coberturas correspondientes a los períodos descritos con la amenaza por medio del factor de cobertura, evidenciándose que la mayor parte del suelo en las coberturas: cuerpos de agua, zona desnuda, cultivos y zona poblada, se encuentra categorizado en amenaza alta. Lo anterior, demuestra que, al establecer la distribución espacial de la amenaza por factor de coberturas, se puede convertir en una herramienta fundamental para la política del riesgo en las zonas del municipio. Dicha distribución surge como la sumatoria de la ponderación de las calificaciones de las coberturas de acuerdo con su capacidad de infiltración, dando como resultado un mapa *resumen* que permite una aproximación del grado de amenaza de ellas ante posibles inundaciones; esto, en conjunto con la clasificación y el análisis, constituyen una de las bases para la toma de decisiones de cara a escenarios que indiquen mayor amenaza frente a estos eventos.

La obtención de la distribución especial de la amenaza por factor de coberturas en el municipio de Campo de la Cruz, por ser un producto a escala 1: 1000000⁽¹⁷⁾ puede ser usado como un insumo relevante para la evaluación de la amenaza en el municipio, ya que brinda una noción general de las zonas frente a un fenómeno de inundación. Por otra parte, se evidencia que estos resultados fueron de alguna manera los esperados en cuanto a la distribución de los rangos de la amenaza (baja, media y alta), teniendo en cuenta las características del territorio y el grado de conocimiento adquirido durante el desarrollo de esta investigación. Con estas pruebas, es posible manifestar entonces que el municipio de Campo de la Cruz es un territorio particular, donde las coberturas de suelo corresponden en gran proporción a cuerpos de agua (río, ciénaga), zona poblada, pastos y área agrícola, sustentando su gran relación con la clasificación de amenaza alta.

Desde esta perspectiva, ante la amenaza por desbordamiento en el municipio de Campo de la Cruz y sus consecuentes cambios en la cobertura de la tierra y uso del suelo, como una realidad con muchos precedentes de años anteriores a 2017, es fundamental que la misma sea vista como una oportunidad para la optimización de los recursos naturales e inversión orientada a dar respuesta efectiva a las emergencias que puedan suscitarse por eventos de inundación, la cual debe ser tangible en mejoras a las estructuras de contingencia y uso de la tecnología que eviten desastres como el de 2010, poniéndose a prueba los distintos protocolos, procedimientos y estrategias para respuesta y planes de contingencia enmarcados en la Estrategia Nacional para la Respuesta a Emergencias⁽²⁹⁾.

Por tal motivo, la Gestión del Riesgo de Desastre (GRD) constituye un componente fundamental dentro de los procesos de planificación y ordenamiento territorial, que para el caso colombiano está estructurado y validado legalmente, haciéndose necesario para su cumplimiento^(5, 30). Con base en lo anterior, a través de la educación ambiental con el acompañamiento de la academia y otros actores las autoridades locales y departamentales del municipio de Campo de la Cruz, se puede reforzar la enseñanza y difusión del conocimiento en las escuelas y universidades acerca de las acciones de prevención y mitigación de riesgo frente a amenaza de inundaciones.

5 Conclusiones

Con base en el desarrollo de esta investigación, se puede inferir que las condiciones naturales del terreno en la zona analizada lo convierten en un territorio altamente

susceptible a las inundaciones asociadas a fenómenos de variabilidad climática. Asimismo, los mapas de coberturas, testimonios de las familias, y las evidencias apreciadas en el mapa de manchas de inundación, indican la existencia de una zona de ciénagas, que fueron desecadas para actividades agrícolas y ganaderas hasta que desaparecieron completamente; razón por la cual, tienden a recuperar su estado natural aumentando las inundaciones. Igualmente, resulta destacable que la mayoría de la población en esta zona se concentra alrededor de la cuenca del río Magdalena, lo que vuelve más vulnerable a estos asentamientos humanos, en la medida en que el aumento del caudal puede generar grandes afectaciones sobre todo lo que lo rodea. Finalmente, otra reflexión importante radica en los resultados de la amenaza por factor de cobertura, llamando la atención sobre el peligro latente que corren las áreas de vegetación, cultivos y pastos, derivado de las observaciones de las imágenes del año 2017; por consiguiente, es menester que los entes territoriales tengan en cuenta esta información cartográfica, para hacer planes oportunos que contribuyan con la disminución del riesgo por amenaza ante inundaciones en estas zonas ya identificadas.

Asimismo, es necesario que los entes territoriales impulsen programas encaminados a la restauración de la cobertura nativa para la protección de las áreas de suelos desnudos y cultivos más permanentes o agroforestales.

Agradecimiento: Mis agradecimientos a todas las personas, Instituciones y entidades que hicieron posible la realización y culminación de esta maestría: Gobernación del Atlántico, Icetex, Universidad del Atlántico, Universidad de Córdoba, Sue – Caribe, Grupo de investigación Ecología y Diversidad de Algas Marinas y Arrecifes Coralinos EDAMAC y la Doctora Rocío García de la Universidad del Magdalena por facilitar el software de ArcGIS 10.4 para el proceso de clasificación de imágenes, IDEAM.

Referencias bibliográficas

1. Cárdenas MF, Tobón C. Rehabilitation Of Hydrological Functioning Of Páramo Ecosystems In Colombia. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica. 2017; 20: 403-412.
2. Universidad Nacional de Colombia. Soluciones para zonas inundables en Colombia. Publicado en el Tiempo (online). 2016. Disponible en: http://agenciadenoticias.unal.edu.co/enlosmedios.html?tx_unalreportesmedios_enlosmedios%5Bnoticia%5D=17138&tx_unalreportesmedios_enlosmedios%5Baction%5D=show&tx_unalreportesmedios_osmedios%5Bcontroller%5D=Noticias&cHash=1ebe6125665a90b6b42df45eeecbb0a4
3. Wang C, Deser C, Yu JY, DiNezio P, Clement A. El Niño and southern oscillation (ENSO): a review. In Coral reefs of the eastern tropical Pacific. Dordrecht: Springer. 2017; 85-106.
4. Gordillo Á. Análisis de vulnerabilidad y medidas regulatorias para inundaciones en Bosa. Bogotá: Universidad Católica. 2013.
5. Sánchez A. Después de la inundación. Bogotá. Banco de la República-Economía Regional. 2011.

6. Cuervo GV, Peña YT. Caraterização física e análise sociocultural do risco associado às inundações do Canal do Dique, Colômbia. *Territorium*. 2014; (21): 77-94.
7. Jabba AS. Análisis de la respuesta del Estado colombiano frente al Fenómeno de La Niña 2010-2011: El caso de Santa Lucía (No. 011952). Banco de la República, Economía Regional. 2014. 206.
8. Mebarak CM, Castro AD, Amarís M, Sánchez A, Mejía D. Estilos de vida saludable en adultos jóvenes damnificados por inundación. *Acta de investigación psicológica*. 2018; 8: 6-19.
9. Alcaldía Municipal de Campo de la Cruz. Nuestro municipio [En línea]: <http://www.campodelacruz-atlantico.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
10. Márquez MA, Treviño EJ, Jurado E. Reemplazo de áreas arboladas por chaparrales y comunidades herbáceas en el período 1970-2000 en una microcuenca de Durango, México. *Investigaciones geográficas*. 2005; 58: 54-65.
11. Lang RG, Shao BC, Pijanowski BC, Farnsworth FL. Optimizing unsupervised classifications of remotely sensed imagery with a data - assisted labeling approach. *Computers and Geosciences*. 2008; 34(12): 1877 – 1885. Doi: 10.1016/j.cageo.2007.10.011
12. IDEAM, IGAC, CORMAGDALENA. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas. 2008. [En línea]: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021521/LIBROCORINEFINAL.pdf>
13. Durán E, Mas JF, Velázquez A. Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. Los bosques comunitarios de México. Manejo sustentable de paisajes forestales. Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. México, DF México. 2007: 267-299.
14. Ruiz V, Savé R, Herrera A. Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflor Moropotentente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*. 2013; 22(3): 117-123. Doi: 10.7818/ECOS.2013.22-3.16
15. Leadbetter MR. On a basis for ‘Peaks over Thresholds’ modeling. *Statistics & Probability Letters*. 1991; 12 (4): 357–362. Doi: 10.1016/0167-7152 (91)90107-3.
16. Barrantes CG, Vargas BJ. La zonificación de amenaza por inundación como herramienta para el ordenamiento territorial en el Valle del Río Sixaola. *Revista Geográfica de América Central*. 2011; 1(46): 67-85.

17. Salazar LV, Ruíz TL. Determinación de Posibles Zonas en Amenaza por Inundación en el Municipio de Mompós - Bolívar, Mediante el Uso de Procesamiento Digital de Imágenes y Herramientas SIG y su Posterior Publicación como Datos Abiertos (Open Data). [Tesis de Especialización]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2017.
18. Neiff JJ. Bosques fluviales de la cuenca del Paraná. Ecología y manejo de los bosques de Argentina. 2004: 1-26.
19. Franco FL. Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas. Revista de Ingeniería. 2010; 31: 97-108. Doi: 10.16924%2Friua.v0i31.216.
20. Amar J, Madariaga C, Jabba D, Abello R, Palacio J, de Castro A, et al. Desplazamiento climático y resiliencia: modelo de atención a familias afectadas por el invierno en el Caribe Colombiano. Universidad del Norte. 2014; 64
21. Halounova L, Holubec V. Assessment of Flood with Regards to Land Cover Changes. Procedia Economics and Finance. 2014; 18: 940-947. Doi: 10.1016/S2212-5671(14)01021-1
22. Amar-Amar JJ, De la Hoz-Del Real CI, Martínez-González MB, López-Muñoz L. Adaptation Strategies and Care Practices Among Climate-Displaced Communities: Colombian Case. Psicología em Estudo. 2019; 24: e41489: 1-10. Doi: 10.4025/1807-0329e41489.
23. Morales-Hernández JC, Carrillo-González FM, Farfán-Molina LM y Cornejo-López VM. Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. Revista Colombiana de Biotecnología. 2016; 18(1): 7-16. Doi: 10.15446/rev.colomb.biote.v18n1.57709.
24. Paolini J, Felipe JJ, Sureda B, Rosales J. Influencia del fenómeno El Niño - La Niña / Oscilación Sur (ENOS) y de la temperatura del Atlántico Norte en los caudales del río Caura, Guayana Venezolana. Revista de Climatología, 2012; 12: 23-32.
25. Gómez C, Poveda G. Variabilidad de las anomalías y de la escala de fluctuación de caudales medios mensuales con el área de la cuenca. Avances en Recursos Hidráulicos. 2005; 12: 77-89.
26. Restrepo JC, Restrepo JD. Efectos naturales y antrópicos en la producción de sedimentos de la cuenca del río Magdalena. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 2005; 29(111): 239-254.
27. Poveda G, Mesa ÓJ. Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. Tecnología y Ciencias del Agua. 2015; 11(1): 21-37.
28. Bedoya M, Contreras C, Ruiz F. Alteraciones del régimen hidrológico y de la oferta hídrica por variabilidad y cambio climático. Estudio Nacional del agua 2010. Ideam. 2010: 282-320.

29. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre [UNGRD]. Plan Nacional del Riesgo de Desastre. Gobierno de Colombia. [En línea]: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD-2015-2025-Version-Preliminar.pdf>
30. Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca [POMCAS]. Guía técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2014. [En línea]: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Gu%C3%ADa_POMCAs/3._ANEXO_B._Gesti%C3%B3n_del_Riesgo.pdf

Anexo

Verificación en campo de algunas coberturas

En esta fase se realizó un recorrido de las coberturas ubicadas en cinco puntos de verificación con sus correspondientes coordenadas, tomadas con GPS en campo, con el fin de corroborar la información; con base en esto, el archivo GPS fue trabajado en el QGIS para la obtención de los datos de la tabla A1, con la cual se determinaron los cambios en la cobertura y uso del suelo más amenazados. Asimismo, la Figura A1 muestra la ruta recorrida en la investigación descrita en un mapa de las coberturas encontradas en el municipio de Campo de la Cruz, con relación a los datos de la fuente mencionada anteriormente.

Tabla A1. Cobertura del suelo en el municipio de Campo de la Cruz de acuerdo a coordenadas geográficas.

Cobertura	Longitud Oeste	Latitud Norte
Pastizal A	74° 58' 40.799"	10° 23' 16.8"
Pastizal B	74° 58' 19.199"	10° 22' 48"
Parche Bosque	74° 58' 4.8"	10° 22' 37.2"
Zona Urbana	74° 52' 51.6"	10° 22' 37.2"
Ciénaga	74° 53' 52.799"	10° 21' 21.6"

Fuente: Datos tomados en campo.

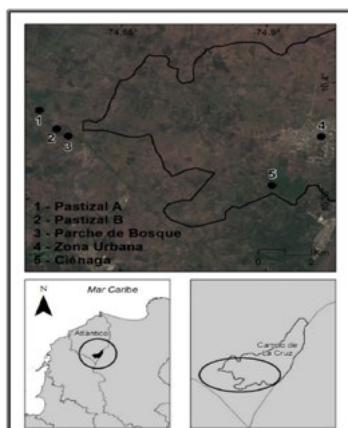


Figura A1. Mapa de ubicación de Coberturas para el Municipio de Campo de la Cruz.

Dirección de los autores

Luis Alejandro Esquea Valencia

Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico,
Barranquilla, Colombia
luis_8539@hotmail.com

Yamileth Dominguez Haydar

Maestría en Ciencias Ambientales, Facultad Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico,
Barranquilla, Colombia
yamilethdominguez@mail.uniatlantico.edu.co

Steffani María Sanjuán Murillo

Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Corporación Universitaria Reformada,
Barranquilla, Colombia
s.sanjuan@unireformada.edu.co

Duvan Roberto Pérez Peluffo

Grupo de Investigación en Biodiversidad del Caribe Colombiano – Riwisaka, Santa Marta,
Colombia
peluffoduvan@gmail.com

