

Medio ambiente y salud

Riesgos por inundaciones

La ola invernal que azotó el País en diciembre de 2010, se convirtió en el desastre natural más grave que ha ocurrido en Colombia en los últimos años.

Pueblos enteros, como Gambote, Arenal y Soplaviento permanecieron inundados días, semanas y meses, provocando un éxodo de campesinos sin tierra a las grandes ciudades.

Sin embargo, en la ciudad de Cartagena la catástrofe no fue mayor, la ciudad se mantuvo preservada, gracias, en parte, a las investigaciones y proyectos adelantados por la Universidad de Cartagena, que durante los últimos años ha venido asesorando al Distrito, ofreciendo oportunamente las recomendaciones para evitar los riesgos ambientales de gran envergadura.

En la presente edición de Unicarta 109, publicamos este texto del doctor Alfonso Arrieta Pastrana que, por su sencillez y claridad puede contribuir a solucionar los grandes retos del medio ambiente en la actualidad.

Nota del editor

El objetivo de este trabajo realizado en la Universidad de Cartagena denominado "**Medio Ambiente y Salud**", es el de mostrar al estudiante los riesgos por inundación a los cuales estamos sometidos y las posibles acciones que podemos realizar para mitigar o controlar el riesgo.



Cartagena y el Caribe en riesgo

1

CICLO HIDROLÓGICO

La sustancia más abundante en la tierra la constituye el agua, y se encuentra en constante cambio en la superficie de la tierra, es el principal constituyente de los seres vivos y es un factor importante en el clima de nuestro planeta. En la tierra el agua se encuentra en un espacio que se llama hidrósfera (Vent Te Chow, 1994) que se extiende desde unos quince kilómetros arriba de la atmósfera hasta un kilómetro por debajo de la litósfera o corteza terrestre. Cerca del 96.5% (Vent Te Chow, 1994) del agua del planeta se encuentra en los océanos, el 1.7% se encuentra en los hielos polares, el 1.7% en manantiales subterráneos y el 0.1% en los sistemas de agua superficial y atmosféricos.

Aproximadamente dos terceras partes del agua dulce de la tierra es hielo polar, el tercio restante en su gran mayoría es agua subterránea. El agua dulce que está en los ríos

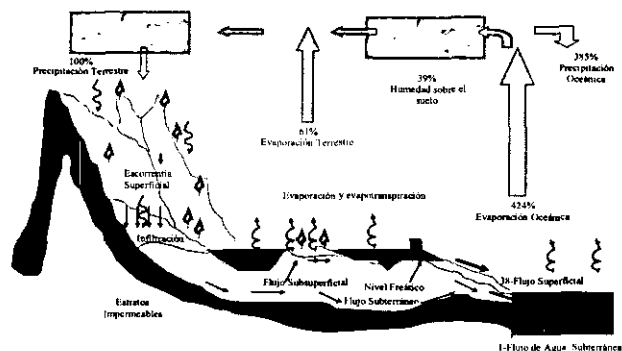
representa solo el 0.006%, y el agua biológica que está en los tejidos de las plantas y animales representa el 0.003%. El sistema de agua atmosférica, considerada la fuerza motriz de la hidrología del agua superficial, representa menos del uno por cien mil de toda el agua de la tierra. Aunque el contenido de agua en la superficie de la tierra y en la atmósfera es pequeño, la cantidad de agua que circula a través de ellos a nivel anual es apreciable.

Se denomina ciclo hidrológico al movimiento continuo del agua en la hidrósfera, y no tiene principio ni fin.

En la figura No. 1 se presenta un esquema representativo del ciclo hidrológico, donde se aprecia que el agua se evapora desde los océanos y la superficie terrestre y se integra como parte de la atmósfera. El vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y se precipita hacia la superficie terrestre o los océanos. El agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, correr por la superficie del suelo e infiltrarse o evaporarse.

En la misma, se muestra la importancia relativa de los subsistemas del ciclo hidrológico en comparación con la precipitación (tomada como el 100%), donde se aprecia que el 61% de la precipitación se evapora, el 38% se convierte en flujo superficial, y el 1% en flujo de agua subterránea. De otra parte la evaporación oceánica es del orden de 424%, de los cuales 385% regresan al mar como precipitación oceánica y 100% como precipitación terrestre.

Se concluye a nivel global que se da el movimiento del agua del océano hacia el continente como vapor de agua, la cual se precipita y regresa al océano como escorrentía superficial y agua subterránea.



2. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Se denomina escorrentía superficial a la cantidad de agua que escurre sobre la superficie terrestre producto de una

precipitación y cuya cantidad y distribución espacio-temporal depende de la superficie terrestre sobre la cual escurre.

2.1 Origen del agua superficial

El principal origen del agua superficial es la precipitación pluvial y ésta se da como resultados de los cambios en la temperatura y humedad del aire sobre la superficie terrestre.

2.2 Humedad

La cantidad de agua presente en el aire como vapor de agua se denomina humedad.

La humedad atmosférica es un elemento esencial del ciclo hidrológico, es la fuente de las precipitaciones e influye considerablemente en la evaporación y transpiración biológica.

2.2.1 Humedad absoluta

Es la relación existente entre el peso del agua contenido en el aire y el volumen del aire húmedo, la unidad de medida comúnmente usada es el g/m^3 .

La humedad absoluta tiende a disminuir con la altura; a 3000 m. de altura es aproximadamente una cuarta parte de la existente a nivel del mar y a 5000 m. una décima parte.

2.2.2 Límite de saturación

El aire solo tiene un límite de absorción de humedad, este límite se denomina saturación, por encima del punto de saturación la cantidad de agua en exceso se precipita ya sea en forma de neblina o como pequeñas gotas de lluvia.

La cantidad de agua absorbida para alcanzar el estado de saturación depende de la temperatura del aire y asciende progresivamente con ella. A cero grados centígrados es de $4.9 g/m^3$, a 20 grados centígrados es de $17.3 g/m^3$. (Lufft, anuario 1997 pág 39, ver tabla 1). Cuando el aire atmosférico tiene una alta temperatura muestra un mayor contenido de humedad; si se presenta un descenso de la temperatura del aire por cualquier fenómeno u obstáculo, al aire le sobra una cantidad de agua que es liberada como precipitación.

En la tabla No. 1, se muestra la humedad de saturación del aire como función de la temperatura.

Tabla No. 1. Humedad absoluta del aire saturado en g/m³ (Lufft anuario 1997 pág40).

Temp. °C	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
-30...-35	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3				
-20...-29	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
-10...-19	2.4	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2
0...+9	4.9	4.5	4.2	3.9	3.7	3.4	3.2	3.0	2.7	2.5
10...19	9.4	8.9	8.6	8.0	7.6	7.3	7.0	6.8	6.4	6.1
20...29	17.3	16.6	16.0	15.2	14.4	13.7	13.0	12.4	11.7	11.1
30...39	30.4	29.5	28.6	27.6	26.6	25.6	24.7	23.8	22.9	22.0
40...49	51.1	49.9	48.6	47.3	45.9	44.6	43.3	42.0	40.7	39.4
50...59	83.0	81.5	80.0	78.4	76.8	75.2	73.6	72.0	70.4	68.8
60...69	130.0	128.0	126.0	124.0	122.0	120.0	118.0	116.0	114.0	112.0
70...79	197.0	194.9	192.8	190.7	188.6	186.5	184.4	182.3	180.2	178.1
80...89	290.8	288.5	286.2	283.9	281.6	279.3	277.0	274.7	272.4	270.1
90...99	420.1	417.6	415.1	412.6	410.1	407.6	405.1	402.6	400.1	397.6

2.3 Precipitación

Se denomina al proceso mediante el cual el agua contenida en la atmósfera llega a la superficie de la tierra en estado líquido o sólido. Este proceso se presenta como consecuencia de cambios de presión, temperatura y movimientos de masas, ayudados por minúsculos núcleos de condensación y material sólido en suspensión.

La precipitación incluye la nieve, la lluvia y otros procesos como el granizo.

El diámetro de las gotas de agua precipitadas varía entre 0.5mm. y 2.5mm. Si el diámetro es inferior a 0.5mm. la precipitación se llama llovizna (Custodio y Llamas pág 287). Cuando la precipitación se da a temperaturas menores que cero se denomina **escarcha** y cuando se da por encima de cero grado se denomina **rocío**. Cuando la precipitación es sólida y amorfa se denomina **granizo**, y cuando está cristalizada se denomina **nieve**.

La formación de la precipitación requiere la elevación de una masa de agua en la atmósfera de tal manera que se enfríe y parte de su humedad se condense.

2.4 Cuenca u hoya hidrográfica

Es un área definida topográficamente, cuyas aguas drenan a un cauce principal, de tal forma que toda el agua drenada por esa área es descargada a través de una salida simple.

En la figura No. 2 se muestra una cuenca hidrográfica tomada de un plano topográfico del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, que cruza transversalmente a la carretera entre Santa Marta y Riohacha, en el sector denominado la quebrada Achioté.

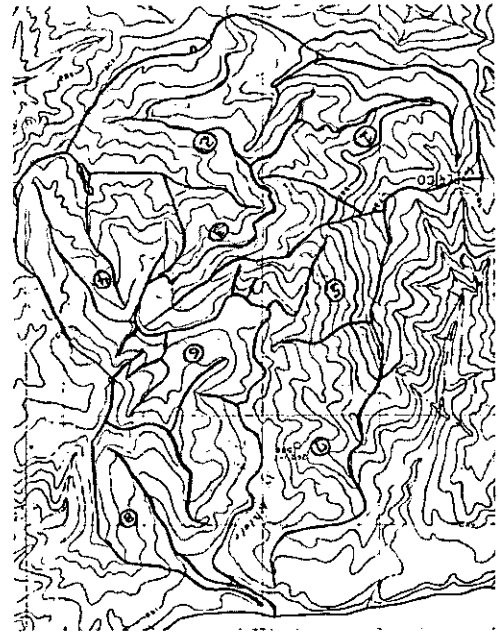


Figura No. 2. Cuenca de la quebrada Achioté en la carretera que va de Santa Marta a Riohacha.

Las líneas rojas representan las partes altas de la cuenca en donde drena el agua, y las líneas azules representan los drenajes o sea los sitios por donde escurre.

2.4.1 Pendiente de la cuenca

Se define como pendiente a la tangente del ángulo de inclinación de una superficie y la pendiente de la cuenca, mide el grado de inclinación de la superficie terrestre de una cuenca u hoya y responde en gran medida por la velocidad con la que se mueve el agua sobre la superficie y define el tiempo que el agua tarda en ir de un punto a otro.

2.4.2 Coeficientes de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se interpreta como la porción de la precipitación pluvial que se convierte en escorrentía superficial. Esta relación o porción depende de varios factores entre los cuales tenemos: Características geo-físico-mecánicas y químicas de los suelos, cubierta vegetal, usos del suelo, características morfométricas de la cuenca entre otros.

El valor del coeficiente de escorrentía depende las características geo-físicas y de usos del suelo a que esté sometida la cuenca.

A continuación se presenta en la tabla No. 2, una recopilación de los rangos de valores recomendados dependiendo de, el uso del suelo.

Tabla No. 2. Coeficientes de escorrentía en zona urbana.

VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA

TIPO DE SUPERFICIE	Valor de C
Superficie impermeable de techos	0.75 a 0.95
Pavimentos asfálticos	0.80 a 0.95
Pavimentos de hormigón	0.70 a 0.90
Pavimentos de piedra o ladrillo	0.35 a 0.70
Suelos impermeables*	0.40 a 0.65
Suelos impermeables con césped*	0.30 a 0.55
Suelos ligeramente permeables*	0.15 a 0.40
Suelos ligeramente permeables con césped*	0.10 a 0.30
Suelos moderadamente permeables*	0.05 a 0.20
Suelos moderadamente permeables con césped*	0.0 a 0.1

*Para pendientes de 1 a 2 %
Foss, R. Noise en Carciente 1985 pág. 348

2.4.3 Tiempo de concentración

Algunos autores lo definen como el tiempo requerido para que el agua que cae en el punto más alejado de la cuenca llegue al punto de salida. Se puede definir como el tiempo necesario para que la cuenca adquiriera un estado de flujo en equilibrio sin almacenamiento donde la cantidad de agua que entra a la cuenca por precipitación es igual a la cantidad que sale por escorrentía superficial.

3. RELACIÓN LLUVIA ESCORRENTÍA

Existe una relación entre la cantidad de precipitación que cae sobre una cuenca y la cantidad de agua que escurre a la salida de la cuenca, estas relaciones se denominan relaciones lluvia escorrentía.

La representación gráfica de la precipitación en función del tiempo, como un diagrama de barras para un intervalo de tiempo Δt , se denomina hietograma, y la representación gráfica del caudal (volumen de agua que escurre por unidad de tiempo a través de una sección transversal a la corriente) en función del tiempo se denomina hidrograma.

En la figura No. 3, se muestra una representación esquemática de una cuenca en la cual cae una precipitación representada por un hietograma y la cuenca como respuesta al impulso de la precipitación produce un hidrograma a la salida.

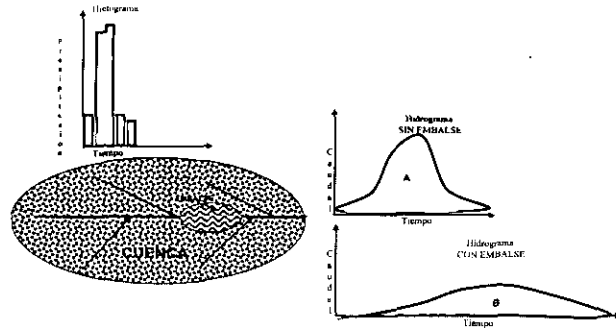


Figura No. 3. Representación esquemática de la relación lluvia escorrentía en una cuenca.

Toda intervención antrópica sobre la cuenca modifica las relaciones lluvia escorrentía.

Una cuenca dada con gran abundancia de vegetación y altos volúmenes de almacenamiento producirá un hidrograma (hidrograma B) con mayor tiempo de duración; mayores tiempos al caudal pico, y menor magnitud del caudal máximo (caudal pico), mientras que una cuenca con poca vegetación sin almacenamiento producirá un hidrograma (hidrograma A), con menor tiempo de duración, menor tiempo al caudal pico y mayor caudal máximo.

4. COMO AFECTAMOS LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Existen diferentes maneras o formas de modificar la escorrentía superficial entre las cuales se enumeran las siguientes:

1. Mediante la construcción de desarrollos urbanos e industriales

La construcción de urbanizaciones e industrias, modifica el relieve disminuyendo la pendiente, aumentando las áreas impermeables, y exponiendo el suelo a la acción directa del agua por lo menos durante la etapa de construcción, lo cual produce un aumento en el transporte de sedimento.

Generalmente el desarrollo urbano produce mayores caudales máximos de escorrentía superficial y menores tiempos de concentración de la cuenca.

2. Mediante la alteración de la cobertura vegetal

Cada tipo de vegetación produce una retención temporal del agua sobre la cuenca de forma diferente, si la vegetación es rastrera (herbácea o similar) produce un efecto diferente a si son arbustos o árboles, y cada una produce un grado de impermeabilización diferente del suelo.

3. Mediante la construcción de almacenamientos temporales

Con la construcción de embalse de retención o regulación se alteran los caudales de una cuenca produciendo una disminución de ellos: aumentando el tiempo del agua retenida en la cuenca. Los embalses generalmente aumentan el agua infiltrada en la cuenca, alteran el paisaje y aumentan la evaporación y la transpiración local en el área del vaso del embalse.

4. Mediante la construcción de canalizaciones

Con la intervención de los cursos de agua o canales se puede aumentar o disminuir el tiempo de concentración del agua en una cuenca. Si se construye un canal con un alineamiento recto y una superficie lisa, se disminuye el tiempo de concentración de la cuenca y por lo tanto se aumentan los caudales máximos. Si por el contrario se realiza una intervención con un canal sinuoso y una superficie rugosa, el tiempo de concentración de la cuenca aumenta y por lo tanto los caudales máximos disminuyen.

5. Otras intervenciones

Existen otros tipos de intervenciones sobre la cuenca que afectan a la escorrentía superficial como los trasvases a otras cuencas, generalmente cuando se construyen centrales hidroeléctricas en las que el túnel de carga desvía el agua hacia otras cuencas. O cuando se producen desarrollos industriales que aumentan la temperatura produciendo alteraciones en la evapotranspiración o efectos tipo invernadero. Explotaciones de aguas subterráneas que aumenten la recarga del suelo produciendo alteraciones a la capacidad de infiltración y por lo tanto se afecta el balance global.

En general cualquier intervención que hagamos en una cuenca afecta en mayor grado positiva o negativamente las relaciones lluvia escorrentía de una cuenca.

5. AFECTACIONES A LA SALUD Y A LA VIDA

En este numeral no se pretende dar un diagnóstico médico porque está fuera de la competencia del autor, pero si llamar la atención de algunos factores que vulneran la salud humana y acaban con la vida de los seres vivos.

En algunos casos una inundación es un evento catastrófico producido por una onda de agua que viaja con una velocidad y energía de destrucción que difícilmente un ser humano desprevenido puede luchar contra ella. Durante el paso de la onda se destruyen edificaciones, vías, acueductos, alcantarillados, redes eléctricas, redes telefónicas y demás servicios públicos.

Luego de presentarse un evento de inundación la humedad dentro de las vivienda aumenta, queda una cantidad de sedimentos que contienen gran cantidad de nutrientes y materia orgánica que se descomponen con el tiempo. Toda esta descomposición es un riesgo para la salud. Las paredes de las edificaciones son materiales absorbentes y por capilaridad el agua asciende hasta unos 50 centímetros y luego cuando la temperatura aumenta el agua se evapora y se libera de las paredes aumentando la humedad del ambiente en las viviendas, con el consecuente riesgo de crecimiento de hongos, bacterias y microorganismos en general.

CASO ESTUDIO CARTAGENA DE INDIAS

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cartagena en los últimos veinte años ha experimentado un crecimiento urbano acelerado, y parte de este crecimiento se ha establecido en zonas inundables como los sectores aledaños a la Ciénaga de la Virgen y en las zonas de amortiguación de crecidas como el área denominada de los Pozones.

El casco urbano de la ciudad de Cartagena se encuentra en un amplio sector sobre áreas planas que drenan sectores que en su nacimiento son colinas con pendientes superiores al 20%. Estas zonas descargan finalmente a la bahía de Cartagena, a la Ciénaga de la Virgen y al sistema de caños y lagos, a través de una serie de canales con pendientes menores al 0.3%.

Las precipitaciones en la zona, son precipitaciones cuya máxima intensidad concentra el tercio inicial de duración de la lluvia. Esta distribución asimétrica de las lluvias, ayudado por una zona inicial topográficamente con alta

pendiente y un tramo final con baja pendiente, hace que el agua se junte rápidamente y se produzca una rápida concentración del agua que viajará finalmente por una zona muy plana, con las consecuencias de inundación anualmente reportadas.

Como respuesta a las inundaciones periódicas que se han presentado en la ciudad, la Alcaldía de Cartagena en el año 2006, mediante concurso público, contrató con el consorcio Consultores Cartageneros “el Plan Maestro de Drenajes Pluviales del Distrito de Cartagena de Indias” mediante contrato No. VAL-001-06. Actualmente el proyecto se encuentra en ejecución y contempla como objetivos:

Buscar alternativas a la problemática de los drenajes pluviales en la ciudad y disponer de un instrumento de gestión para el manejo y desarrollo futuro de los mismos.

Este proyecto se elabora en dos etapas o fases denominadas:

Fase de diagnóstico: establecer la magnitud e implicaciones del problema y ofrecer pautas para lograr la solución técnica más adecuada y establecer un plan de acción inmediato para rehabilitar lo existente.

Fase de factibilidad: viabilidad económica, financiera, institucional y ambiental de las alternativas planteadas para implementar un adecuado sistema de drenaje pluvial proyectado por el POT en su horizonte de diseño.

2. LÍMITES DEL ÁREA DEL PROYECTO

Como límite geográfico del proyecto se establece:

Perímetro urbano del distrito incluyendo la zona industrial de Mamonal, en una extensión aproximada de 7.700 hectáreas (77 km²).

3. ESTADO ACTUAL DEL DRENAJE PLUVIAL

A continuación se presenta una serie de fotografías panorámicas de los distintos sectores de la ciudad de Cartagena, durante el periodo lluvioso (octubre-noviembre) del año 2007.

Estas fotografías pertenecen al inventario de estructuras hidráulicas del sistema de información geográfico (SIG) del Plan Maestro de Drenajes Pluviales de la ciudad de Cartagena.

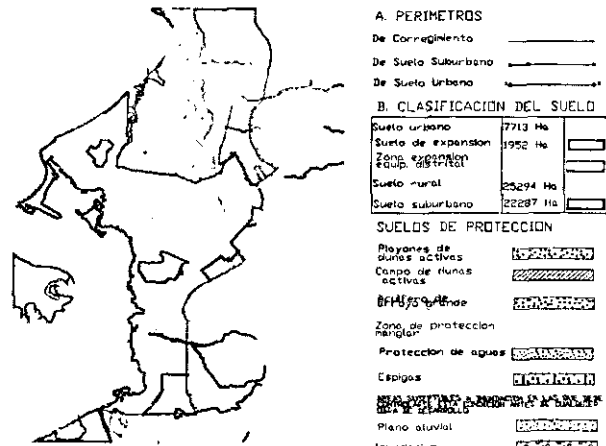


Figura No. 4. Límite geográfico propuesto por el Plan de Ordenamiento Territorial POT.

En la figura No. 5, se muestra un ejemplo de la información consignada en el sistema de información geográfica desarrollada por el consorcio Consultores Cartageneros para el manejo de los drenajes pluviales de la ciudad de Cartagena en la cual se consigna el inventario geográfico, ilustrativo y cualitativo de diversos puntos estratégicos de la ciudad de Cartagena desde del punto de vista de los drenajes pluviales.

Cada punto referido presenta información fotográfica y del estado físico, ambiental y estructural del sistema referenciado.

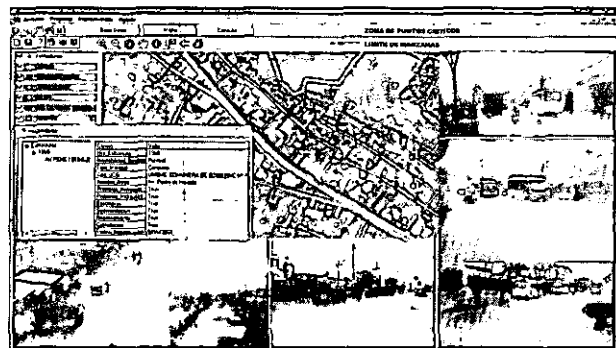
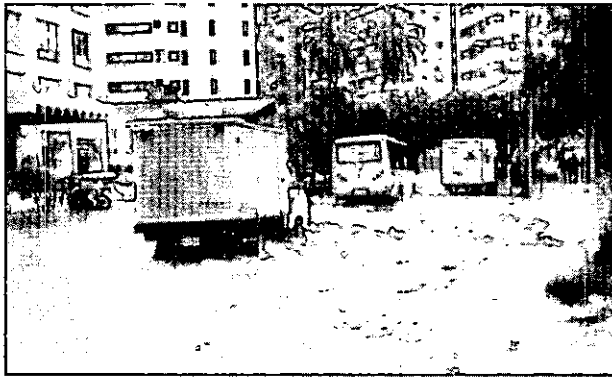
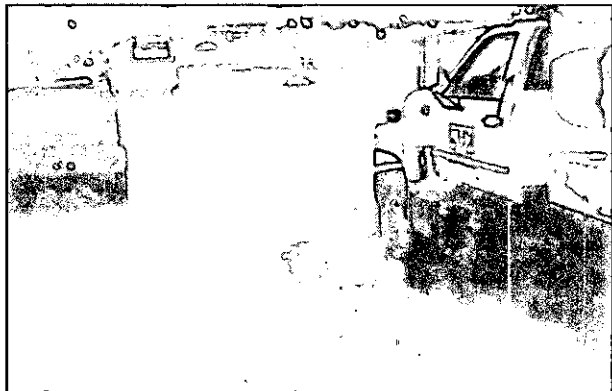


Figura No. 5. Muestra del sistema de información geográfico desarrollado por el consorcio Consultores Cartageneros para el manejo de los drenajes pluviales de la ciudad de Cartagena.

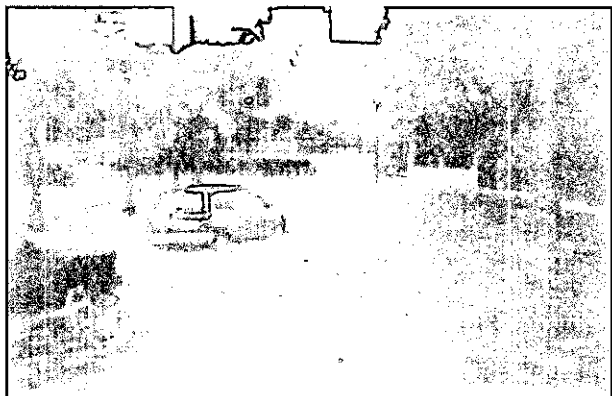
En la serie de fotografías que se muestran a continuación se evidencia la magnitud del problema de inundación en la ciudad de Cartagena y la generalización del mismo.



Fotografía No. 1. Sector del barrio Castillogrande.



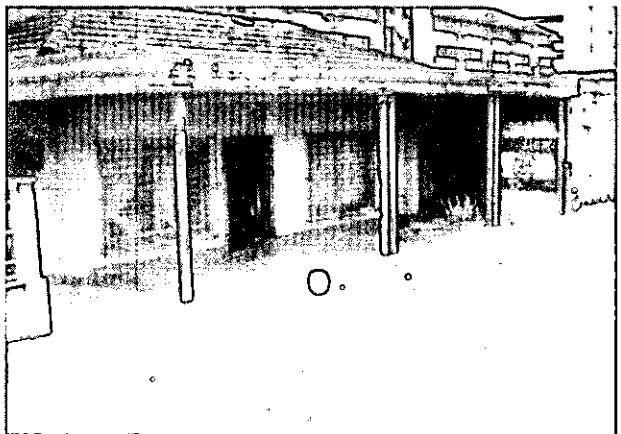
Fotografía No. 2. Avenida Santander, entre el barrio el Cabrero y el barrio de Crespo.



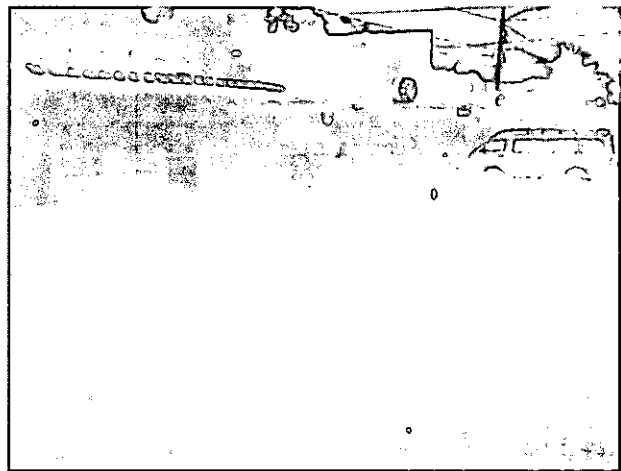
Fotografía No. 3. Sector del barrio el Laguito.



Fotografía No. 4. Sector del barrio el Cabrero.



Fotografía No. 5. Barrio Marbella. Vía marginal de la laguna del Cabrero.



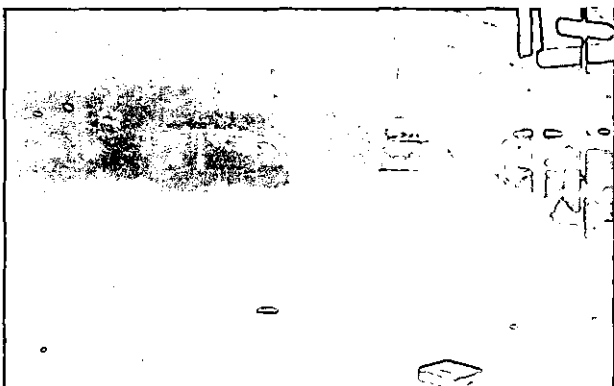
Fotografía No. 6. Barrio de Crespo.



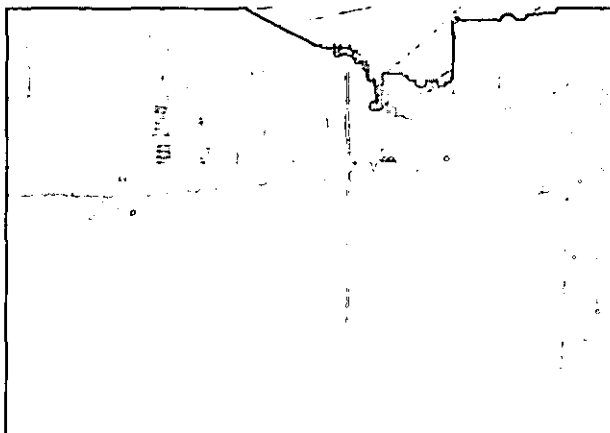
Fotografía No. 7. Centro de la ciudad, ruta de sistema de transporte masivo de Transcaribe.



Fotografía No. 10. Sector del barrio Pie de la Popa, parque Vicente Martínez Martelo.



Fotografía No. 8. Centro, alrededores del edificio Banco del Estado.



Fotografía No. 11. Barrio Pie de la Popa, calle 30, Colegio Cooperativo.



Fotografía No. 9. Sector del barrio de Manga.



Fotografía No. 12. Barrio Villa Rosita.



Fotografía No. 13. Barrio el Pozón durante el aguacero del primero de noviembre del 2007.



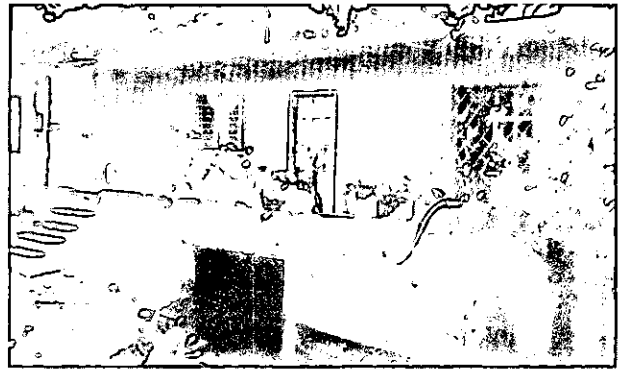
Fotografía No. 14. Barrio el Pozón durante el aguacero del primero de noviembre del 2007.



Fotografía No. 15. Barrio el Pozón en el año de 1991.

Al analizar el archivo fotográfico mostrado anteriormente se puede contrastar entre la fotografía No.15, del barrio el Pozón inundado en el año 1991, y las fotografías Nos.13 y 14 del año 2007, en el mismo sector, dieciséis (16) años después; seguimos registrando los mismos eventos catastróficos. Otro hecho a resaltar en la fotografía No. 7, es que aunque, es una estructura reciente, presenta problemas de encharcamiento.

En la fotografía No. 16, se observa una vivienda construida encima del cauce de un drenaje pluvial, este es un hecho que se repite en algunos sectores de la ciudad, donde algunas familias ponen en riesgo la salud y la vida del núcleo familiar al decidir edificar su vivienda encima del cauce de una drenaje pluvial, desconociendo el uso público y el beneficio social que cumple un drenaje pluvial.



Fotografía No. 16. Evidencia de una vivienda edificada encima de un drenaje pluvial.



Fotografía No. 17. Canal Pinzón, en la intersección con avenida del Lago.

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS DRENAJES EN LA CIUDAD DE CARTAGENA

Para el análisis de los drenajes en la ciudad de Cartagena se ha dividido en vertiente, entre las cuales las de mayor importancia en cuanto a magnitud de las áreas drenadas son la vertiente de la Ciénaga de la Virgen y la vertiente de la Bahía de Cartagena. En menor magnitud de áreas de drenajes se encuentra la vertiente de los caños y lagos, y la vertiente del mar Caribe.



Figura No. 6. Vertientes principales de los drenajes de la ciudad de Cartagena.

En la figura No. 7, se muestra cada una de las vertientes dividida (por colores) en cada una de las cuencas que conforman cada vertiente.

En orden de magnitud la vertiente de la Ciénaga de la Virgen está formada principalmente por cinco arroyos o cauces que en orden de magnitud son: Hormiga (verde), Tabacal (morado), Tomatal (verde oscuro), Chiricoco (mamón), Matute (verde viche). Aproximadamente el 95% del área de drenaje de la cuenca de la Ciénaga de la Virgen es rural y el 5% es urbana, por lo cual las soluciones a las inundaciones que se presentan en los alrededores de la Ciénaga de la Virgen tienen su origen en la zona rural y es allá donde se debe intervenir para resolver el problema.

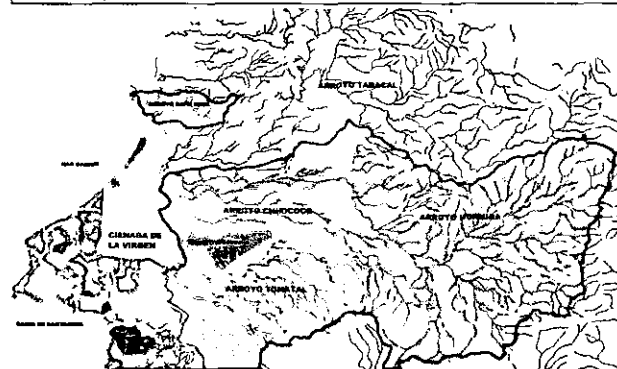
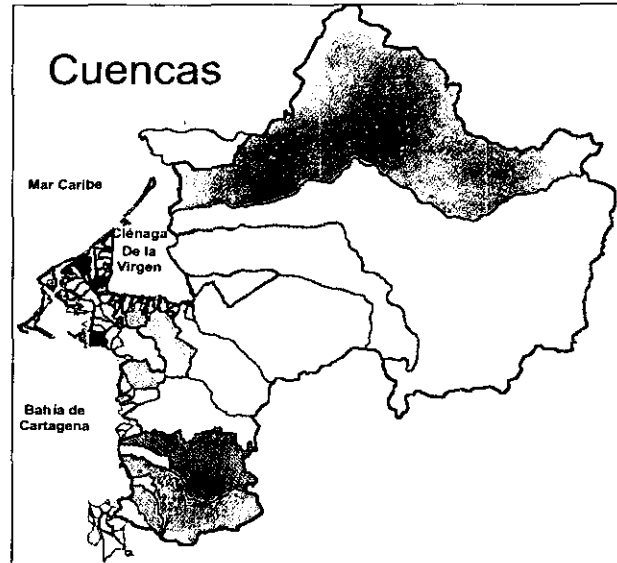


Figura No.7. Principales cuencas en las cuales se divide cada vertiente.

En la figura No. 8, se muestra con cada color las diferentes áreas de drenajes (cuencas-subcuencas-microcuencas) urbanas en las cuales se divide el casco urbano para el análisis de los drenajes pluviales.

Para la estimación de la escorrentía superficial se requiere el conocimiento del uso del suelo, por eso se presenta en el figura No. 9, un plano de usos del suelo para la zona rural, tomado de la clasificación de usos del suelo elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGA C). Para cada tipo de suelo se estima un coeficiente de escorrentía y un tiempo de concentración con el fin de determinar finalmente la interrelación de todos los suelos y su uso, reflejados en la cantidad en tiempo y espacio de la escorrentía superficial.



Figura No. 8. Cuencas urbanas de la vertiente de la Ciénaga de la Virgen.

De acuerdo con lo que se ha presentado anteriormente el problema de los drenajes pluviales en la ciudad de Cartagena es un problema generalizado, sin embargo el orden de magnitud y el esfuerzo que se requiere socialmente para resolverlo es diferente en cada sector. De acuerdo con la magnitud del problema, a las áreas de drenaje y a los caudales generados, la zona donde se deben a futuro concentrar el esfuerzo social es hacia la zona rural de la cuenca de la Ciénaga de la Virgen, por eso en la tabla No. 3, se presentan el área de drenaje y los caudales estimados para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100. (El periodo de retorno se interpreta como el tiempo promedio expresado en años en que un evento de determinada magnitud es igualado o excedido por lo menos una vez), para cada uno de los arroyos principales que forman la cuenca rural de la Ciénaga de la Virgen.

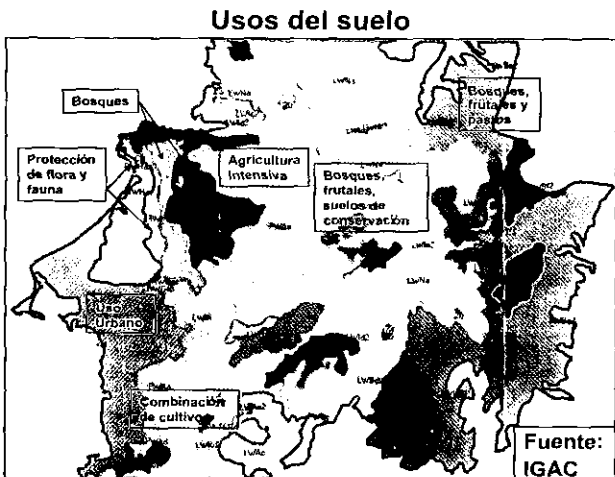


Figura No. 9. Usos del suelo de acuerdo con la clasificación del IGAC

Tabla No. 3. Estimativos de caudal para los principales arroyos de la cuenca rural de la Ciénaga de la Virgen.

Cuenca	Área ha	Q2 m ³ /s	Q5 m ³ /s	Q10 m ³ /s	Q20 m ³ /s	Q25 m ³ /s	Q50 m ³ /s	Q100 m ³ /s
Hormiga	17281.67	305.9	362.8	412.7	469.5	489.4	556.7	633.3
Tabacal	14111.99	273.7	324.6	369.2	420.0	437.8	498.1	566.6
Chiricoco	4494.62	72.7	85.7	97.1	110.0	114.5	129.8	147.0
Matute	1875.3	54.0	64.0	72.9	82.9	86.4	98.3	111.8
Tomatal	4651.9	75.9	89.5	101.4	114.9	119.6	135.5	153.5
Caño Mesa	1071.39	15.7	18.6	21.1	24.0	25.1	28.5	32.4

De acuerdo con los resultados de la tabla No. 4, la mayor área de drenaje la aporta el arroyo Hormiga con un 39,7%, le sigue en orden de magnitud el arroyo Tabacal con un 32,5% y después los arroyos Tomatal y Chiricoco, con el 10,7% y 10,3%, respectivamente, sin embargo su contribución con los caudales extremos no es lineal y encontramos que el arroyo Hormiga produce un caudal pico equivalente a un 46% del caudal pico de la cuenca de la Ciénaga de la Virgen y el caudal pico de el arroyo Tabacal representa el 42% del caudal pico de la Ciénaga de la Virgen. Lo anterior pone de manifiesto la importancia de intervenir los arroyos Tabacal y Hormiga para regular los caudales en la Ciénaga de la Virgen.

Tabla No.4. Participación porcentual de cada sub-cuenca en el área total de la cuenca.

Cuenca	Area%
Hormiga	39,7
Tabacal	32,5
Chiricoco	10,3
Matute	4,3
Tomatal	10,7
Caño Mesa	2,5

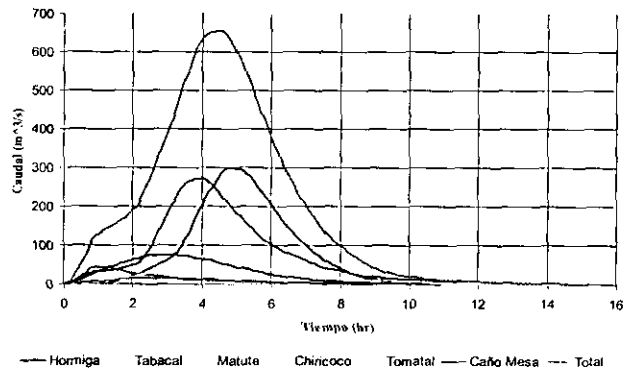


Figura No. 10. Hidrograma de la Ciénaga de la Virgen con sus hidrogramas contribuyentes.

En la figura No. 10 se presenta el hidrograma resultante para la Ciénaga de la Virgen para un periodo de retorno de dos años y el hidrograma de cada unos de los arroyos rurales que forman parte de la cuenca. Se aprecia como los hidrogramas de los arroyos Hormiga y Tabacal son los de mayor importancia, y los que mayor contribución aportan al caudal máximo.

5. ASPECTOS SOCIO-ECONÓMICOS

El consorcio Consultores cartageneros, desarrolló dentro del Plan Maestro de Drenajes Pluviales de la ciudad de Cartagena un estudio socio-económico con el fin de estimar el costo anual por inundación en la ciudad de Cartagena. El resumen de estos resultados se presenta en el Tabla No. 5, donde se aprecia que las mayores afectaciones están concentradas en la viviendas (53%), seguidos por el sector transporte (22%) y las unidades económicas (19%). De acuerdo con los resultados, el costo económico a nivel anual por inundación en la ciudad de Cartagena se estimó alrededor de cuarenta mil millones de pesos (40'000.000.000).

Tabla No. 5. Costos anuales estimados por inundación en Cartagena.

Descripción	Valor	Porcentaje
Costo total en la zona urbana del distrito	\$ 40.233.645.589	100%
Viviendas	\$ 21.329.683.333	53%
Transporte	\$ 8.833.146.000	22%
Unidades económicas	\$ 7.542.636.452	19%
Instituciones	\$ 1.200.873.498	3%
Servicios públicos	\$ 388.253.185	1%
Gastos del Distrito de Cartagena	\$ 989.053.121	2%

6. ESTADO FÍSICO-AMBIENTAL DEL SISTEMA DE DRENAJES

En la tabla No. 6, se muestran los resultados obtenidos para la vertiente de la Ciénaga de la Virgen, en la cual se aprecia que el 98% de los puntos inspeccionados durante el inventario de estructuras de drenaje de la ciudad de Cartagena se encuentran con basuras; el 58% con escombros, el 94% con sedimentos, el 46% con presencia de aguas residuales, entre otros resultados. Similares resultados similares se presentan en las demás vertientes.



Tabla No. 6. Resultados del inventario de los canales de la vertiente de la Ciénaga de la Virgen.

VERTIENTE CIÉNAGA DE LA VIRGEN

Cuenca	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	A21	A22	A23	A24	A25	A26	Cuenca Matute		Cuenca Limón		Total	
	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	%	
Número de Estructuras	1	41	11	16	300	38	13	8	42	57	10	10	35	34	20	27	56	33	16	10	12	12	2	3	3	22	188	89	1109			
Problemas Presentes	Basuras	1	40	11	13	277	38	13	7	41	54	10	10	33	33	19	26	54	31	16	5	6	12	0	3	3	19	182	84	1041	94	
	Escombros	1	17	5	7	170	26	6	3	3	35	8	5	29	24	12	25	27	29	12	4	1	2	1	1	1	8	107	70	639	58	
	Sedimentos	1	41	11	15	285	38	13	7	41	55	10	10	33	33	19	26	52	30	16	6	4	12	1	3	0	19	182	84	1047	94	
	Aguas Residuales	1	27	8	7	75	33	5	5	13	17	7	9	28	17	13	26	33	28	6	1	0	1	1	0	0	12	98	44	515	46	
	Invasión de Zonas de Retiro	0	3	0	0	22	33	1	0	0	3	2	0	2	1	2	4	4	7	1	0	0	0	0	0	0	1	24	20	130	12	
	Represamiento	0	32	5	5	83	35	6	6	4	17	7	9	23	17	13	20	31	24	7	2	0	1	0	0	0	12	107	61	527	48	
	Incapacidad Hidráulica	0	5	1	0	23	28	3	1	0	6	5	7	16	7	10	12	5	14	5	1	0	0	1	0	0	0	14	10	174	16	
	Socavación	0	1	0	0	17	0	2	1	0	0	1	0	0	2	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	11	10	49	4	
	Colmatación	0	2	0	2	27	1	0	2	5	5	0	0	2	8	2	2	11	1	3	0	2	0	1	0	0	1	17	11	105	9	
	Falla Estructural	0	7	2	3	23	26	4	0	4	4	5	2	10	4	1	4	18	9	4	1	0	0	0	1	0	0	22	0	152	14	
Inestabilidad Geol.	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	

7. CONCLUSIONES

- Existe una relación directa entre las acciones que realizamos sobre una cuenca y la escorrentía Superficial.
- Los drenajes pluviales de una zona, región o cuenca, son el reflejo del comportamiento que el ser humano realiza sobre la cuenca. Si arrojamos basuras, contaminantes, sedimentos, etc., estos correrán por los drenajes pluviales y mostrarán cual ha sido nuestro comportamiento.
- Con un comportamiento adecuado y un respecto por las áreas libres que se requieren para el transporte

libre de la escorrentía superficial, se pueden disminuir los riesgos por inundaciones.

- Los riesgos por inundación se pueden disminuir con un comportamiento colectivo de protección de cuencas, preservación y disminución de los coeficientes de escorrentía, y regulación de la escorrentía superficial, aumentando la retención del agua dentro de la cuenca.

** Alfonso Arrieta Pastrana*

Doctor en Ciencias del Mar de la Universidad de Cantabria en España, y director del Instituto de Hidráulica y Saneamiento Ambiental de la Universidad de Cartagena.