

Cartografía de la peligrosidad por erosión hídrica en la ciudad de Brazzaville

Cartography of water erosion hazard in Brazzaville city

Kempena Adolphe¹, Rafael Guardado Lacaba², Yexenia Viltres Milán², Teresa Hernández Columbié³

¹Departamento de Geología, Facultad de Ciencias y Técnicas, Universidad Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo akempena@gmail.com

²Facultad de Minas y Geología, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba rguardado@ismm.edu.cu

³Empresa Comandante Pedro Soto Alba, Moa, Holguín, Cuba thez@moanickel.com.cu

Resumen

La erosión hídrica es el fenómeno geodinámico que más afecta la ciudad de Brazzaville (Congo). Se realizó un estudio de cartografía ingeniero-geológica de la ciudad con el objetivo de generar un mapa de peligrosidad por erosión hídrica que facilite el ordenamiento territorial. La metodología se centró en el procesamiento e interpretación de imágenes tipo Landsat y Radar SRTM. A partir del levantamiento ingeniero-geológico de la ciudad se confeccionó el mapa de inventario de tipos de erosión hídrica para el diagnóstico del área. Mediante un SIG se generaron los mapas temáticos y el mapa de peligrosidad total. Se concluye que los distritos situados al norte, nordeste y noroeste de la ciudad presentan la mayor peligrosidad por erosión hídrica, asociada fundamentalmente a una escasa cobertura vegetal, un suelo arenoso pobre en arcilla y muy erosionable y un relieve predominantemente montañoso.

Palabras clave: SIG; cartografía; peligrosidad; erosión hídrica; Brazzaville.

Abstract

Water erosion is the geodynamic phenomenon that most affects the city of Brazzaville (Congo). A geological engineering mapping of the city was carried out with the objective of generating a map of water erosion hazard that facilitates the territorial ordering. The methodology focused on the processing and interpretation of Landsat and Radar SRTM images. From the geological engineering survey of the city it was made the types of water

erosion Map for the diagnosis of the area. Thematic maps and the total hazard map were generated through a GIS. It is concluded that the districts located to the north, northeast and northwest of the city present the highest hazard level to water erosion, associated mainly with a low vegetation cover, sandy soil poor in clay and very erodible and the mountainous relief.

Keywords: GIS; mapping; hazard; water erosion; Brazzaville.

1. INTRODUCCIÓN

Se entiende por erosión hídrica el proceso de sustracción de masa sólida al suelo o de la roca de la superficie por el flujo de agua del escurrimiento superficial. En la ciudad de Brazzaville, la erosión hídrica es el fenómeno geodinámico que causa mayores daños a las comunidades ubicadas en zonas de pendientes abruptas y desprovistas de cobertura vegetal.

La ciudad de Brazzaville se encuentra en la margen derecha del río Congo, su extensión es de unos 30 km y posee siete distritos, como se muestra en la Figura 1. En 2008, el informe del Centro Nacional de Estudios Estadísticos y Económicos dio a conocer (CNSEE por sus siglas en francés 2008); que más de un millón de personas viven en Brazzaville, representando el treinta por ciento de la población total de la República del Congo.

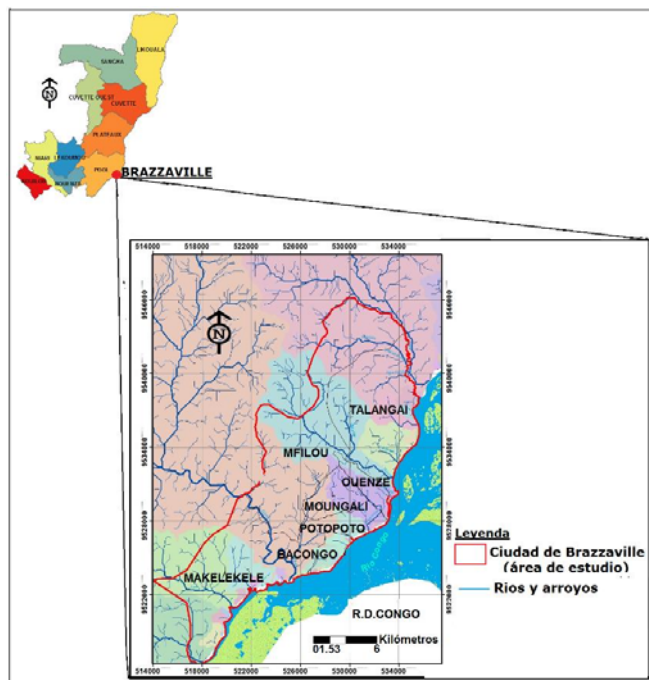


Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Brazzaville.

La ciudad posee un relieve formado de colinas, mesetas y llanuras (Codou 1976). El clima de la ciudad es del tipo Bas Congo con una estación lluviosa de octubre a mayo y una estación seca de junio a septiembre. Se observa

una disminución de las lluvias entre enero y febrero (Vennetier 1977; Samba-Kimbata 1978). La geología de la ciudad está constituida por la formación de Inkisi (Precámbrico-Paleozoico), aflora al suroeste de Brazzaville a lo largo del río Congo (Boudzoumou 1986). Esta formación está representada en su parte inferior por un lente de conglomerado con una matriz arcosa gruesa de cuarzo y arenisca cuarcífera. El nivel intermedio está compuesto de arcosa cruzado por estratificaciones arenosas con mica blanca, cuarzo, arenisca y argilita y en la parte superior aparecen areniscas silíceas con feldespatos y micas; este nivel contiene algunas argillitas intercaladas.

La formación Batéké (cobertura sedimentaria) se depositó durante el período de Mesozoico a Pleistoceno (Desthieux 1992), cuyo contacto con la Serie de Stanley Pool es difícil de determinar. La formación Batéké tiene dos niveles: el inferior, compuesto de arenisca polimórfica, arenisca fina y blanda, arenisca cuarcífera, calcedonia y arenisca lenticular y hacia arriba se nota la presencia de una solidificación en el pasado y el nivel superior, compuesto de arena ocre o limón arenoso situado sobre la arena eólica. Cubren las porciones superiores de las mesetas (Codou 1976; Desthieux 1992). La formación de Stanley Pool forma una cobertura sedimentaria de edad Mesozoica y se superpone discordantemente a las areniscas de Inkisi. Se compone de areniscas arcillosas y margas que se dividen en tres niveles: el nivel inferior compuesto de argilita roja (Le Marechal 1966); el nivel medio compuesto de arenisca blanca compacta, a veces sin estratificación cruzada, siendo este, transgresivo en relación con la base y aflora en el suroeste de Brazzaville principalmente en el Barranco de Makélékélé; el nivel superior está compuesto de areniscas blandas y caolinita, de color amarillo con estratificación cruzada y aflora en la isla Mbamou y en el Valle Djiri (Le Marechal 1966), tal como se muestra en la Figura 2.

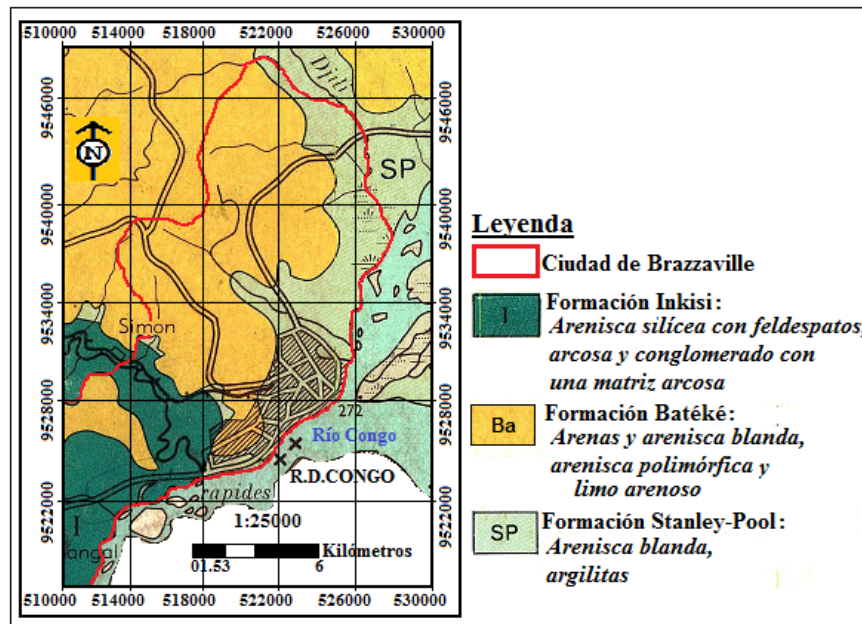


Figura 2. Geología de Brazzaville.

El suelo es muy pobre en arcilla y materia orgánica y clasificado en general de ferralítico (Denis 1977; Schwartz 1987). El estudio geotécnico indica en Brazzaville cuatro grupos de suelos: ferralíticos, heterogéneos, hidromórficos y poco desarrollados (Nzila 2001).

La ciudad de Brazzaville no posee un riguroso ordenamiento territorial, el drenaje de las aguas carecen de un sistema de canalización que permitan el control de las aguas pluviales, lo que produce impactos al ambiente, donde los problemas de erosión del suelo constituyen el fenómeno geodinámico de mayor trascendencia para la ciudad (Samba y Moundza 2012).

La evaluación de la peligrosidad por erosión hídrica debe ser estudiada al emprender diferentes proyectos constructivos y de planificación de la ciudad, con el objetivo de un mejor uso y manejo de estos distritos de la ciudad. La determinación de la peligrosidad por erosión hídrica permite realizar una mejor clasificación del territorio basada en las prioridades del uso de suelo, su conservación y estabilidad ante los diferentes procesos geodinámicos actuantes.

El artículo presenta un estudio ingeniero-geológico-cartográfico de la ciudad de Brazzaville con el objetivo de proporcionar el mapa de peligrosidad por erosión hídrica de la ciudad que contribuya al mejor ordenamiento territorial y constructivo y propicie una mejor explotación y un uso racional del suelo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se presenta una síntesis formalizada de los métodos empleados para evaluar la erosión hídrica para la ciudad de Brazzaville. Lo primero consistió en establecer un mecanismo que permita el análisis y evaluación de los procesos de erosión hídrica de suelos y elaborar una correcta planificación de usos del suelo que permita disminuir el riesgo e incrementar la capacidad de retención de los suelos. Se desea, además, hacerlo con una base cartográfica a escala 1:25000, disponible en el Instituto de Geografía Nacional (IGN) de la República del Congo (mapa de clima, suelo, pendiente, vegetación y uso de suelo), según el Sistema de Información Geográfica empleado (Mapinfo profesional 10.14).

La metodología se centró en el procesamiento e interpretación de imágenes tipo Landsat y Radar SRTM. A partir del levantamiento ingeniero-geológico de la ciudad se confeccionó el mapa de inventario de tipos de erosión hídrica (Figuras 3 y 4).

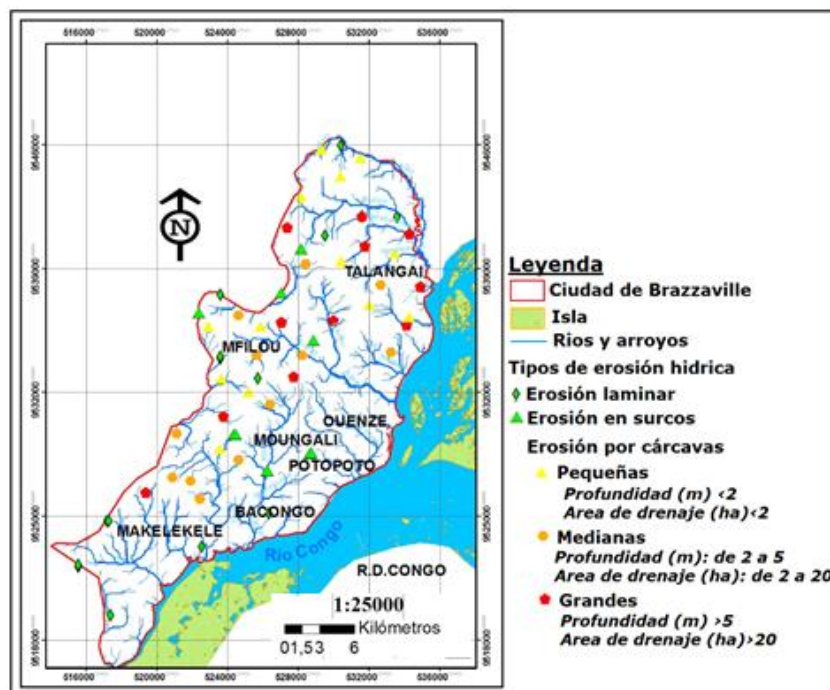


Figura 3. Mapa de inventario de erosión hídrica.



Figura 4. Tipos de erosión hídrica en la ciudad de Brazzaville (a. Erosión laminar, b. Erosión en surcos y c. Erosión por cárcavas).

Posteriormente mediante un sistema de información geográfica se evaluaron los diferentes tipos de mapas temáticos que representan los diversos factores que inciden en la peligrosidad por erosión hídrica en la ciudad; tomándose en consideración la tipología, la intensidad, el desarrollo, la dinámica, los mecanismos del fenómeno de la erosión hídrica, en particular la erosión por cárcavas (Figura 5).

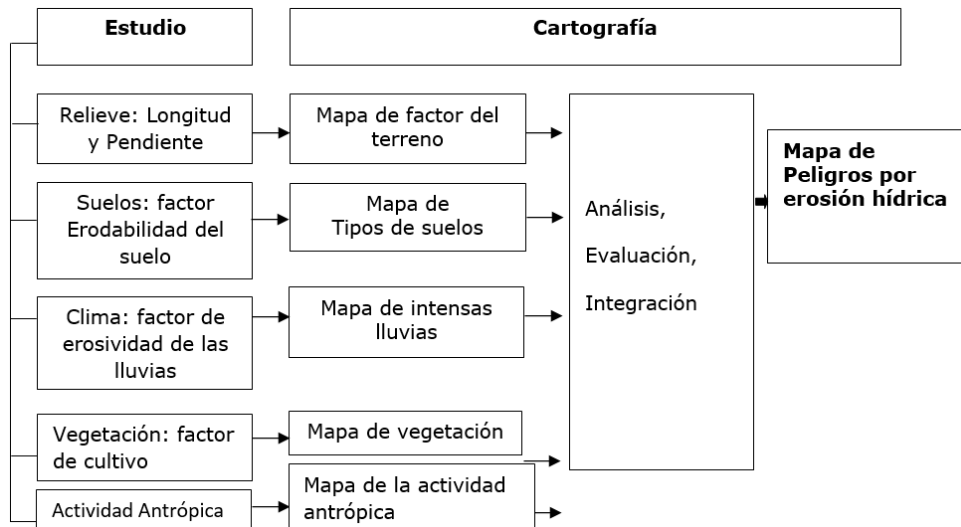


Figura 5. Esquema metodológico de la cartografía de peligrosidad total por la erosión hídrica de la ciudad de Brazzaville.

2.1. Elaboración de los mapas temáticos para la clasificación de la peligrosidad:

a. Peligrosidad según la pendiente

Al estudiar el relieve se tomó en consideración el factor del terreno: longitud de la pendiente (L) y su inclinación (S) (Tabla 1). El factor del terreno permite conocer la peligrosidad por erosión hídrica a través del relieve; este fue dividido en cinco clases.

Tabla 1. Peligrosidad por erosión hídrica según la pendiente

Clase	Pendiente (%)	Peligrosidad de erosión
1	0 - 3	Muy baja
2	3,1 - 12	Baja
3	12,1 - 20	Media
4	20,1 - 35	Alta
5	>35	Muy alta

b. Peligrosidad por el tipo del suelo

El factor suelo se sintetizó a través del componente de erodabilidad que indica la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados; su determinación está en función del porcentaje de arena más limo, de arena, de materia orgánica, de la estructura del suelo y su permeabilidad. A continuación, aparecen las tablas que correlacionan los tipos de suelo y la pendiente (Tabla 2).

En la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica es importante establecer el tipo de textura del suelo en el caso de la ciudad de Brazzaville tenemos: suelos heterogéneos saturados (C), lateríticos de mesetas (B) y lateríticos de montaña (A3), suelos arenosos de laderas y pobres en contenido de arcillas (A2) (Tabla 3).

Tabla 2. Susceptibilidad de los suelos a erosión

Tipos de suelos	Clase de pendiente				
	1	2	3	4	5
Arena, suelo areno-limoso	0% - 3%	3,1%- 12%	12,1% - 20%	20,1% - 35%	>35,1%
	C	C	B	A ₃	A ₂

Tabla 3. Susceptibilidad por erosión hídrica según la textura de los suelos de Brazzaville

Código	Clase	Susceptibilidad	Tipos de suelos
C	2	Baja	Suelos heterogéneos saturados
B	3	Mediana	Suelos lateríticos de mesetas
A ₃	4	Alta	Suelos lateríticos de montañas
A ₂	5	Muy alta	Suelos arenosos localizados en laderas empinadas y pobres en contenido de arcillas

c. Peligrosidad según el clima (agresividad climática)

El factor clima está representado por la erosividad de las intensas lluvias, es decir, el número de unidades de índice de erosión que ocurren en un año normal de lluvias. Wischmeier y Smith (1978) fueron quienes encontraron que la pérdida de suelo en campos desnudos era directamente proporcional al producto de la energía cinética total de la lluvia multiplicada por su intensidad máxima desarrollada durante treinta minutos continuos. La suma de estos productos, llamado valor o índice de erosión (EI), para un período dado, proporciona un índice de erosión numérico de las lluvias que evalúa la erosión potencial de las mismas durante ese período.

La cartografía de la agresividad climática para producir la erosión hídrica de los suelos responde a la intensidad de esta ante los suelos de la ciudad. Para el cálculo de la agresividad climática se utilizó el Índice de Fournier modificado, para ello se consideraron 20 estaciones climatológicas ubicadas en la ciudad de Brazzaville. Los valores de erosividad de la lluvia son catalogados como: ligeros (0-50), moderados (50-500), altos (500-1,000) y muy altos (> 1,000).

La metodología utilizada para generar la cobertura del factor climático se basó en un análisis geoestadístico que permitió determinar la estructura y distribución espacial de la agresividad climática (intensas lluvias) sobre el área de estudio.

d. Peligrosidad según la vegetación

La vegetación es analizada según el grado de cobertura vegetal (Tabla 4) en el área de estudio. Se aplicó la ecuación presentada a continuación.

$$\%CV = \frac{A_{ocv}}{A_{total}} \quad (1)$$

%CV: porcentaje de cobertura vegetal en la microcuenca hidrográfica

A_{total}: Área total de la microcuenca hidrográfica.

Tabla 4. Clases del grado de cubierta vegetal

Clases	Grado de cubierta vegetal (%)
1	Inferior a 25
2	25 – 50
3	50 – 75
4	Superior a 75

e. Peligrosidad según el uso del suelo

Las zonas llanas poseen pendientes de 0 % a 3 % se refieren a las áreas que presentan pérdidas insignificantes del suelo, independientemente del uso o presencia de fuertes lluvias, por lo que la peligrosidad de erosión es muy baja. Las pendientes de 3 % a 12 % son áreas donde la peligrosidad de erosión es baja y se puede controlar con las prácticas de adecuada gestión. Las pendientes de 12 % a 20 % se vinculan a la peligrosidad de erosión media o moderada y los tipos de usos de la tierra son limitados. Las pendientes de 20 % a 35 % son consideradas como los sitios con peligrosidad a la erosión elevada y, por lo tanto, no son terrenos aptos para la construcción de viviendas sin estudios geotécnicos previos. Las pendientes de más de 35 % son áreas con una alta peligrosidad de erosión debido a la alta velocidad adquirida por el agua de lluvia con carencia de la vegetación.

Tabla 5. Peligrosidad por el uso de suelo

Clases	Ocupación y uso del suelo	Riesgo
1	Cuerpos de agua	Muy bajo
2	Vegetación boscosa	Bajo
3	Vegetación herbácea	Mediano
4	Áreas construidas	Alto
5	Áreas sin vegetación	Muy alto

2.2. Integración de mapas temáticos

El estudio ingeniero-geológico de la ciudad de Brazzaville está fundamentado por medio de la cartografía de aquellos factores que intervienen sobre la erosión hídrica a escala 1:25 000, lo que permitió la correcta evaluación de las condiciones ingeniero-geodinámicas del terreno de la capacidad de acogida y estabilidad.

El procedimiento del SIG es el siguiente:

1. Clasificación de cada mapa de factores de acuerdo a las clases relevantes.

2. Asignación de valores de peso a cada factor (Tablas 6a y 6b).
3. Asignación de pesos a cada mapa de factor.
4. Cálculo de los pesos para cada píxel y clasificación en clases de peligrosidad.

Tabla 6a. Peso del factor litología en la peligrosidad (Varnes 1984)

Factor	Descripción	Categoría	Peso
Litología	Tipo de material	Areniscas	1,0
		Suelos arenosos	1,0

Tabla 6b. Pesos de los factores topográficos y ambientales en la peligrosidad (Varnes 1984)

Factores topográficos y ambientales			
Factor		Categoría	Peso
Morfometría Pendiente de los taludes		Más de 45°	2,0
		36° a 45°	1,7
		26° a 35°	1,2
		16° a 25°	0,8
		Menos de 15°	0,5
Relieve relativo Diferencia de altura entre la divisoria de aguas y el valle		Menos de 100 m	0,3
		101 m a 300 m	0,6
		Más de 300 m	1,0
Uso de la Tierra		Cuerpos de agua y zonas pantanosas	0,80
		Vegetación boscosa	1,20
		Vegetación herbácea	1,50
		Vegetación escasa o sin vegetación	2,00
		Áreas construidas	2,00
Clase	Peligrosidad total	Descripción	Suma de los pesos
1	I	Peligrosidad muy baja	3,5
2	II	Peligrosidad baja	3,5 a 5
3	III	Peligrosidad media	5,1 a 6,0
4	IV	Peligrosidad alta	6,1 a 7,5
5	V	Peligrosidad muy alta	7,5

3. RESULTADOS

Se obtuvo un mapa de peligrosidad para cada factor analizado, los cuales fueron integrados para obtener el mapa de peligrosidad total para la ciudad de Brazzaville.

La Figura 6 muestra el mapa de peligrosidad de erosión por intensas lluvias. La intensidad relativa de las precipitaciones y la pérdida del suelo está relacionada con las intensas lluvias en la ciudad. Por esta razón, es obvia la relación existente entre suelo, lluvia y la cobertura vegetal en el fenómeno de erosión hídrica. En la Tabla 7 aparecen las superficies ocupadas en la ciudad de Brazzaville y el nivel de la peligrosidad por intensas lluvias.

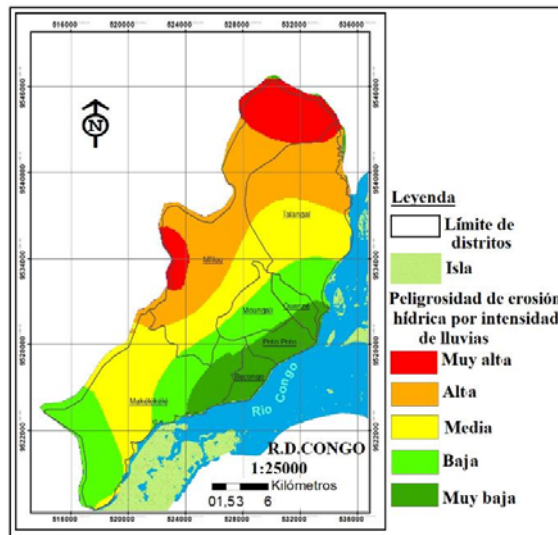


Figura 6. Mapa de peligrosidad por intensas lluvias de la ciudad de Brazzaville.

Según el mapa, la peligrosidad por intensidad de lluvia en 24 horas para un período de retorno de 100 años se divide en 5 clases (muy alta, alta, moderada, baja y muy baja). La clase de peligrosidad muy baja corresponde a los valores de menos de 1 450 mm y representa el 10,60 % del área total; la peligrosidad baja es de 1 450-1 550 mm, constituyendo el 14,73 % del área total; la clase de peligrosidad media tiene valores de 1 550-1 850 mm de lluvia y ocupa el 29,22 % del área total; la peligrosidad alta tiene valores mayores de 1 850-2 150 mm y representa el 35,02 % del área total y la peligrosidad muy alta tiene valores superiores a 2 150 mm y representa el 10,38 % del área total. Como puede observarse, la zona norte de la ciudad es la más lluviosa y posee la mayor peligrosidad de erosión por lluvia (Tabla 7).

Tabla 7. Superficie ocupada en hectáreas (ha) y porcentaje (%) según el nivel de peligrosidad por intensas lluvias en la ciudad de Brazzaville

Peligrosidad por intensas lluvias	Superficie ocupada	
	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
Muy baja	2 887,72	10,60
Baja	4 006,33	14,73
Mediana	7 944,09	29,22
Alta	9 519,47	35,02
Muy alta	2 823,99	10,38

3.1. Caracterización de la peligrosidad por el relieve (pendiente)

El factor del relieve es un elemento clave junto al tipo de suelo y la lluvia para determinar la intensidad de erosión de los suelos (Figuras 7 y 8). La pendiente del terreno afecta los escurrimientos superficiales imprimiéndoles velocidad. El tamaño de las partículas, así como la cantidad de material que el escurrimiento puede desprender o llevar en suspensión, son una función de la velocidad con la que el agua fluye sobre la superficie. A su vez, la velocidad depende del grado y longitud de la pendiente. Cuando se carece de cobertura vegetal, la pendiente indica un determinado nivel de la peligrosidad de erosión hídrica (Tabla 8). La Tabla 9 recoge en una matriz de 5x5 clases la peligrosidad de erosión para las pendientes y el uso del suelo.

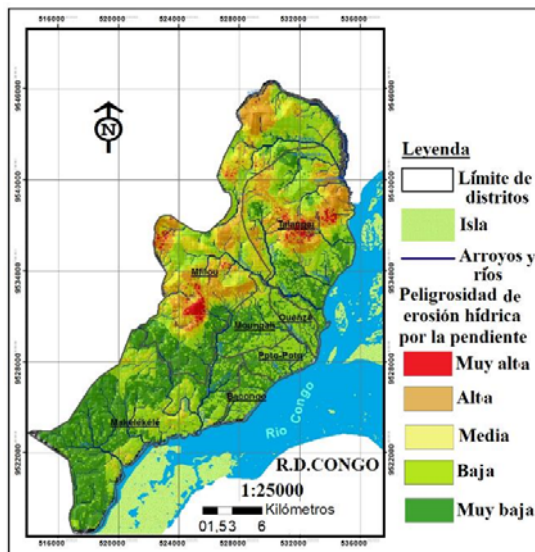


Figura 7. Peligrosidad de erosión hídrica por la pendiente.

Tabla 8. Superficie ocupada por la peligrosidad a la erosión hídrica tomando en consideración la pendiente

Pendiente (%)	Peligrosidad	Superficie	
		Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
0 - 3	Muy baja	7 985,89	32,03
3,1 - 12	Baja	9 232,43	37,03
12,1 - 20	Media	3 974,40	15,94
20,1 - 35	Alta	3 363,93	13,49
>35	Muy alta	3 0,32	1,48

Tabla 9. Matriz de interpretación de la peligrosidad de erosión hídrica en la ciudad de Brazzaville

USO DE SUELOS	PELIGROSIDAD DE EROSION	clase	PENDIENTES				
			1	2	3	4	5
	Muy bajo	1	1	2	2	3	3
	Bajo	2	2	2	3	3	4
	Medio	3	2	3	3	4	4
	Alto	4	3	3	4	4	5
	Muy alto	5	3	4	4	5	5

La combinación de valores en la matriz se realizó tomando en consideración:

- Cuando coincida el valor de las dos variables (pendientes y uso del suelo), el valor final de la peligrosidad de erosión será el mismo que el de las variables. Por ejemplo, pendiente=1 y uso del suelo=1, la peligrosidad de erosión tomará el valor 1.
- Cuando sea posible, se tomará el valor intermedio entre las dos variables. Por ejemplo, si la pendiente=3 y el uso del suelo=1, entonces la peligrosidad de erosión será igual a 2.
- Si hay varios valores intermedios, se optará por el número intermedio de mayor valor. Por ejemplo, si la pendiente=1 y el uso del suelo=4, (los valores intermedios posibles son el 2 y el 3), tomando el valor intermedio más alto el valor de la peligrosidad de erosión es 3.
- Finalmente, si no hay valores intermedios entre las dos variables, el valor final de la peligrosidad de erosión coincidirá con el valor más alto de cualquiera de las dos variables. Por ejemplo, si la

pendiente=4 y el uso del suelo=5, el valor de la peligrosidad de erosión es 5.

3.2. Caracterización de la peligrosidad por la susceptibilidad de los suelos

En la Figura 8 se muestra la distribución de la peligrosidad de los suelos por la erosión hídrica. Los suelos ubicados en la zona norte y noroeste de la ciudad de Brazzaville presentan el mayor grado de peligrosidad ante la erosión. Según la Tabla 10 una pendiente de 0 a 3 % representa un área de 994,783 ha, que implica un 3,93 % del peligro de erosión catalogado de bajo para la ciudad de Brazzaville. Los terrenos con pendiente de 20 % a 35 % y de mayor de 35 % figuran con los peligros de alto a muy alto y ocupan una superficie de 1 297,211 ha. Los terrenos de baja a muy baja pendiente son suelos destinados a la explotación agrícola, ocupan una superficie de 6109,92 ha.

Los suelos consignados para la construcción de viales y zonas residenciales de la ciudad ocupan una superficie de 18 180,183 ha, lo que representa el 71,94 % de la superficie total del área de estudio. Estos suelos presentan las características de sufrir una deformación al contacto con el agua. Esta deformación se debe a la estructura que toman las partículas arenosas en su conformación.

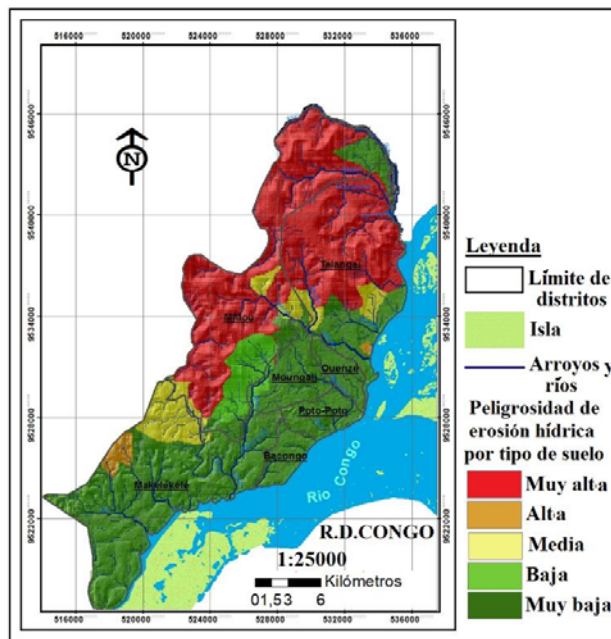


Figura 8. Peligrosidad de erosión hídrica por el tipo de suelo.

Tabla 10. Peligrosidad según la susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica

Clase	Pendiente (%)	Nivel de peligrosidad	Superficie	
			Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
1	0 – 3	Muy bajo	994,783	3,93 %
2	3 – 12	Bajo	18 180,183	71,94 %
3	12 – 20	Mediano	4 412,671	17,46 %
4	20 – 35	Alto	815,884	3,23 %
5	>35	Muy alto	481,327	1,90 %

3.3. Peligrosidad por el grado de cobertura vegetal

La Figura 9 muestra el mapa de peligrosidad por el grado de la cubierta vegetal de la ciudad de Brazzaville. Uno de los problemas más agudos en la ciudad es la deforestación que se produce en los distritos del norte y noroeste. Estos terrenos al sufrir la deforestación quedan expuestos a la erosión hídrica con mayor intensidad.

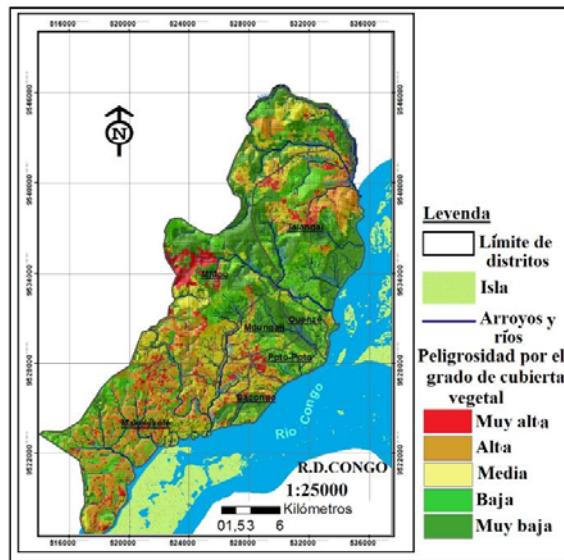


Figura 9. Mapa de peligrosidad por el grado de la cubierta vegetal de la ciudad de Brazzaville.

La ciudad de Brazzaville posee una superficie de 25 268,58 ha. Se catalogan como de peligrosidad muy baja a baja 9 514,53 ha. Con peligrosidad media tenemos un área de 6 931,17 ha. La peligrosidad de alta a muy alta existe en un área de 8 822,88 ha lo que representa el 35 % del total del área de la ciudad (Tabla 11).

El mapa de peligrosidad muestra el grado de amenaza de los distritos norte y noroeste ante los procesos erosivos.

Tabla 11. Peligrosidad por el grado de cobertura vegetal

Peligrosidad del grado de la cobertura vegetal por erosión hídrica		
Nivel	Superficie	
	Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
Bajo y muy bajo	9 514,53	37,07
Mediano	6 931,17	27,43
Elevado y muy elevado	8 822,88	35,51
Total	25 268,58	100

3.4. Evaluación de la peligrosidad total

La peligrosidad total es el resultado del análisis y evaluación de todos los factores causales y condicionantes que intervienen en el proceso de la erosión hídrica; los tipos de suelos y su susceptibilidad, la lluvia, factor del terreno con la longitud de la pendiente, su inclinación y orientación, la vegetación y el uso de suelo. La Figura 8 representa el mapa de peligrosidad total de erosión hídrica de la ciudad donde se puede apreciar que la parte norte y noroeste reúnen las condiciones favorables para el surgimiento y desarrollo de fenómenos de erosión hídrica de gran magnitud. En la Tabla 8 se exponen los elementos de peligrosidad, según la pendiente, uno de los factores claves en estudio de la erosión hídrica.

Tabla 12. Variación de la peligrosidad total en cada intervalo de la pendiente

Pendiente (%)	Peligrosidad Total	Superficie	
		Hectáreas (ha)	Porcentaje (%)
0 – 3	Muy baja	1 206 990,47	49,21
3 – 12	Baja	578 302,67	23,58
12 – 20	Media	374 010,23	15,25
20 – 35	Alta	235 668,49	9,60
>35	Muy alta	57 481,68	2,34

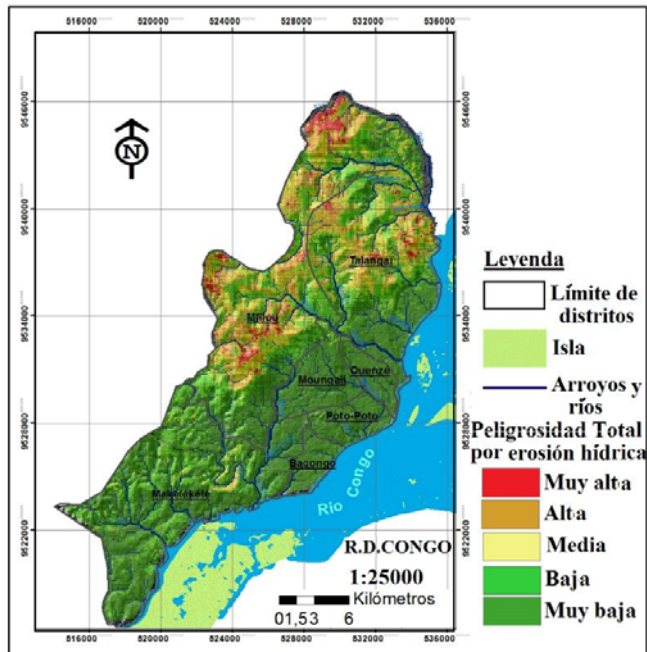


Figura 10. Mapa de peligrosidad total de erosión hídrica.

4. DISCUSIÓN

Las variables establecidas para el análisis de la peligrosidad del suelo por erosión hídrica en la ciudad de Brazzaville están relacionadas con el entorno urbano. Las variables consideradas representan diferentes características del posible comportamiento del fenómeno de la erosión hídrica en su tipología: laminar, surco, cárcavas y barrancos.

Para la ciudad de Brazzaville, la cubierta vegetal y el uso del suelo dan lugar a un alto grado de peligrosidad que, evidentemente, será mayor en la medida que el potencial en zonas de intensa actuación humana se incrementa (erosión acelerada) y menor en las zonas de adecuada cubierta vegetal. Conocer la cubierta vegetal y el uso del suelo actual se convierte así en una tarea primordial, la cual es facilitada mediante el tratamiento de imágenes de satélite Landsat.

Debe considerarse que el control llevado a cabo por medio de la aplicación del SIG y las relaciones existentes entre las variables, muestran que, en general, los resultados atribuyen el grado de peligrosidad de erosión hídrica al uso no adecuado del suelo.

5. CONCLUSIONES

- La aplicación de un método basado en un sistema de información geográfica (SIG) permitió categorizar el nivel de peligrosidad de la ciudad de Brazzaville, constituyendo el principal resultado de este

trabajo, el cual brinda información básica para realizar la evaluación ingeniero-geológica, el diseño de planes y manejo de zonas inestables y el ordenamiento del territorio en el plan de gestión regional del espacio natural.

- Se establece que los principales factores que generan peligrosidad por erosión hídrica en la ciudad de Brazzaville se relacionan con la no aplicación de prácticas de conservación y ordenamiento territorial adecuados, haciendo los suelos más vulnerables a la erosión hídrica.
- Los distritos situados al norte, nordeste y noroeste de la ciudad presentan la mayor peligrosidad por erosión hídrica, asociada fundamentalmente a una escasa cobertura vegetal, un suelo arenoso pobre en arcilla y muy erosionable y un relieve predominantemente montañoso.

6. REFERENCIAS

- BOUDZOUYOU, F. 1986: *La chaîne Ouest-Congolienne et son avant-pays au Congo: relation avec le Mayombien; sédimentologie des séquences d'âge protérozoïque supérieur*. Thèse de Doctorat. Université de Droit, d'Economie et de Sciences d'Aix Marseille (France). 220 p.
- CNSEE, 2008: *Répartition de la population du Congo Brazzaville par département et par commune et projetée 2000 à 2015*. Brazzaville. 50 p.
- CODOU, A. 1976: *Géographie: la République Populaire du Congo*. Hatier, collection André-Journaux. 79 p.
- DENIS, B. 1977: *Rapport pédologique concernant des zones situées autour de Makoua et destiné*. ORSTOM, Brazzaville. 69 p.
- DESTHIEUX 1992: Carte géologique de la République du Congo (1/1000.000).
- LE MARECHAL, A. 1966: *Contribution à l'étude des plateaux Batékés (géologie, géomorphologie, hydrogéologie)*. ORSTOM. 78 p.
- NZILA, J. D. 2001: *Les sols du Congo et les problèmes d'aménagement des sols*. Université Marien Ngouabi. 68 p.
- SAMBA, G. y MOUNDZA, P. 2012: Brazzaville, croissance urbaine et ses problèmes environnementaux. Centre de recherches sur les Tropiques Humides, Université de Marien Ngouabi–Congo, p. 3-4.
- SAMBA-KIMBATA, M. J. 1978: *Le climat du Bas Congo*. Thèse de doctorat 3ème cycle. Université de Bourgogne, C.R.C. de Dijon. 260 p.
- SCHWARTZ, D. 1987: *Les sols des environs de Brazzaville et leur utilisation*. ORSTOM, Pointe Noire. 206 p.

VARNES, D. J. 1984: *Landslide hazard Zonation. A Review of Principles and practice*. UNESCO Press, París. 63 p.

VENNETIER, P. 1977: *Atlas de la République du Congo*. Editions Jeune Afrique, Paris. 67 p.

WISCHMEIER, W. H. y SMITH, D. D. 1978: *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture*. Handbook 537, United State Department of Agriculture, Washington. 28 p.

Recibido: 22/01/16

Aprobado: 24/03/17

Kempena Adolphe, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias y Técnicas, Universidad Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo.
akempena@gmail.com