

Análisis de aptitud para la expansión urbana

Por:

Drs P. Hofstee and Ir M. Brussel

Department of Land Resource and Urban Sciences,

International Institute for Geoinformation Sciences and Earth Observation (ITC),

P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, The Netherlands.

Tel: +31 53 4874237, Fax: +31 53 4874399, e-mail: hofstee@itc.nl

Tel: +31 53 4874497, Fax: +31 53 4874399, e-mail: brussel@itc.nl

Resumen

En este ejercicio la aptitud de las tierras será analizado para la expansión de la ciudad de Villavicencio, Colombia. Los factores tomados en cuenta incluye peligros, pendientes, distancias al centro de la ciudad y uso de suelo existente.

Iniciando



- Situado en Windows explorer cree un directorio de trabajo en el disco duro
- Extraiga los datos del archivo *Datos Analisis de expansion urbana.zip* desde el directorio `:\Casos de estudios SIG\08 Analisis de expansion urbana\Datos SIG ILWIS` a el nuevo directorio
- Haga doble-click en el icono del programa ILWIS y vaya al directorio de trabajo que creo.

1 Datos disponibles

El mapa de uso de suelo urbano de 1991, mapas raster de peligros, pendientes, y distancia al centro de la ciudad son necesarios. Adicionalmente, mapas de vectores de carreteras principales y ríos están incluidos para la orientación.

Luse91	Mapa raster de uso de suelo urbano en 1991.
Cendist	Mapa raster de las zonas distantes del centro.
Hazards	Mapa raster de las clases de peligros.
Slopes	Mapa raster de las clases de pendientes.
Mroad91	Mapa de vectores de las carreteras principales en 1991.
River	Mapa de vectores de los ríos.

2 Terminología y definición

2.1 Definiendo la aptitud

Una de las cosas más importantes de la planificación física es la designación propia de sitios aptos para un apropiado uso de suelo. La selección de sitios aptos para un uso de suelo específico debe estar basada en un conjunto de criterios locales, para asegurar que la tasa máxima de costo-beneficio es obtenida para la comunidad.

Las diversas características de un sitio (p.e. uso actual del suelo, pendiente, disponibilidad de agua, distancia al trabajo, costos de desarrollo), influyen la aptitud para un uso de suelo específico. Un sistema de valores y ponderación se puede aplicar a los diversos aspectos de la aptitud, para establecer la aptitud total de un uso de suelo específico.

Ciertas características pueden conducir a una clase de no-apta para un uso de suelo urbano específico. Por ejemplo, pendientes escarpadas. Valores religiosos (cementerio antiguo), o designación como tierra reservada por el gobierno, puede excluir el uso de ese sitio para el desarrollo, o haciéndolo inútil.

Además de lo anterior, el sitio puede ser valorado como muy apto para diferentes usos de suelo, los cuales compiten por el mismo sitio, p.e. un centro comercial versus costos bajos de vivienda, o agricultura versus uso recreacional. Las selecciones necesarias son sujeto de la planificación del desarrollo global urbano.

Se debe tener en cuenta los valores del suelo como aspecto de aptitud: el valor del suelo no es un factor independiente, pero en principio, integra todos los aspectos de aptitud., con un sistema de ponderación.

Las tasas de aptitudes contienen siempre un elemento de subjetividad: debe tener precaución en sus aplicaciones. Cuando se incluyen muchos aspectos los puntajes y ponderaciones pueden tener resultados que no se pueden rastrear. No son más que una herramienta para una selección racional de sitios aptos.

2.2 Definiendo peligros

Un *peligro natural* puede ser definido como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural, dentro de un período de tiempo específico en un área dada, de un fenómeno natural con un potencial de daño. (Varnes, 1984). Este fenómeno puede ser terremotos, deslizamientos, inundaciones, sequías, tormentas, etc. Todos estos ocurren con diferentes intensidades y frecuencias, produciendo diferentes niveles de impactos ambientales.

En la área de Villavicencio los siguientes peligros naturales están presentes:

Inundaciones: Una inundación ocurre siempre y cuando la escorrentía exceda la capacidad de descarga del río, causando un flujo de agua y lodo sobre los bancos del río, y se extiende por encima de los planos de inundación. Los factores que son importantes: clima, (lluvia), cambio en el uso de suelo, actividades sísmicas.

Zonas de inundación de los riachuelos: la socavación (erosión lateral) de los bancos de los ríos, y subsecuentes deslizamientos en los terrenos altos, causa inundaciones en las partes bajas. Esto se aplica a los *caños* (riachuelos) donde la variable de ocurrencia e intensidad del peligro son experimentadas.

Deslizamientos: Son movimientos en descenso de rocas, suelo, lodo o mezclas de estos materiales. Algunos deslizamientos ocurren gradualmente, otros abruptamente. Factores importantes son: clima (lluvia), topografía (pendiente), tipo de roca (estructura, material), tipo de suelo (contenido

de agua), actividades tectónicas (terremoto), uso de suelo (deforestación).

Hundimiento: El hundimiento repentino o gradual asentado hacia abajo de la superficie de la tierra ocurre con pequeño ó sin movimiento horizontal. Suelos con materiales sin coherencia con un contenido alto de agua, son muy susceptible a liquefacción , o soliflucción cuando una disturbación externa ocurre (terremoto, deslizamiento convencional). [Los expertos no concuerdan en la existencia de este peligro de hundimiento en Villavicencio. Algunos consideran el área de hundimiento como estable. De cualquier modo, si hay un peligro real, el riesgo es considerable.

2.3 Definiendo riesgos

Un *riesgo natural* puede ser definido como la vulnerabilidad de un área en términos de víctimas mortales esperados, heridos, daños a propiedades e interrupción de actividades económicas debido a los daños potenciales de un fenómeno natural. En otras palabras, un peligro natural, será un riesgo natural cuando la población y las propiedades pueden ser afectada. Por eso cuando las ciudades están construidas en zonas peligrosas, la zona no es solamente considerada peligrosa, sino también arriesgada.

El nivel del riesgo potencial afectando la ciudad no es el mismo en toda la ciudad, porque tanto el tipo de peligro como el uso de suelo (áreas con y sin construcciones) varía en la ciudad (Salas, 1992).

3 Modelamiento de características del suelo para la expansión urbana

3.1 Velocidad de crecimiento urbano

El cambio urbano en los años anteriores puede ser establecido estudiando la información de uso del en el tiempo de. El cambio porcentual por año del uso urbano del suelo (o uso particular del suelo) puede ser calculado. El promedio aritmético del cambio anual en los períodos 1960-1978 y 1978-1991 es del 11% y 7.5% respectivamente. El promedio geométrico del cambio por año es del 6.3% y 5.4%, respectivamente.

En este ejercicio asuma un incremento anual del 6% en el uso urbano del suelo en los años siguientes a 1991, siguiendo una progresión geométrica (la ley exponencial, normalmente se aplica cuando se calcule el crecimiento poblacional).

Otro acercamiento (muy similar) es usar la tasa de crecimiento poblacional observada (en el último período), como base para asumir la tasa de incremento en el uso urbano del suelo.

El efecto de la tasa de crecimiento (exponencial) puede ser calculado usando la siguiente fórmula:

$$A_f = A_b * \left(1 + \frac{\%}{100}\right)^{(f-b)} \quad [1]$$

donde A es la área, f es el año siguiente (p.e. 1996), b es el año base (p.e. 1991) y $\%$ es la tasa de crecimiento por año (p.e. 6.0 por ciento).

Ejemplo: $A_{1996} = A_{1991} * (1 + 6/100)^{(1996-1991)}$

$$A_{1996} = 1665 \text{ ha} * (1.06)^5 = 1665 * 1.06 * 1.06 * 1.06 * 1.06 * 1.06$$

$$A_{1996} = 2228 \text{ ha.}$$

Basado en el mapa Luse91, usted creará un nuevo mapa clase Urban que debe contener las clases de uso del suelo residencial, comercial, industrial, institucional, recreacional, transporte, en construcción y demolición.

El mapa Luse91 tiene las siguientes clases (tabla 1):

Tabla 1: Códigos y nombre de las clases usado por el dominio Landuse

Código	Clase	Código	Clase
co	Comercial	re	Recreacional
de	Demolición	rs	Residencial
id	Industrial	ri	Río
is	Institucional	tr	Transporte
ni	Sin información	ud	En desarrollo
nb	Sin construcción		



- Crea un nuevo dominio Urban, tipo Class. Añada las siguientes clases: Urbano, No-urbano, Río, Sin información. No llene los códigos. Una representación es creada automáticamente.
- Edite la representación Urban haciendo doble click en cada clase:

Clase	Color
Urbano	rojo
No-urbano	verde
Río	azul
Sin información	gris
- Cree una nueva tabla Landuse con el domino clase Landuse. Añada la columna Urbano, con el dominio Urban. Asigne el nombre Urbano a las clases residencial, comercial, industrial, institucional, recreacional, transporte, en desarrollo y demolición, el nombre No-urbano a las clases sin construcción, el nombre Sin información a la clase Sin información, y el nombre Río a la clase Río.
- Con la operación AttribRas use el mapa raster Luse91, la tabla Landuse, y el atributo Urban. Cree y despliegue el mapa de atributo Urban91.
- Calcule el histograma para el mapa Urban91.
- Calcule el tamaño del área urbano en los años futuros (año de base 1991, usa la tasa de crecimiento exponencial) y el área no-urbano en 1991 en hectáreas. Llene las tablas de abajo.

Tabla 2: Expansión estimada del área urbana en el periodo 1991-2010. Llene la tabla basado en la explicación anterior

Uso de suelo	Area (ha)									
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Urbano										
No-urbano										

Uso de suelo	Area (ha)									
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Urbano										
No-urbano										

☞

- Calcule la nueva área urbana requerida en el año 2006, sin tomar en cuenta cualquier aspecto de aptitud. Asuma que todos los terrenos no-urbano (como existió en 1991) están disponibles. La tabla dará una idea rápida de los requerimientos y carestía, solo 15 años después el año base 1991. Use ILWIS o una calculadora para los cálculos. Llene la tabla de abajo.

Tabla 3: Areas de uso de suelo urbano y no-urbano en 1991 y 2006

Uso de suelo	Ha	
Urbano 2006		
Urbano 1991 -		
Urbano nuevo 2006		= requerido
No-urbano 1991		= disponible
Urbano nuevo 2006 -		
No-urbano 2006		

3.2 Factores considerados y suposiciones

Un número de factores, importantes en realidad, no serán considerados en este ejercicio: planes municipales, proyectos de construcción de caminos y puentes, áreas reservadas, constreñimiento de medio ambiente, pertenencia, densificación de áreas residenciales, sucesión (p.e. uso de suelo comercial remplazando uso de suelo residencial), clases socioeconómicas, factores políticos y comerciales, desarrollo urbano en el futuro cercano.

La suposición básica es que todo los suelos no-urbano (clase de uso de suelo 8) en el área de estudio en 1991 están disponibles para la expansión urbana.

Por eso, los modelos de expansión están simplificados y generalizados.

3.3 Situaciones

La expansión urbana puede estar limitada por peligros naturales (y los riesgos correspondientes) los cuales amenazan ciertas áreas.

Dos situaciones de expansión urbana, basadas en la ocurrencia de peligros naturales y los riesgos correspondientes, serán consideradas:

La situación A *arriesgada (calmada)*: Crecimiento urbano en casi todas las áreas, pero no en áreas con alto riesgo

La situación B *segura (cauta)*: Crecimiento urbano solo en áreas relativamente seguras

El período a considerar son los siguientes 15 años (1991-2006).

3.4 Procedimiento

Un modelo de aptitud es diseñado para fijar el total de áreas aptas para la expansión urbana.

Un mapa de aptitud será creado por ponderación y combinación de mapas con tasas de factores de aptitud.

Este mapa será clasificado en áreas como: muy apta, moderada apta, marginalmente apta, no apta para expansión urbana.

Los factores de aptitud considerados son:

- distancia al centro de la ciudad;
- pendientes;
- zonas de peligro.

Estos factores de aptitud están disponibles en los mapas.

En cada clase de cada mapa deberá ser asignado un valor propio de aptitud: el valor 1...10 (marginalmente apto →muy apto) o 100 (no apto o sin información).

Los valores del mapa Hazards serán reenumerados al mapa Hazscor (factor de aptitud de peligro). Igualmente, el mapa Cendist (distancia al centro de la ciudad) será reenumerado al mapa Censcor (factor de aptitud basado en la distancia al centro de la ciudad) y el mapa Slopes será reenumerado al mapa Slopescor (factor de aptitud de pendiente).

Los mapas de salida: Hazscor, Censcor, y Slopescor serán multiplicados por un factor de ponderación y después serán sumados para producir un mapa de aptitud Suitscor.

El mapa final de aptitud Suitclas, conteniendo las clases de aptitud, será derivado del mapa Suitscor.

4 Crecimiento arriesgado y seguro

El mapa Hazards contiene las siguientes clases de peligro (tabla 4):

Tabla 4: Códigos y nombres de clases usado por el dominio Landuse

Código	Clase
fv	Peligro de inundación muy alta (>1/año)
fh	Peligro de inundación alta (1/año)
fm	Peligro de inundación moderada (0.2 año)
fl	Peligro de inundación baja (0.04/año)
fs	Peligro de inundación en quebradas (erosión lateral e inundaciones a lo largo de los caños)
lv	Peligro de deslizamiento muy alta
lv	Peligro de deslizamiento moderada
lm	Peligro subsidence
nh	Sin peligro
ri	Río
ni	Sin información



- Despliegue el mapa raster Hazards.
- Cruce el mapa de uso del suelo 1991 (Luse91) con el mapa de peligro (Hazards). Estudie la tabla de cruce.

! Evalúe la tabla de cruce en base a los dos situaciones:

Situación A (expansión urbana arriesgada): expansión en todo lado, excepto en zonas con alto peligro.

Considere las clases con los códigos `ri`, `fv`, `fh` y `lv` en el mapa de peligro como clases de alto peligro. En las zonas de alto peligro la expansión urbana no tomará lugar. El área que no tiene información (código `ni`) también es considerada como una zona de alta peligrosidad, donde la expansión urbana no tomará lugar en el modelo. En todos los otros lugares en el área no-urbana de 1991 (clases `no construido` en el mapa de uso del suelo Luse91) se espera expansión.

Situación B (expansión urbana segura): expansión solo en zonas relativamente seguras.

Considere solo las clases Sin peligro y Peligro de inundación muy bajo en el mapa de peligro como clase Segura. La expansión urbana deberá tomar lugar solo en estas zonas seguras del área no-urbano de 1991 (clase `no construido` en el mapa de uso del suelo Luse91), y en ninguna otra parte.



- Coleccione los datos desde la tabla de cruce y llene la tabla de abajo.

Tabla 5: Área de expansión urbana requerida y disponible hasta el año 2006 con dos situaciones (en ha)

Situación	Área de expansión urbana hasta el año 2006 en ha			
	disponible	requerida	+ -	excedente faltante
Situación A, arriesgada				
Situación B, segura				

5 Valorizando factores de aptitud

En esta sección las clases de peligro del mapa Hazards deben asignarse puntajes propios de aptitud.



- Primero cree un nuevo dominio `Score` con el dominio `Value`, un rango `-100 a +10` y precisión `1`. Este dominio será usado otra vez para valorizar otros mapas.
- Cree una nueva tabla `Hazards` usando el dominio `Hazards`.
- Añada una columna `Hazscore`, con el dominio `valor Score` e inserte

los valores como se muestra abajo:

Clase	Hazards mapa clase	Hazcor	valor
Río	1		-100
Estable	2		10
Peligro de inundación muy alto	3		1
Peligro de inundación alto	4		2
Peligro de inundación moderado	5		3
Peligro de inundación bajo	6		7
Zona de inundación del riachuelo	7		5
Peligro de deslizamiento muy alto	8		1
Peligro de deslizamiento moderado	9		2
Peligro de subsidencia	10		4
Sin información	99		-100

El mapa de distancia *Cendist* tiene las clases de distancia al centro de la ciudad:



- Despliegue el mapa raster *Cendist*.
- A las clases del mapa *Cendist* tienen que ser asignadas puntajes propios de aptitud, considerando que la cercanía al centro de la ciudad es tomada como aptitud alta. Para hacerlo, cree una nueva tabla *Cendist*, con el dominio *Cendist*. Añada una columna *Censcor*, con el dominio *valor Score*. Inserte la columna *valor Censcor* como se muestra abajo:

Zona de distancia	Código <i>Cendist</i>	Columna valor	<i>Censcor</i>
(centro)-0 m	ce		10
1-1000 m	c1		10
1001-2000 m	c2		8
2001-3000 m	c3		6
3001-4000 m	c4		5
4001-5000 m	c5		3
5001-6000 m	c6		2
6001-7000 m	c7		1
7001-8000 m	c8		1
Río	ir		-100
Sin información	ni		-100

! Los puntajes están elegidos para representar una relación no-línea entre aptitud y distancia al centro de la ciudad. Como el centro ya está completamente construido, no es necesario asignar un puntaje diferente.

El mapa raster *Slopes* contiene las clases de pendientes como se indica en la tabla 6.

Tabla 6: Códigos y nombres de las clases para el mapa *Slopes* (dominio *Slopes*)

Código	Nombre de clase
fl	Plano (< 7%)
in	Inclinado(7-15%)
st	Escarpado (> 15%)
ri	Río
ni	Sin información



- Despliegue el mapa `Slopes`. A las clases de pendiente en el mapa `Slopes` tienen que asignarse puntajes propios de aptitud tomando en cuenta que terrenos planos son considerados muy aptos.
- Cree una nueva tabla `Slopes` con el dominio `Slopes`.
- Añada una columna `Slop Scor` con el dominio valor `Score`. Inserte la columna valor `Slop Scor` como se muestra abajo:

Clase	Código mapa <code>Slopes</code>	Columna valor <code>Slop Scor</code>
Plana (< 7%)	fl	10
Inclinada (7-15%)	in	6
Escarpada (> 15%)	st	1
Río	ri	-100
Sin información	ni	-100



- Para mejorar el desplegado, se debe crear una nueva representación `Score` para los mapas revalorizados. Edite la representación `Score`. Inserte una límite con el valor 10 y asigne el color verde. Inserte un límite con el valor 1 y asigne el color amarillo. Ponga en `Stretch Steps` un valor 10. Inserte a límite -100 y asigne el color rojo.
- Ponga el color entre 1 y -100 para bajar el tono (asigne el color del límite inferior a los valores intermedios).
- La representación ahora contiene un cambio gradual en color (de verde al amarillo) para los puntajes de aptitud positivos (1 hasta 10), y rojo para los valores de aptitud negativos (-100 hasta el valor 0).

Los mapas que contienen los nuevos puntajes asignados se puede crear ahora.



- Click `Operations`, `Raster Operations`, `Attribute Map`. (Esté seguro de usar la representación `Score` para el mapa de salida).
- Use el mapa raster `Hazards`, la tabla `Hazards` y el atributo `Haz Scor`. El mapa raster de salida es `Haz Scor`.
- Use el mapa raster `Cendist`, la tabla `Cendist` y el atributo `Cen Scor`. El mapa raster de salida es `Cen Scor`.
- Use el mapa raster `Slopes`, la tabla `Slopes` y el atributo `Slop Scor`. El mapa raster de salida es `Slop Scor`.



Los tres mapas (`Haz Scor`, `Cen Scor` y `Slop Scor`) contienen ahora los puntajes de aptitud 1 a 10 ó un valor -100 (no apto).

6 Ponderando y clasificando factores de aptitud

Los tres mapas de aptitud pueden ser combinados en una composición de mapa de aptitud, simplemente adicionando los puntajes de aptitud, o con un sistema de ponderación. La ponderación solo debe ser aplicada cuando no todos los aspectos tienen una misma importancia.

Por ejemplo, la mayoría de peligros naturales no se pueden evitar en áreas afectadas. El riesgo es un factor serio para considerar, cuando están planificando la expansión urbana.

Una pendiente causará un costo más alto en la construcción, porque afecta fuertemente la aptitud.

La distancia a la carretera principal, no puede afectar la aptitud muy fuertemente: una distancia larga involucra algunos costos extras e incremento del tiempo de viaje. Sobre todo, una nueva carretera puede ser construida para cambiar la accesibilidad. Por esto, dicho factor no se tomará en cuenta.

La importancia (puntaje y ponderación) de un factor de aptitud también depende del uso del suelo que se piensa aplicar: actividades comerciales tienen diferentes requerimientos que actividades residenciales, pero este aspecto no se toman en cuenta aquí. Idealmente, estudios separados de aptitud deben hacerse para cada actividad de uso del suelo.

La elección de una ponderación es muy importante, ya que esta tiene un gran efecto a través de la multiplicación de los puntajes.

El sistema de ponderación, en este caso, está diseñado para permitir un puntaje máximo de 100 (un puntaje de 10 en todos los tres aspectos). El valor -100 es seleccionado para estar seguro que las áreas no-aptas (incluido ríos y áreas sin información) en uno o más mapas de aspectos, mantienen un valor negativo después de combinar los mapas (no-aptos en un mapa de aspecto nunca puede ser compensado por un aptitud muy alta en otro mapa de aspecto).

☞

- Los tres mapas de aspectos de aptitud son sumados mientras aplica los siguientes valores de ponderación:

Peligro	5
Pendientes	3
Distancia al centro de la ciudad	2
- Para hacerlo, calcule la composición de aptitud aplicando la ponderación a los mapas anteriores y después sumándolos. El mapa de salida es `Suitscor`. Aplique la fórmula de `MapCalc`:

$$\text{Suitscor} = (\text{Hazscor} * 5) + (\text{Slopscor} * 3) + (\text{Censcor} * 2)$$
- Despliegue el mapa `Suitscor` usando la representación `Clrstp6`. Con este esquema de color las diferencias principales en el mapa de valor se hacen visibles.
- Cheque el mapa de valores `Suitscor`. Note que en este mapa los valores están entre -1000 y +100.

La distribución de los valores del mapa `Suitscor` pueden ser apreciados en un gráfico. Desde el gráfico los límites de las clases de aptitud serán definidas.



- Calcule el Histogram del mapa `Suitscor`.
- Vaya a `Options, Show Graph`. Seleccione `Value` para el eje X y `Npix` para el eje Y.
- En la ventana `Graph` seleccione `Needle` (con el color Rojo) como la forma de la representación del gráfico. Cambie el límite del eje Y a un máximo de 8000.

EL despliegamiento del gráfico con los valores del mapa puede ser útil para encontrar los límites de las clases.



Los valores negativos en el mapa `Suitscor` representan clases no-aptos (valor -100 en uno de los mapas de factores de aptitud). Solo el rango de 10 a 100 en el mapa `Suitscor` es interesante en términos de aptitud.



- Use el despliegamiento del gráfico solo del rango de valores 0 a 100 para definir las clases de aptitud: no-apta, marginalmente apta, moderadamente apta y muy apta.
- Redefina el despliegamiento del gráfico. En la barra de `Display Options` vaya a `Graph, Graph Management, Display Options`. Cambie el límite mínimo del eje X a -1000.0000 a 0.0. Estudie el gráfico.

Los valores de `Suitscor` pueden ser agrupados en clases, de acuerdo al agrupamiento visible (límite natural) de acuerdo a un intervalo regular.



- Establece límites por las clases no-aptas , marginal apta, moderado apta y muy apta. Nota que acuerdo al sistema de los valores y ponderación de los mapas de factores de aptitud, para cada área de aptitud un valor mínimo de 10 en el mapa `Suitscor` debe existir. Los siguientes límites de las clases deberían ser seleccionados:

<u>Valor en el mapa <code>Suitscor</code></u>	<u>Clase</u>	<u>Código de clase</u>
< 1	No apta	1
1-52	Marginalmente apta	2
53-78	Moderadamente apta	3
79-100	Muy apta	4

Estos valores pueden ser traducido en un mapa por la operación de clasificación. El base es formado por el dominio de grupo, en lo cual los limites de las clases están definidos.



- Cree un New Domain llamado Suitclas, con dominio tipo Class y haga click en el cuadro Group



- Edite el dominio añadiendo los ítems:

<u>Límite máximo</u>	<u>Nombre</u>	<u>Código</u>
0	No apta	1
52	Marginalmente apta	2
78	Moderadamente apta	3
100	Muy apta	4

- Con el objeto de clasificar el mapa Suitscor en el mapa Suitclas en base al dominio grupo Suitclas, escriba la siguiente fórmula en la línea de comando de MapCalc:

Suitclas=Clfy (Suitscor, Suitclas) ↓

- Despliegue el nuevo mapa Suitclas. Edite la representación Suitclas, de tal forma que el área No-apta aparezca en rojo, Marginalmente apta en naranja, Moderadamente apta en amarillo y Muy apta en verde.
- El río (clase río en el mapa Luse91) puede ser sobrepuesto con una operación MapCalc, mapa de salida Suitfin.
- Los segmentos de las carreteras principales en 1991 (Mroad91) puede ser sobrepuestos en negro, y los segmentos de río (River) en celeste.
- Almacene el mapa de aptitud (final) como un mapa virtual Suitview.

7 Aplicando los modelos de aptitud

7.1 Cuantificar el tamaño del área urbana existente en zonas no-aptas y marginalmente aptas

Parte del área urbana existente está localizada en zonas no-aptas o marginalmente apta, dado a los factores de distancia al centro de la ciudad (lejos), pendiente (escarpada) o peligros (alto riesgo de inundaciones o deslizamiento).

El uso urbano del suelo en dichas áreas, en principio, deberían ser relocalizadas a zonas mas aptas (en realidad esto no es probable de suceder, recuerde los ejemplos de Managua y San Francisco).

El mapa clasificado de aptitud Suitclas será cruzado con el mapa de uso del suelo de 1991 Luse91 con dos objetivos:

- (1) para cuantificar el área urbana localizada en zonas no-aptas y marginalmente apta;
- (2) para cuantificar el área no-urbana moderada apta y muy apta para la expansión futura del área urbana.



- Cruce el mapa Luse91 con el mapa de clasificación de aptitud Suitclas para obtener una tabla de cruce cuantitativa Suitarea.
- Despliegue la tabla de cruce, calcule las áreas en hectáreas en la columna Areaha:

$$\text{Areaha} = \text{Area} / 10000 \downarrow$$
- Cree una columna Areahasu que contenga la suma de todos los valores de la columna Areaha. Para hacerlo, seleccione **Columns, Aggregation**. Use la columna Areaha y la función fn Sum. La columna de salida es Areahasu, con el dominio Value, rango 0–9999.9 y una precisión de 0.1.
- Calcule los porcentajes:

$$\text{Areaperc} = \text{Areaha} * 100 / \text{Areahasu} \downarrow$$
 Seleccione el dominio Value, con un rango de 0–100 y una precisión de 0.1.
- Sorte la columna Suitclas, usando domain como la secuencia de récord.
- Calcule el área total para cada clase principal de uso del suelo. Para hacerlo, use **Aggregation** de la columna Areaha, la función fn Sum, **Group by** Luse91. La columna de salida es Luse91clsum.
- Llene la tabla 7.

Tabla 7: Uso urbano del suelo en zonas no-aptas y marginalmente aptas

Uso de suelo	Area in ha in 1991			Area en 1991	
	Total uso principal del suelo	En zona no-apta (1)	En zona marginalmente apta (2)	Total de no-apta + marginalmente apta (1+2)	% uso del suelo en no-apta + marginalmente apta
Residencial					
Comercial					
Industrial					
Institucional					
Recreacional					
Transporte					
En construcción					
Demolición					
Total urbano					

7.2 Despliegue la localización del área urbana existente en suelos no-aptos o marginalmente aptos



- Localice el área urbana en 1991 dentro de las zonas no-aptas o marginalmente aptas, sobreponiendo los mapas Urban91 y Suitclas.

- Asigne las clases del mapa `Suitclas` al área urbana en suelos no-aptos o marginalmente aptos, y asigne las clases del mapa `Urban91` a todos los otros píxeles. Llame el mapa de salida `Nsuiturb` usando una operación de `MapCalc`:

```
Nsuiturb=iff((((Suitclas="No-  
apta") or (Suitclas="Marginalmente  
apta")) and (Urban91="Urbano")), Suitclas, Urban91) ↓
```

Acepte la condición para unir las clases del mapa `Suitclas` dentro el dominio urbano.

El mapa resultante `Nsuiturb` muestra áreas pequeñas en rojo o naranja que actualmente tienen un uso urbano del suelo y al mismo tiempo están consideradas como no-aptas o marginalmente aptas.



- Sobreponga los segmentos camino (`Mroad91`) y río (`River`) para mejorar la orientación en el área. Grabe como un mapa virtual.

7.3 Cuantificar el tamaño de área apta (y no-apta) de expansión urbana en el futuro



- Despliegue la tabla de cruce `Suitarea` y sorté la tabla con `Luse91` como la columna de clase para sortear. El suelo no construido (Clase no construida) en el mapa `Luse91` es considerado disponible para la expansión urbana.
- Entre los resultados en la tabla 8.

Tabla 8: Areas aptas y no-aptas en el área no construida en 1991

Clase de aptitud	Area no construida en 1991 (en ha)
No-apta	
Marginalmente apta	
Moderadamente apta	
Muy apta	
Total	

7.4 Despliegue la aptitud para la expansión en el futuro

Usted creará un mapa que representa las zonas muy aptas, moderadamente aptas, marginalmente aptas y no-aptas en el área no construida en 1991 y que serán utilizadas para la expansión en el futuro. Esto lo hace sobreponiendo los mapas `Urban91` y `Suitclas`.



- Use la operación **MapCalc** para crear un nuevo mapa **Suitnurb**:
`Suitnurb=iff(Urban91="No-urbano", Suitclas, Urban91) ↓`
- Despliegue el mapa **Suitnurb**. Los colores verde y amarillo, respectivamente, representan áreas muy aptas y moderadamente aptas que en este momento están no-construidas.
- Sobreponga los segmentos caminos (**Mroad91**) y segmentos ríos (**River**) para mejorar la orientación en el área.

7.5 Calcule el año cuando las áreas no urbanas con aptitud alta y moderadamente apta sean área urbana



- Calcule el tamaño del área urbana en los años 1992, 1993, etc. Asuma una tasa de crecimiento exponencial de 6% por año, del área urbana (ver capítulo 3) (área 1992= área 1991 * 1.06, área 1993 = área 1991 * 1.06 * 1.06, etc.)

Asuma que las áreas urbanas actualmente localizadas en zonas no-aptas y marginalmente aptas serán relocalizadas a áreas muy aptas.
- Calcule el tamaño de las áreas restantes con aptitud muy apta y moderadamente apta.
- Busque el año en el cual todas las áreas con aptitud muy apta y moderadamente apta en Villavicencio serán urbanizadas y no haya más áreas opcionales con aptitud muy apta y moderadamente apta en el área de estudio.



¿En cual año no hay más terreno muy apto y moderadamente apto disponible en la área de estudio para la urbanización?

7.6 Calcule el año cuando las áreas no urbanas con aptitud alta, moderadamente apta y marginalmente apta sean áreas urbanas



- Asuma que solo el área urbana localizada en zonas no-aptas serán relocalizados a zonas con aptitud muy alta. Asuma que el área no construida en zonas marginalmente aptas, moderadamente aptas y muy aptas pueden ser usadas para la expansión urbana en el futuro. Calcule el tamaño de áreas restantes con aptitud alta, moderadamente y marginalmente aptas.
- Busque el año en el cual todas las áreas con aptitud muy apta, moderadamente apta y marginalmente apta en Villavicencio serán urbanizadas y no haya más áreas opcionales con aptitud alta, moderadamente y marginalmente aptas en el área de estudio

! ¿En cual año no hay mas terreno muy apto, moderadamente apto o marginalmente apto, disponible para la urbanización dentro del área de estudio?

Referencias

- Salas Miranda, J. (1992). *Urban analysis in hazardous zones*. MSc thesis. ITC, Enschede.
- Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Commission on Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards No. 3, 61 pp.

File: Capitdoc, 10 de marzo de 1999