

Estimación del impacto sobre volumen de infiltración del subsuelo en la remodelación del Libramiento Norte Poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Pedro Rafael Enríquez Espinosa¹

Eduardo Estanislao Espinoza Medinilla^{1*}, Roel Simuta Champo^{1*}

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente núm. 1150, col. Lajas Maciel, C.P. 29099, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México. pedro.enriquez9214@gmail.com núm. Tel.9612740892

RESUMEN

Se realizó el análisis del impacto sobre volumen de infiltración de agua pluvial, en el cambio de uso de suelo de los camellones del Libramiento Norte Poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en donde se llevó a cabo un cambio de piso de adoquín y arena por lasjas que sellan completamente y favorecen al escurrimiento superficial del agua. Se determinó el coeficiente de infiltración de los adoquines en el aparato hidrológico mod.H313 los cuales varían según la pendiente. Se hicieron uso dos criterios, análisis de balance hidrológico y determinación de porcentaje de infiltración. La superficie analizada fue de 84,581.136 m² distribuida en adoquines con 59,682.424 m², áreas verdes con 24,898.712 m² con una infiltración de 6822.82 m³/anual antes de la remodelación. En la situación actual 71,475.026 m² pertenecen a lasjas, 12,540.11m² áreas verdes y una infiltración de 1718m³/ anual, incrementando 13.94% en adoquines y una pérdida de 50.36% de superficie en áreas verdes. El agua estimada convertida en escorrentía es de 5,104.82 m³/anual.

Palabras clave: Agua subterránea, Áreas verdes, Coeficiente de infiltración, Evapotranspiración, Escorrentía, Hidrograma, Infiltración, Precipitación, Simulador de lluvia.

ABSTRACT

Analyzing the impact on volume of infiltration of rainwater it was carried out with the change in land use of the ridges north bypass - west of the city of Tuxtla Gutierrez, Chiapas, where he conducted a changed cobblestone floor sand and slabs that sealed completely and favor the runoff water. The rate of infiltration of the cobblestones in the water was determined mod.H313 apparatus which vary the slope. Use two criteria, analysis of hydrological balance and determination of percentage of infiltration were made. The surface was analyzed distributed 84581.136 59682.424 m² cobbles, green areas 24898.712 m² with an infiltration of 6822.82 m³ / year before remodeling. In the current situation 71475.026 m² belong to slabs, 12540.11m² green areas and infiltration of 1718m³ / year, increasing 13.94% on cobblestones and a loss of 50.36% of area in green space. The estimated runoff water is converted to 5104.82 m³ / year.

Keywords: Groundwater, Green areas, coefficient of infiltration, evapotranspiration, runoff, hydrograph, infiltration, precipitation, rain simulator.

INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes nos ayudan a retener grandes cantidades de agua para la infiltración durante un evento de lluvia. Al existir pocas áreas verdes y parques, se tiene un mayor escurrimiento que pueden provocar inundaciones lo que pone en riesgos bienes materiales e incluso podría tener pérdidas de vidas humanas. Existen datos de anteriores investigaciones que estiman que el 90% de las precipitaciones pueden transformarse en escorrentía superficial en zonas urbanas impermeables, mientras que en entornos naturales permeables, este valor descendería

como mínimo hasta un 25% (Suriya y Mudgal 2012). Además, multitud de estudios como los llevados a cabo por Christensen and Christensen (2003) han puesto de manifiesto la modificación en los patrones de las precipitaciones, tanto medias como extremas, asociadas al cambio climático. Estos patrones se verían modificados tanto en su nivel de ocurrencia, como en los valores de intensidades y volúmenes de lluvia, mostrando un incremento claro en las últimas décadas (Christensen y Christensen, 2003).

Como menciona (Schlichting, 1978; Blume, 1990, Doran y Parkin, 1994) que el suelo es un cuerpo natural

y dinámico que desempeña numerosas funciones en los ecosistemas terrestres. Entre las propuestas que se consideran por Schlichting (1978) y Blume (1990) se destaca la de regulación del balance de agua, la cual consiste en la captación y distribución de los aportes en distintos compartimentos del ecosistema, siendo el proceso de infiltración fundamental para el desempeño de tal función. En el ambiente urbano, el rol del suelo como regulador del balance de agua se encuentra considerablemente alterado (Corbin McGriff Jr., 1972). La impermeabilización con pavimento y edificaciones (Pitt *et al.*, 1999, Yusof *et al.*, 2005), sumada a la frecuente compactación de los suelos expuestos (NRCS 2000), limitan cuantiosamente la infiltración, aumentando así la escorrentía y los riesgos de erosión e inundación (Pedron *et al.*, 2004, Gregory *et al.*, 2006). Es por ello que las áreas verdes (camellones, jardines, campos de césped, etc.) adquieren una gran importancia ya que estas actúan como focos de infiltración. El lugar en que vivimos, puede convertirse en un sitio muy distinto al que originalmente existía años atrás, pues la urbanización es un proceso que transforma el entorno de manera drástica y a veces a un ritmo muy acelerado, a tal grado que es difícil que podamos concebir a la ciudad como un ecosistema en sí mismo; sin embargo, la ciudad constituye el centro de toda una red de interacciones, tan diversas que es capaz de impactar la región, plasmando en ella su huella ecológica. Un “ecosistema urbano”, está constituido por al menos cuatro núcleos básicos, 1) las áreas mineras, 2) las áreas rurales, 3) las áreas de asentamientos vecinos y 4) las áreas naturales (Camargo, 2008).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que las ciudades deben tener como mínimo entre 10 y 15 m² de área verde por habitante, distribuidos de manera equitativa con relación a la densidad de la población (CONAMA, 2002).

METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la parte norte poniente de la ciudad chiapaneca, denominado Libramiento Norte Poniente, en el municipio de Tuxtla Gutiérrez. Este municipio está ubicado en la Depresión Central de Chiapas, presentando relieve montañoso tanto al sur como al norte, sus coordenadas geográficas son 16° 45' N y 93° 07' W. Limita al norte con los municipios de San Fernando y Usumacinta, al este con Chiapa de Corzo, al sur con Suchiapa y al oeste con Ocozacoautla y Berriozábal <http://www.inafed.gob.mx/>.

Para determinar el impacto sobre volumen de infiltración del subsuelo en la remodelación del Libramiento Norte Poniente, se utilizaron datos de precipitación pluvial y temperatura media mensual de los datos históricos registrados en la estación, los cuales fueron de los años 1988 al 2013 es decir 25 años en promedio mensual. Los datos de la estación meteorológica se obtuvieron a partir de la base de registro de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Estos datos pertenecen a la estación meteorológica 00007238 El Sabinal, Tuxtla Gutiérrez. Latitud: 16° 45' 33". Longitud: 93° 05' 19" y altitud 498 (tabla 1).

Concepto	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
Precipitación	17.88	14.06	7.33	16.54	75.66	160.12	154.74	196.37	173.75	86.18	33.46	26.64	952.74
Temperatura	18.09	18.61	20.34	21.75	22.84	22.44	21.97	21.81	21.60	20.4	18.90	16.65	20.25

TABLA 1

Registro mensual de precipitación pluvial en mm.

Para determinar el volumen de infiltración se usan dos criterios, para la infiltración en las áreas de adoquines se utiliza el aparato hidrológico para determinar el porcentaje de infiltración (coeficiente de infiltración). Para las áreas verdes se realizó un balance hidrológico utilizando formulas empíricas y se obtiene una lámina de lluvia de infiltración.

Con el uso del aparato hidrológico, Ltd9 modelo H313 se construyó un hidrograma (gasto vs tiempo) en el cual se obtiene el coeficiente de infiltración mediante el tiempo de saturación y el área:

$$V = Q \cdot t$$

$$I = V - E$$

$$\alpha = \frac{I}{V} \times 100$$

Donde:

E= Escurrimiento (l)

Q= Gasto (l/min)

t= Tiempo de la duración de la lluvia

V= Volumen llovido (l)

α = Coeficiente infiltración

El volumen de escurrimiento (E) se obtiene del área bajo la curva del Hidrograma.

La ecuación de Balance Hidrológico es una expresión muy simple, aunque la cuantificación de sus términos es normalmente complicada por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (en acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en la cuenca (Llerena, 2003).

Para estimar la recarga vertical supondremos que lo que la lámina de lluvia que se infiltra en el acuífero es la misma que recarga a éste. De tal forma que tendremos que la lámina que se infiltra al acuífero es igual a:

$$I = P - ETR - E$$

Dónde:

I= infiltración

P= precipitación

ETR= evapotranspiración real

E= escurrimiento

Los análisis realizados en el laboratorio de hidrología con el simulador de lluvia, fueron para determinar el coeficiente de infiltración en adoquines ya que este dato no se conocía y se determinó mediante este análisis en esta investigación.

Para determinar el coeficiente de escurrimiento se hace uso de la formula siguiente:

$$C = k \left(\frac{P - 250}{2000} \right) + \left(\frac{k - 0.15}{1.5} \right)$$

Siendo:

C= coeficiente de escurrimiento anual, adimensional.

P= precipitación anual, en milímetros.

K= parámetro que depende del tipo y uso o cobertura del suelo (tabla 2).

Tipo de suelo	Características		
A	Suelos permeables, tales como arenas profundas y loess poco compactos		
B	Suelos medianamente permeables, tales como arenas de mediana profundidad, loess algo más compactados que los correspondientes a los suelos A; terrenos migajosos		
C	Suelos casi permeables, tales como arenas o loess muy delgados sobre una capa impermeable, o bien arcillas.		
Uso de suelo	Tipo de suelo		
	A	B	C
Barbecho, áreas incultas y desnudas	0.26	0.28	0.30
Cultivos;			
En hilera	0.24	0.27	0.30
Legumbres o rotación de praderas	0.24	0.27	0.30
Granos pequeños	0.24	0.27	0.30
Pastizales:			
% del suelo cubierto o pastoreo			
Más del 75% poco	0.14	0.20	0.28
Del 50% al 75% regular	0.20	0.24	0.30
Menos del 50% excesivo	0.24	0.28	0.30
Bosque:			
Cubierto más del 75%	0.07	0.16	0.24
Cubierto del 50 al 75%	0.12	0.22	0.26
Cubierto del 25 al 50%	0.17	0.26	0.28
Cubierto menos del 25%	0.22	0.28	0.30
Zonas urbanas	0.26	0.29	0.32
Caminos	0.27	0.30	0.33
Praderas permanentes	0.18	0.24	0.30

TABLA 2

Valores de k en función del tipo y uso de suelo. NOM-011-CNA-2000.

Para obtener la evapotranspiración real se hace uso de la ecuación de tipo II de Coutagne:

$$ETR = P - \lambda P^2 \quad \lambda = \frac{1.00}{0.80 + 0.14T}$$

Fórmulas que están en función de la temperatura y precipitación media mensual.

RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos en las mediciones de los camellones, se determinó que la superficie total en el camellón del Libramiento Norte Poniente es de: 84,581.136 m² y estas se encontraban divididas en áreas verdes y adoquinado (véase tabla 3). De igual forma, en la remodelación se dividieron en áreas verdes y las existiendo modificaciones en la superficie de las denominaciones (véase tabla 4).

Concepto	Superficie en m ²
Adoquinado	59,682.424
Áreas verdes	24,898.712
Superficie total	84,581.136

TABLA 3

Superficie del camellón Libramiento Norte Poniente antes de la remodelación.

Concepto	Superficie total m ²
Lajas	71,475.026
Áreas verdes	12,540.11
Superficie total	84,581.136

TABLA 4

Superficie del camellón Libramiento Norte Poniente actual.

Respecto a la situación actual del camellón en el tramo de estudio del Libramiento Norte Poniente se puede decir que las áreas verdes se han reducido en un 50%. Desapareciendo el área de adoquines sustituyéndolos por lasjas, resultando así un área impermeable en un 85%. Y conservando únicamente una superficie de infiltración del 15% con respecto a la superficie total de los camellones.

La diferencia entre el volumen total de lluvia simulada y el volumen total escurrido es el volumen de infiltración, obteniéndose el porcentaje de la infiltración a partir del

cociente entre el volumen de infiltración y el volumen de lluvia simulada. Tabla 5.

Intensidad en l/min	Pendiente en %	Coefficiente infiltración
6	0	0.433
12	1	0.238
18	2	0.10
22	4	0.06

TABLA 5

Coefficiente de infiltración en adoquines.

Para las áreas verdes de la zona de estudio del Libramiento Norte Poniente se considera el valor de K de 0.24. Si se tiene una precipitación media anual de 952.74 mm entonces el coeficiente de escurrimiento para las diferentes zonas es el siguiente:

$$C = 0.24 \left(\frac{952.74 - 250}{2000} \right) + \left(\frac{0.24 - 0.15}{1.5} \right) = 0.144$$

Y el escurrimiento en la zona de área verde es:
 $E = CP = (0.144)(952.74) = 137.19$ mm.

La evapotranspiración de acuerdo a esta fórmula de Coutagne (Campos Aranda, 1998) es:

$$ETR = P - \lambda P^2$$

$$\text{Con } \lambda = \frac{1.00}{0.80 + 0.14T} = \frac{1.00}{0.80 + 0.14(20.45)} = 0.273$$

$$ETR = 0.95274 - 0.273(0.95274)^2 = 0.678 \text{ m}$$

ETR = 678 milímetros promedio anual.

Aplicando la ecuación del balance hidrológico se tiene que la lámina de lluvia en las áreas verdes es la siguiente:

$$I = P - ETR - E$$

$$I = 952.74 - 678 - 137.55$$

$$I = 137.55 \text{ mm.}$$

Conforme a las pendientes utilizadas en las pruebas de infiltración, se realizó el algebra de mapas a partir de un Modelo Digital de Elevación (DEM) de la superfi-

cie total de los camellones del tramos del Libramiento Norte Poniente, generando así un mapa de pendiente. Los resultados obtenidos del algebra de mapas, identificaron pendientes mayores del 4%, considerando que la pendiente máxima del aparato hidrológico es de 4%, se decidió utilizar esta pendiente con el coeficiente de infiltración de 0.06.

De acuerdo al coeficiente de infiltración en adoquines y áreas verdes el volumen de infiltración queda determinado de la forma siguiente: antes de la remodelación se tenía una infiltración en áreas verdes de 3411.12 m³/anuales, una superficie de 24,898.712 m² y ocupa un 71%

de la superficie total y en adoquines 3,411.71 m³/anual, una superficie de 59,682.424 m² ocupando un 29% de la superficie total. Después de la remodelación se tiene 1717 m³/anuales en áreas verdes, una superficie de 12,540.11 m² ocupando el 85% de la superficie total mientras que en las lajas la infiltración es 0 m³/anuales con una superficie de 71,041.712 m² ocupando un 85% de la superficie total.

Mediante los valores obtenidos para cada concepto, se graficó los diferentes escenarios aproximados en m³ para el tramo de la zona de estudio del Libramiento Norte Poniente de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (Tabla 6).

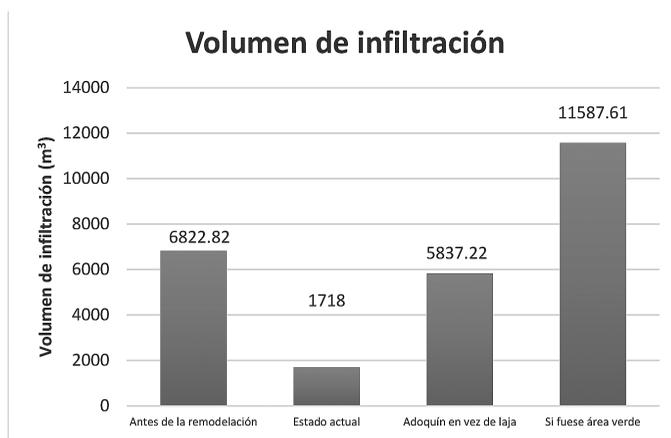


TABLA 6 Volumen de infiltración.

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos observamos el cambio de uso de suelo impacta directamente en los niveles de disponibilidad de agua de los acuíferos, por lo que cualquier actividad encaminada a favorecer el proceso de infiltración es de vital importancia para las reservas acuíferas.

El agua que no se infiltra en cualquier evento de precipitación genera una escorrentía, por lo tanto en-

tre más áreas se tengan que favorezcan la infiltración menor será el volumen de escurrimiento favoreciendo así la infraestructura vial y se reduce los riesgos de inundaciones. La cantidad de agua estimada que se convierte en escorrentía en las situaciones actuales del tramo de estudio con respecto al camellón antes de la remodelación es de 5,104.82 m³/anual lo que genera un mayor aumento de erosión que repercute en el aumento del daño de las vialidades de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

LITERATURA CITADA

BLUME HP., 1990. Einführung. In Blume HP eds. Handbuch des Bodenschutzes. Landsberg, Germany. *Ecomed-Verlag*. p. 1-3.

CAMARGO, P. DE L.G G., 2008. Estado y perspectivas de los ecosistemas urbanos de Bogotá prioridades 2008 - 2011. *Foro nacional ambiental. Documento de políticas públicas. Universidad piloto de Colombia.*

- CAMPOS-ARANDA, D.F., 1998.** Procesos del ciclo hidrológico. 3ra. Reimpresión. Universidad autónoma de san Luis Potosí. Facultad de ingenierías. San Luis Potosí, México.
- CHRISTENSEN, J.H., & O.B. CHRISTENSEN, 2003.** "Severe summer time flooding in Europe." *Nature*, 421 (6925): 805-806.
- CONAMA. 2002.** Áreas verdes en el gran Santiago. Gobierno de Chile. CONAMA R.M.
- CORBIN MCGRIFF JR. E., 1972.** The effects of urbanization water quality. *J. Environ. Qual.* 1: 86-89.
- DORAN JW, TB PARKIN. 1994.** Defining and assessing soil quality. In Doran JW, DC Coleman, DF Bezdiek, BA Stewart eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Wisconsin, USA. SSSA *Special Publication* 35: 3-21.
- GREGORY J.H., M.D. DUKES, P.H. JONES & G.L. MILLER, 2006.** Effect of urban soil compaction infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation* 61 (3): 117-123.
- LLERENA, C.A., 2003.** Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú. FAO Presentado en el *Foro Regional sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA)*, Arequipa, Perú, 9-12 junio 2003, durante el Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.
- LOCALIZACIÓN TUXTLA GUTIÉRREZ:** <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM07chiapas/municipios/07101a.html>
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-011-CNA-2000. 2000.** Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. PROYECTO de *Diario Oficial de la Federación*, 2 de agosto de 2001.
- NRCS NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, US. 2000.** *Urbansoilcompaction. Soil quality-Urbantechnical note N° 2.* Consultado junio 17, 2015. Disponible en <http://soils.usda.gov/sqi/files/u02.pdf>.
- PEDRON F. DE A.DINIZ R.S., A.C. DE AZEVEDO & J. KAMINSKI, 2004.** Solos urbanos. *Ciência Rural* 34 (5): 1647-1653.
- PITT, R. J. LANTRIP AND R. HARRISON, 1999.** Infiltration through disturbed urban soils and compost-amended soil effects on runoff quality and quantity. *Research report EPPA/600/R-00/016. Office of Research and Development. U.S.EPA. Washington D.C.*
- SCHLICHTING E., 1978.** Funktionen von Böden in der Ökosphäre. Daten u. Dokumente Z. *Umweltschutz.* 22: 9-12.
- SURIYA, S. & B.V. MUDGAL, 2012.** Impact of urbanizationonflooding: TheThirusoolam sub watershed - A case study. *Journal of Hydrology* pp. 412-413, 210- 219.
- YUSOF, M.F., N.A. ZAKARIA, A.A. GHANI, R. ABDULLAH & C.K. CHANG, 2005.** Infiltration study for urban soil: case studies - Butterworth and Engineering Campus, University Sains Malaysia. *Proceedings of the Congress - International Association for Hydraulic Research, September 11-16, 2005, Seoul, Korea.*