



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TECNICA

TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**Estudio de la influencia de la densidad espacial y cobertura superficial en la
escorrentía en zonas urbanas.**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Shingre Mora, Byron José

DIRECTOR: Oñate Valdivieso, Fernando Rodrigo, PhD

LOJA – ECUADOR

2015



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

Septiembre, 2015

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Doctor.

Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: **Estudio de la influencia de la densidad espacial y cobertura superficial en la escorrentía en zonas urbanas** realizado por Byron José Shingre Mora, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Octubre de 2015

f).....

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Shingre Mora Byron José declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **Estudio de la influencia de la densidad espacial y cobertura superficial en la escorrentía en zonas urbanas**, de la Titulación de Ingeniería Civil., siendo Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso PhD. director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.....

Autor: Shingre Mora Byron José

Cédula: 1104104847

DEDICATORIA

A Dios.

Por permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente.

A mi mamá (QEPD).

Por ser el Ángel que desde el cielo guía cada uno de mis pasos para que nunca baje los brazos y me dé por vencido ya que fue la persona que desde siempre me dio los mejores consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi papá.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba.

A mi hermana.

Porque quiero ser un ejemplo de perseverancia y dedicación, por ser quien comparte cada día junto a mí y me llena de mucho amor.

A mi novia.

Quien me apoyo y alentó para continuar, por permanecer junto a mí para ayudarme a cumplir cada una de mis metas.

A mi hijo

Por ser la persona que llego alegrar cada uno de mis días, por convertirte en el motivo de seguir luchado y nunca darme por vencido, te amo.

Gracias a esas personas importantes en mi vida, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado. Con todo mi cariño esta tesis se las dedico a toda mi familia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por guiarme en el sendero correcto de la vida, cada día en el transcurso de mi camino e iluminándome en todo lo que realizo de mi convivir diario.

A mi madre (QEPD) por ser quien me dio la vida y guio cada uno de mis pasos y brindarme siempre lo mejor y ser la persona quien me dio las fuerzas para comenzar con esta meta profesional.

A mi padre por ser mi ejemplo para seguir adelante en el convivir diario y por inculcarme valores que de una u otra forma me han servido en la vida, por ser la persona que estuvo siempre junto a mi en los momentos más difíciles y nunca me dejo rendir, gracias por eso y por muchos más.

A mi hermana por ser mi compañera y siempre permanecer junto a mi brindándome muchas alegrías.

A mi director de tesis el Doctor Fernando Oñate Valdivieso por tenerme paciencia y por guiarme en cada paso de este proyecto.

A mis docentes de la Universidad Técnica Particular de Loja que me impartieron sus conocimientos y experiencias en el transcurso de mi vida estudiantil y que me ayudaron de una u otra forma para hacer posible la realización de la tesis.

A la Universidad Técnica Particular de Loja por abrirme las puertas para poderme formar profesionalmente con valores morales y éticos.

INDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS.....	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPITULO I:	5
ESTADO DEL ARTE.....	5
CAPITULO II:	8
MATERIALES Y MÉTODOS	8
2.1 Área de estudio.....	9
2.2 Tipologías urbanas (zonas de estudio).....	10
2.3 Número de la Curva.....	14
2.4 Intensidad de precipitación.....	15
2.5 Caudales de crecida.....	17
2.6 Análisis de escenarios	18
CAPITULO III:	19
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
CONCLUSIONES.....	37
RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

ANEXOS	43
Anexo 1. (Tablas consultadas).....	44
Anexo 2. (Ensayos de laboratorio)	47
Anexo 3. (Calculos realizados).....	54
Anexo 4.(Memoria fotografica)	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Cuenca.....	10
Figura 2. Zonas seleccionadas de la ciudad de Cuenca para ser analizadas.....	11
Figura 3. Zona 1.....	11
Figura 4. Zona 2.....	12
Figura 5. Zona 3.....	12
Figura 6. Zona 4.....	13
Figura 7. Zona 5.....	13
Figura 8. Zona 6.....	14
Figura 9. Zonas de intensidades para la ciudad de Cuenca.....	16
Figura 10. Tipos de cobertura para cada zona de estudio.....	20
Figura 11. Porcentajes y áreas de las cubiertas superficiales para cada zona de estudio...	21
Figura 12. Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia del área de estudio: a.) zona de intensidad A, b.) zona de intensidad B.....	25
Figura 13. Precipitaciones efectivas con un CND y un CNG para un TR de 25 años	27
Figura 14. Precipitaciones efectivas con un CND y un CNG para un TR de 50 años	28
Figura 15. Precipitaciones efectivas con un CND y un CNG para un TR de 100 años	29
Figura 16. Diferencia porcentual de la precipitación efectiva respecto a la precipitación total	31
Figura 17. Hidrogramas unitarios	32
Figura 18. Incremento de la Pe al aumentar la cobertura impermeable para la zona 3	35
Figura 19. Incremento de la Pe al aumentar la cobertura impermeable para la zona 6	36

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Crecimiento poblacional.....	10
Tabla 2. Porcentajes de permeabilidad e impermeabilidad	22
Tabla 3. Clasificación del Suelo.....	23
Tabla 4. Calculo del CN Ponderado para cada zona	24
Tabla 5. Caudales de crecida para cada zona de estudio	33

RESUMEN

El cambio del uso de suelo y concretamente la urbanización se considera como uno de los aspectos que favorecen las inundaciones debido a la impermeabilización que esta conlleva. El método del Número de la Curva es el más utilizado para caracterizar las condiciones de infiltración que corresponden a cada ocupación del suelo. El presente estudio pretende determinar la influencia del nivel de detalle en la determinación del Número de la Curva en el cálculo de la precipitación efectiva en 6 zonas en la ciudad de Cuenca. Se estudiará la influencia del cambio de ocupación del suelo en la escorrentía superficial según diferentes escenarios. Se observó que existe una relación inversa entre la diferencia porcentual entre la precipitación efectiva calculada con el Número de la Curva con diferente nivel de detalle y la duración de la tormenta así como una relación inversa entre el periodo de retorno y dicha diferencia porcentual. Se pudo comprobar que incrementos del 40% de áreas impermeables producen un incremento en la escorrentía superficial del orden del 65% para tormentas de 10 minutos de duración.

PALABRAS CLAVES: Escorrentía, Numero de la Curva, Zonas urbanas, Cambio uso de suelo.

ABSTRACT

The change of land use and particularly urbanization is considered as one of the aspects that favour the floods due to waterproofing that this entails. The curve number method is most often used to characterize the conditions of infiltration that correspond to land use. The present study aims to determine the influence of the level of detail in the determination of the number of the curve in the calculation of the effective precipitation in 6 zones in the city of Cuenca. The influence of the change of land use in surface runoff based on different scenarios is studied. We founded that there is an inverse relationship between the percentage difference between the calculated effective precipitation with the number of the curve with different level of detail, and the duration of the storm, as well as an inverse relationship between the period of return and the percentage difference. It was found that increases of 40% of impervious areas produce an increase in surface runoff in the order of 65% for storms 10 minutes duration.

KEYWORDS: Runoff, Curve Number, Urban areas, Changing land use.

INTRODUCCIÓN

El cambio del uso de suelo y concretamente la urbanización se considera como uno de los aspectos que favorecen las inundaciones debido a la impermeabilización que esta conlleva, por ende es necesario realizar un estudio de la influencia de la densidad espacial y cobertura superficial en la escorrentía en zonas urbanas. En el presente trabajo de fin de Titulación se estudiará el efecto que tiene la escala en la escorrentía superficial, es decir el grado de detalle con el cual se determina los parámetros usados para caracterizar la infiltración, según cada cobertura. El método del Número de la Curva es el más utilizado para caracterizar las condiciones de infiltración que corresponden a cada ocupación del suelo. Por lo que se pretende determinar la influencia del nivel de detalle en la determinación del Número de la Curva en el cálculo de la precipitación efectiva en 6 zonas en la ciudad de Cuenca. Adicionalmente se estudiará la influencia del cambio de ocupación del suelo en la escorrentía superficial según diferentes escenarios en 2 de dichas zonas.

Conocer con detalle las características de la infiltración según diferentes coberturas del suelo es importante desde el punto de vista científico ya que la infiltración se relaciona directamente con el riesgo de inundación al que está expuesta una comunidad, así como al riesgo de movimientos de masa. La infiltración es uno de los factores que condiciona las tareas agrícolas, el diseño de sistemas de drenaje pluvial entre otros aspectos que influyen en la calidad de vida de las personas. Por ello los resultados de la presente investigación pueden ser relevantes para municipios, Secretaria de Gestión de Riesgos, la Universidad, entre otros.

El objetivo general del presente trabajo de fin de titulación es estudiar la influencia de la densidad espacial y cobertura superficial en la escorrentía en zonas urbanas. Para ello se seleccionarán 6 zonas con diferente grado de desarrollo urbano en la ciudad de Cuenca, se definirán mediante el Número de la Curva las características de infiltración de cada zona con dos niveles de detalle, se determinará la precipitación efectiva para cada nivel de detalle así como sus correspondientes caudales de crecida. Con la finalidad de estudiar el efecto del cambio de ocupación del suelo, se plantearan diferentes escenarios los cuales serán evaluados en función de la escorrentía superficial.

Para el desarrollo del presente trabajo de fin de Titulación se contará con el apoyo del grupo de investigación en Hidrología y Climatología del Departamento de Geología, Minas e Ingeniería Civil quienes facilitaran el acceso a bibliografía especializada, asesoramiento, etc.

El presente trabajo de fin de Titulación cuenta con los siguientes capítulos:

Capítulo I: Estado del Arte: Se presenta una revisión bibliográfica de trabajos científicos afines publicados en revistas indexadas de alto impacto.

Capítulo II: Materiales y Métodos: Se describe la metodología empleada en el desarrollo del presente trabajo de fin de Titulación.

Capítulo III: Resultados y Discusión: se presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo de fin de Titulación y se los contrasta con resultados reportados en la literatura.

Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones: se resumen los aspectos más relevantes de la investigación realizada.

**CAPITULO I:
ESTADO DEL ARTE**

El suelo es un cuerpo natural y dinámico que desempeña numerosas funciones en los ecosistemas terrestres (Schlichting, 1978; Blume, 1990; Doran & Parkin, 1994). En zonas urbanas la impermeabilización con pavimento y edificaciones, sumada a la frecuente compactación de los suelos expuestos, limitan cuantiosamente la infiltración, aumentando así la escorrentía y los riesgos de erosión e inundación (Pedron *et al.*, 2004; Gregory *et al.*, 2006).Comentario

La urbanización altera la fase terrestre del ciclo hidrológico, incrementando el volumen y la velocidad del escurrimiento superficial, debido a la reducción de la infiltración en los suelos y a la mayor eficiencia hidráulica de los elementos del drenaje para conducir las aguas de tormenta (Campos, 1999). El efecto de la impermeabilidad debido a la urbanización, el cambio de las características hidrológicas de una cuenca ha sido ampliamente estudiado (por ejemplo Beighley *et al.*, 2009; Han & Burian, 2009; Ravagnani *et al.*, 2009). La reducción de la escorrentía superficial debida al incremento de áreas forestales en zonas urbanas ha sido reportada por Gill *et al.*, (2007) y Wang *et al.*, (2008). Varios factores, además de duración de la precipitación, como por ejemplo, el espesor del suelo y su tipo, características de humedad del suelo, la pendiente, los techos, la posición del techo y la dirección de la luz solar afectan directamente al escurrimiento (Berndtsson, 2010). Se ha identificado además a la urbanización como uno de los factores dominantes que contribuyen a las inundaciones en las ciudades (Sreeja & Gupta, 2006; RIBA, 2011).

Una opción para hacer frente a estos problemas es facilitar in situ la infiltración de aguas pluviales reduciendo los volúmenes y flujos de escorrentía (Bean *et al.*, 2007a; Scholz & Grabowiecki, 2007; Collins *et al.*, 2008), reduciendo el área de superficies impermeables, utilizando sistemas de infiltración de aguas pluviales como pavimentos permeables, zanjas de infiltración y césped (Dietz, 2007), incluso los jardines domésticos podrían contribuir a la mitigación de inundaciones (Cameron *et al.*, 2012). Sistemas de drenaje sostenible basado en cubiertas vegetadas, franjas filtrantes, cunetas verdes, estanques de retención, humedales, como los propuestos por Brander *et al.*, (2004) y Villarreal *et al.*, (2004), han permitido una mayor reducción de la escorrentía superficial.

Existen diferentes modelos para evaluar la relación entre la infiltración y las condiciones de tipo y cobertura de suelo. Probablemente, el más utilizado sea el método del Número de la Curva SCS-CN (Mishra & Singh, 2006; Sahu *et al.*, 2007; Soulis *et al.*, 2009). El método SCS-CN, describe numéricamente una combinación específica de suelo, cobertura de suelo, su tratamiento y su condición de humedad antecedente para establecer la precipitación efectiva en una área determinada (Terzoudi *et al.*, 2007 y Campos, 2011b).

El método del Número de la Curva se ha aplicado exitosamente en el estudio de relaciones lluvia escorrentía en cuencas no aforadas (Wang et al., 2012; Mishra et al., 2013). En estudios de hidrología urbana: para la determinación el efecto de la ocupación del suelo en la infiltración (Tirkey et al., 2013), para evaluar el riesgo de inundaciones (Hong & Adler, 2008; Awadallah et al., 2015), para evaluación de sistema de drenaje pluvial (Koehna et al., 2011).Comentario

En el presente estudio se pretende estudiar el efecto que tiene la escala para determinar el Número de la Curva y su relación con la escorrentía, para ello se analizaran diferentes tipologías urbanas, se determinará la ocupación espacial con alto nivel de detalle para calcular la escorrentía aplicando el Número de la Curva. En las zonas con bajo desarrollo urbanístico se propondrán escenarios de ocupación de suelo para estudiar el efecto que los cambios de ocupación de suelo tienen en la escorrentía superficial.

**CAPITULO II:
MATERIALES Y MÉTODOS**

2.1 Área de estudio.

La ciudad de Cuenca se encuentra al sur de la República del Ecuador en las coordenadas 2°90' de latitud sur y 79°01' de longitud oeste en su plaza central situada a 2550 msnm con un área de 72 km². Fue declarada patrimonio cultural de la humanidad por la UNESCO en 1999. Cuenca goza de un clima privilegiado por ubicarse dentro de un amplio valle andino con una temperatura variable entre 7 a 15°C en invierno y, 12 a 25°C en verano pudiendo decir que tiene un clima primaveral todo el año lo que favorece a la siembra de flores y orquídeas que se exportan a todo el mundo. Esta ciudad tiene una temperatura promedio de 15°C. La ubicación de la ciudad se ve beneficiada por la presencia de cuatro importantes ríos que atraviesan la urbe, el Tomebamba, el Yanuncay, el Tarqui y el Machángara, que se forman a partir de las lagunas de origen glacial del Parque Nacional El Cajas ubicado a 30 km al oeste de la ciudad. Cuenca es la tercera ciudad más importante del Ecuador, después de Guayaquil y Quito, con 365492 habitantes en el área urbana. La ciudad, particularmente en su zona histórica y central, conserva su diseño en cuadras perpendiculares. Su Centro Histórico está compuesto por una ciudad de aires coloniales, pues la mayoría de sus atractivos construcciones provienen del siglo XIX. Hay también algunas edificaciones del siglo XVIII, como por ejemplo los dos conventos de clausura, el de El Carmen y el de la Inmaculada Concepción, y algunas casas particulares; el conjunto está constituido por 26 edificios de valor monumental, 602 de valor arquitectónico y 830 de valor ambiental. Según el documento de la UNESCO, en el centro de la ciudad se ubican trascendentales vestigios históricos: museos e iglesias antiguas (como la Catedral de la Inmaculada Concepción, una de la más grandes de América, y otras que datan de los siglos XVI y XVII), calles adoquinadas y casas con fachadas de forma republicana que demuestran predomios arquitectónicos europeos. La ciudad es además conocida como la "Cuenca de los Andes" o la "Atenas del Ecuador" por ser la ciudad de origen de varios poetas y personalidades históricas (GADM-CC. 2014).

La ubicación de la ciudad se presenta la figura 1.

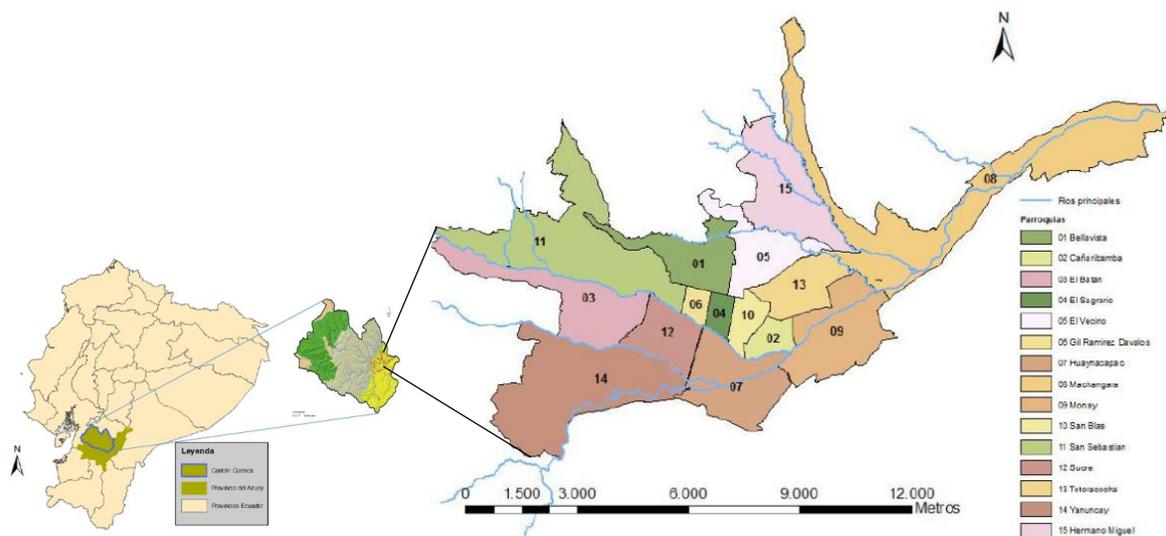


Figura 1. Mapa de ubicación de la ciudad de Cuenca

Fuente: INEC

Elaboración: Propia

2.2 Tipologías urbanas (zonas de estudio)

Dentro de la ciudad de Cuenca existen diferentes tipologías de asentamientos urbanos. Uno de los factores que influye al aumento de la cobertura superficial se debe al continuo crecimiento de la población ya que de acuerdo con el Censo de Población y Vivienda (CPV) 2010 se tiene una proyección de población para la ciudad de Cuenca hasta el año 2030 con una tasa de crecimiento anual del 0.02 para la zona urbana.

Tabla 1. Crecimiento poblacional

AREA CANTONAL (urbana y rural)	CENSO		AÑOS DE PROYECCIÓN				Tasa de crecimiento
	2001	2010	2015	2020	2025	2030	
Area urbana (Cuenca)	278995	331888	365492	402498	443251	488131	0.02
Area rural (parroquias rurales)	138637	173697	191284	217778	248658	284677	0.03
Total cantonal	417632	505585	556776	620276	691909	772808	

Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) 2010

Elaboración: Propia

El índice de crecimiento poblacional de la ciudad de Cuenca ha incidido directamente en su desarrollo urbanístico presentándose diferentes tipos de cobertura superficial de alta, media y baja densidad. Al igual que en otras ciudades, en los últimos años, ha habido una tendencia acelerada para el incremento de áreas impermeables en zonas residenciales, dando lugar a un aumento de la escorrentía superficial (Foltyn, 2011; Christiansson, 2012; Persson et al., 2012).

En el presente estudio, 6 zonas con diferentes tipologías urbanas, y por ende con distintas características de infiltración, fueron seleccionadas: Su ubicación se presenta en la figura 2.



Figura 2: Zonas seleccionadas de la ciudad de Cuenca para ser analizadas
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

Zona 1.

Este lugar se encuentra en las coordenadas 2°92' de latitud sur y 79°04' de longitud oeste con una altura de 2587 msnm, esta zona tiene un área de 10.88 hectáreas, y se caracteriza por presentar casas unifamiliares, con calles pavimentadas y áreas verdes que cubren no más del 40% del área total este porcentaje se debe a que existen amplias zonas no edificadas.



Figura 3: Zona 1
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

Zona 2.

Este lugar es parte del centro histórico de la ciudad de Cuenca en las coordenadas 2°89' de latitud sur y 79°00' de longitud oeste con una altura de 2550 msnm, y cuenta con un área de 10.55 hectáreas. Es una zona muy impermeable conformada por edificios, casas

patrimoniales, la Catedral, patios y vías pavimentadas. Las áreas verdes, equivalentes a un 10% de la superficie total, la constituyen el parque Calderón y los jardines interiores de algunas viviendas.



Figura 4: Zona 2
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

Zona 3.

Este lugar se encuentra en uno de los lugares más altos de la ciudad de Cuenca en las coordenadas 2°86' de latitud sur y 79°03' de longitud oeste con una altura de 2800 msnm, ocupando un área de 4.96 hectáreas. Este sitio es una combinación de una zona residencial con un alto grado de impermeabilidad debido a que se encuentra cubierto en un 90% de pavimento y viviendas, junto a esta zona residencial se encuentra un barrio con pocas viviendas y gran cantidad de áreas verdes.



Figura 5: Zona 3
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

Zona 4.

Este lugar se encuentra junto al Rio Tomebamba en las coordenadas 2°89' de latitud sur y 79°03' de longitud oeste con una altura de 2577 msnm. Esta zona tiene un área de 4.51 hectáreas, se caracteriza por ser un lugar residencial que cuenta con un parque privado, algunas viviendas también cuentan con pequeños jardines ocupando un 30% del área total.



Figura 6: Zona 4
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

Zona 5.

Este lugar es el parque industrial de la ciudad de Cuenca se encuentra en las coordenadas 2°89' de latitud sur y 78°98' de longitud oeste con una altura de 2493 msnm, y tiene un área de 10.51 hectáreas, en esta zona se genera una gran cantidad de escorrentía superficial debido a que se encuentra en su totalidad cubierto por material impermeable.

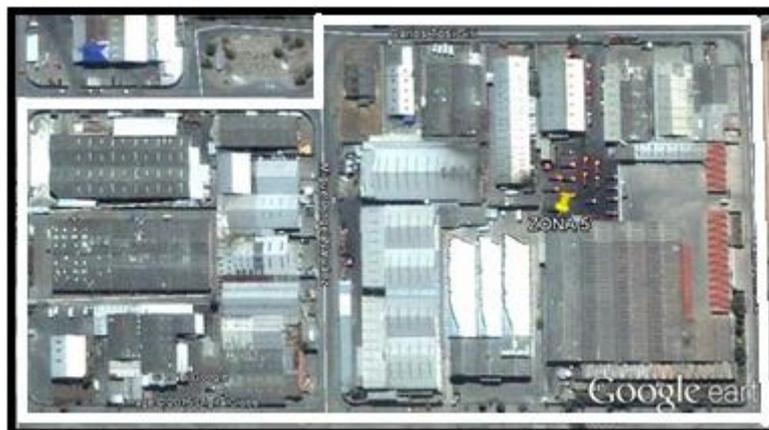


Figura 7. Zona 5
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

Zona 6.

Esta zona cuenta con poca densidad poblacional y gran cobertura vegetal (equivalente al 85% del área total), no cuenta con calles pavimentadas y se encuentra a 2°92' de latitud sur y 79°03' de longitud oeste con una altura de 2643 msnm, esta zona tiene un área de 12.73 hectáreas, este lugar cuenta con una gran pendiente que facilita la escorrentía superficial.



Figura 8: Zona 6
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

2.3 Número de la Curva.

El método SCS-CN es muy utilizado para el cálculo de la escorrentía superficial directa para los diferentes tipos de densidad urbana. El método SCS-CN se basa en estudios empíricos aplicables a cuencas pequeñas y no aforadas (Garen & Moore, 2005), y calcula sólo la escorrentía superficial directa. No tiene en cuenta la escorrentía causada por los altos niveles de agua subterránea y el flujo base.

La retención del agua se convierte en un Número de la Curva adimensional que va desde 0 (sin escurrimiento) a 100 (escorrentía total) (NRCS, 1986). Las superficies altamente impermeables, por ejemplo asfalto y concreto, donde la gran mayoría de la precipitación se convierte en escorrentía superficial, se establece así un número de la curva de por ejemplo 98, para la cubierta vegetal, por ejemplo, la hierba de césped, cubierta de árboles (verano), etc., se toma un Número de Curva de 25 a 80, en función de la textura del suelo (es decir, se toma valores más bajos para suelos como arena y valores altos para suelos con un alto contenido de arcilla). El método SCS-CN clasifica los suelos en cuatro grupos diferentes: (A) muy permeable, (B) permeable, (C) impermeable, y (D) muy impermeable.

Para el presente estudio se utilizan imágenes tomadas de Google Earth que presentan alta resolución para el área en estudio. Empleando AutoCAD se procedió a digitalizar en pantalla las zonas correspondientes a techos, viviendas, calles, aceras, jardines, parques y zonas no edificadas. Se determinó el área de cada una de las zonas de estudio determinándose los porcentajes presentes según cada cobertura.

Se tomaron muestras de suelos las que han sido ensayadas en laboratorio aplicando las normas AASHTO obteniéndose el análisis granulométrico (AASHTO T- 27), límite líquido (AASHTO T-89), índice de plasticidad (AASHTO T-89), límite plástico (AASHTO T-90), contenido de humedad (AASHTO T- 265), para finalmente clasificar al suelo dentro de una de las categorías de grupo hidrológico de suelo según AASHTO M-145.

Empleando las tablas incluidas en la literatura (Monsalve, 2009; Chow, 1994; Aparicio, 1989), se procedió a calcular el Número de la Curva para cada una de las combinaciones de suelo cobertura identificadas, calculándose finalmente un Número de Curva para cada zona mediante un promedio ponderado, considerando el porcentaje de superficie ocupado por cada combinación. A este se lo ha denominado Número de la Curva Detallado (CND).

Para fines de comparación se determinó el CN correspondiente a cada zona, sin considerar el detalle de su composición espacial, sino considerando a cada zona como comercial, industrial y área urbana residencial por tamaño promedio de lote según el caso. A este se lo ha denominado Número de la Curva Generalizado (CNG).

Para el presente estudio se consideró la condición de humedad antecedente (AMC II) que indica el grado de saturación del suelo en condición normal como lo explica Monsalve (2009).

2.4 Intensidad de precipitación

Las intensidades de precipitación para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años se determinaron empleando las ecuaciones propuestas por Rodríguez (1999) que divide al área de estudio en dos zonas de intensidad.

Zona de intensidad A:

$$5 < 60 \text{ min:} \quad I = 137.27 * t^{-0.5153} * I_{dtr} \quad (1)$$

$$60 > 1440 \text{ min:} \quad I = 578.56 * t^{-0.8736} * I_{dtr} \quad (2)$$

Zona de Intensidad B:

$$5 < 60 \text{ min: } I = 138.01 * t^{-0.4482} * Idtr \quad (3)$$

$$60 > 1440 \text{ min: } I = 614.13 * t^{-0.8935} * Idtr \quad (4)$$

Tr 25 años: Idtr = 3.0

Tr 50 años: Idtr = 3.35

Tr 100 años: Idtr = 3.58

En donde:

I: Intensidad en (mm/h).

t: Tiempo en (minutos).

Tr: Tiempo de retorno (años).

Idtr: Parámetro adimensional para cada periodo de retorno. Comentario

La ubicación de las zonas de intensidad se presenta en la figura 9



Figura 9. Zonas de intensidades para la ciudad de Cuenca
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

Con el cálculo de las intensidades se puede obtener las precipitaciones de cada zona de estudio, con estas precipitaciones y los CN ponderados que calculamos podemos obtener las precipitaciones efectivas, para este cálculo Aparicio, (1989) propone la siguiente ecuación:

$$Pe = \frac{(P - \frac{508}{CN} + 5.08)^2}{P + \frac{2032}{CN} - 20.32} \quad (5)$$

En donde:

P: Altura de lluvia total en (cm).

Pe: Altura de lluvia efectiva en (cm).

2.5 Caudales de crecida

Se calculó el hidrograma unitario para cada zona de estudio, empleado el método desarrollado por SCS, aplicando las siguientes ecuaciones que las podemos obtener de Aparicio, (1989):

$$Q_p = \frac{0.208 * A}{t_p} \quad (6)$$

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r \quad (7)$$

$$t_b = 2.67 * t_p \quad (8)$$

$$d_e = 2\sqrt{t_c} \quad (9)$$

$$t_r = 0.6 * t_c \quad (10)$$

$$t_c = 0.000325 * L^{0.77} * S^{-0.385} \quad (11)$$

En donde:

Qp: Caudal pico en (m³/h).

tp: Tiempo pico en horas.

tb: Tiempo base en horas.

de: Duración efectiva en horas.

tr: Tiempo de retraso en horas.

tc: Tiempo de concentración en horas.

L: Longitud del cauce principal en metros.

S: Pendiente en m/m.

2.6 Análisis de escenarios

Considerando que las zonas 3 y 6 aún no han alcanzado el grado máximo de desarrollo urbano, se consideró oportuno analizar la posible variación de la escorrentía superficial conforme cambia la ocupación del suelo, para ello se plantearon los siguientes escenarios, para la zona 3: 10% de incremento de área impermeable, 15% de incremento de área impermeable, 20% de incremento de área impermeable y 25% de área impermeable; para la zona 6: 10% de incremento de área impermeable, 20% de incremento de área impermeable, 30% de incremento de área impermeable y 40% de incremento de área impermeable. Empleando estos escenarios y el CND se determinó la precipitación efectiva, de esta manera se puede analizar el efecto del cambio de ocupación del suelo en la escorrentía según varios escenarios.

**CAPITULO III:
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

En la figura 10 se presentan las diferentes coberturas identificadas en cada zona. En la figura 11 se incluyen las áreas según cada cobertura y su correspondiente porcentaje de ocupación.

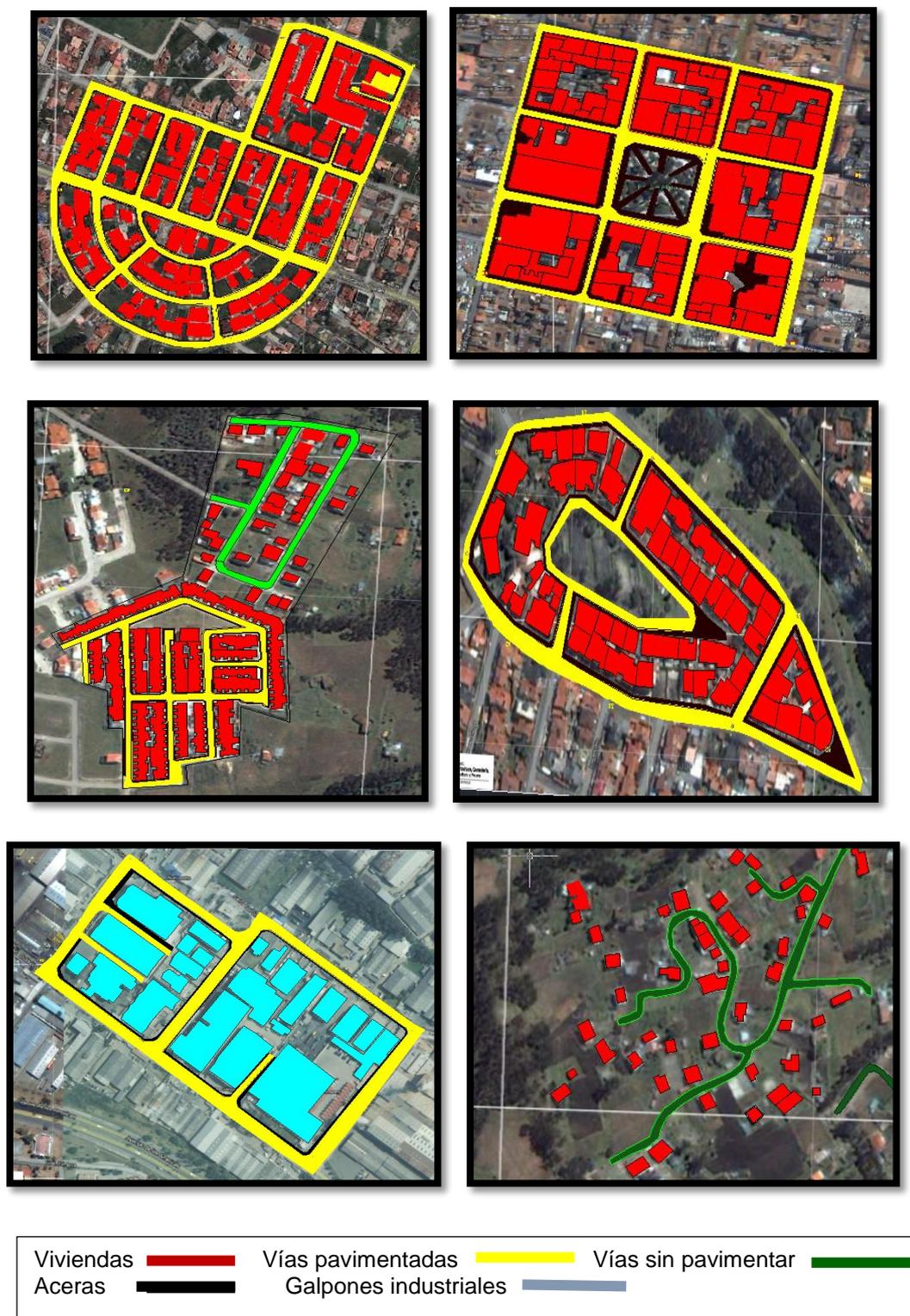


Figura 10. Tipos de cubierta superficial para cada zona de estudio
Fuente: Google Earth
Elaboración: Propia

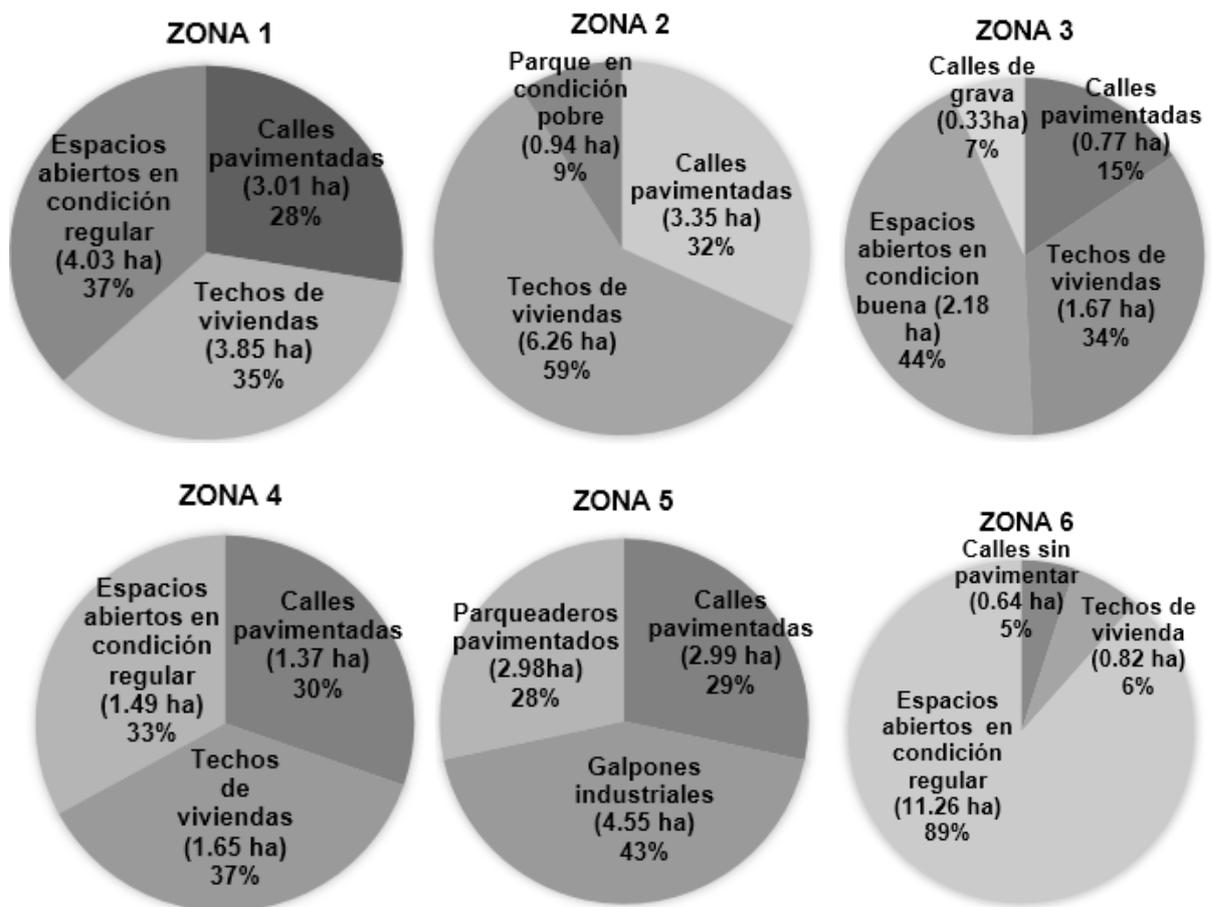


Figura 11. Porcentajes y áreas de las cubiertas superficiales para cada zona de estudio.
Fuente: Elaboración propia

En la figura 11 se puede apreciar que en la zona 1 los espacios abiertos en condición pobre son los que mayor porcentaje de área ocupan con un 37%, mientras que las calles pavimentadas tienen menor porcentaje de área con un 28%. En la zona 2 la mayor cobertura la presentan los techos de las viviendas del centro histórico con un 59% y el parque Calderón es la única área verde ocupando tan solo un 9%. La zona 3 tiene un mayor porcentaje de áreas verdes de condición buena con un 44%, esta zona también hay calles sin pavimentar que ocupan el menor porcentaje (9%). Mientras que en la zona 4 los porcentajes de cubierta superficial son muy similares con un 33% de espacios abiertos y un 37% de techos de viviendas. En la zona 5 no existen zonas permeables ya que el suelo está ocupado por galpones industriales, calles y parqueaderos pavimentados. La zona 6 es un lugar donde predomina los espacios abiertos ocupando casi toda la superficie con tan solo un 6% de viviendas.

En la tabla 2 se resumen los porcentajes de tipos de coberturas según el grado de impermeabilidad. En esta se puede apreciar que en la zona 1 las cubiertas impermeables casi duplican a las superficies que tienen mayor capacidad de infiltración caso similar al que se presenta en la zona 4. En las zonas 2 y 5 el porcentaje de áreas impermeables supera

ampliamente al de las zonas permeables en una relación de hasta 100 a 1. El caso contrario se presenta en la zona 6 en la que las superficies permeables superan a las impermeables en una proporción similar. En la zona 3 se observa que las superficies permeables e impermeables se reparten en similares proporciones.

Tabla 2. Porcentajes de permeabilidad e impermeabilidad de cada zona

Lugar de estudio	Tipo de cobertura	Porcentaje (%)	Densidad
zona 1	permeable	37.02	MEDIA
	impermeable	62.98	
zona 2	permeable	8.92	ALTA
	impermeable	91.08	
zona 3	permeable	50.73	BAJA
	impermeable	49.27	
zona 4	permeable	32.97	MEDIA
	impermeable	67.03	
zona 5	permeable	0.00	ALTA
	impermeable	100.00	
zona 6	permeable	93.53	BAJA
	impermeable	6.47	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se presenta el resumen de la clasificación de suelos según la Normativa AASHTO y su equivalencia según el grupo hidrológico de suelo, en la que se puede apreciar que en las 5 primeras zonas se encontraron suelos limo – arcillosos, mientras que la zona 6 es un suelo arcilloso con presencia de limos, para determinar el SCS-CN el suelo se clasifica en tipo C (suelos impermeables).

Tabla 3. Clasificación del Suelo

Lugar de estudio	Clasificación de Suelo según AASHTO	Grupo Hidrológico del Suelo	
		Textura del Suelo	Tipo de Suelo
zona 1	A-5	Suelos Limo-Arcillosos	C
zona 2	A-5	Suelos Limo-Arcillosos	C
zona 3	A-5	Suelos Limo-Arcillosos	C
zona 2	A-5	Suelos Limo-Arcillosos	C
zona 5	A-5	Suelos Limo-Arcillosos	C
zona 6	A-7-6	Suelo Arcilloso con presencia de limos	C

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4 se muestra el cálculo del Número de la Curva Detallado (CND) para cada zona de estudio para ello se toma en cuenta la cobertura superficial y el grupo hidrológico del suelo. En todos los casos se consideró que las zonas impermeables tales como calles pavimentadas, techos de viviendas son altamente impermeables por lo que se asumió un Número de la Curva de 98 las demás coberturas presentaron valores del Número de la Curva entre 74 y 89 en función de su permeabilidad. Los valores del CND correspondientes a cada zona variaron entre 80.7 y 98 pudiendo observarse que es la zona 6 la que presenta los menores valores debido a la gran cantidad de espacios verdes, a diferencia de la zona 5 que presenta el mayor valor ya que al ser un parque industrial no contiene espacios verdes significativos.

Tabla 4. Calculo del CN Ponderado para cada zona

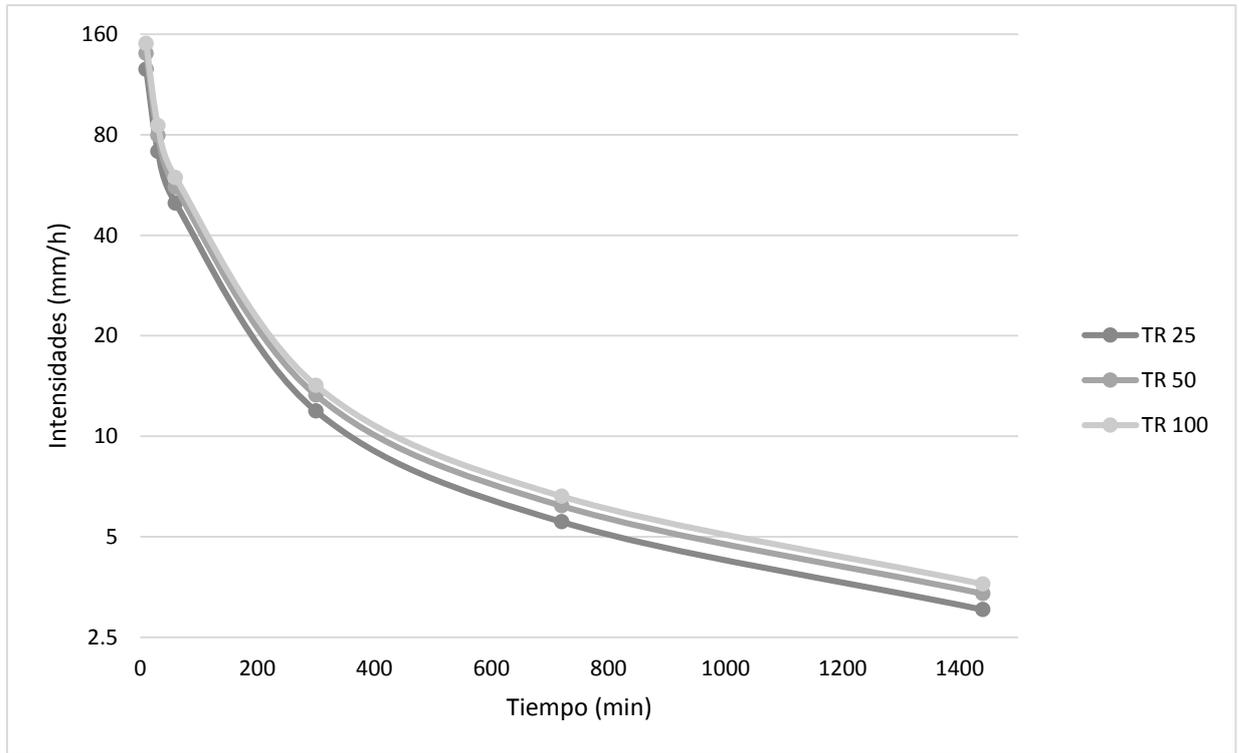
Tipo de cobertura	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
Calles Pavimentadas	98	98	98	98	98	-
Calles sin pavimentar	-	-	89	-	-	89
Techos de viviendas	98	98	98	98	-	98
Espacios abiertos en condición regular	79	-	-	79	-	79
Parques en condición pobre	-	86	-	-	-	-
Espacios abiertos en condición buena	-	-	74	-	-	-
Parqueaderos pavimentados	-	-	-	-	98	-
Galpones industriales	-	-	-	-	98	-
CND	91.0	96.8	86.8	91.7	98.0	80.7
CNG	90	94	86	90	91	82

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente en la tabla 4 se han incluido los valores del Número de la Curva Generalizado (CNG) clasificando a cada zona como comercial, industrial y área urbana residencial por tamaño promedio de lote. El CNG varía entre 82 y 94. Las diferencias entre el CND y el CNG son relativamente bajas siendo de alrededor del 3%, el máximo valor se observa en la zona 5 en la que la diferencia es del orden del 7%, atribuible a que los valores del CNG son valores medios medidos en diferentes zonas industriales.

En la figura 12 se presentan las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia para toda el área de estudio para 25, 50 y 100 años de periodo de retorno en esto se puede observar la relación inversa entre la intensidad y la duración, así como la relación directa entre la intensidad y el periodo de retorno para una duración determinada.

a)



b)

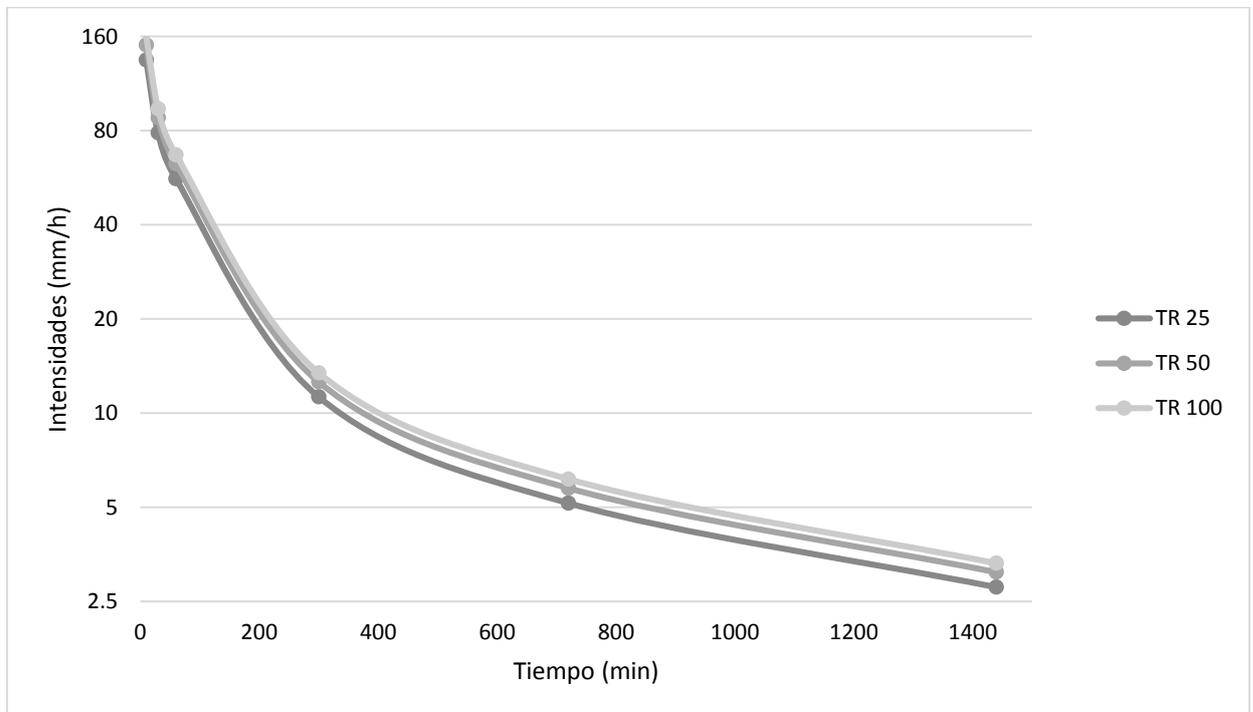


Figura 12. Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia del área de estudio:
a.) zona de intensidad A, b.) zona de intensidad B
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 13, 14 y 15 se presentan los valores de la precipitación efectiva calculados empleando el CND y CNG para los 25, 50 y 100 años de periodo de retorno en las 6 zonas analizadas. La magnitud de la precipitación efectiva incrementa con la duración de la tormenta. Se puede observar que para un periodo de retorno de 25 años los mayores niveles de precipitación efectiva se presentan en la zona 5 que es la que tiene una mayor superficie impermeable, alcanzando un valor máximo de 6.08 cm para una duración de 24 horas; en tanto que la zona 6 es la que registra los menores valores con 3.02 cm en 24 horas debido a la gran cantidad de superficie permeable que esta presenta. En las zonas de la 1 a la 5 se observa que la precipitación efectiva calculada empleando el CND es mayor que la calculada empleando el CNG. En la zona 6 sucede el caso contrario. Se considera que las escalas utilizadas para calcular el Número de la Curva originan dicha diferencia. El comportamiento observado para 25 años es similar al que se produce para 50 y 100 años incrementándose lógicamente la magnitud de la precipitación efectiva.

Las zonas urbanas de mayor densidad de viviendas (zonas 1, 2, 4 y 5) generan más escorrentía superficial que las zonas de baja densidad. A medida que aumentaba la precipitación, la escorrentía superficial también se incrementó en todas las zonas urbanas. Sin embargo, debido al tipo de suelo limo-arcilloso, el escurrimiento superficial en zonas de baja densidad es significativo.

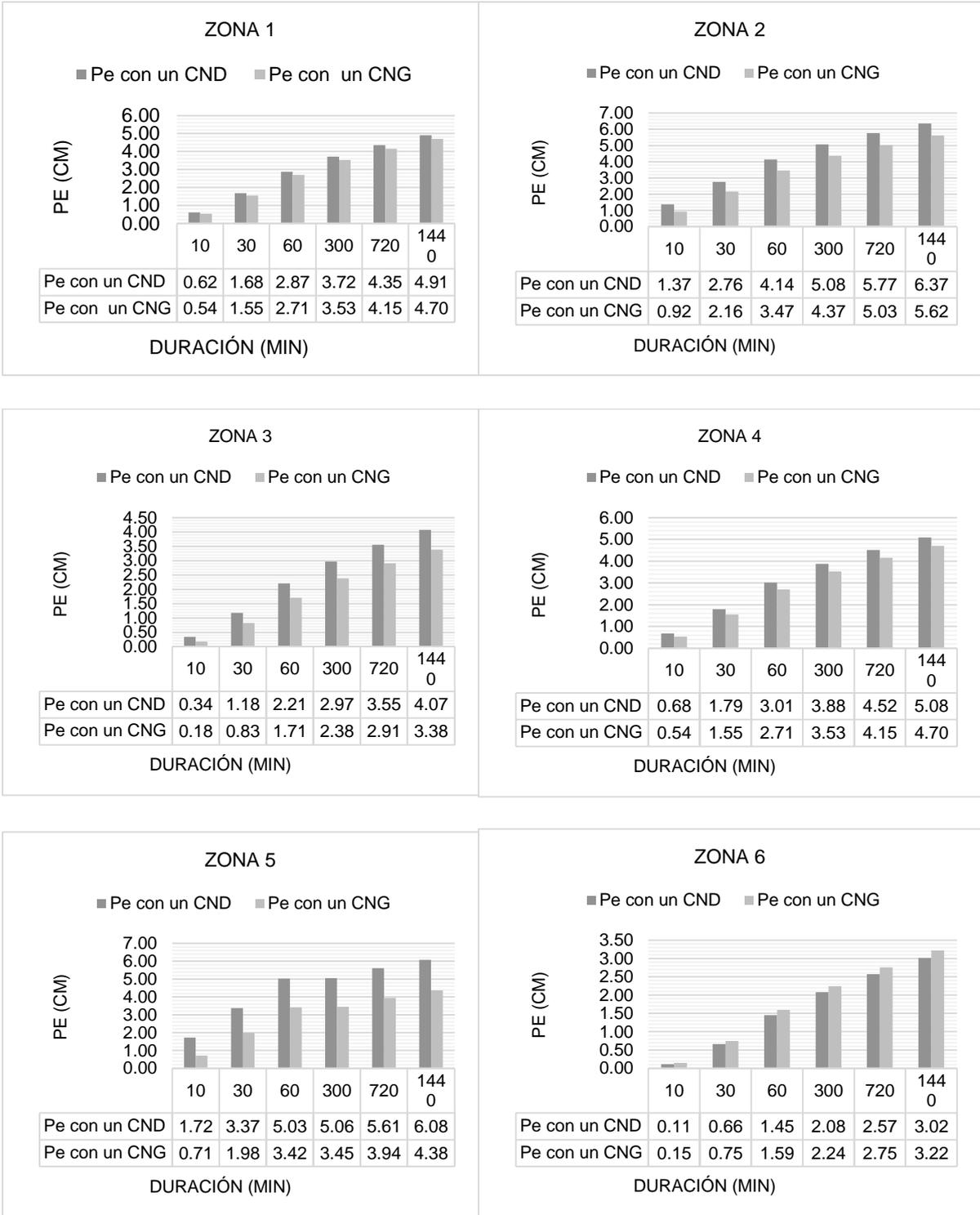


Figura 13. Precipitaciones efectivas con un CND y un CNG para un TR de 25 años
Fuente: Elaboración propia

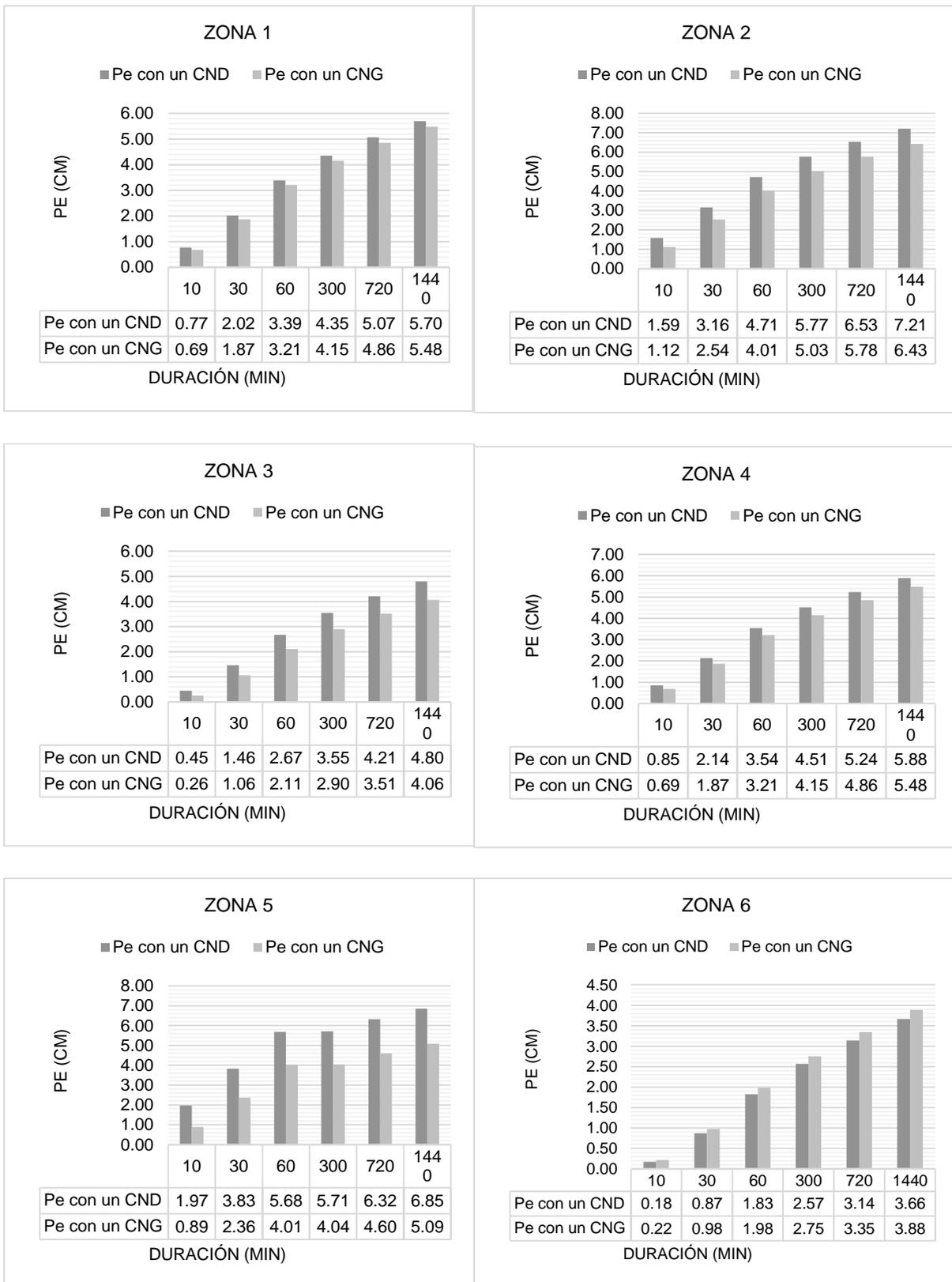


Figura 14. Precipitaciones efectivas con un CND y un CNG para un TR de 50 años
Fuente: Elaboración propia

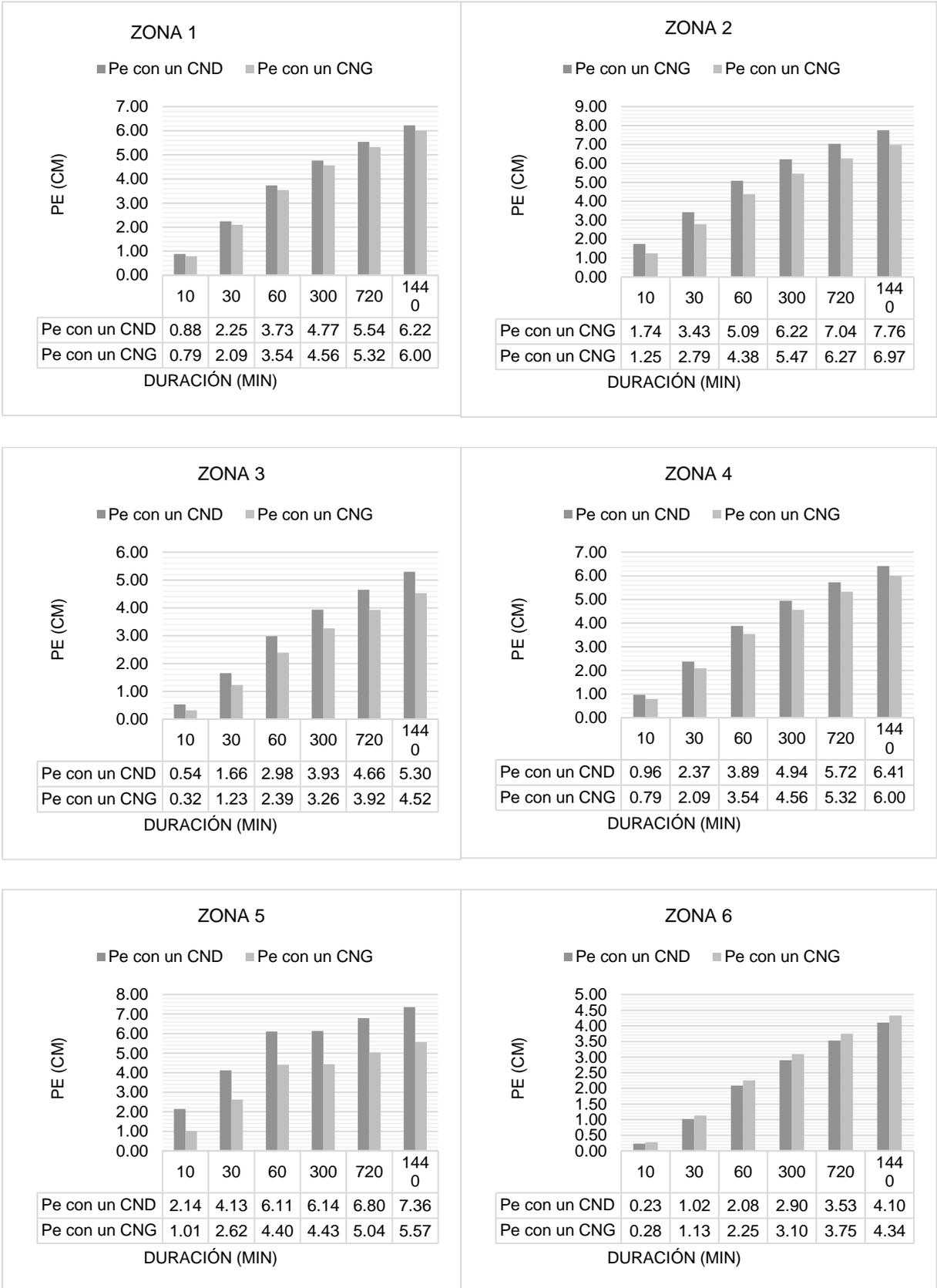


Figura 15. Precipitaciones efectivas con un CND y un CNG para un TR de 100 años
Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se presenta la relación entre la diferencia porcentual, entre la precipitación efectiva calculada empleando el Número de la Curva Detallado (CND) y el Número de la Curva Generalizado (CNG), la duración de la tormenta y su periodo de retorno. Se puede observar que las mayores diferencias se producen cuando la duración de la tormenta es baja alcanzando los mayores valores en la zona 5 los que son del orden del 60% para 25 años de periodo de retorno, a diferencia de la zona 1 en la que se presenta los menores valores con diferencias del orden del 12% para el mismo periodo de retorno. Estas diferencias tendrían estrecha relación con la diferencia de magnitud entre sus valores de CND y CNG.

En esta figura 16 se puede observar que existe una relación inversa entre la diferencia porcentual y la duración de la tormenta, esto debido a que en menores duraciones los niveles de precipitación son relativamente bajos, por lo que las abstracciones hidrológicas son más significativas y por ende la influencia del Número de la Curva es considerable. Al tener mayores duraciones, los niveles de precipitación son altos excediendo en muchos casos la capacidad de infiltración de los suelos; saturándolos, en estas condiciones las diferencias entre en CNG y el CND se tornan poco significativas.

En la figura 16 se puede observar una relación inversa entre el periodo de retorno y la diferencia porcentual entre el CND y el CNG, aunque de reducida magnitud. Esta diferencia podría deberse a que al incrementar el periodo de retorno incrementa la magnitud de la precipitaciones saturándose en mucho de los casos los suelos y haciendo que la diferencia porcentual entre las magnitudes de CND y CNG tenga poca influencia.

En la figura 17 se presentan los hidrogramas unitarios correspondiente a cada zona estudiada. Al ser hidrogramas unitarios sintéticos estos han sido determinados en función de las características morfométricas de las áreas de drenaje, por ende presentan considerables diferencias entre sí. En la figura se puede observar que la zona 6 es la que presenta menor caudal pico por unidad de precipitación efectiva, y la zona 4 es la que presenta mayor caudal pico por unidad de precipitación efectiva. El mayor tiempo de base lo presenta la zona 6, mientras que el menor tiempo de base se observa en la zona 5. Empleando estos hidrogramas y la presentación efectiva se calcularon los caudales pico para cada zona.

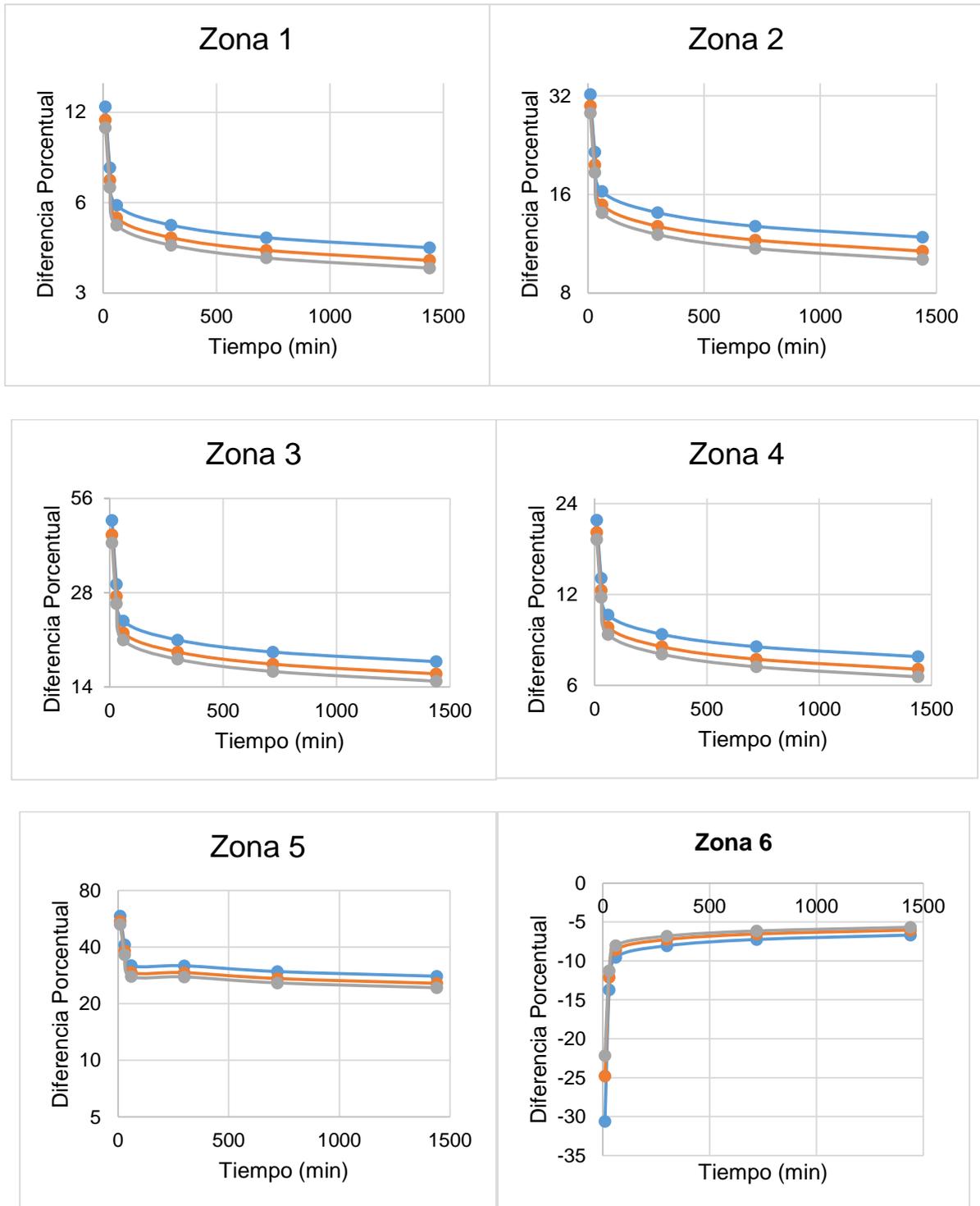


Figura 16. Diferencia porcentual de la precipitación efectiva respecto a la precipitación total
Fuente: Elaboración propia

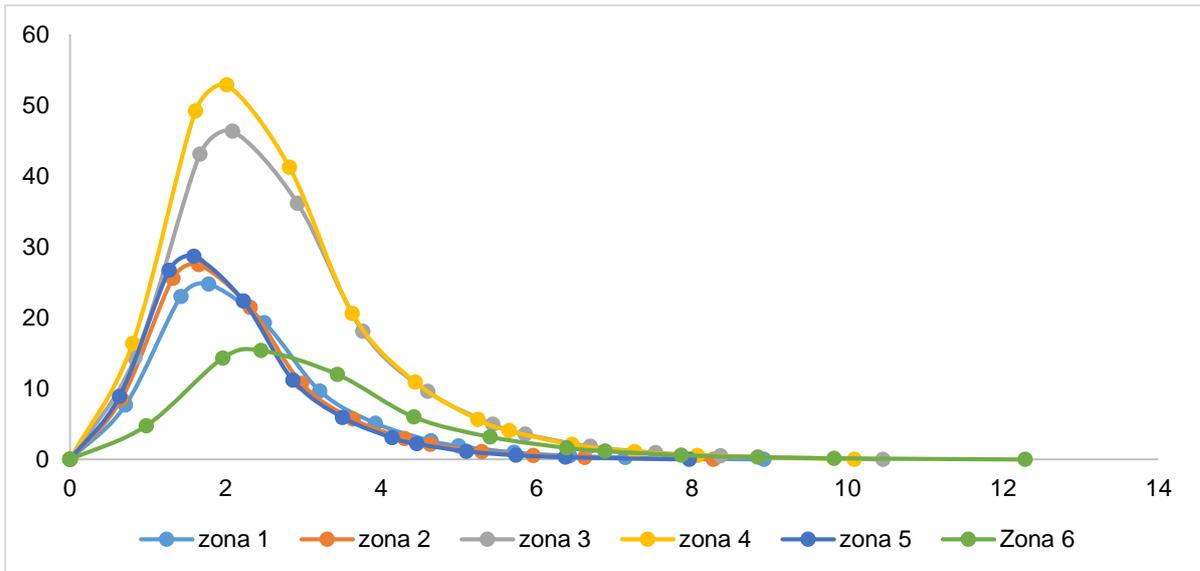


Figura 17. Hidrogramas unitarios
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se presentan los caudales de crecida calculados para cada una de las zonas estudiadas, considerando el CND y el CNG, para tormentas de 1 hora de duración y periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Las mayores diferencias entre caudales calculados se observan en las zonas 5 los que superan el 30%, esto debido a las notables diferencias encontradas entre en CND y el CNG. Las menores diferencias se observan en la zona 1 con valores del orden del 5% puesto que en esta zona los valores del Número de la Curva fueron similares. Las magnitudes de los caudales de crecida son más significativos en la zona 6, la que si bien presentaba condiciones favorables a la infiltración es la que posee una mayor superficie y por ende la magnitud de los caudales que se producen es mayor.

Tabla 5. Caudales de crecida para cada zona de estudio

Zona de estudio	Tr (años)	Qp con CND (l/s)	Qp con CNG (l/s)	Dif. (%)
1	25	139.48	131.86	5.47
	50	163.43	155.32	4.97
	100	179.39	170.99	4.69
2	25	161.20	136.39	15.39
	50	183.29	157.61	14.01
	100	197.84	171.67	13.23
3	25	72.64	59.27	18.41
	50	86.37	71.82	16.85
	100	95.58	80.32	15.97
4	25	78.30	71.77	8.33
	50	91.05	84.15	7.58
	100	99.52	92.40	7.15
5	25	159.05	104.77	34.13
	50	179.78	123.28	31.43
	100	193.41	135.63	29.88
6	25	202.03	215.66	-6.74
	50	245.16	260.10	-6.09
	100	274.38	290.11	-5.73

Fuente: Elaboración propia

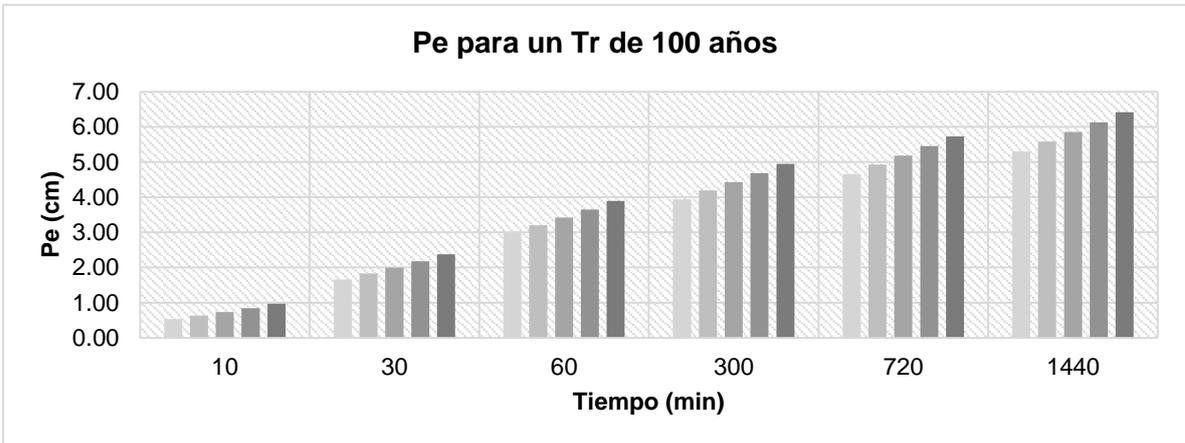
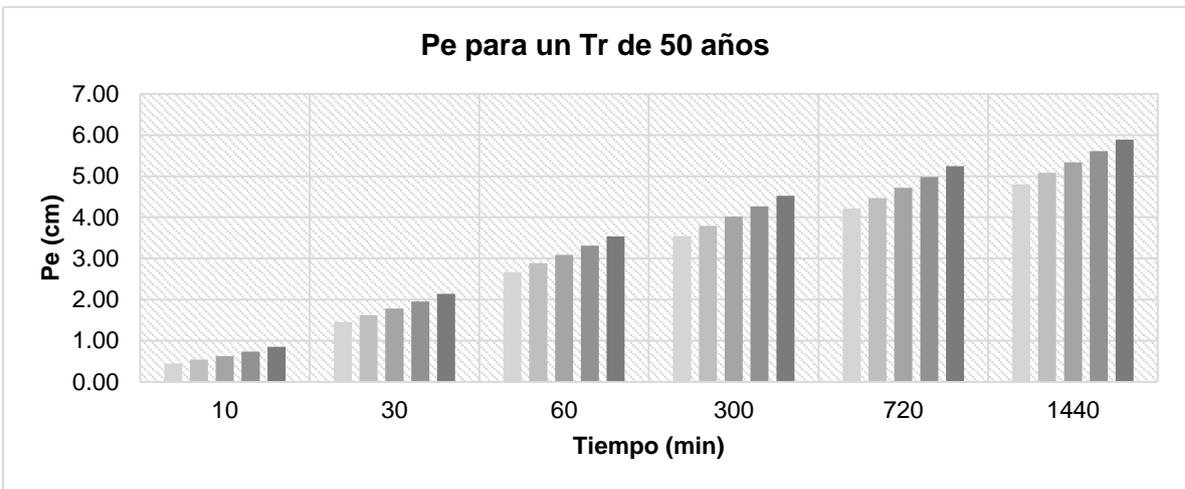
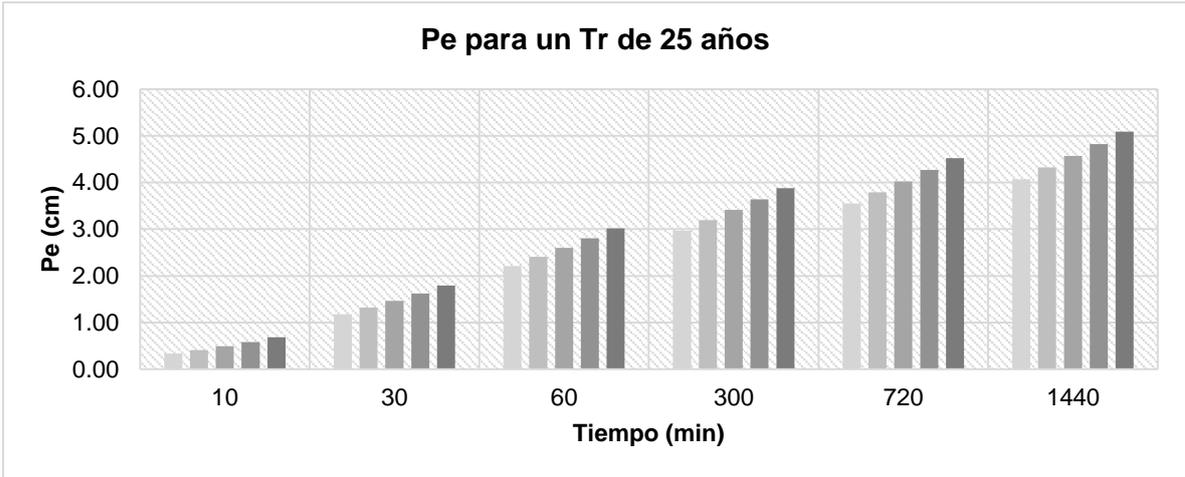
En la figura 18 se presenta la precipitación efectiva calculada empleando el CND según los escenarios planteados para la zona 3. En esta se puede observar que conforme incrementan las zonas impermeables la escorrentía incrementa, al punto que un aumento del 25% de zonas impermeables produce un incremento superior al 40% en la escorrentía superficial para una duración de tormenta de 10 minutos, del orden del 20% para duraciones de 60 minutos y superiores al 17% para duraciones iguales a 24 horas.

En la figura 19 se presenta la precipitación efectiva calculada empleando el CND según los escenarios planteados para la zona 6. En esta se puede observar que un incremento del 40% en superficies impermeables origina un aumento superior al 65% en la escorrentía superficial para una duración del orden de 10 minutos, del orden del 37% para duraciones de tormenta de 60 minutos y del orden del 30% para duraciones de tormenta de 24 horas.

El cambio de ocupación del suelo influye directamente en la escorrentía superficial hecho que ha sido reportado por Gill et al., (2007), quienes encontraron que con el aumento de la cubierta forestal en un 10% en las zonas urbanas se redujo el escurrimiento en un 2,4%. Wang et al., (2008) utilizando el método de Número de la Curva para cuencas urbanas en Baltimore, Estados Unidos, encontraron que el aumento de la cubierta forestal en zonas permeables existentes (de vegetación baja y suelo desnudo) de 12 a 40%, reduce la escorrentía total en

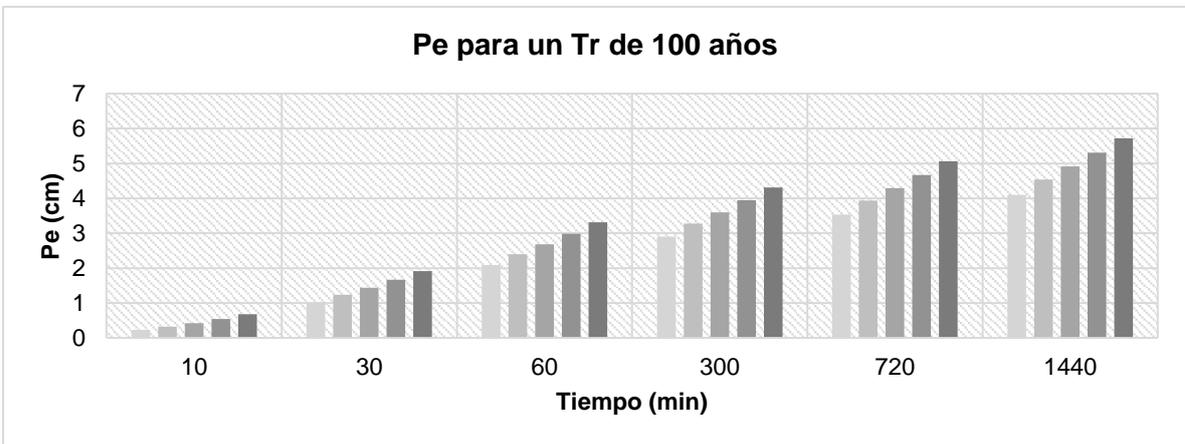
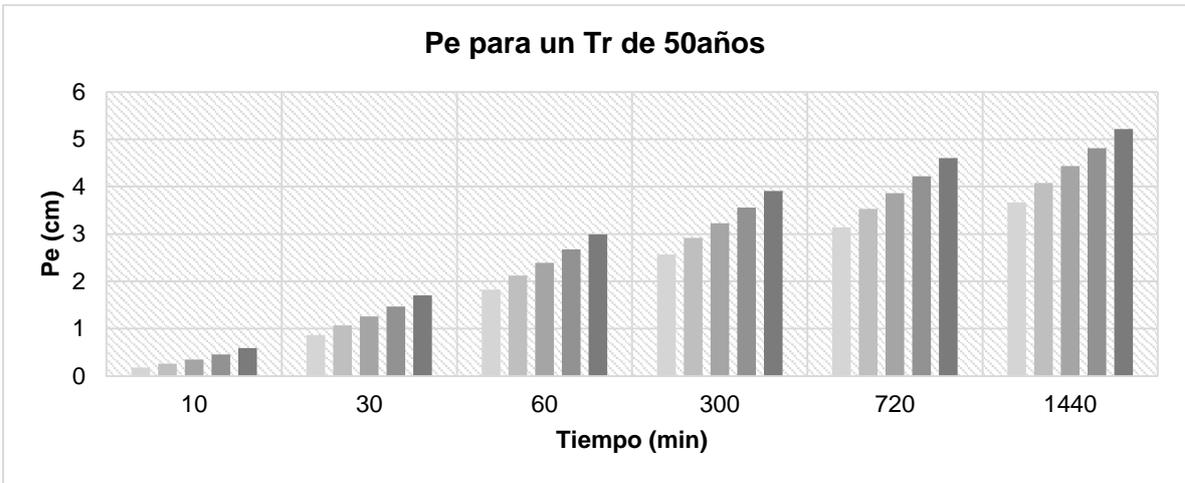
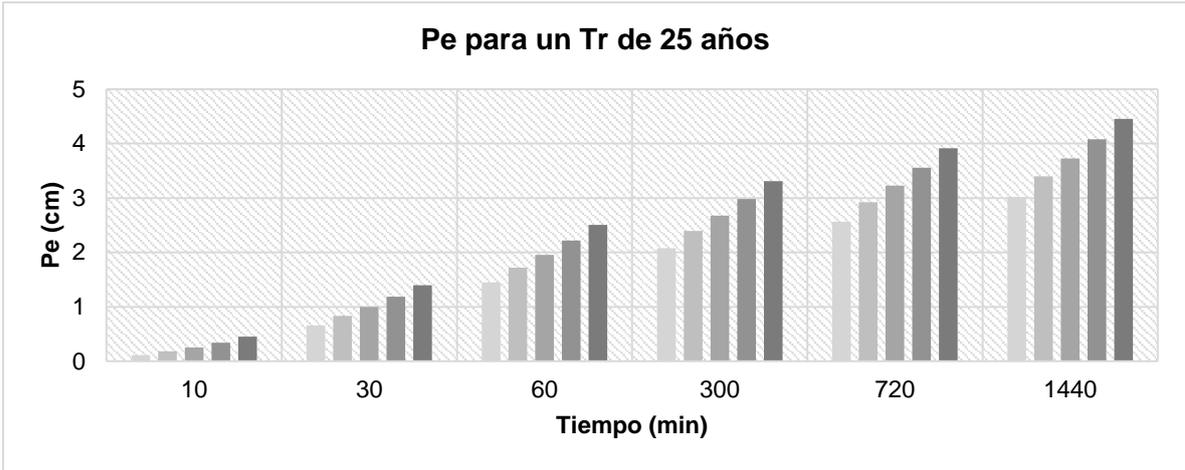
un 2,6%. De esto es fácil colegir que los incrementos de cobertura vegetal reducen la escorrentía superficial mientras que el aumento de áreas urbanizadas la incrementa.

Las zonas 1, 2, 4 y 5 presentan una considerable cantidad de superficies impermeables producto de su desarrollo urbano, por lo que en estas no cabe la opción de incrementar superficies con vegetación que aumenten la infiltración, por lo que podría utilizarse sistemas de infiltración de aguas pluviales como, pavimentos permeables, zanjas de infiltración y césped (Dietz, 2007), e incluso los jardines domésticos (Cameron et al., 2012) otra opción serían los sistemas de drenaje sostenible como los propuestos por Brander et al., (2004) y Villarreal et al., (2004), los que confirmaron que su uso proporciona una mayor reducción de la escorrentía superficial.



- Pe con el CND actual
- Pe con un 10% mas de area impermeable
- Pe con un 15% mas de area impermeable
- Pe con un 20% mas de area impermeable
- Pe con un 25% mas de area impermeable

Figura 18. Incremento de la Pe al aumentar la cobertura impermeable para la zona 3
Fuente: Elaboración propia



- Pe con el CND actual
- Pe con un 10% mas de area impermeable
- Pe con un 15% mas de area impermeable
- Pe con un 20% mas de area impermeable
- Pe con un 25% mas de area impermeable

Figura 19. Incremento de la Pe al aumentar cobertura impermeables para la zona 6
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Se analizaron 6 zonas con diferente cobertura estudiándose de manera minuciosa su ocupación de suelo y caracterizando sus condiciones de infiltración aplicando el método del Número de la Curva calculando con 2 diferentes niveles de detalle. Se observó que existe una relación inversa de la diferencia porcentual entre la precipitación efectiva calculada con el Número de la Curva con diferente nivel de detalle y la duración de la tormenta así como una relación inversa entre el periodo de retorno y dicha diferencia porcentual.

Se pudo determinar una relación directa entre la magnitud del CN calculado con diferente nivel de detalle y los caudales de crecida, ya que cuanto más notables fueron las diferencias entre el CND y el CNG las diferencias de las magnitudes de los caudales de crecida fueron superiores.

Se determinó que conforme aumentan las superficies impermeables se incrementa la escorrentía superficial al punto que un incremento del orden del 25% en superficies impermeables produce un aumento del 40% en la escorrentía superficial para tormentas con duración de 10 minutos. Por su parte incrementos del 40% de áreas impermeables producen un incremento en la escorrentía superficial del orden del 65% para tormentas de igual duración

Las cubiertas superficiales impermeables tienen el mayor efecto de aumentar el escurrimiento superficial durante eventos de lluvia más fuertes, cuando la precipitación no excede la capacidad de infiltración del suelo la escorrentía generada será mucho menor.

Los cambios en la cubierta de la superficie dentro de las áreas urbanas existentes o en nuevos proyectos de desarrollo, generarán un impacto en la escorrentía superficial durante los eventos de lluvias. Este impacto aumentará a medida que se vayan realizando las nuevas construcciones.

RECOMENDACIONES

Las áreas permeables con presencia de vegetación favorecen la infiltración, por lo que en la planificación urbana debería considerarse amplios espacios verdes que a más de mejorar la calidad de vida de los habitantes del sector contribuyen a mejorar la infiltración y reducir los riesgos propios de una considerable escorrentía superficial.

En las zonas consolidadas que ya presentan un alto grado de desarrollo urbano sería conveniente la implementación de pavimentos porosos, zanjas de infiltración e incrementos de zonas verdes pueden ser una buena alternativa para reducir la escorrentía superficial. La construcción de sistemas de drenaje sostenible en el paisaje urbano es crear una red que imita la naturaleza de las áreas urbanas que ayudaran al retraso de la escorrentía de las superficies impermeables, además este sistema contribuye a la recarga de aguas subterráneas.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO. Normas: M-145, T-27, T-89, T-90, T-265. Estados Unidos.
- Aparicio, F.J., 1989, Fundamentos de hidrología de superficie. Primera edición. Grupo Noriega Editores, México.
- Awadallah, A. G., Saad H., Elmoustafa A., & Hassan A., 2015. Reliability assessment of water structures subject to data scarcity using the SCS-CN model, Hydrological Sciences Journal
- Bean, E. Z., Hunt, W. F., & Bidelspach, D. A., 2007a. Evaluation of four permeable pavement sites in eastern North Carolina for runoff reduction and water quality impacts. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133 (6), 583 – 592.
- Beighley, R. E., Kargar, M., & He, Y., 2009. “Effects of impervious area estimation methods on simulated peak discharges.” J. Hydraul. Eng. ASCE, 14(4), 388–398.
- Berndtsson, C. J., 2010. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. Ecological Engineering 36, 351–360.
- Blume, H. P., 1990. Einführung. In Blume HP eds. Handbuch des Bodenschutzes. Landsberg, Germany. Ecomed-Verlag. p. 1-3.
- Brander, K. E., Owen, K. E., & Potter, K. W., 2004. Modeled impacts of development type on runoff volume and infiltration performance. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 40 (4), 961–969.
- Cameron, R. W., Blanusa, T., Taylor, J. E., Salisbury, A., Halstead, A.J., Henricot, B., & Thompson, K., 2012. The domestic garden– Its contribution to urban green infrastructure. Urban Forestry & Urban Greening, 11 (2), 129 – 137.
- Campos, D. F., 2011b. Estimación y aprovechamiento del escurrimiento. Primera Edición. Primera edición. San Luis Potosí, S L P. México. 333 p.
- Campos–Aranda D. F. 1999. Hidrosistemas Urbanos. Conceptos básicos, crecientes y planicies de inundación. Ciencia y Desarrollo, (145):49–57.
- Chow, V. T., 1994. Hidrología aplicada, editorial Nomos S. A.,
- Christiansson, H., 2012. Email correspondence and oral communication. JM Developers of Housing and Residential Areas, 2011.12.13.

- Collins, K.A., Hunt, W.F., & Hathaway, J.M., 2008. Hydrologic comparison of four types of permeable pavement and standard asphalt in eastern North Carolina. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13 (12), 1146 – 1157.
- Dietz, M.E., 2007. Low Impact Development Practices: A review of current research and recommendations for future directions. *Water Air and Soil Pollution*, 186 (1– 4), 351 – 363.
- Doran, J.W., & Parkin, T. B., 1994. Defining and assessing soil quality. In Doran JW, DC Coleman, DF Bezdiek, BA Stewart eds. *defining soil quality for a sustainable environment*. Wisconsin, Resources Management, Springer Publication 21 (7), 1225–1244.
- Foltyn, A. M., 2011. Multifunctional areas–systems for the future. Länsstyrelsen Skåne (County Administrative Board of Scania). In: Conference seminar, Dag- vatten Dränerings vatten, 9–20 October, Alnarp, Sweden (in Swedish).
- Garen, D. C., & Moore, D. S., 2005. Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 41 (2), 377–388.
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S., 2007. Adapting cities for climate change, the role of the green infrastructure. *Built Environment* 33, 115–133.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Cuenca. 2014. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca (PDOT-CC). Unidad Estratégica territorial.
- Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P.H., & Miller, G.L., 2006. Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation* 61(3): 117-123.
- Han, W., & Burian, S. J., 2009. “Determining effective impervious area for urban hydrologic modelling.” *J. Hydraul. Eng. ASCE*, 14 (2), 111–120.
- Hong, Y., & Adler, R. F., 2008. Estimation of global SCS curve numbers using satellite remote sensing and geospatial data, *International Journal of Remote Sensing*, 29:2, 471-477, DOI: 10.1080/01431160701264292
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, INEC. 2010. VII Censo de Población y VI de Vivienda - 2010. Ecuador. Portal WEB Redatam: <http://redatam.inec.gob.ec/cgi-bin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CPV2010&MAIN=WebServerMain.inl>
- Koehna, K., Brye, K. R., & Scarlat, C., 2011. Quantification of stormwater runoff using a combined GIS and curve number approach: a case study for an urban watershed in the Ozark Highlands, USA, *Urban Water Journal*, 8:4

- Mishra, S. K., & Singh, V. P., 2006. "A relook at NEH-4 curve number data and antecedent moisture condition criteria." *Hydrol. Processes*, 20(13), 2755–2768.
- Mishra, S. K., Gajbhiye, S., & Pandey, A., 2013. Estimation of design runoff curve numbers for Narmada watersheds (India), *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 1:1, 69-79
- Monsalve, G., 2009. *Hidrología en la ingeniería*. 2da edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia.
- NRCS, 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds*. Technical Release 55. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Retrieved from: <http://www.mi.nrcs.usda.gov/technical/engineering/neh.html> (19.12.12).
- Pedron, F. de A., Diniz, D.R., Azevedo, A.C., & Kaminski, J., 2004. Solos urbanos. *Ciência Rural* 34: 1647-1653.
- Persson, A., Folkesson, M.L., & Björn, H., 2012. Email correspondence and oral communication. Department of Planning at the municipalities of Lund, Staffanstorp, and Lomma, November 2011–January 2012.
- Ravagnani, F., Pellegrinelli, A., & Franchini, M., 2009. "Estimation of urban impervious fraction from satellite images and its impact on peak discharge entering a storm sewer system." *Water Resour. Manage.* 23, 1893–1915.
- RIBA (Royal Institute of British Architects), 2011. *Flooding explained*, retrieved from: <http://www.architecture.com/FindOutAbout/Sustainabilityandclimatechange/Flooding/FloodingExplained.aspx> (18.11.11).
- Rodríguez, L., 1999. *Lluvias intensas*, Instituto Nacional de meteorología e Hidrología INAMHI, Quito- Ecuador, p 126.
- Sahu, R. K., Mishra, S. K., Eldho, T. I., & Jain, M. K., 2007. "An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method." *Hydrol Processes*, 21(21), 2872–2881.
- Schlichting E., 1978. *Funktionen von Boden in der Okosphäre*. Daten u. Dokumente Z. Umweltschutz. 22: 9-12.
- Scholz, M., & Grabowiecki, P., 2007. Review of permeable pavement systems. *Building and Environment*, 42 (11), 3830– 3836.

- Soulis, K. X., Valiantzas, J. D., Dercas, N., & Londra, P. A., 2009. "Investigation of the direct runoff generation mechanism for the analysis of the SCS-CN method applicability to a partial area experimental watershed." *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13(5), 605–615.
- Sreeja, P., & Gupta, K., 2006. An alternate approach for transient flow modeling in urban drainage systems. *Water USA. SSSA Special Publication 35*. p. 3-21
- Terzoudi, C. B., Gemtos, T. A., Danalatos, N. G., & Argyrokastritis, I., 2007. Applicability of an empirical runoff estimation method in central Greece. *Soil and Tillage Res.* 198-212 pp.
- Tirkey, A. S., Pandey, A.C., & Nathawat, M.S., 2013. Use of high- resolution satellite data, GIS and NRCS-CN technique for the estimation of rainfall-induced run-off in small catchment of Jharkhand India, *Geocarto International*, 29:7, 778-791
- Villarreal, E.L., Semadeni, D. A., & Bengtsson, L., 2004. Inner city stormwater control using a combination of best management practices. *Ecological Engineering* 22, 279–298.
- Wang, J., Endreny, T.A., & Nowak, D.J., 2008. Mechanistic simulation of tree effects in an urban water balance model. *Journal of the American Water Resources Association* 44 (1), 75–85.
- Wang, X., Liu, T., & Yang, W., 2012. Development of a robust runoff-prediction model by fusing the Rational Equation and a modified SCS-CN method, *Hydrological Sciences Journal*, 57:6, 1118-1140

ANEXOS

Anexo I

Tablas consultadas

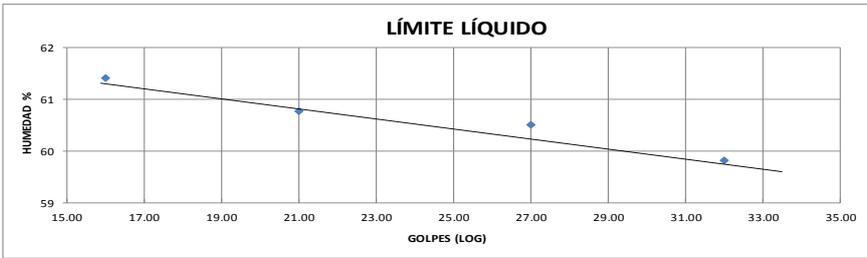
Tipo de cobertura y condición hidrológica	% Promedio áreas impermeables ²	Número de curvas para grupos de suelos hidrológicos			
		A	B	C	D
<i>Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida)</i>					
Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc) ³ :					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
Áreas impermeables:					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentadas; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Áreas desiertas urbanas occidentales:					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables) ⁴		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barrera impermeable de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
Áreas urbanas:					
Comercial y de negocios	85	81	88	91	93
Industrial	72				
Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:					
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acre	12	46	65	77	82
<i>Áreas urbanas desarrolladas</i>					
Áreas recientemente conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Fuente: Monsalve, (2009).

Uso de la tierra y cobertura	Tratamiento del suelo	Pendiente del terreno, en %	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Sin cultivo	Surcos rectos	—	77	86	91	94
Cultivos en surco	Surcos rectos	> 1	72	81	88	91
	Surcos rectos	< 1	67	78	85	89
	Contorneo	> 1	70	79	84	88
	Contorneo	< 1	65	75	82	86
	Terrazas	> 1	66	74	80	82
	Terrazas	< 1	62	71	78	81
	Cereales	Surcos rectos	> 1	65	76	84	88
Surcos rectos		< 1	63	75	83	87
Contorneo		> 1	63	74	82	85
Contorneo		< 1	61	73	81	84
Terrazas		> 1	61	72	79	82
Terrazas		> 1	59	70	78	81
Leguminosas o praderas con rotación	Surcos rectos	> 1	66	77	85	89
	Surcos rectos	< 1	58	72	81	85
	Contorneo	> 1	64	75	83	85
	Contorneo	< 1	55	69	78	83
	Terrazas	> 1	63	73	80	83
	Terrazas	< 1	51	67	76	80
Pastizales	-----	> 1	68	79	86	89
	-----	< 1	39	61	74	80
	Contorneo	> 1	47	67	81	88
	Contorneo	< 1	6	35	70	79
Pradera permanente	-----	< 1	30	58	71	78
Bosques naturales						
Muy ralo	-----	—	56	75	86	91
Ralo	-----	—	46	68	78	84
Normal	-----	—	36	60	70	77
Espeso	-----	—	26	52	62	69
Muy espeso	-----	—	15	44	54	61
Camino						
De terracería	-----	—	72	82	87	89
Con superficie dura	-----	—	74	84	90	92

Fuente: Aparicio, (1989).

Anexo 2.
Ensayos de laboratorio

 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL LABORATORIOS UTPL						
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN						
PROYECTO : ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN ZONAS URBANAS OBRA : LOCALIZAC. : CUENCA SOLICITADO : FECHA :						
				NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27 93.00 MUESTRA: 1 PROFUNDIDAD: 0.5 m REALIZADO: BYRON SHINGRE		
	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		354.54 298.61 359.73	306.54 260.25 311.09	61.80 57.88 63.34	19.61 18.96 19.63	19.40
2.- LÍM. LÍQUIDO	16 21 27 32	68.16 78.35 69.34 74.29	64.23 72.59 64.70 69.75	57.83 63.11 57.03 62.16	61.41 60.76 60.50 59.82	62.00
3.- LÍMITE PLÁSTICO		61.30 64.25 58.92	60.47 63.51 58.13	59.13 62.29 56.79	61.94 60.66 58.96	60.52
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 65.51 (H/S)		S		GRAVA 0		
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		65.51		ARENA 49		
				FINOS 51		
TAMIZ	PESOR T.	% RET	% PASA	LL = 62.00 LP = 61.00 IP = 1.00 CLASIFICACIÓN SUCS : MH AASHTO: A-5 IG(86): 5 IG(45): 5		
1"	0.00	0	100			
3/4"	0.00	0	100			
1/2"	0.00	0	100			
3/8"	0.00	0	100			
No. 4	0.27	0	100			
No. 10	1.37	2	98			
No. 40	11.88	18	82			
No. 200	32.20	49	51			
 <p>LÍMITE LÍQUIDO</p>						
CLASIFICACIÓN SUCS: Limos Inorganicos (MH) CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelos Limosos (A-5)						
Observaciones:						



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

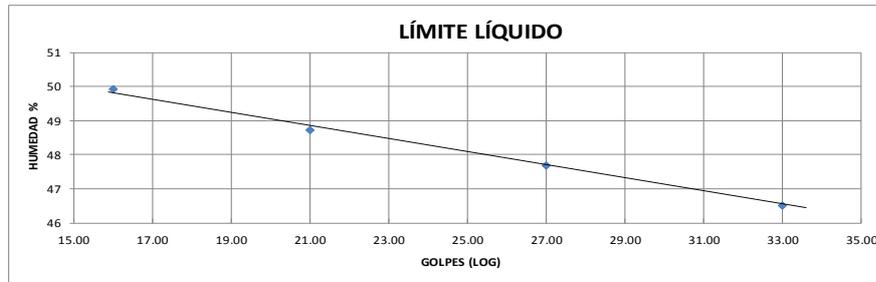
PROYECTO : ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN ZONAS URBANAS

OBRA :
LOCALIZAC. : CUENCA
SOLICITADO :
FECHA :

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
93.00
MUESTRA: 2
PROFUNDIDAD: 0.5 m
REALIZADO: BYRON SHINGRE

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1.- CONTENIDO DE AGUA		397.50	350.35	63.66	16.45	16.61
		400.51	352.62	64.57	16.63	
		359.66	316.49	58.70	16.75	
2.- LÍM. LÍQUIDO	16	77.77	72.29	61.31	49.91	49.18
	21	74.74	69.82	59.72	48.71	
	27	76.69	71.73	61.33	47.69	
	33	74.69	68.15	54.09	46.51	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		56.42	55.89	54.63	42.06	40.08
		61.29	60.87	59.73	36.84	
		68.61	68.18	67.14	41.35	

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	258.28	(H/S)	S	GRAVA	8
PESO INICIAL DE CÁLCULO:			258.28	ARENA	44
				FINOS	47
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 49.00 LP = 40.00 IP = 9.00	
1"	0.00	0	100		
3/4"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : SM AASHTO: A-5 IG(86): 3 IG(45): 3	
1/2"	0.00	0	100		
3/8"	0.00	0	100		
No. 4	21.64	8	92		
No. 10	19.93	8	92		
No. 40	78.79	31	69		
No. 200	135.83	53	47		



CLASIFICACIÓN SUCS: Arenas limosas(SM)

CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelos Limosos (A-5)

Observaciones:



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS UTPL

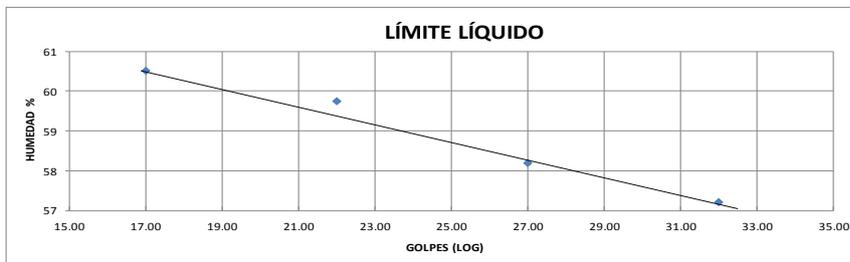
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO : ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN ZONAS URBANAS

OBRA :
LOCALIZAC. : CUENCA
SOLICITADO :
FECHA :

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
93.00
MUESTRA: 2
PROFUNDIDAD: 0.5 m
REALIZADO: BYRON SHINGRE

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		328.66 348.15 324.60	273.85 289.62 272.58	54.10 62.30 61.19	24.94 25.75 24.61	25.10
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 22 27 32	69.90 78.51 74.40 76.00	65.35 72.75 68.01 70.60	57.83 63.11 57.03 61.16	60.51 59.75 58.20 57.20	59.76
3.- LÍMITE PLÁSTICO		60.58 64.18 59.89	60.06 63.51 58.79	59.13 62.29 56.79	55.91 54.92 55.00	55.28
4.- GRANULOMETRÍA			5.- CLASIFICACIÓN			
PESO IN= 189.19 (H/S)		S		GRAVA 10		
PESO INICIAL DE CÁLCULO: 189.19				ARENA 32		
				FINOS 58		
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 60.00		
1"	0.00	0	100	LP = 55.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 5.00		
1/2"	0.00	0	100			
3/8"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN		
No. 4	19.84	10	90	SUCS : MH		
No. 10	27.23	14	86	AASHTO: A-5		
No. 40	59.95	32	68	IG(86): 7		
No. 200	79.77	42	58	IG(45): 7		



CLASIFICACIÓN SUCS: Limos Inorganicos (MH)

CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelos Limosos (A-5)

Observaciones:



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

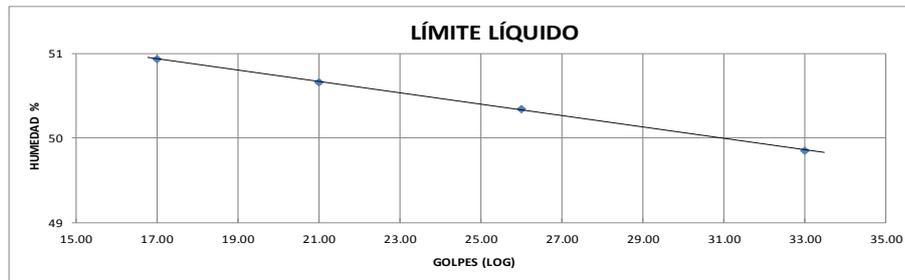
PROYECTO : ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN ZONAS URBANAS

OBRA :
LOCALIZAC. : CUENCA
SOLICITADO :
FECHA :

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
93.00
MUESTRA: 4
PROFUNDIDAD: 0.5 m
REALIZADO: BYRON SHINGRE

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		344.01 388.94 368.46	305.50 346.62 329.49	59.70 51.71 68.14	15.67 14.35 14.91	14.98
2.- LÍM. LÍQUIDO	17 21 26 33	85.67 77.95 78.95 68.43	77.45 71.82 73.05 63.66	61.31 59.72 61.33 54.09	50.93 50.66 50.34 49.84	51.38
3.- LÍMITE PLÁSTICO		57.01 62.07 69.55	56.30 61.31 68.80	54.63 59.73 67.14	42.51 48.10 45.18	45.27

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN= 240.28 (H/S)		S		GRAVA	9
PESO INICIAL DE CÁLCULO:		240.28		ARENA	30
				FINOS	61
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 51.00 LP = 45.00 IP = 6.00	
1"	0.00	0	100		
3/4"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : MH AASHTO: A-5 IG(86): 7 IG(45): 7	
1/2"	0.00	0	100		
3/8"	0.00	0	100		
No. 4	20.60	9	91		
No. 10	31.77	13	87		
No. 40	93.32	39	61		
No. 200	92.74	39	61		



CLASIFICACIÓN SUCS: Limos Inorganicos (MH)

CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelos Limosos(A-5)

Observaciones:



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS UTPL

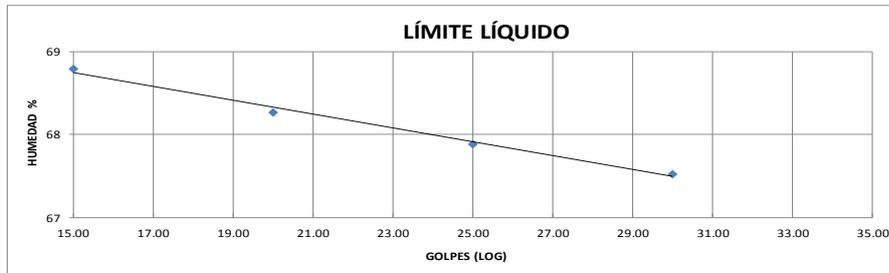
ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

PROYECTO : ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN ZONAS URBANAS

OBRA :
LOCALIZAC. : CUENCA
SOLICITADO :
FECHA :

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
93.00
MUESTRA: 5
PROFUNDIDAD: 0.5 m
REALIZADO: BYRON SHINGRE

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		533.05 442.05 455.93	513.50 425.51 436.96	61.20 57.50 54.70	4.32 4.49 4.96	4.59
2.- LÍM. LÍQUIDO	15 20 25 30	79.49 73.91 73.57 66.89	72.26 67.76 67.04 60.28	61.75 58.75 57.42 50.49	68.79 68.26 67.88 67.52	71.05
3.- LÍMITE PLÁSTICO		57.23 59.76 58.01	56.22 58.84 55.96	54.63 57.43 52.88	63.52 65.25 66.56	65.11
4.- GRANULOMETRÍA	5.- CLASIFICACIÓN					
PESO IN= 392.89 (H/S)	S			GRAVA	9	
PESO INICIAL DE CÁLCULO:	392.89			ARENA	28	
				FINOS	62	
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 71.00		
1"	0.00	0	100	LP = 65.00		
3/4"	0.00	0	100	IP = 6.00		
1/2"	0.00	0	100			
3/8"	0.00	0	100			
No. 4	37.29	9	91	CLASIFICACIÓN		
No. 10	56.96	14	86	SUCS : MH		
No. 40	148.54	38	62	AASHTO: A-5		
No. 200	147.83	38	62	IG(86): 10		
				IG(45): 8		



CLASIFICACIÓN SUCS: Limos Inorganicos (MH)

CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelos Limosos (A-5)

Observaciones:



DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y MINAS E INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIOS UTPL

ENSAYO DE CLASIFICACIÓN

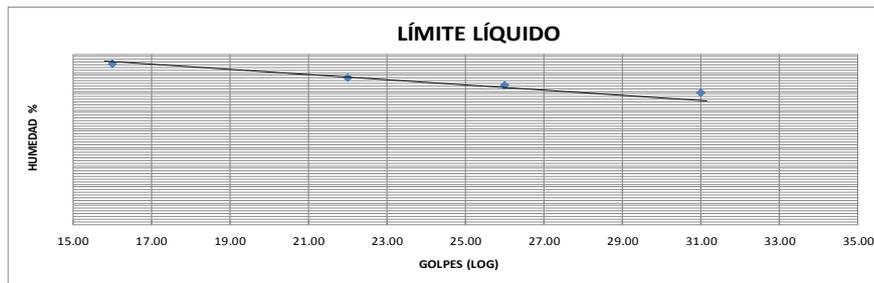
PROYECTO : ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN ZONAS URBANAS

OBRA :
LOCALIZAC. : CUENCA
SOLICITADO :
FECHA :

NORMA: ASTM D 4318, AASHTO T-27
93.00
MUESTRA: 6
PROFUNDIDAD: 0.5 m
REALIZADO: BYRON SHINGRE

	GOLPES	PESO HUM.	PESO SECO	CÁPSULA	w %	RESULTADO
1. CONTENIDO DE AGUA		322.77	271.31	60.70	24.43	24.74
		301.66	251.85	56.30	25.47	
		336.38	282.91	62.88	24.30	
2.- LÍM. LÍQUIDO	16	85.25	76.40	61.75	60.41	55.62
	22	83.26	74.56	58.75	55.03	
	26	83.56	74.60	57.42	52.15	
	31	81.26	71.05	50.49	49.66	
3.- LÍMITE PLÁSTICO		56.23	55.56	53.63	34.72	35.23
		58.76	57.63	54.43	35.31	
		54.01	53.45	51.88	35.67	

4.- GRANULOMETRÍA				5.- CLASIFICACIÓN	
PESO IN=	134.71	(H/S)	S	GRAVA	17
PESO INICIAL DE CÁLCULO:	134.71			ARENA	27
				FINOS	56
TAMIZ	PESO RT.	% RET	% PASA	LL = 56.00 LP = 35.00 IP = 21.00	
1"	0.00	0	100		
3/4"	0.00	0	100	CLASIFICACIÓN SUCS : MH AASHTO: A-7-6 IG(86): 10 IG(45): 10	
1/2"	0.00	0	100		
3/8"	0.00	0	100		
No. 4	22.56	17	83		
No. 10	20.82	15	85		
No. 40	29.57	22	78		
No. 200	59.56	44	56		



CLASIFICACIÓN SUCS: Limos Inorganicos (MH)

CLASIFICACIÓN AASHTO: Suelos Arcillosos (A-7-6)

Observaciones:

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

Fuente: Norma AASHTO

Anexo 3.

Cálculos realizados.

Intensidades para la zona A

Intensidades para la zona A							
Tr (años)	ldtr	Duración (minutos)					
		10	30	60	300	720	1440
		Intensidades (mm/h)					
25	3	125.72	71.37	49.94	11.90	5.54	3.02
50	3.35	140.38	79.70	55.76	13.29	6.18	3.37
100	3.58	150.02	85.17	59.59	14.20	6.61	3.61

Intensidades para la zona B

Intensidades para la zona B							
Tr (años)	ldtr	Duración (minutos)					
		10	30	60	300	720	1440
		Intensidades (mm/h)					
25	3	134.534	78.687	56.097	11.274	5.156	2.776
50	3.35	150.230	87.867	62.641	12.589	5.758	3.100
100	3.58	160.544	93.899	66.942	13.454	6.153	3.312

Precipitaciones efectivas para cada zona de estudio

Tr años	Duración (min)	P (cm)	ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		ZONA 6	
			CND	CNG	CND	CNG	CND	CNG	CND	CNG	CND	CNG	CND	CNG
			91.0	90	96.9	94	86.8	83	91.7	90	98	91	80.7	82
		Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)	Pe (cm)
25	10	2.10	0.62	0.54	1.37	0.92	0.34	0.18	0.68	0.54	1.72	0.71	0.11	0.15
	30	3.57	1.68	1.55	2.76	2.16	1.18	0.83	1.79	1.55	3.37	1.98	0.66	0.75
	60	4.99	2.87	2.71	4.14	3.47	2.21	1.71	3.01	2.71	5.03	3.42	1.45	1.59
	300	5.95	3.72	3.53	5.08	4.37	2.97	2.38	3.88	3.53	5.06	3.45	2.08	2.24
	720	6.64	4.35	4.15	5.77	5.03	3.55	2.91	4.52	4.15	5.61	3.94	2.57	2.75
1440	7.25	4.91	4.70	6.37	5.62	4.07	3.38	5.08	4.70	6.08	4.38	3.02	3.22	
50	10	2.34	0.77	0.69	1.59	1.12	0.45	0.26	0.85	0.69	1.97	0.89	0.18	0.22
	30	3.99	2.02	1.87	3.16	2.54	1.46	1.06	2.14	1.87	3.83	2.36	0.87	0.98
	60	5.58	3.39	3.21	4.71	4.01	2.67	2.11	3.54	3.21	5.68	4.01	1.83	1.98
	300	6.64	4.35	4.15	5.77	5.03	3.55	2.90	4.51	4.15	5.71	4.04	2.57	2.75
	720	7.42	5.07	4.86	6.53	5.78	4.21	3.51	5.24	4.86	6.32	4.60	3.14	3.35
1440	8.10	5.70	5.48	7.21	6.43	4.80	4.06	5.88	5.48	6.85	5.09	3.66	3.88	
100	10	2.50	0.88	0.79	1.74	1.25	0.54	0.32	0.96	0.79	2.14	1.01	0.23	0.28
	30	4.26	2.25	2.09	3.43	2.79	1.66	1.23	2.37	2.09	4.13	2.62	1.02	1.13
	60	5.96	3.73	3.54	5.09	4.38	2.98	2.39	3.89	3.54	6.11	4.40	2.08	2.25
	300	7.10	4.77	4.56	6.22	5.47	3.93	3.26	4.94	4.56	6.14	4.43	2.90	3.10
	720	7.93	5.54	5.32	7.04	6.27	4.66	3.92	5.72	5.32	6.80	5.04	3.53	3.75
1440	8.66	6.22	6.00	7.76	6.97	5.30	4.52	6.41	6.00	7.36	5.57	4.10	4.34	

Cálculo del caudal pico

Zona	L (m)	S	tc (horas)	tr (horas)	de (horas)	tp (horas)	tb (horas)	A (km2)	qp (m3/s)
1	584.4800	0.0205	0.1959	0.1175	0.8852	0.5601	1.4956	0.1088	0.0404
2	651.0000	0.0184	0.2219	0.1331	0.9420	0.6041	1.6131	0.1055	0.0363
3	465.0000	0.0258	0.1504	0.0903	0.7757	0.4781	1.2765	0.0496	0.0216
4	490.0000	0.0245	0.1598	0.0959	0.7995	0.4956	1.3233	0.0451	0.0189
5	687.0000	0.0175	0.2361	0.1417	0.9718	0.6276	1.6756	0.1051	0.0348
6	367.0000	0.0327	0.1144	0.0687	0.6766	0.4070	1.0866	0.1273	0.0651

Caudales de crecida

Tr años	intensidades (mm/h)	Precipitaciones (cm)	CND	CNG	Pe con CND	Pe con CNG	Qp (l/s)	
							Detallado	Generalizado
25	49.94	5.64	91.0	90	3.45	3.26	139.48	131.86
	49.94	5.30	96.9	94	4.44	3.75	161.20	136.39
	49.94	6.44	86.8	83	3.37	2.75	72.64	59.27
	49.94	6.25	91.7	90	4.14	3.80	78.30	71.77
	49.94	5.14	98.0	91	4.56	3.01	159.05	104.77
	49.94	7.38	80.7	82	3.11	3.32	202.03	215.66
50	55.76	6.30	91.0	90	4.04	3.84	163.43	155.32
	55.76	5.92	96.9	94	5.04	4.34	183.29	157.61
	55.76	7.19	86.8	83	4.01	3.33	86.37	71.82
	55.76	6.97	91.7	90	4.82	4.45	91.05	84.15
	55.76	5.74	98.0	91	5.16	3.54	179.78	123.28
	55.76	8.24	80.7	82	3.77	4.00	245.16	260.10
100	59.59	6.73	91.0	90	4.44	4.23	179.39	170.99
	59.59	6.33	96.9	94	5.45	4.72	197.84	171.67
	59.59	7.68	86.8	83	4.43	3.72	95.58	80.32
	59.59	7.45	91.7	90	5.26	4.89	99.52	92.40
	59.59	6.13	98.0	91	5.55	3.89	193.41	135.63
	59.59	8.81	80.7	82	4.22	4.46	274.38	290.11

Anexo 4.
Memoria fotográfica.

Extracción de muestras de la zona 1



Extracción de muestras de la zona 2



Extracción de muestras de la zona 3



Extracción de muestras de la zona 4



Extracción de muestras de la zona 5



Extracción de muestras de la zona 6



Ensayo de granulometría



Ensayo de Limite Líquido y plástico

