UAI
Universidad Abierta Interamericana

Nuevos espacios atenuantes

Análisis teórico de la viabilidad del uso de las veredas de la ciudad de Buenos Aires como espacios de atenuación bioambiental teniendo en cuenta el cambio climático y los efectos de la isla de calor urbana.

Carlos A. Rodríguez
Tesis de grado

Tutor: Arq. Fernando D. Cerone

Buenos Aires, Octubre, 2014

NUEVOS ESPACIOS ATENUANTES

Tesis de grado

Carlos A. Rodríguez

Facultad de Arquitectura

Universidad Abierta Interamericana

Ciudad de Buenos Aires

Tutor: Arq. Fernando D. Cerone

Octubre de 2014

RESUMEN

Atenuar el efecto que genera el soporte edilicio que constituye la ciudad cuando es despojada de los elementos naturales sobre los que es edificada, torna al espacio público en un lugar fuertemente tensionado. Los nuevos espacios atenuantes que propone este trabajo colaboran con la disminución de esa tensión desde distintas aproximaciones. Son fosas de infiltración de agua de lluvia ubicadas en las veredas y terminadas a nivel del solado preferentemente vegetadas. Restablecen el ciclo hidrológico natural de la circulación atmosférica del agua, reinsertándola en los acuíferos y mejorando su presencia termoreguladora como vapor. Asociado a esto, la estética de su expresión orgánica acerca al hombre de la ciudad a espacios verdes diseñados para ser sutilmente percibidos a escala peatonal cercanos a su diario devenir.

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen i
Tabla de contenidos iii
Introducción 1

CAMBIO CLIMÁTICO Y CALENTAMIENTO GLOBAL 7
- Calentamiento global 8
- Efectos locales del calentamiento global 10

EFECTOS LOCALES DEL DESARROLLO URBANO 14
- Isla urbana de calor 14
- Hidrología de la ciudad de Buenos Aires 17
- Situación de la ciudad de Buenos Aires 19

NUEVOS ESPACIOS ATENUANTES 22
- Base teórica: el sitio. 25
- Descripción del sistema de infiltración 30
- Evaluación del sistema 44

CONSIDERACIONES FINALES 49
- Sustentabilidad 50
- EstÉtica 52
- Últimas Palabras 53

ANEXOS 59
- Anexo A: Base referencial 59
- Anexo B: Proporción de suelos 65
- Anexo C: Elección del valor de conductividad hidráulica. 75
- Anexo D: Funcionamiento del sistema y fundamentación de cálculos. 79
- Anexo E: Áreas aptas y no aptas 87
- Anexo F: Costo aproximado 91

Bibliografía 93
Tabla de figuras 97
Indice de tablas 99

INTRODUCCIÓN

Todo comenzó yendo a la facultad, una tarde de diciembre del pasado año 2013, cuando estaba por rendir Proyecto Urbano y tenía los indicadores del Modelo Territorial dando vueltas en mi cabeza. Había una palabra que percibía asociada a una sensación de bienestar, estaba relacionada con el indicador de espacios verdes.

Esa palabra era atenuación. Más preciso imposible, Libertador al 6000, enormes edificios, una anchísima avenida, veredas comparables, las 18:00 hs, la sensación térmica, el reflejo de la luz, y ni un solo respiro de algo fresco, aunque más no fuera visualmente. El stress era inevitable, estaba padeciendo el lento achicharramiento típico de nuestra recalentada ciudad de Buenos Aires, que amamos y padecemos.

Pude comprender con mayor precisión, aquello acerca de que la atenuación del efecto que produce lo construido sobre nuestra percepción del espacio, ya sea, como lugar fruible o evitable, era decisivo al momento de entender la ciudad como extensión de nuestro espacio vital.

Este pensamiento venía de la mano de otro indicador que estaba asociado a las inundaciones y al ciclo del agua,

“la proporción de superficie absorbente”. Cubierta bajo toneladas de concreto, incapaz de interactuar con nuestra atmósfera.

Pensaba cómo colaborar desde el espacio público con esta situación, con estas dos problemáticas. En principio, podía imaginar veredas con espacios verdes, como elemento colaborador con la cuestión atenuante y a la vez como puerta de ingreso del agua caída solo sobre las aceras hacia los acuíferos.

Comencé entonces a investigar acerca de los suelos de nuestra ciudad, luego conceptos básicos de edafología y geología para tener un encuadre proposicional lo más científico posible.

Hice un modesto cálculo de la infiltración para ver donde estaba la capacidad del suelo sabiendo que trabajaba con un perfil de baja permeabilidad, y para mi sorpresa, el resultado me arrojó un valor muy interesante que me permitía pensar en algo más que solamente captar el agua caída sobre las veredas.

Fue así, que tratando de lograr una mayor certidumbre, busqué referenciar mi sospecha con experiencias de entendidos en el tema y encontré ajustes muy apropiados.

Hallé abundante información sobre lo que se entiende como sistemas de tratamientos sustentables del agua de lluvia. Me llamó la atención el amplio desarrollo técnico-experimental y legal que regula toda esta actividad en otros países, como así también los años que ya llevan utilizándolos.

Pretendo explicar, desde lo teórico, que es posible el uso de sistemas sustentables en el manejo de las precipitaciones en Buenos Aires. Pero no solo desde lo edafológico o climático sino también desde lo arquitectónico y urbano, no separando las funciones. Ese nuevo espacio que es posible crear no solo tiene un significado sustentable desde la física de lo natural sino también desde la arquitectura, pues, es un espacio donde se unen lo funcional y lo estético, alegando si es posible así decirlo, que lo funcional no tiene porqué ser hierático, o neutro, y que lejos de ser una opción, es una columna más que se suma a la sustentabilidad del producto final.

La recuperación del ciclo hidrológico del agua es el eje del desarrollo de esta propuesta, pero no su objetivo principal, sino que más bien, este está vinculado a los efectos colaterales que surgen de esa recuperación, cuyo significado concreto es mayor calidad del espacio público.

Como indica el Modelo Territorial Buenos Aires 2010/2060, cambiar el espacio público es trabajar sobre la contaminación, mejorar la calidad del aire, del agua, del suelo, como así también la densidad y proximidad de los espacios verdes. (Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2011, págs. 283 - 307)

Este trabajo no resuelve en forma completa todo lo relacionado con los aspectos geotécnicos, como así tampoco lo concerniente a los sistemas de referencia que se desarrollan como ejemplos. La propuesta es desde un punto de vista conceptual y metodológico, por razones obvias del alcance de nuestra formación arquitectural y urbanística. Que lejos de ser menor, es justamente su incumbencia la que permitió identificar la problemática y orientar la búsqueda de resultados racionalmente viables y estéticamente adecuados.

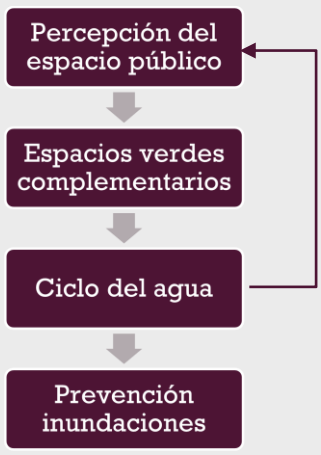


Figura 1: Aproximaciones

Hoja de ruta:

Este trabajo comienza con el conflicto global del cambio climático para luego introducir en él a la ciudad de Buenos Aires, con su propia conflictividad y su respuesta en relación al mismo.

Después, presenta la propuesta de competencia con su base teórica y anexos complementarios. Le sigue el marco referencial que da los principios y normativas sobre los que se han fundamentado emprendimientos equivalentes en otros países. Termina con las conclusiones y la bibliografía.

Cambio climático y calentamiento global

Calentamiento global
Efectos locales del calentamiento global

Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. (Naciones Unidas, 1992, pág. 3)

CALENTAMIENTO GLOBAL

Principalmente el vapor de agua y el dióxido de car bono, junto a otros gases de efecto invernadero (GEI), retienen las radiaciones de onda larga que emite la superficie terrestre cuando se calienta al recibir la radiación solar, a razón de 341 W/m2, Figura 2, Tabla 1.

Si se contara sólo con los 170 w/m2 (resaltado rojo) que absorbe el suelo, la temperatura sería de 39 °C bajo cero, según la ley de Stefan Boltzmann.($R = \sigma T^4$). O sea:

T = (R/σ) ^¼ ⇒ T = (170/5.67-8) ^¼ = 234 °K = -39 °C

Tabla 1

Balance energético por capas

capa	Entrada	Salida	Saldo
Atmósfera Alta	341	200	
		40	
		100	
	341	341	0
Atmósfera Baja	70	200	
	104	324	
	350		
	524	524	0
Suelo	170	390	
	324	104	
	494	494	

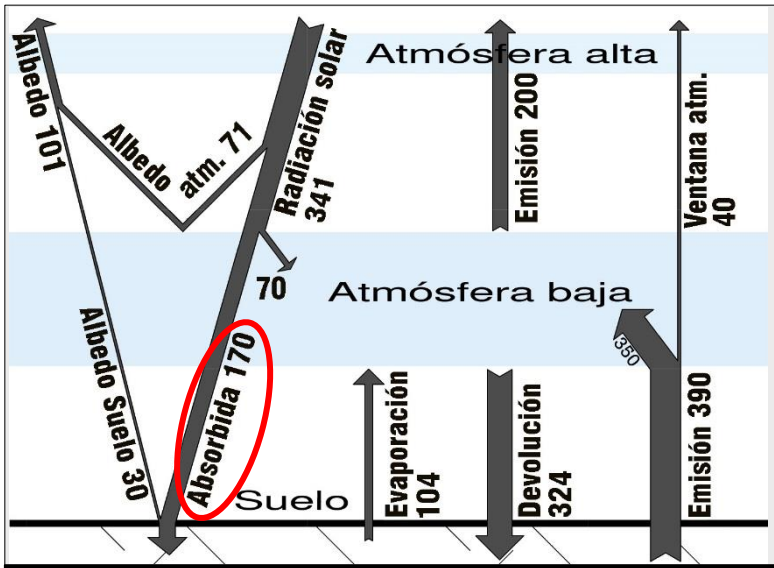


Figura 2: Balance energético global.

Fuente: Sánchez Rabat, S. (2010).

La figura desglosa los intercambios energéticos por capas y la Tabla 1 organiza los datos en un cuadro de entradas salidas y saldo. La atmósfera baja contiene los gases de invernadero siendo responsable de la recuperación del calor disipado por la superficie terrestre.

Las unidades de los valores están dadas en Watts/metro cuadrado (W/m^2)

Figura 2: Balance energético global.

Estas sustancias también resultan de la combustión de materia orgánica fosilizada, Figura 3, cuya demanda viene creciendo geométricamente desde el comienzo de la era industrial con el correspondiente aumento de la temperatura global. (Ramanathan, 2008, págs. 221–227)

Confirmando la Figura 4, la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en su último informe semestral Nº 1130, dice: "…A escala mundial el nivel del mar ha subido 19 centímetros desde principios del siglo XX,… El 93% del exceso de calor de los últimos 40 años ha sido absorbido por los mares, hasta 2000 m de profundidad." (2014, pág. 8)

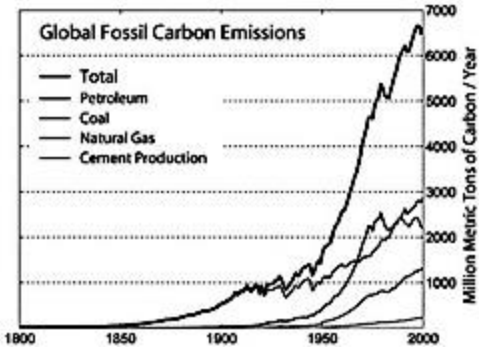


Figura 3: Emisiones globales de dióxido de carbono discriminadas según su origen.

Fuente: Marland, G. et al. (2003)

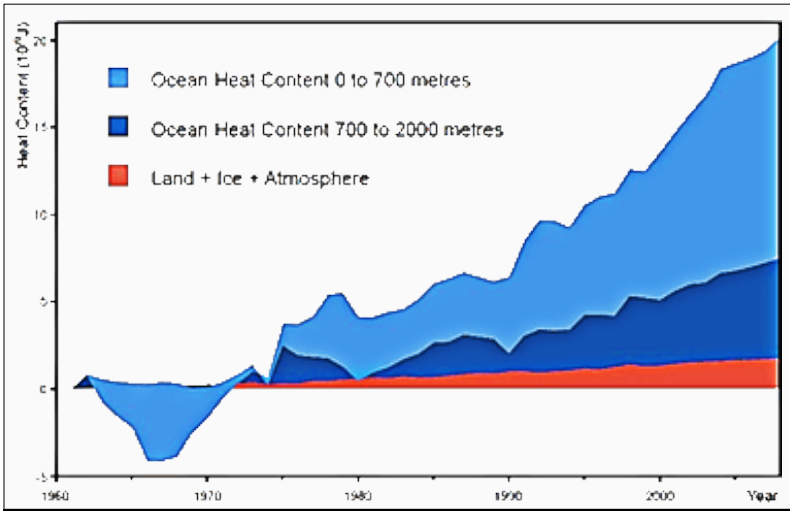


Figura 4: Contenido total de calor bajo y sobre nivel del mar.

Fuente: Dana Nuccitelli, et al, (2012)

Este gráfico no indica temperaturas, sino cantidad de calor acumulado en océanos hasta 700 y 2000 metros de profundidad. Aparte, en rojo, el contenido calórico superficial en tierra, hielos y atmosfera.

Figura 4: Contenido total de calor bajo y sobre nivel del mar.

EFECTOS LOCALES DEL CALENTAMIENTO GLOBAL

La agencia internacional, Assessment of Impact and Adaptation for Climate Change (AIACC), ha financiado un estudio de impacto y adaptación al cambio climático en el Río de La Plata que demuestra la influencia de este hecho global en nuestras costas:

> El Río de la Plata [
> Figura 5] está experimentando un incremento de su nivel medio por el aumento del nivel del mar, por el cambio en la dirección de los vientos estacionales predominantes y el incremento del caudal de los tributarios principales. Además, se está incrementando la frecuencia de las ondas de tormenta. (2005, pág. 1)

Figura 5: Causales del incremento de nivel del río de La Plata.

Fuente: AIACC. (2005).

En efecto, los ríos Paraguay, Paraná y Uruguay muestran tendencias positivas en el caudal desde 1970, siendo posible "atribuir la amplificación de la respuesta hidrológica exclusivamente a los cambios en la precipitación." (Camilloni, El cambio climático, 2005, pág. 29)

De la misma forma se ha confirmado el aumento significativo de la intensidad de las precipitaciones durante el siglo pasado, de 1000 a 1200 mm anuales, Figura 6. Así también, su fenomenología causante, siendo convectivas en

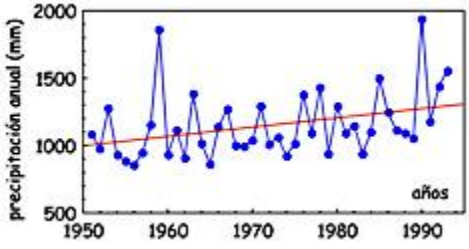


Figura 6 Aumento precipitación anual en el Río de la Plata. Período: 1950-2000.

Fuente: Camilloni, I. (2008)

verano y frontales en invierno. (Bidegain, y otros, 2005, pág. 138)

Las precipitaciones en sí, no producen las inundacio nes, sino asociadas a ondas de tormenta que conjugan el aumento del nivel del río con la dinámica de las olas provocadas por el ataque de la sudestada en dirección contraria a su desembocadura, Figura 7. (Camilloni, 2008, págs. 12,18,21)

Como corolario de esto, puede decirse que el cambio global ha modificado nuestro clima local rioplatense con tormentas más intensas, y a la vez, con menor capacidad de desaguar debido a la mayor resistencia que ofrecen el río de La Plata y los fuertes vientos predominantes del sudeste.

Figura 7: Causales climáticos de inundaciones

Fuente: Camilloni, I. (2008).

Efectos locales del desarrollo urbano

Isla urbana de calor.
Hidrología de la ciudad de Buenos Aires
Situación de la ciudad de Buenos Aires

Son los fenómenos asociados al crecimiento urbanístico de las grandes ciudades. Sumados al cambio climático global son factores modificadores del régimen pluvial colaborando en la gestación de lluvias más intensas en la ciudad de Buenos Aires. (Camiloni, 2010)

ISLA URBANA DE CALOR.

Se llama Isla urbana de calor (IUC) al sobrecalentamiento del espacio urbano en relación al área circundante no urbanizada. Llamado así por Gordon Manley en 1958.

Como consecuencia aumenta el consumo energético para compensar la mayor temperatura, con el subsecuente incremento de emisión de GEI.

También la salud y la vida de los sectores más vulnerables de la población son afectadas. El agua de lluvia capta mayor cantidad de contaminantes y calor que lleva al río. (EPA, 2008, págs. 13-15)

En cuanto al clima, Figura 9, la IUC genera células convectivas, que forman nubes de desarrollo vertical y gran inestabilidad atmosférica que resulta en fuertes tormentas. (Mazzeo, Patricia I., Figuerola, & Nicolas A., s/f, pág. 3).

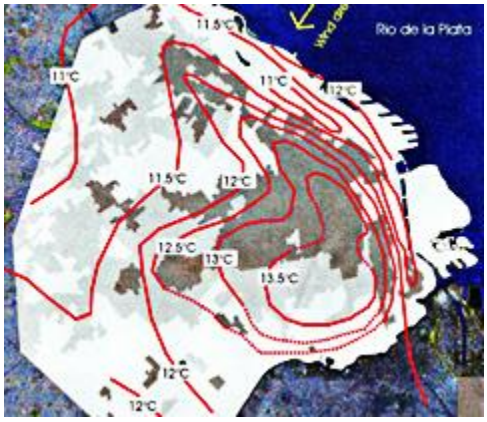


Figura 8: Isotermas concéntricas.

Sobre plano de densidad poblacional de la ciudad de Buenos Aires. Algo desplazadas por viento del NE. Tomadas el 22-06-99 a las 21 hs.

La coincidencia de las isotermas y las áreas de mayor densidad demográfica demuestra el efecto del desarrollo urbano en la génesis de este microclima. (de Schiler, Evans, & Katzschner, 2001)

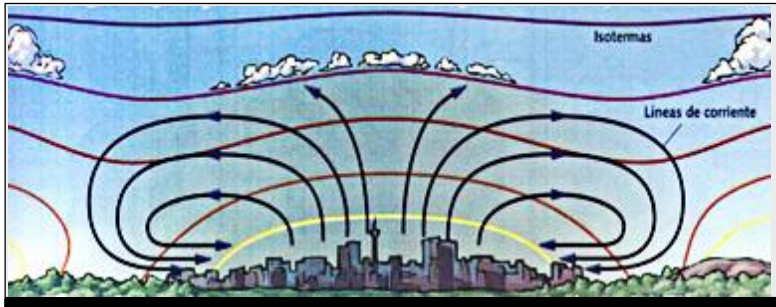


Figura 9: Isla Urbana de calor generando una gran célula convectiva.

El aire caliente asciende en la zona central enfriándose y cayendo en la periferia originando un sistema propio de gran inestabilidad atmosférica.

Figura 9: Isla Urbana de calor generando una gran célula convectiva..

Causas de la Isla urbana de calor, Figura 11:

- Menor sombra y menor evaporación debido a menor cobertura de espacios verdes.
- Mayor almacenamiento de calor de los materiales urbanos durante las horas del día y su posterior devolución a la atmósfera durante la noche.
- Geometría urbana que provee más planos de absorción de energía solar directa o reflejada, que a la vez, dificultan su ventilación.
- La producción de calor asociada a las diferentes actividades humanas y los procesos de combustión de las áreas urbanizadas. (EPA, 2008, págs. 7-12)

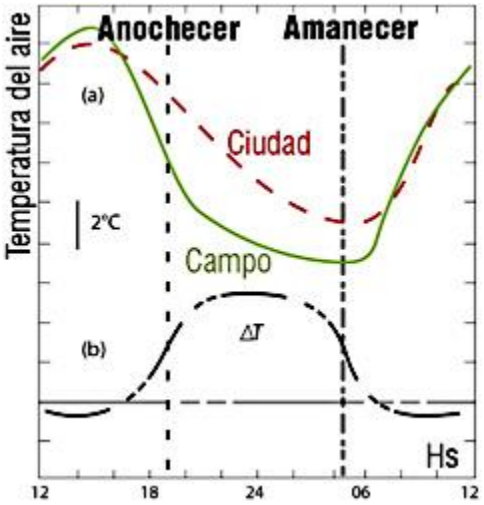


Figura 10: Temperaturas del aire en zona rural y ciudad.

La IUC se manifiesta en la diferencia de temperatura (ΔT), especialmente durante la noche. Porque la acumulación de calor en las zonas rurales es menor que en la ciudad. EPA, 2008, pág.5.

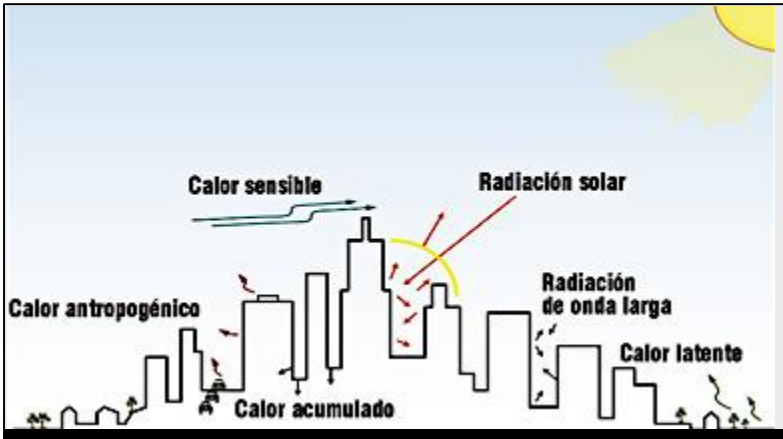


Figura 11: Flujos y reflujos de calor de distintas fuentes en la ciudad.

Fuente: EPA, (2008), pág. 11.

Tipos:
Radiación solar
Radiación de onda larga
Calor sensible
Calor latente
Calor antropogénico

Figura 11: Flujos y reflujos de calor de distintas fuentes en la ciudad.

HIDROLOGÍA DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

Como en un balance da caja, el balance hídrico, establece la relación entre entradas y salidas de agua pluvial. En este caso, durante la precipitación, el agua de lluvia que llega a la superficie satura el suelo por infiltración y luego escurre según las pendientes del terreno, hasta llegar al río o formar anegamientos. Otra parte es evapotranspirada.

La Figura 13 muestra este balance de valores medios anuales en Estados Unidos, donde la relación entre la escorrentía en zonas urbanizadas y naturales es de cinco a uno y la escorrentía misma en las ciudades alcanza al 55% de las precipitaciones. (EPA, 2003, pág. 1)

La Figura 12 muestra que en Buenos Aires, si bien el acuífero pampeano solo recupera el 4% del agua de lluvia, la escorrentía es favorablemente menor, 23% del agua caída.

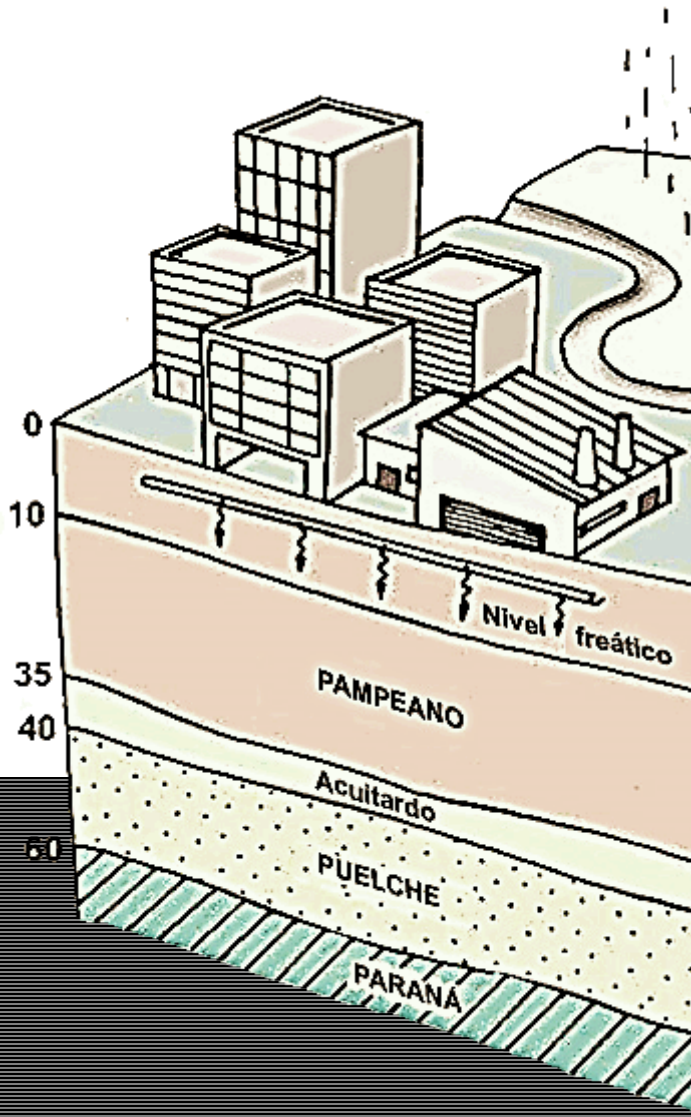


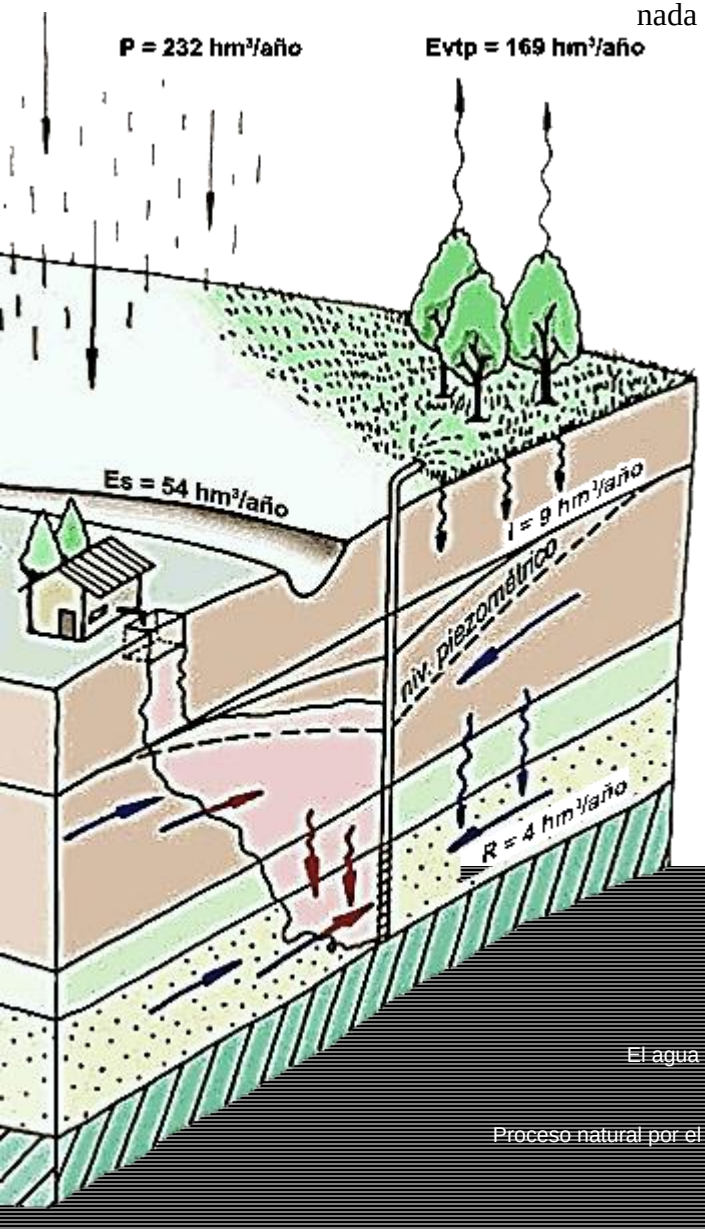
Figura 12: Balance hídrico de la ciudad de Buenos Aires.

Fuente: Auge, 2004, p.51.

Referencias:
P = precipitación, Es = escorrentía superficial, ER = evapotranspiración real, I = infiltración. Unidades en hectómetros cúbicos por año.

Infiltración/precipitación: I/P=9/232 ≈ 4%
Escorrentía/precipitación: E/P=54/232≈23%
Profundidades en metros (m).

Esto significa que la brecha entre lo que se infiltra y lo que se escurre es mucho menor que la situación mencionada por la EPA. Por esto, se puede pensar que mejorar la infiltración está, por lo menos cuantitativamente, en la dirección correcta.



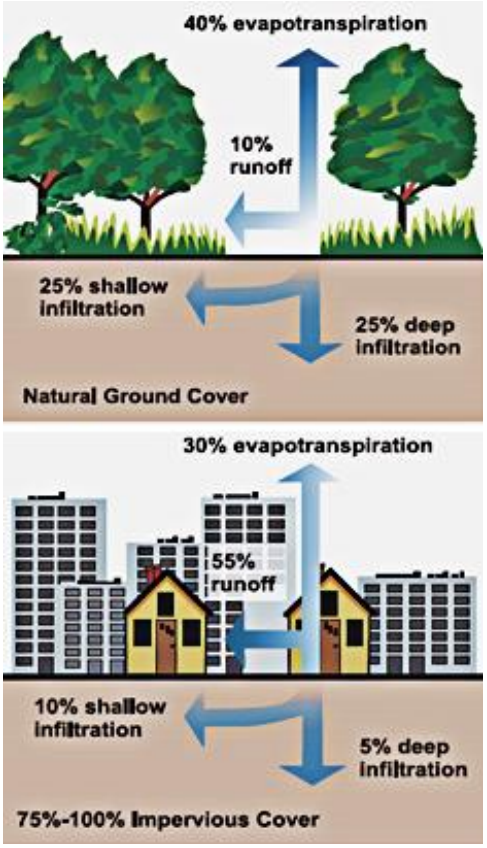


Figura 13: Balance hídrico en áreas rurales y urbanas. Fuente: EPA, 2003.

Evapotranspiración
La evaporación del agua del suelo en forma directa más la que transpiran las plantas.

Escorrentía
El agua no absorbida por el suelo que fluye superficialmente siguiendo la pendiente del suelo.

Infiltración
Proceso natural por el cual, el agua de lluvia atraviesa el perfil del suelo, hasta los acuíferos por efecto de la fuerza de gravedad.

SITUACIÓN DE LA CIUDAD DE BUENOS AIRES

Las mismas razones que producen cambios en el clima de la ciudad son las que impiden formas compensadoras de los mismos. Mayores precipitaciones y ondas de tormenta que impiden desaguar libremente al río de la Plata, más calor urbano y lluvias con poca cobertura verde y menos superficie absorbente para infiltrar hacia el subsuelo.

La ciudad de Buenos Aires ha tratado de resolver estos desequilibrios aunque, muchas veces se han retroalimentado por soluciones parciales de carácter coyuntural, sin una visión holística.

El cambio interesante se produce frente al Protocolo de Kyoto. Argentina no es país firmante del Anexo 1 del mismo, no obstante, en la ciudad de Buenos Aires , el 5 de marzo de 2009 se sancionó el Decreto 137/09, que dio el marco institucional para diseñar e implementar el Plan de Acción en materia de cambio climático de la ciudad." (GCBA, 2009, pág. 13).

Este va a la raíz del problema, proponiendo medidas concretas de mitigación del efecto de la isla urbana de calor urbana, capítulo 7, entendiendo que allí está la clave para encontrar soluciones viables.

Las medidas de mitigación de los efectos de la IUC, centran su atención en la promoción de los siguientes medios de atenuación.
A saber:

-Nuevos Espacios verdes
Mejorar la actual relación de área verde por habitante, llevarla de 6 a 15 metros cuadrados por habitante. [Resumido]

-Techos verdes
Mejoran la aislación térmica de los edificios y capturan agua de lluvia, reduciendo inundaciones y contaminación.

-Techos fríos
Hechos con materiales hasta un tercio menos absorbentes.

-Árboles:
Absorben CO2, interceptan material particulado, liberan O2, absorben contaminantes gaseosos, dan hábitat, interceptan y almacenan el agua de lluvia, moderan el clima (sombra, vientos, evapotranspiración).

-Pavimentos:
Representan veintinueve kilómetros cuadrados de la mayor superficie absorbente de radiación solar y principal calefactor de la biósfera.

"La ciudad debe encontrar formas de controlar la temperatura, aumentar la permeabilidad de sus superficies, fomentar la biodiversidad y mejorar la salud humana" (GCBA, 2009, págs. 148, 152, 154, 158)

Nuevos espacios atenuantes

Base teórica: el sitio.
- Perfil geológico
- Perfil geotécnico
- Perfil de infiltración

Descripción del sistema de infiltración
- Componentes
- Implantación

Evaluación del sistema
- Rendimiento
- Áreas de aplicación

Los Nuevos espacios atenuantes se encuadran dentro de las medidas de mitigación menciodas, como una alternativa propia y diferente, pero sustentada en los mismos principios de contrarrestar los efectos de la Isla urbana de calor, como uno de los ejes principales para la recuperación ecológica del medioambiente porteño.

Los Nuevos espacios atenuantes (NEA) no son una creación de la nada, sino simplemente un acercamiento a la problemática del manejo del agua con un criterio integrador. De lo cual surge una combinación que adquiere su propia individualidad.

Esta alternativa no tiene carácter excluyente ni exclusivo y de ninguna manera es considerada como una posibilidad autosuficiente. Por el contrario, se presenta como parte de un marco proposicional dentro del cual puede funcionar como colaborante que se expresa en un mismo idioma.

Este planteamiento recoge varios conceptos de los techos verdes, uno de los principales actores de las propuestas de mitigación de la ciudad. Estos han tenido un desarrollo vanguardista en los edificios públicos aunque en realidad, su generalización será de aplicación extensiva en el sector privado. En cambio, los NEA se plantean desde lo netamente público, ya sea por el soporte físico de su implantación, como por su escala y nivel de percepción.

Estos espacios estarían ubicados en las veredas, en la franja de alineamiento del arbolado público, cuyo eje longitudinal se ubica hasta un metro del cordón. Figura 16.

Figura 14: NEA en acera.

El grupo de trabajo en sistemas de drenaje sustentable de Wales, UK, expresa que:

"Existe un amplio rango de sistemas de drenaje sustentable, desde los que operan al final de un circuito hidráulico como lagunas o humedales, hasta los que lo hacen al principio, cercanos a la fuente, tales como cámaras, trincheras, zanjas de infiltración, y pavimentos permeables. La idea es una visión integradora que pueda resolver el manejo del agua tanto en cantidad como calidad" [Traducción adaptada] (SuDS Wales, 2011, pág. 1).

Constan de una fosa perimetral cubierta con vegetación o solado permeable. Figura 15

La cuenca receptora del agua de lluvia estaría constituida por los lotes que conforman el espacio privado de la manzana. El agua sería interceptada en los albañales antes de su llegada a la cuneta e infiltrada a través de las paredes y fondo de la fosa.

Este sistema de infiltración es la parte técnica y subyacente de la propuesta, y la que lleva la mayor carga explicativa, mientras que la estética de su cubierta vegetada no menos importante, solo se desarrolla escuetamente al final.

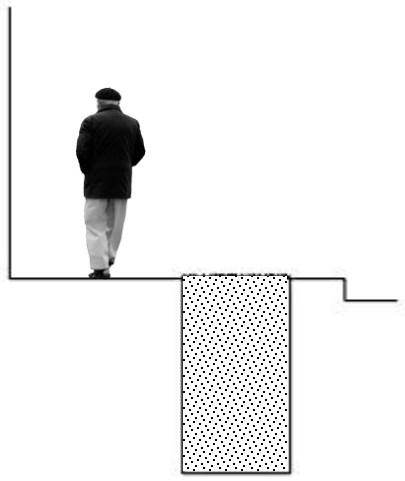


Figura 15: corte esquemático fosa en vereda

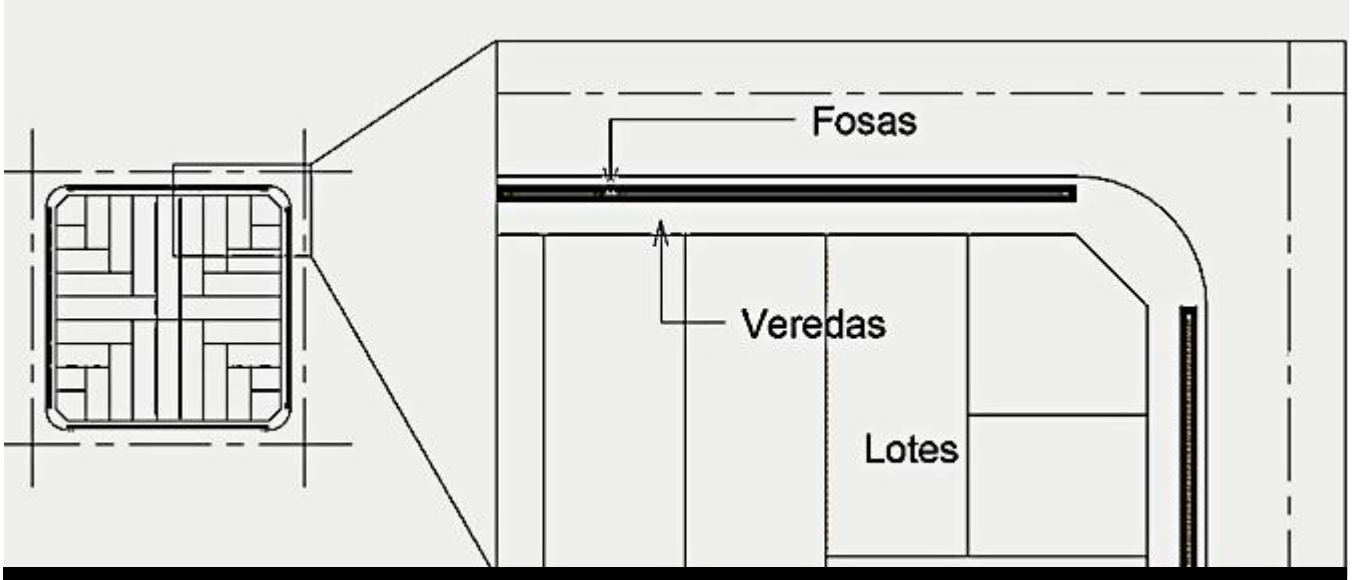


Figura 16: Manzana teórica con fosas perimetrales y ampliación.

BASE TEÓRICA: EL SITIO.

Antes de continuar se ampliará sobre el contexto geológico y geotécnico, que soportaría la intervención propuesta. Se explican las razones que admiten pensar en infiltración, decidir el uso de un determinado valor de permeabilidad y no otro, de ubicar las zonas que admitirían una tipología u otra en la presentación del sistema. Todo lo que asegure un proceso teórico lo menos sesgado posible, porque el objetivo es justificar la presunción de factibilidad para una adecuada implantación. Es decir, conocer el sitio, su naturaleza, su génesis y funcionamiento, conceptos que permitan su comprensión y cuantificación con rigurosidad analítica. Lo siguiente, que no alcanza este trabajo, sería la constatación experimental.

PERFIL GEOLÓGICO

El subsuelo de la llanura en la región del AMBA, está constituido por cuatro grandes depósitos sedimentarios, que se asientan sobre el antiguo basamento cristalino. [Principalmente granito]" (Nabel, 2010). Figura 17.

La más antigua es la formación Olivos, que acompaña los fallamientos y quiebres de acomodación sufridos por el basamento cristalino. Le sigue la formación Paraná que nivela toda la región, sobre la que se asientan los sedimentos arenosos de la formación Puelches, que constituye la fuente de agua potable más explotada del país, aunque en la ciudad de Buenos Aires no se utilice.

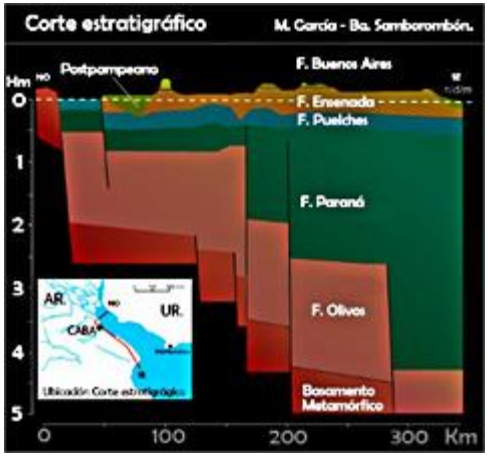


Figura 17: Corte estratigráfico y ubicación geográfica.

El corte va desde la isla Martín García hasta la bahía de Sanborombón, Pcia de Buenos Aires.

Sobre estos aparecen los sedimentos pampeanos, dados por la formación Ensenada más antigua y la formación Buenos Aires, más nueva, de origen eólico, más arenoso, de estructura migajosa y más permeable. Componen el acuífero Pampeano que se recarga por infiltración directa de la lluvia que a su vez va a constituir la fuente de recarga del Acuífero de la formación Puelches, mediante el proceso de filtración vertical descendente. (Auge, 2004, págs. 3-9)

La Figura 18 muestra la distribución geografica de los últimos sedimentos en la ciudad de Buenos Aires y parte del Ambito metropolitano de la provincia de Buenos Aires (AMBA).

Los sedimentos post-Pampeanos están constituidos por la Formación Luján y la Formación Querandí. Esta última, generada por una ingresión marina hace solo 6.000 años, ocupa las actuales llanuras de inundación del Riachuelo y la planicie costera del Río de la Plata, [Con rellenos antrópicos heterogéneos]. (Auge, 2004)

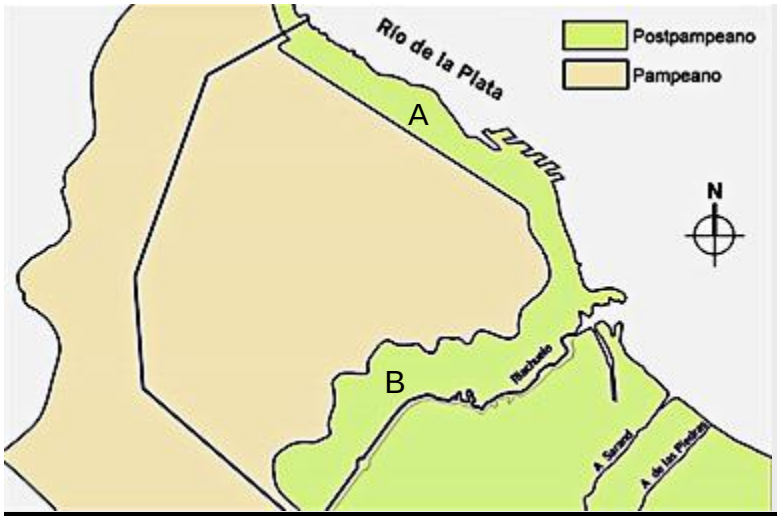


Figura 18: **Ubicación de sedimentos Pampeanos y post-Pampeanos en el AMBA.**

Fuente: Auge, M. (2004)

A: Planicie costera del Río de la Plata.

B: Llanuras de inundación del Riachuelo.

Figura 18: Ubicación de sedimentos Pampeanos y Postpampeanos en el AMBA.

PERFIL GEOTÉCNICO

Es necesario diferenciar los suelos para ponderar las posibilidades de infiltración que determinarán el diseño de los sistemas a utilizar. Para ello, mediante cortes verticales del suelo, llamados *perfiles geotécnicos*, Figura 19 , puede conocerse la distribución de los suelos según su textura y su ubicación topográfica en relación a las cotas de inundación y también datos de acuíferos y formaciones. Ver Anexo B.

En la ciudad de Buenos Aires se pueden encontrar distintas situaciones topográficas como las que se ven en la Figura 20. En la terraza alta, por encima de los diez metros se encuentran suelos aptos debido a su textura permeable, especialmente en laderas y lomas de alturas intermedias. No es una distribución uniforme porque el entrecruzamiento de capas de sedimentación y rellenos hace de esto una cuestión muy heterogénea y aleatoria.

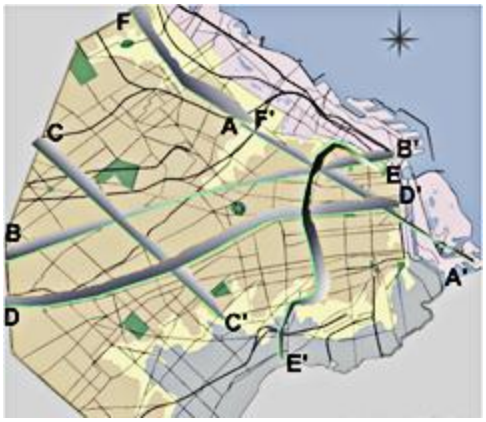


Figura 19: Perfiles geotécnicos de Buenos Aires.

Indicados con letras mayúsculas en los extremos de cada recorrido. El espesor corresponde a la altura topográfica. Colores: Marrón = terraza alta, amarillo = áreas entre 5 – 10 m snm, gris y lila = terraza baja. Fuente: Rimoldi, H. V., & Morrás, H. J. (2010).

Figura 20: Corte esquemático que muestra distintas situaciones de relieve topográfico.

En depresiones de la terraza alta como en toda la terraza baja, debajo de los 5 m msnm[1], los suelos no son permeables y a menudo, la napa freática está a menos de tres metros de profundidad[2]. Por lo que se desechan para la aplicación de fosas de infiltración.

Aún así, más de dos tercios (64%) de la terraza alta pueden llevar trincheras de infiltración.

1.- msnm es metros sobre nivel del mar.

2.- Se requiere un mínimo de un metro de profundidad debajo del fondo de la fosa para evitar la contaminación de la napa freática.

PERFIL DE INFILTRACIÓN

El proceso de infiltración, **Figura 21***, está definido por la permeabilidad del material con que fue formado el suelo, su ubicación topográfica y su grado de diagénesis. Cuando el agua comienza a ser embebida en la tierra forma un frente húmedo no saturado, que avanza en forma preferentemente vertical. Es precedido por un sector de transmisión cercano a la saturación y otro de captación del agua que sí se encuentra saturado. (Gurovich, 1985, pág. 146)*

*E*n los a*nexos C y D se desarrolla el cálculo y la fundamentación de la velocidad de infiltración y los parámetros asociados con el objetivo de constatar la viabilidad de la propuesta.*

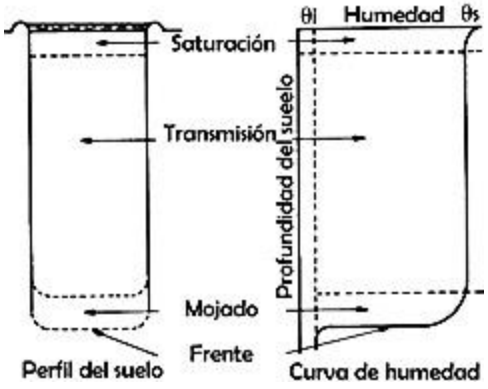


Figura 21: Perfil de humedecimiento en el proceso de infiltración.

Fuente: Gurovich, L. A. (1985).

Referencias
θi: humedad inicial.
θs: humedad de saturación.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE INFILTRACIÓN

La propuesta está basada en los reportes de la oficina de medio ambiente de Reino Unido, recopilados en el manual de la Asociación para la investigación e información de la industria de la construcción (CIRIA) de ese país. Trata las mejores prácticas de manejo sustentable para el drenaje del agua de lluvia, conocidas como SuDS, según sus siglas en inglés, Sustainable Drainage Systems. El desarrollo se realiza para el caso de fosas de infiltración en suelos permeables.

Todo el sistema comienza con una cuenca, o área de captación del agua de lluvia, Figura 22, la cual es conducida hacia las unidades de limpieza donde es purificada y entregada al suelo. Los excedentes que superan la capacidad de infiltración y retención, pasan hacia la cuneta y son recibidos por el sistema tradicional.

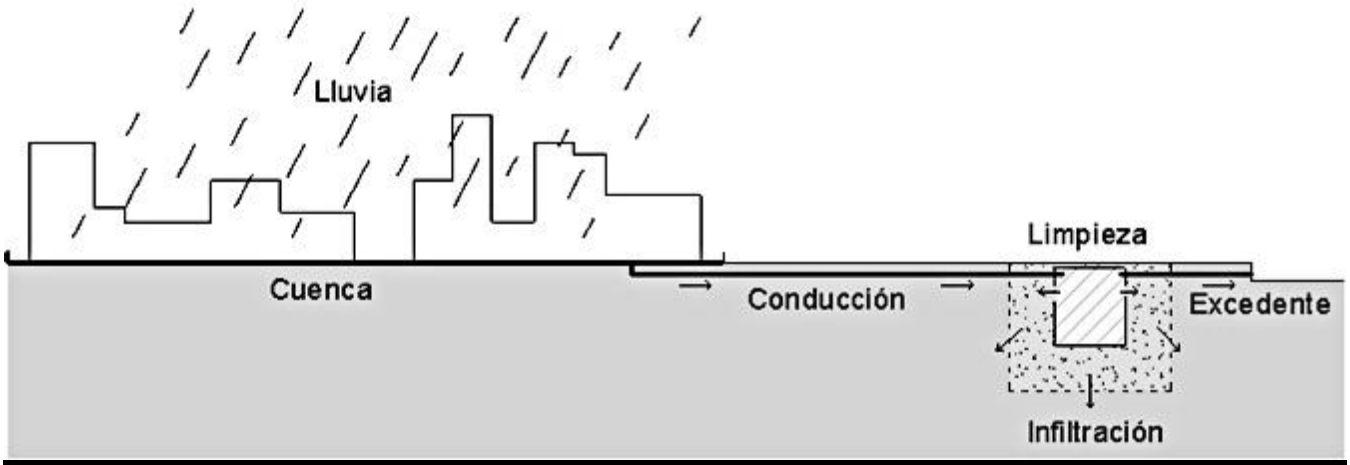


Figura 22: Esquema de la propuesta, simplificado para suelos aptos para infiltración.

COMPONENTES

Cuenca

Corresponde a la manzana entera con sus lotes, Figura 23. El uso de los mismos como elementos de captación inicial tiene las siguientes ventajas:

- Se está tomando el agua en su lugar de percepción.
- Sistema de limpieza y conducción más simple.
- Se manejan menores volúmenes.
- El agua es mucho más limpia que la de la calle.
- El montaje es sobre algo existente.
- Percepción de cercanía y pertenencia.

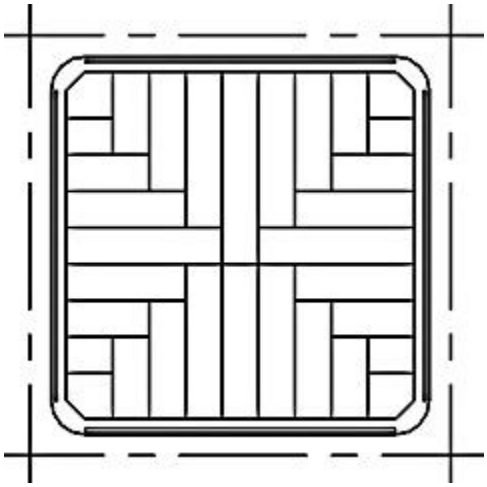


Figura 23: Cuenca de captación del agua de lluvia: la manzana.

Albañales

Estos son los existentes, que conducen el agua a la calle atravesando la vereda. Son interrumpidos al ingresar a la fosa, Figura 24 (A), no descargando directamente en esta sino, primeramente, a un tanque de tratamiento del agua. De 100 mm de diámetro nominal interior mínimo, con una capacidad a flujo lleno de 7 l/s en pendientes del 1% como peor de los casos proveen suficiente caudal para el funcionamiento del sistema como se verá más adelante. (OSN, 1974, pág. 17)

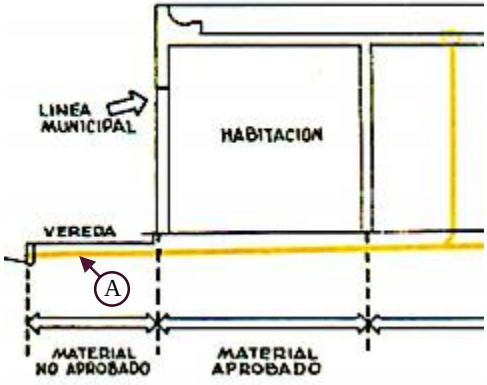


Figura 24: Condutales de salida a la calle.
A: Interrupción

Fuente: (OSN, 1974, pág. 103)

Trinchera o fosa

Las trincheras son excavaciones superficiales rellenas con escombro o piedra u otro tipo de medio poroso, que permiten un almacenamiento temporal subsuperficial para el agua de lluvia, la cual luego es infiltrada hacia dentro del suelo desde su fondo y laterales. (CIRIA, 2007, pág. 244) Figura 25.

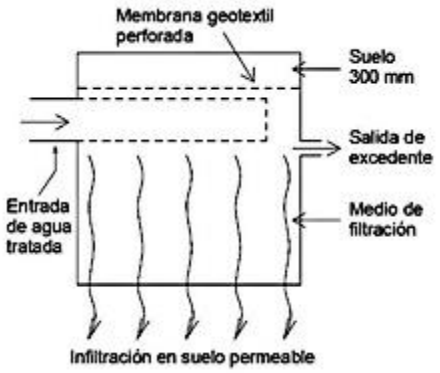


Figura 25: Esquema básico de fosa.

Fuente: Ciria, 2007, 243

Este trabajo presenta dos tipos de fosas según su material de relleno. Uno granulométrico poroso como la arena y otro modular, de mayor rendimiento espacial.

Fosa de arena: Una sección de 1.20 m de ancho por 2.00 m de profundidad. Rellena con arena gruesa bien graduada (SW según Clasificación Universal de Casablanca), que posee una porosidad efectiva o útil de hasta el 35%. Los taludes quedan estabilizados por el material de relleno y por un coronamiento superior de hormigón premoldeado de no menos de 0.25 m de altura bajo nivel del solado. La altura de la napa fue considerada al seleccionar los suelos aptos, de forma que quede como mínimo a un metro libre bajo el fondo. Se usa membrana geotextil perforada como articulador con la parte superior o cobertura. La Figura 26 muestra el corte de la fosa con el esquema geometrizado de

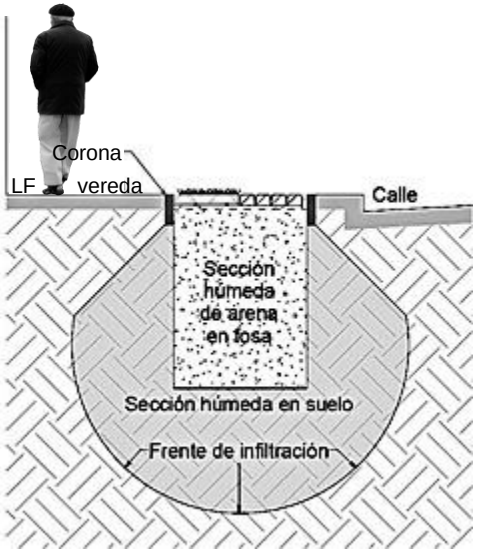


Figura 26: Fosa de arena en vereda, corte transversal.

la mancha de humedad en avance, cuya sección es equivalente a la sección húmeda de la fosa; tanto mayor como la razón de sus porosidades.

La arena permite distribuir el agua en toda la superficie de contacto con el suelo para ser infiltrada. Cabe aclarar que esta es alrededor de cinco mil veces mayor que la sección del condutal de ingreso.

Fosas de mayor captación: En estas la arena es reemplazada por módulos geo-celulares de plástico que cumplen con exigencias de resistencia según su requerimiento y estabilidad físico-química técnicamente sin vencimiento y de bajo costo. Figura 27.

Estos se colocan por apilamiento y calce rellenando la fosa hasta el espesor de la cubierta que va encima. El conjunto queda envuelto con membrana geotextil perforada. El volumen libre es del 95 %, con lo cual la retención por acumulación se triplica.

Las fosas bordean perimetralmente la manzana, interrumpiéndose por el arbolado, que puede quedar dentro de su contorno, como formando parte de la misma, pero sin tocar su masa radicular. La menor longitud resultante se compensa en parte, por mayor cantidad de caras verticales.

Módulo unitario

Módulos yuxtapuestos,
vista interna

Figura 27: Módulo de almacenamiento e infiltración, Stormbloc®, 80.80.66 cm

Fuente: Hydro International, Stormbloc® User Manual

NB: Abajo, módulos yuxtapuestos que ocupan el lugar de la arena como material de relleno, con la diferencia de su completa espacialidad disponible.

Tanque de tratamiento del agua

Está ubicado dentro de la trinchera y es el intermediario en la circulación hacia esta, Figura 28. Su función es limpiar el agua de partículas en suspensión, objetos flotantes de menor tamaño y sustancias orgánicas.

La presencia de partículas conspira contra la capacidad de infiltración del suelo al llenar o colmatar sus macroporos. Además están asociadas a sustancias contaminantes adosadas a ellas (anhídridos de azufre, nitrógeno, cloro, etc.) que migrarían hacia el acuífero. Lo mismo sucede con hidrocarburos. Por su parte, los objetos livianos pueden obturar la circulación del agua libremente hacia la fosa.

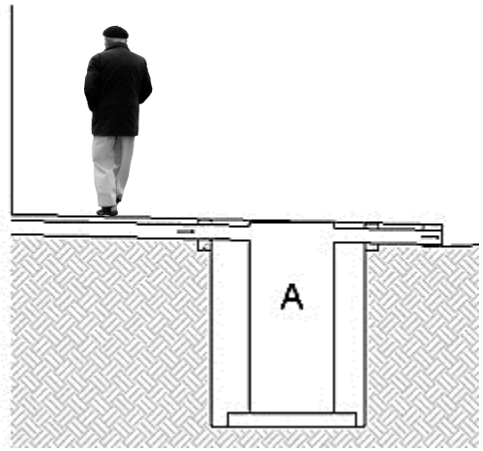


Figura 28 Tanque de tratamiento del agua de lluvia (A)

Figura 29*:* Muestra la relación conceptual entre costos y flujos para distintos tipos de separadores según granulometrías.

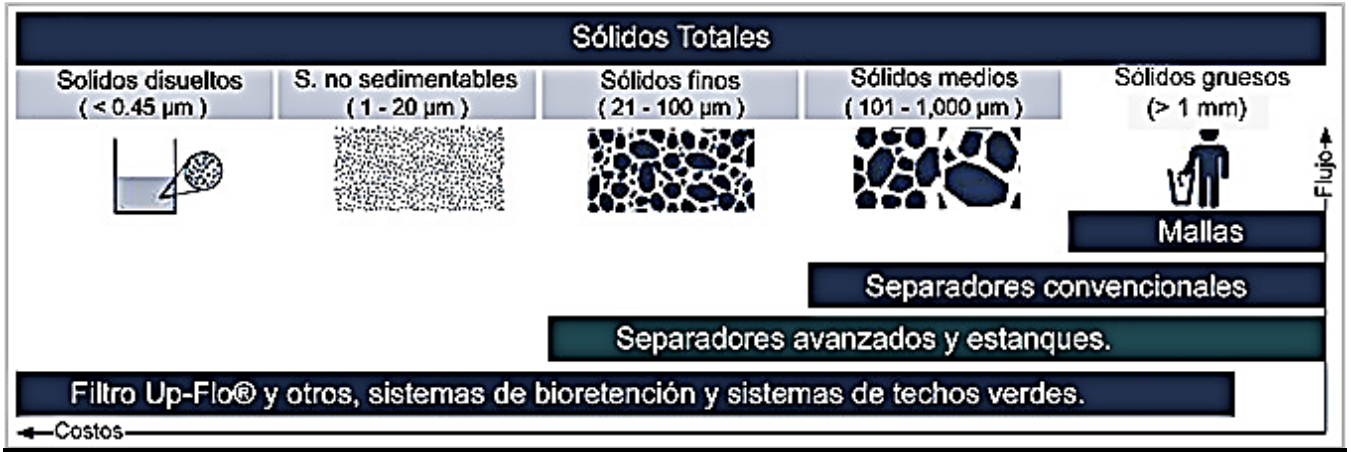


Figura 29: Sistemas de separación de partículas según su granulometría y costos

Existen varios tipos de separadores de partículas por sedimentación. El desafío es sedimentar partículas altamente dinamizadas en flujo turbulento.

"Hydrodynamic Vortex Separation is a proven technology with an established track record for improving urban water quality (including CSOs, Stormwater and Wastewater). [La separación hidrodinámica por efecto de vórtice es una probada tecnología con una marcada trayectoria en el mejoramiento de la calidad de agua urbana (incluyendo sobreflujos del sistema combinado, pluvial y cloacal)]. (Andoh, Hides, & Saul, 2002, pág. 14). Figura 30.

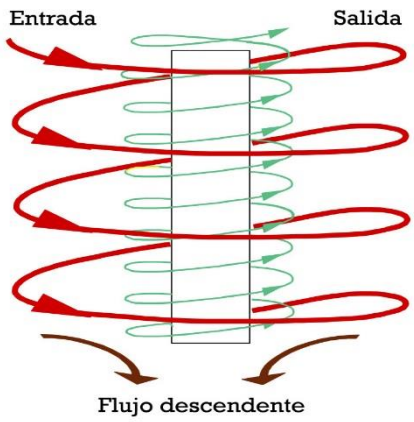


Figura 30: Esquema simplificado de los flujos en vórtice.

Fuente: Andoh, R., et al.(2002).

Cuando un fluido ingresa en un cilindro en forma tangencial a sus paredes laterales, Figura 31, genera una circulación helicoidal conocida como sistema de vórtice. Se caracteriza porque el flujo es tangencial y descendente hasta llegar al fondo. Y luego salir por el tope, en otra trayectoria helicoidal interna a la anterior, con sentido tangencial y ascendente. Ese cambio de dirección desacelera las partículas dejándolas precipitar en el fondo. (Faram & Harwood, 2002)

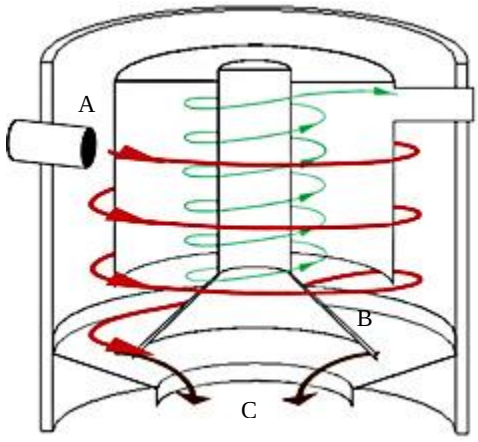


Figura 31: geometría emergente de la separación de flujos. (Corte vertical)

Hydrowebcast's channel ha filmado este proceso en un ensayo de laboratorio con un dispositivo transparente, semejante al de la Figura 31, del que se captaron algunas secuencias que se reproducen en la Figura 32.

Este permite separar los flujos mencionados y hacer más eficaz la separación por vórtice. (Hydrowebcast's cannel, 2010)

A continuación se presentan dos tipos de separadores avanzados de vórtice (AVS) desarrollados por Hydro Internactional®, ambos con licencia LEED. (Hidro International Stormwater, 2009)

Notas de Figura 31 **y** Figura 32:

A.: Ingresa el agua con partículas generando la circulación helicoidal descendente.

B.: El cono favorece la formación del tramo ascendente de salida.

C.: La pollera o rampa perimetral habilita el flujo de sedimentación hacia abajo e impide la remoción del mismo.

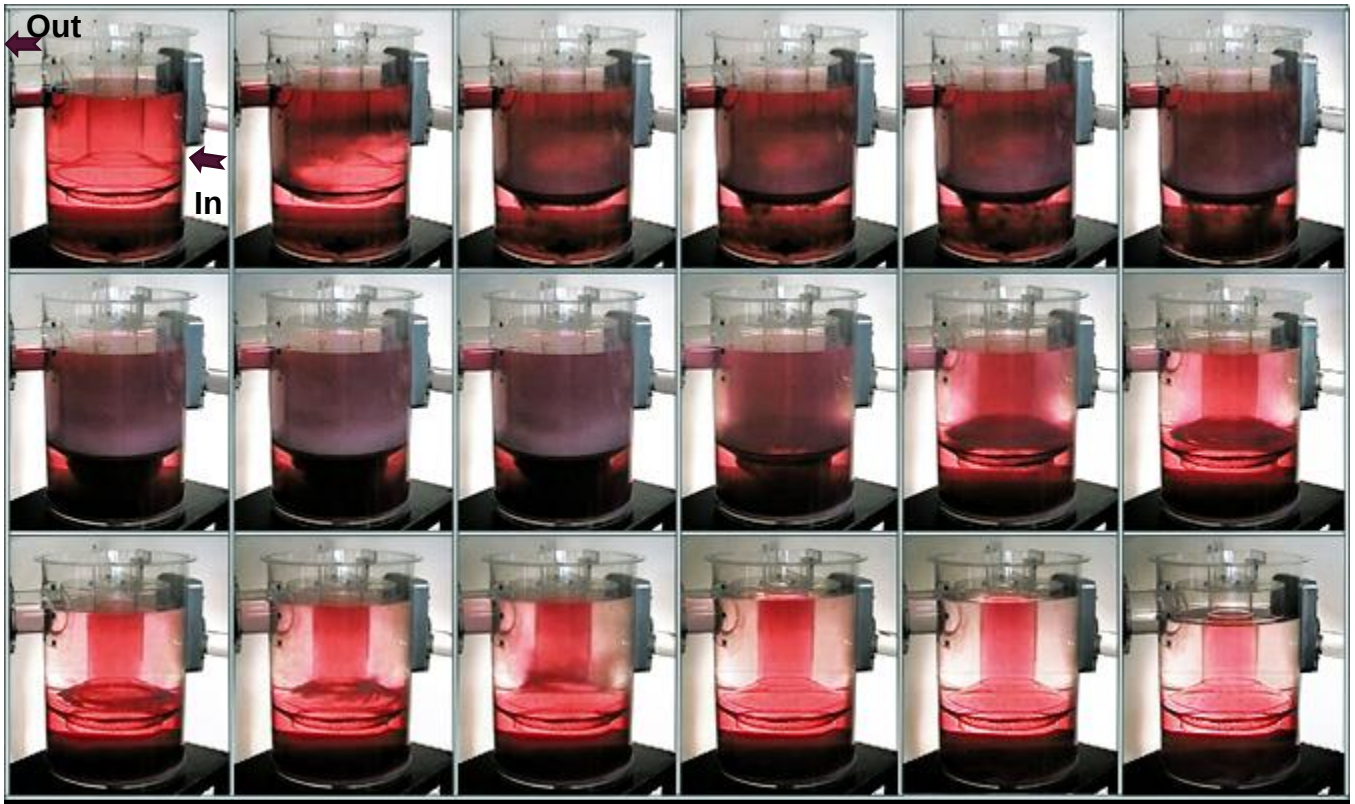


Figura 32: Secuencias de Separador hidrodinámico de vórtice avanzado en acción.

1. Downstream Defender®:

Este dispositivo, Figura 33, debe su eficiencia a su geometría interna, la cual acompaña y mejora el proceso natural de separación de flujos por efecto vórtice.

- El flujo rotacional reduce la turbulencia y permite una sedimentación más eficiente con menor pérdida de carga.
- El flujo tridimensional ordenado por el plato invertido y el cono proyectado, anulan el "corto circuito" ingreso–egreso y alargan el recorrido aumentando el tiempo de sedimentación.
- El cono y la rampa perimetral separan el sedimento de la circulación, impidiendo su recirculado. (Hydro International, 2009, págs. 9-15)

Figura 33: Downstream Defender®
Fuente: Hydro International. (2009).

Referencias

1. Entrada
2. Plato invertido
3. Cono proyectado
4. Inversión de flujos
5. Sedimentos
6. Salida

Figura 34: Downstream Defender y cámaras de infiltración bajo pavimento de gran superficie.

Fuente: Hydro International, op. cit., p. 5.

Figura 34: Downstream Defender y cámaras de infiltración.

2. First Defense®:

Regido por el mismo principio de generación de un flujo rotacional, le caben las mismas consideraciones hechas para el caso anterior. Figura 35.

No requiere acceso tangencial pues lo resuelve mediante las tolvas internas. Los flujos excedentes son derivados hacia adelante o hacia afuera por el bypass incorporado entre ambas tolvas.

En ambos casos, el mantenimiento se realiza una o dos veces al año, mediante mangueras de succión por la sobre-tapa. La tapa, de todo el diámetro del recipiente, permite la extracción completa del conjunto. (Hydro International., 2009)

Figura 35: First Defense ®
Fuente: Hydro International. (2009).

Referencias
1. Derivación
2. Ingreso
3. Tolva de ingreso
4. Tolva de salida
5. Salida
6. Flotables
7 sedimentos

Cubierta

Sobre esta comienza el tapiz vegetado o un solado sólido permeable alternativo, Figura 36 y Figura 37. En ambos casos el sustrato inferior consta de una membrana geotextil perforada y encima una malla biodegradable de 20 mm de espesor. Luego le continúa una fina capa de arena sobre la que se apoya el compost o capa de crecimiento. El pasto puede ser sembrado o aportado en conjunto con su propio suelo en forma de panes o rollos.

La membrana perforada funciona como articulador de las partes, porque a través de sus perforaciones puede eliminar agua de saturación hacia el material de relleno y en sentido contrario, este puede evaporar.

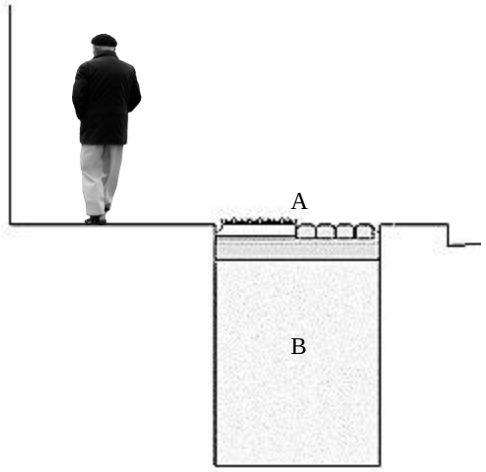


Figura 36: Ubicación de la cubierta en fosa, corte.

Referencias:
A: Cubierta
B: material de relleno

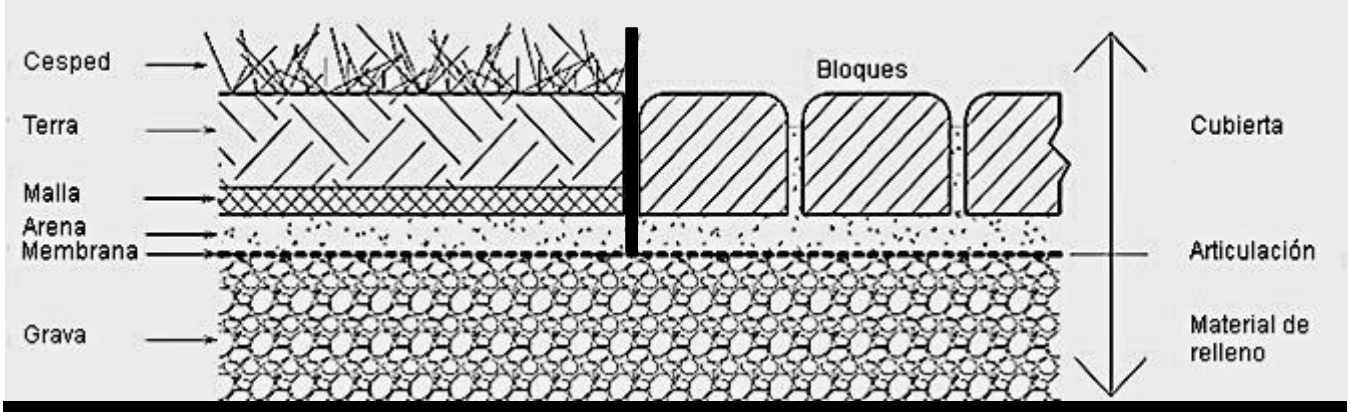


Figura 37: Cubierta de fosa de infiltración. Parte vegetada y parte con bloques.

La malla biodegradable genera un sustrato de anclaje del suelo vegetado con el que se estructura y unifica, lo cual facilita cualquier intervención posterior.

La opción seca, es semejante en cuanto a los requerimientos de permeabilidad, pero no lleva compost ni membrana biodegradable. Las piezas del solado deben ser bloques auto-trabados asentados sobre capa de arena, de junta abierta sin quedar cementadas. También pueden ser bloques perforados de jardín con sus vanos vegetados o rellenos con grava.

Actualmente hay mallas plásticas con agujeros que mejoran el anclaje especialmente para esfuerzos horizontales. Figura 38.

La cubierta seca permite no interrumpir las fosas por cuestiones de acceso a las propiedades y lugares de circulación que hagan necesario atravesar la vereda. Por ejemplo, el caso de entradas de autos, paradas de colectivos, accesos al cordón, etc. Esto le confiere gran versatilidad y adaptación a distintas situaciones.

Figura 38: Ejemplos de distintas terminaciones de cubiertas secas.

IMPLANTACIÓN

Debido a la gran capacidad de separación de los sistemas de vórtice, es posible agrupar las salidas pluviales de varios lotes, purificar el agua y luego enviarla a las fosas de infiltración.

Para esto es necesario crear tres circuitos:

- Un circuito de recolección mediante cajas de derivación, que interrumpen la salida a la calle. Allí por caída simple a un condutal transverso inferior y paralelo a la línea oficial de frentes se lleva el agua al separador hidrodinámico.
- Un circuito de distribución del agua purificada dentro de las fosas de in-filtración, mediante caño cribado, asentado sobre cama de grava.
- Un circuito de derivación representado por los albañales originales, interrumpidos por la caja de derivación, que al momento de la saturación del sistema se activan por simple nivelación del agua.

En la Figura 41 se muestra perspectivas del sistema con vistas en transparencia, y vistas en planta y corte en la Figura 42.

Figura 39: Vereda con NEA vegetados.

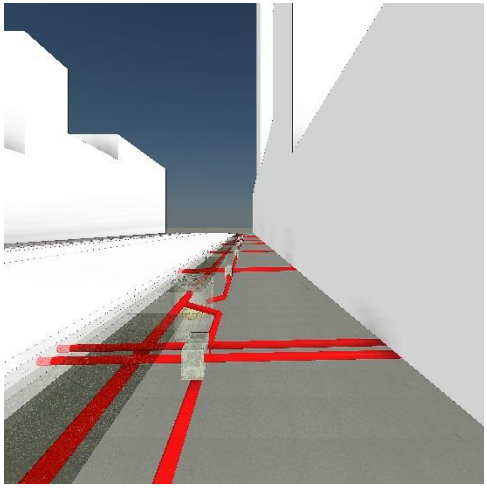
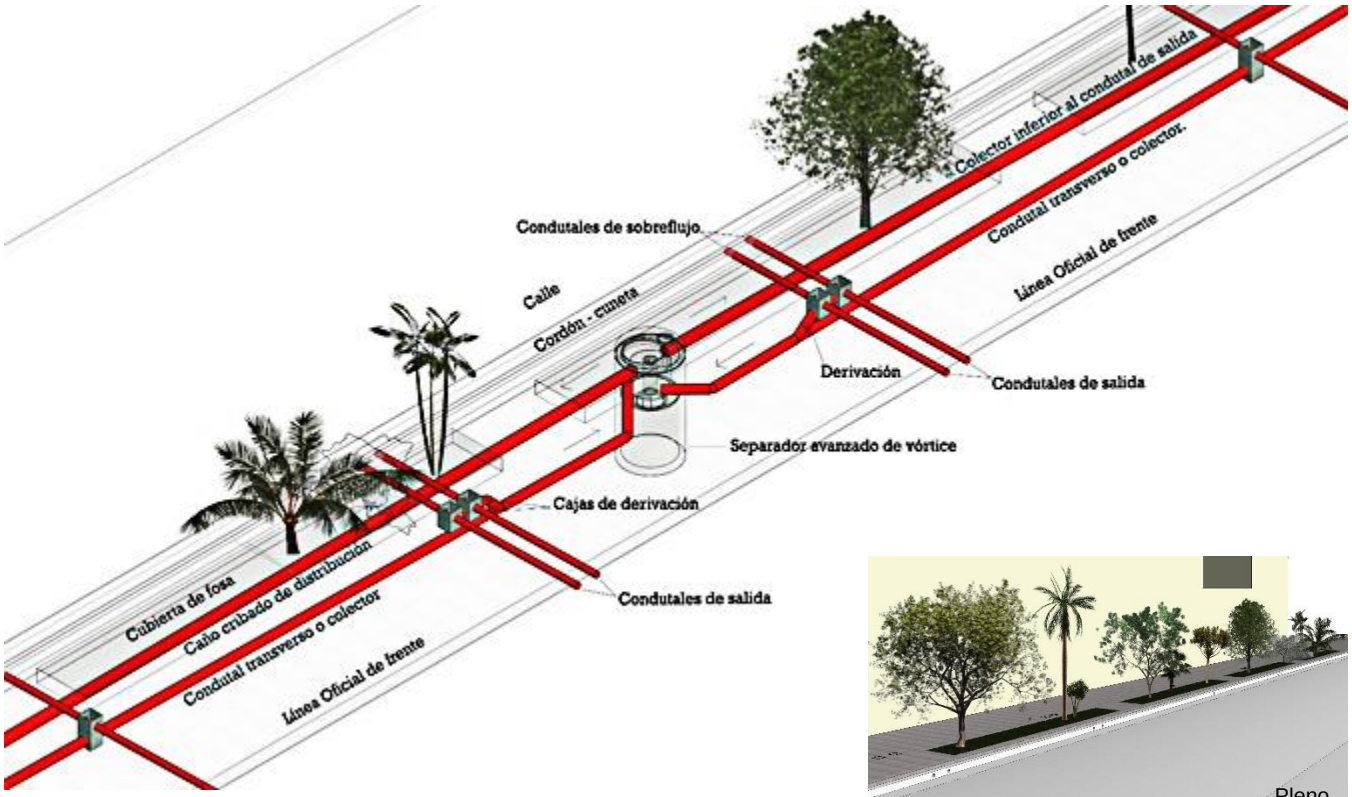
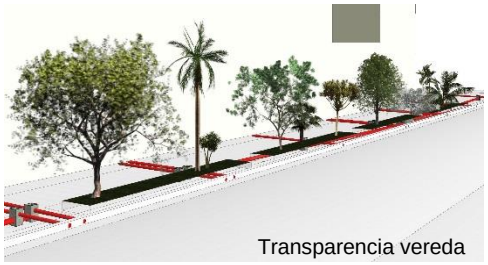


Figura 40: Vereda en transparencia. Sistema de infiltración en NEA.





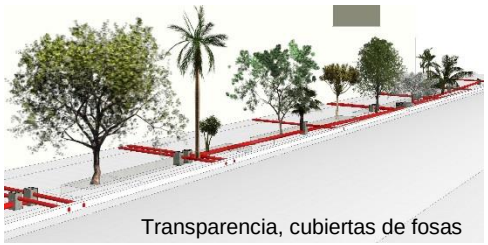


Figura 41: Vista isométrica del Sistema de infiltración.

Arriba: Desde el interior de la manzana. Edificación transparentada.
Derecha: Desde la calle, pleno y transparencias.

Componentes y circuitos:

1. Circuito de recolección:
   - Condutales de salida
   - Cajas de derivación
   - Condutal transverso o colector

2. Circuito de limpieza y distribución:
   - Separador avanzado de vórtice
   - Caño cribado de distribución.

3. Circuito de derivación por saturación del sistema o sobre-flujo:
   - Porción de condutal que llega a la calle desde las cajas de derivación.

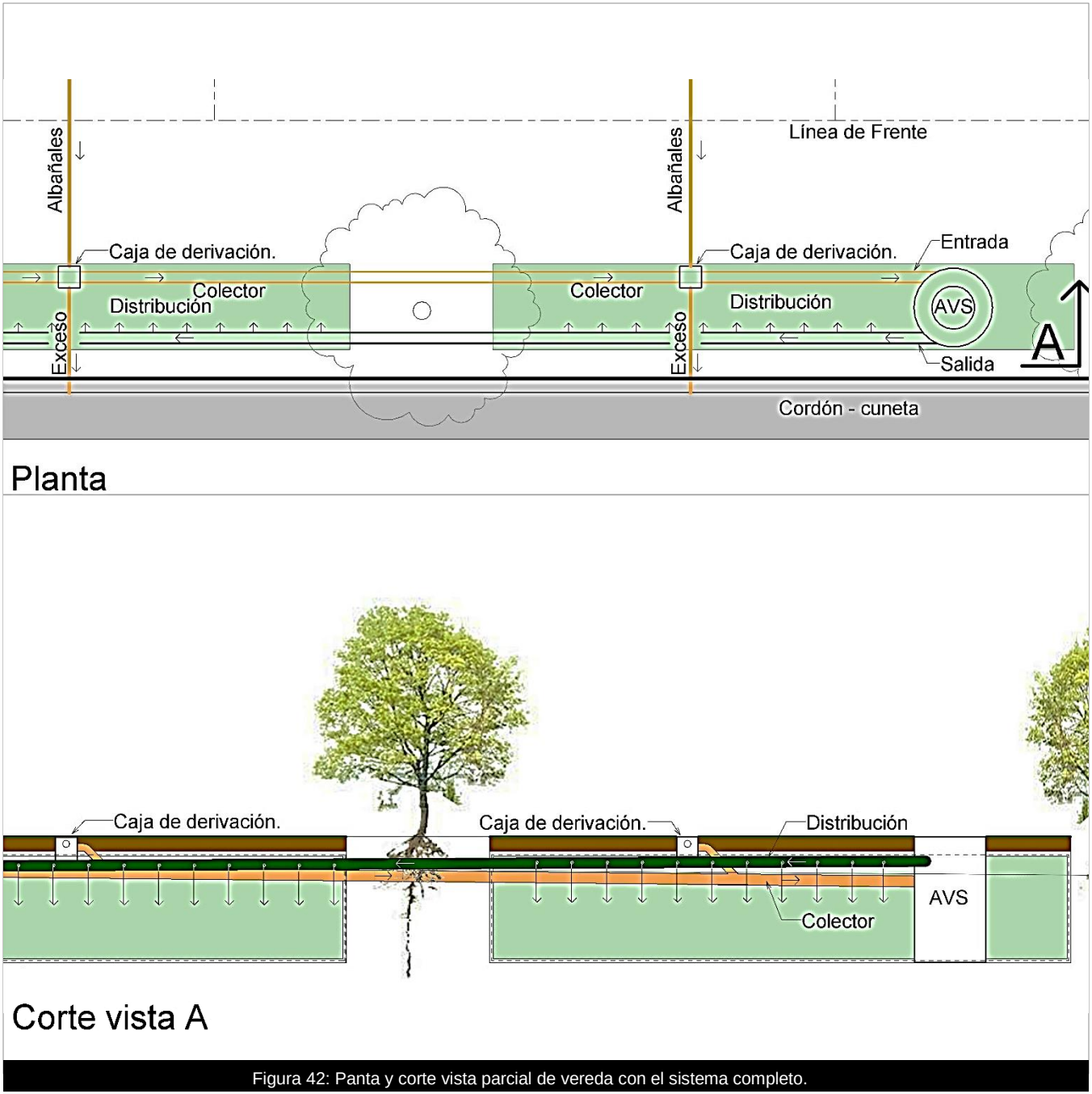


Figura 42: Panta y corte vista parcial de vereda con el sistema completo.

EVALUACIÓN DEL SISTEMA

RENDIMIENTO

Esta se analiza en el Anexo D, de donde se extrae el gráfico de la

Figura 44. En resumen, el análisis comienza con el hietograma de un patrón de tormenta de mayor intensidad inicial representado por el histograma color celeste claro.

En color naranja la acumulada de las precipitaciones. En color azul el agua captada por el sistema desde el comienzo de la lluvia, en celeste el agua retenida en las fosas hasta su completamiento.

La línea amarilla representa el desarrollo de la escorrentía libre que es tomada por el sistema tradicional. La infiltración continua luego de terminada la precipitación, línea celeste con pendiente negativa, vaciando la fosa aproximadamente a lo largo de día y medio según el tipo de suelo.

Como puede constatarse, el uso del sistema tradicional comienza con un importante retardo de casi una hora después del comienzo de la tormenta. Además, la cantidad de agua es muy inferior, de manera que podría soportar, en su capacidad actual, otro evento similar a continuación.

El régimen de lluvias de una zona geográfica se analiza a través de la relación entre tres variables:

Intensidad:
Cantidad de lluvia caída durante un intervalo de tiempo considerado.

Duración
Intervalo de tiempo en el cual se produce la máxima intensidad media

Recurrencia:
Intervalo medio de tiempo entre dos lluvias que igualan o superan una lluvia considerada.

La intensidad aumenta con la recurrencia y disminuye con la duración. Ej. Figura 43

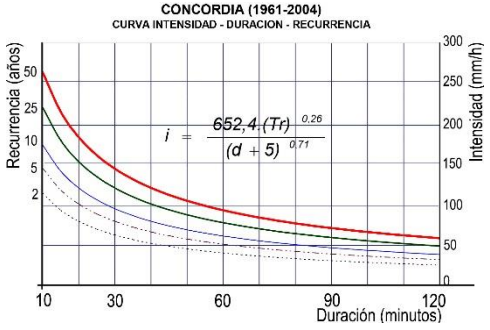


Figura 43: Relación de duración, intensidad y recurrencia de tormentas.

Fuente: Zaramillo & Larenze, 2008, pág. 26

De los pluviogramas o registros de agua caída acumulada cada cinco minutos se obtiene las precipitaciones parciales por unidad de tiempo. Con estas se construye un gráfico llamado hietograma.

Estos definen los distintos tipos de tormentas típicas o patrones de tormenta.

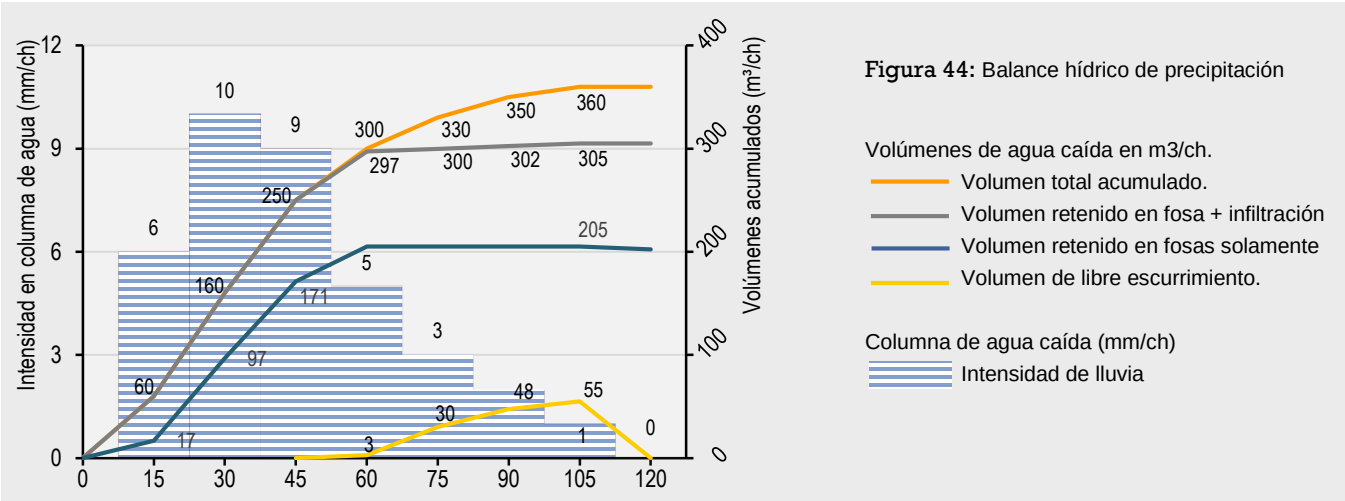


Figura 44: Balance hídrico de precipitación

Volúmenes de agua caída en m3/ch.

Columna de agua caída (mm/ch)

ÁREAS DE APLICACIÓN

Zonas aptas para infiltrar

La ciudad de Buenos Aires puede tener la mitad del área edificada con fosas de infiltración luego de desglosar las áreas verdes de la terraza alta, Tabla 2. Amplia Anexo E.

Tabla 2

Balance de áreas

Áreas para fosas	Un.	Cantidad	Áreas aptas		Áreas no aptas	
En terraza alta	km²	148.5	64%	95.1	36%	53.5
En terraza baja	km²	54.8	0	0.0	100%	54.8
Total	km²	203.3		95.1		108.2
Área verde	km²	16.0	10%	1.6	90%	14.4
Área edificada[a]	km²	187.3	50%	93.5	50%	93.8

Zonas no aptas para infiltrar

Funcionarían como fosas de retención y no de infiltración, Figura 45. Captarían solo el agua de lluvia caída en la vereda por simple pendiente eliminándola principalmente por evapotranspiración.

El tratamiento de la superficie es semejante al de las fosas de infiltración por lo que le caben al respecto las mismas consideraciones y beneficios.

Representan algo más del 3% de la superficie construida de la ciudad. Ver anexo E.

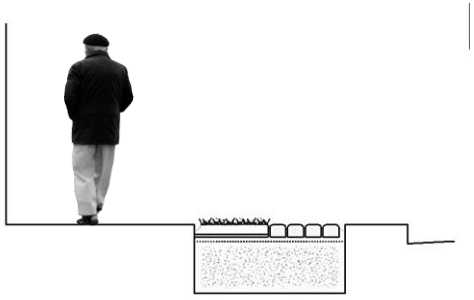


Figura 45: Fosa de retención.

Recomendación para el espacio privado

En general, esto concierne a las superficies cubiertas por grandes solados impermeabilizados, para usos de estacionamientos (Figura 46), patios de establecimientos educativos, playas de maniobras, calles internas, etc. Como se ha visto, las trincheras de infiltración pueden estar cubiertas en forma permeable, con lo cual no habría pérdida de espacio disponible por su construcción. Esta colaboración con el sector público sería muy significativa en áreas donde la relación vereda/cuenca queda fuera de la proporción especificada en el supuesto de *manzana teórica.*

Figura 46: fosa en estacionamiento.
Mc Lennan Park, Papakura, New Zeland

Fuente: http://www.clcgroup.co.nz

Consideraciones finales

Sustentabilidad
Estética
Últimas palabras.

Sucede que al actuar de esta forma, recuperando el ciclo hidrológico del agua, es posible desatar una cascada de consecuencias colaterales muy beneficiosas a un costo accesible.

SUSTENTABILIDAD

La principal función de estos espacios es la de captar agua de lluvia y enviarla al acuífero restableciendo su circuito natural. Pero son sus derivaciones las que ocupan la atención de este trabajo. Porque son estas las que en realidad colaboran atenuando el stress provocado por la superficie urbana construida sobre el individuo que la habita.

Estos parámetros pueden observarse claramente en los sub-indicadores de espacio público del Modelo territorial Buenos Aires 2010/2060

Estas características son:

- Disminución de la contaminación del río por acarreo de polutos y calor de la ciudad disipado en y a través del agua de escorrentía.
- Reducción del aporte de aguas hacia las partes bajas de las cuencas, retrayendo contrastadamente la posibilidad de inundaciones.
- Absorción de calor atmosférico por evapotranspiración.
- Flexibilidad para recibir mejoras del tipo paisajístico consolidándose como lugar de expansión y calidad visual.
- Espacios incorporables a un orden mayor, como el de los corredores verdes que plantea el Plan Urbano Ambiental, pero, en un correlato más cercano a la calle de barrio, donde se transita y se vive, donde no todos disponen de tiempo para “ir al parque”, es decir, en una escala humana de percepción pedestre e inclusiva, accesible e interactiva.
- De la misma forma, se suma al programa “Haciendo Verde Buenos Aires” aportando 590 hectáreas de superficie, a vegetar posiblemente más de la mitad.

- Esta área vegetada (5.900.000 m2) realza su significación al tener en cuenta que solo: "…2,3 m^2 de césped en crecimiento transforman una cantidad de dióxido de carbono suficiente como para liberar el oxígeno que necesita una persona en un día de vida" (Bayer, 2005, pág. 6).
- Por último, a los NEA le caben las funciones comunes a los sistemas vegetados: colaborar con la retención de partículas en suspensión en el aire, con la adsorción de metales y ácidos, con la disminución del albedo, en la absorción acústica, en la apertura de macroporos en el suelo, siendo también válidos para incorporar especies nativas naturalmente resistentes y también aumentar la biodiversidad.
- Al recolectar el agua de lluvia en el mismo lugar de su caída, usando la misma infraestructura existente, se economiza recursos que hubieran de ser necesarios si se aplicara en el área baja de una cuenca de mayor superficie.
- De la misma forma, al tomar el agua desde los albañales antes de llegar a la calle, se evita lidiar con hidrocarburos, lubricantes, metales, desgaste de neumáticos, gran cantidad de polvo y basura.
- En cuanto a la viabilidad económica del sistema y su mantenimiento, que también hacen a la sustentabilidad del mismo, se estima, que el costo por frente de lote de 8.66 m es semejante al precio de 3 m^2 de superficie construida en capital federal. Ver Anexo E.
- Y el mantenimiento que es propio de cada lugar se estima, según referentes, en una a dos limpiezas por año, que no toman más de media hora cada una. Los bajos costos justifican la inversión por los beneficios esperados ya vistos. Por ser parte del espacio público, el costo y control de la ejecución, estarían a cargo de la ciudad.

ESTÉTICA

La idea central de la propuesta en cuanto al efecto atenuante de estos nuevos espacios se refiere a un replanteamiento del diseño paisajístico de manera que el espacio verde se ponga de manifiesto al alcance en una escala de simple apropiación de todos los sentidos.

Al presente lo que se ve en las calles son árboles, cuando los hay, de los que se recibe su sombra, lo cual en verano es muy reconfortante y aliviador, pero nada más. El resto del año se tiene troncos aislados en largos solados de concreto.

En el otro extremo, la sola presencia de pasto, si existe, consolidad la dicotomía, arriba, muy encima de la aprehensión de la sensibilidad humana o abajo igualmente escondido.

La propuesta es usar las cubiertas de las fosas como escenario para una variada exposición de especies acorde a lo profuso del género, dispuestas con criterio, que estén presentes y cercanas al paso de un hombre, de una mujer, de un niño, de un anciano. El césped sería entonces la tónica de fondo que da sustrato a distintos agrupamientos.

Esto es desarrollar un concepto de cercanía con la naturaleza en un espacio perteneciente al diario vivir. Las plantas no tienen por qué estar solamente en los parques. Más bien estos deben desplazarse, crecer, extenderse a las calles, cobrar una nueva dimensión social y cultural.

La ciudad ha erradicado las plantas de sus veredas y solo ha dejado árboles que han envejecido. Aún más y peor, los ha cambiado por vidrieras, por entradas más cómodas para autos, por ensanchamientos de calzada.

Tal vez, sea momento de volver a pensar la ciudad en este sentido, donde sea mucho más fruible y apacible el simple hecho de caminar, percibiendo aromas, disfrutando nuevas espacialidades, descubriendo nuevos actores de otros reinos, que despiertan una conciencia ancestral, olvidada por lo distante

de nuestros espacios de convivencia. Un brote que deviene en vástago, del que emergen hojas y entre estas flores. Aves e insectos interactivos. No se debería ir a verlos alguna vez al parque o la plaza, más bien, deberían estar presentes al alcance de los todos.

Este trabajo no es una propuesta paisajística, solo llama la atención a reconsiderar el uso de las veredas en una perspectiva integradora de lo natural y lo construido en el espacio público más cercano.

La ciudad de Buenos Aires debe recambiar la tercera parte de su arbolado de alineamiento, significa 120.000 ejemplares, (Plan de acción para el Cambio Climático, Pág. 156) (GCBA, 2009) Tal vez, sea el momento de una estrategia conjunta desde el orden estético y funcional.

ÚLTIMAS PALABRAS

Es necesario dejar en claro que ningún tipo de tratamiento de aguas funciona solo sino como parte de un conjunto de alternativas. Los NEA forman parte de una larga lista de posibilidades, y se suman a estrategias en marcha en la misma dirección ya existentes hoy en la ciudad de Buenos Aires.

Este trabajo no tiene la expectativa de presentar una solución técnicamente acabada, sino más bien, una mirada lateral inter y transdisciplinaria, desde la idea de un urbanismo complementario con el soporte natural.

Como se ha visto, las inundaciones en capital federal son el resultado de muchos factores, pero dadas las circunstancias es correcto entender, que tal situación requiere una solución de carácter emergentológica, de gran envergadura y que necesariamente viene de la mano de grandes obras hidráulicas.

De hecho, incorporar superficies absorbentes no tiene el objetivo de impedir las inundaciones, aunque pueda colaborar con ello. Su práctica obedece más bien a una visión moderna del uso del agua de

lluvia, con un carácter proactivo, no en la emergencia sino en la prevención. Hoy se debe apagar el incendio, valga la paradoja, pero mañana se debe trabajar para evitar que reaparezca.

Sucede que al actuar de esta forma, recuperando el ciclo hidrológico del agua, es posible desatar una cascada de consecuencias colaterales muy beneficiosas a un costo accesible.

En este caso particular, la idea de que parte del agua caída no vaya al río sino que sea tratada y devuelta al acuífero por infiltración en fosas, está en orden con el pensamiento sustentable y se enrola en una tendencia mundial, por lo que, hoy se constituye en una opción de vanguardia.

Construir bien es construir en forma sustentable, amistados con el entorno natural, llevarse bien con este nos otorga muchas ventajas, de lo contrario, los desajustes provocados desenfrenan fuerzas de una furia implacable.

Desde el año 2004, la ciudad de Buenos Aires, está trabajando sobre el plan urbano ambiental, habiendo definido un Modelo Territorial y Urbano como política de Estado, proceso abierto por 50 años para hacer una ciudad a escala de las personas, teniendo como objetivo el de llegar a ser una Ciudad Sustentable. Que así sea.

Anexos

ANEXO A: BASE REFERENCIAL

PRINCIPALES TEXTOS

- The SUDS manual, CIRIA, Londres 2007.
- Maryland Stormwater Design Manual, Maryland State, USA.
- Publicaciones en la Web de la empresa Groncol de Bogotá, Colombia.
- Spokane Regional Stormwater Manual, Washington State, USA.

PRINCIPALES ÍTEMS

Los requerimientos son muy parecidos en todos los casos. Se toma como referente principal al manual de CIRIA por considerárselo más amplio y pedagógico.

Filosofía

Todos los sistemas de desagües sustentables así como todas las agencias de protección ambiental, tienen este denominador común: "…minimizar los impactos del desarrollo urbano sobre la cantidad y calidad del agua de escorrentía y maximizar la calidad de vida humana y la biodiversidad." Figura 47.

- Reduciendo la tasa, volumen y frecuencia de las inundaciones.

  -Promoviendo la recarga natural del acuífero.

Figura 47: Filosofía del Sistema de desagües sustentables.

Fuente: CIRIA. (2007).

- Reduciendo y regulando la polución descargada en cuerpos de agua.
- Contribuyendo con valores estéticos y de confort en áreas urbanizadas.
- Proveyendo nuevos hábitats para la vida silvestre y la biodiversidad. (CIRIA, 2007, pág. 39)

Principios tecnológicos en orden de jerarquía

Son los principios tecnológicos que ordenan jerárquicamente la toma de decisiones, Figura 48.

1. Diseño adecuado al sitio, previendo escorrentía y polución innecesaria.
2. Control cercano a la fuente u origen del escurrimiento.
3. Control en el mismo sitio de implantación, v.g., un gran estacionamiento.
4. Control regional, v.g., un humedal que recibe agua de distintos sitios

. (CIRIA, 2007, pág. 50)

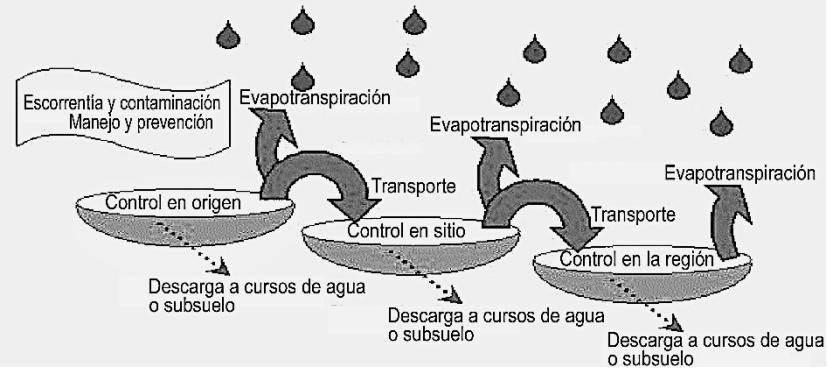


Figura 48: Jerárquica de selección de sistemas de drenaje sustentable.

Fuente: SuDS Wales (2011).

Procesos principales en el manejo del agua de lluvia

- Infiltración: es el que más se acerca al proceso hidrológico natural.
- Detención y atenuación: Es retención transitoria y salida controlada.
- Transporte: traslado controlado del agua que vincula distintos procesos.
- Recolección: acopio del agua de lluvia para uso posterior. (CIRIA, 2007, pág. 51)

Mecanismos naturales de remoción de polutos.

- Sedimentación,
- Filtración,
- Adsorción,
- Biodegradación,
- Volatilización,
- Precipitación,
- Captación por plantas,
- Fotólisis,
- Nitrificación. (CIRIA, 2007, pág. 52)

Consideraciones de uso de trincheras.

- Aptas para cuencas con pequeñas áreas impermeables.
- Tienen poco requerimiento de suelo.
- Requieren suelos estables y pendientes menores a 2%.
- El nivel freático debe estar a más de un metro por debajo de su fondo.
- No deben implantarse en lugares de alta contaminación. (CIRIA, 2007, pág. 244)

Tratamiento del agua pre-infiltración

- El objetivo es remover limos, sedimentos, escombros del agua de lluvia…
- Fácil acceso para limpieza y mantenimiento.
- El tanque de separación debe lograr el flotamiento de sustancias livianas, espacio de acumulación de sólidos de sedimentación y *tiempo* que permita tales operaciones. (CIRIA, 2007, pág. 215)

Criterios de infiltración

En la Tabla 3 se verifica que el valor de conductividad hidráulica usada en el trabajo se halla dentro de los valores aceptables de infiltración ($k \geq 0.005$ m/h) y la Figura 49 representa de forma sintética el sistema de infiltración por trincheras, base del presente análisis. (CIRIA, 2007, págs. 4.27,28)

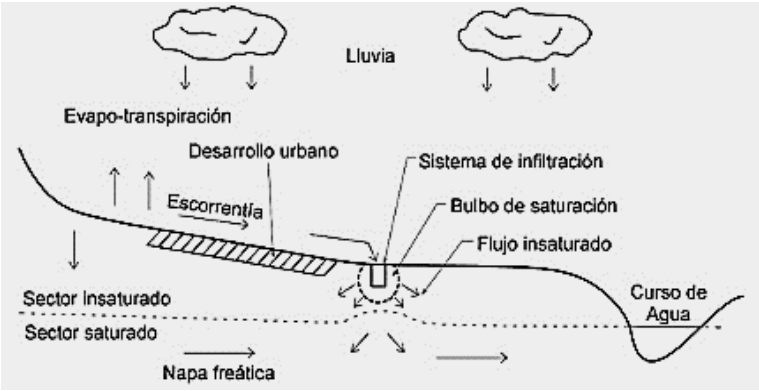


Figura 49: Sistema típico de infiltración para el agua pluvial.

Fuente: CIRIA. (2007)

Tabla 3

Infiltración y textura del suelo

	Coeficiente de infil-
Infiltración buena	
Grava	10-1000
Arena	0.1-100
Franco arenoso	0.01-1
Arenoso franco	0.05-0.5
Franco	0.001-0.1
Arcilloso franco	0.0005-0.05
Calcáreo	0.001-100
Arenoso arcilloso	0.001-0.1
Infiltración pobre	
Limoso-arcilloso-franco	0.00005-0.005
Arcilloso	< 0.0001
rocas heterogéneas	0.00001-0.01
rocoso	0.000001-0.1

ANEXO B: PROPORCIÓN DE SUELOS

Este anexo muestra el proceso de análisis de los datos del estudio geotécnico realizado por el Dr. Rimoldi, registrados en la “Base de datos de Estudios Geotécnicos” entregados por el Servicio Geológico Minero Argentino: SEGEMAR. (Rimoldi H. V., 2001)

1. Se ordenó la base de datos en tablas de cálculo por número de observación, Tabla 7.
2. Se analizó los perfiles geotécnicos alineados. Figura 51. Ver detalle explicativo en Figura 50.
3. De estos se apartó 148 observaciones de altura mayor a 10 m, Tabla 4.
4. De las cuales solo 55 se encontraron en la base de datos y se registraron en la Tabla 4.
5. Al final de la Tabla 6 están los resultados que dan una probabilidad de encontrar suelos aptos para infiltración en la terraza alta de la ciudad de Buenos Aires.

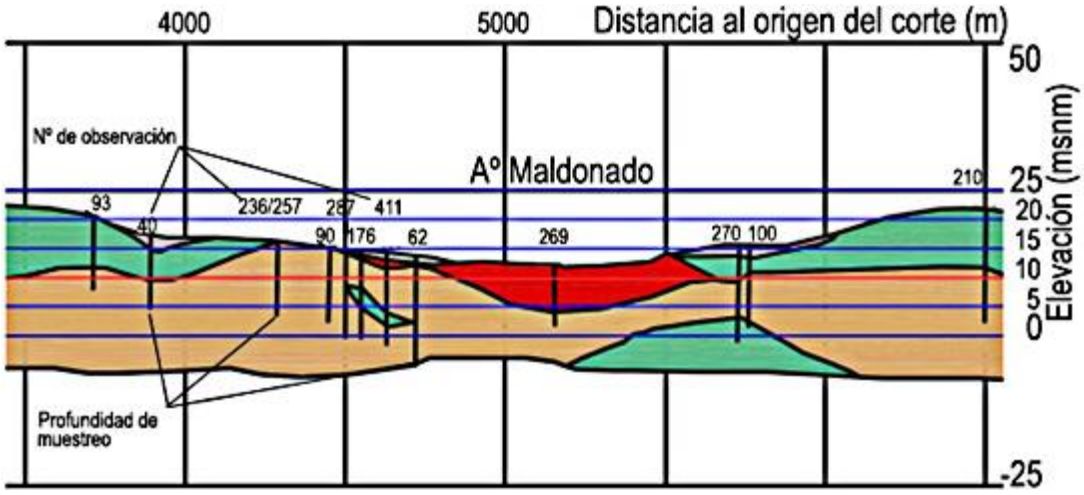


Figura 50: D1. Detalle de perfiles geotécnicos de la Figura 54.

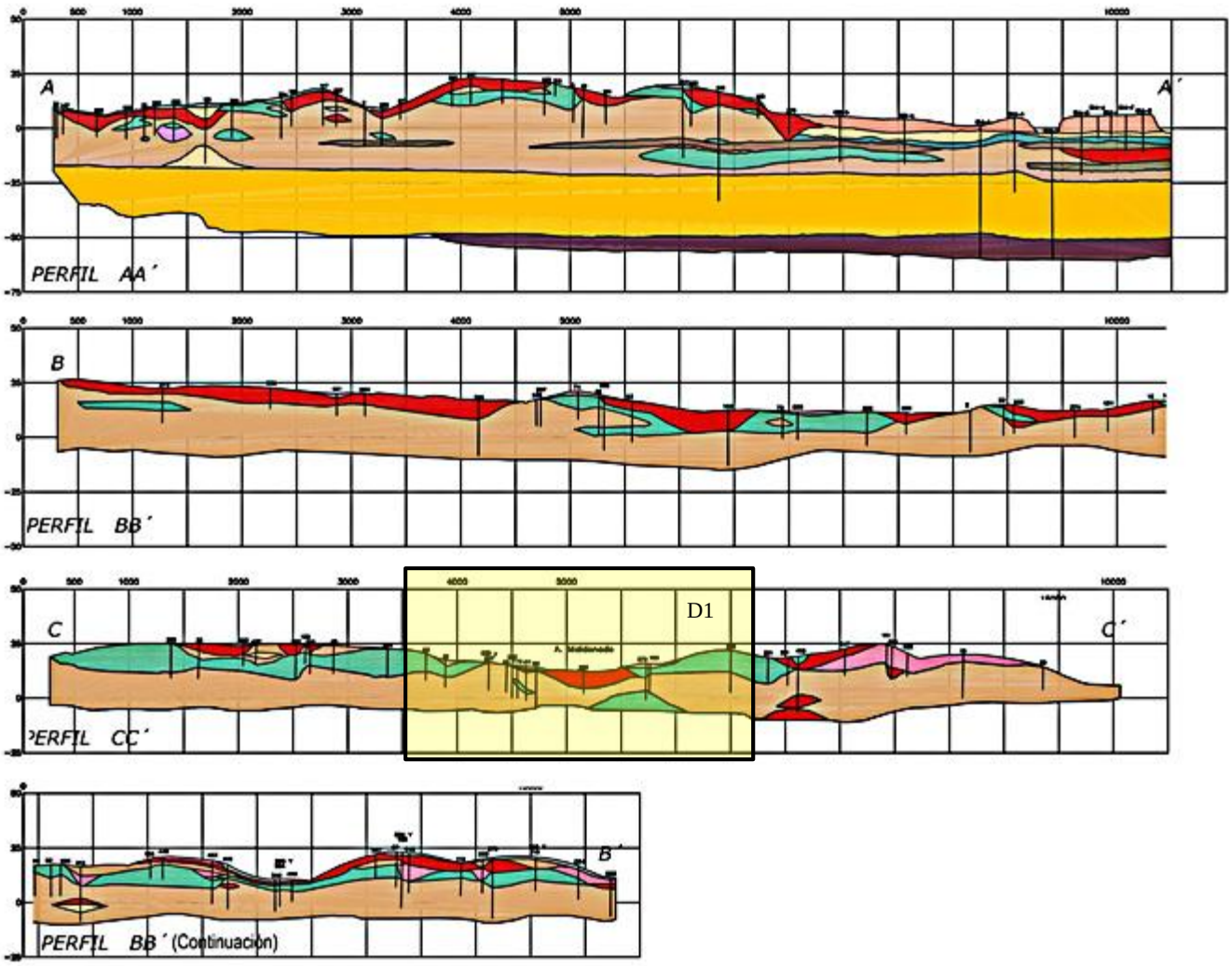


Figura 51: Perfiles geotécnicos alineados.
D1: detalle de una parte del corte geotécnico donde se muestran niveles, distancias, observaciones y texturas.

Fuente: Rimoldi, H. V. (2001). Carta geológica y Geotécnica de la ciudad de Buenos Aires.

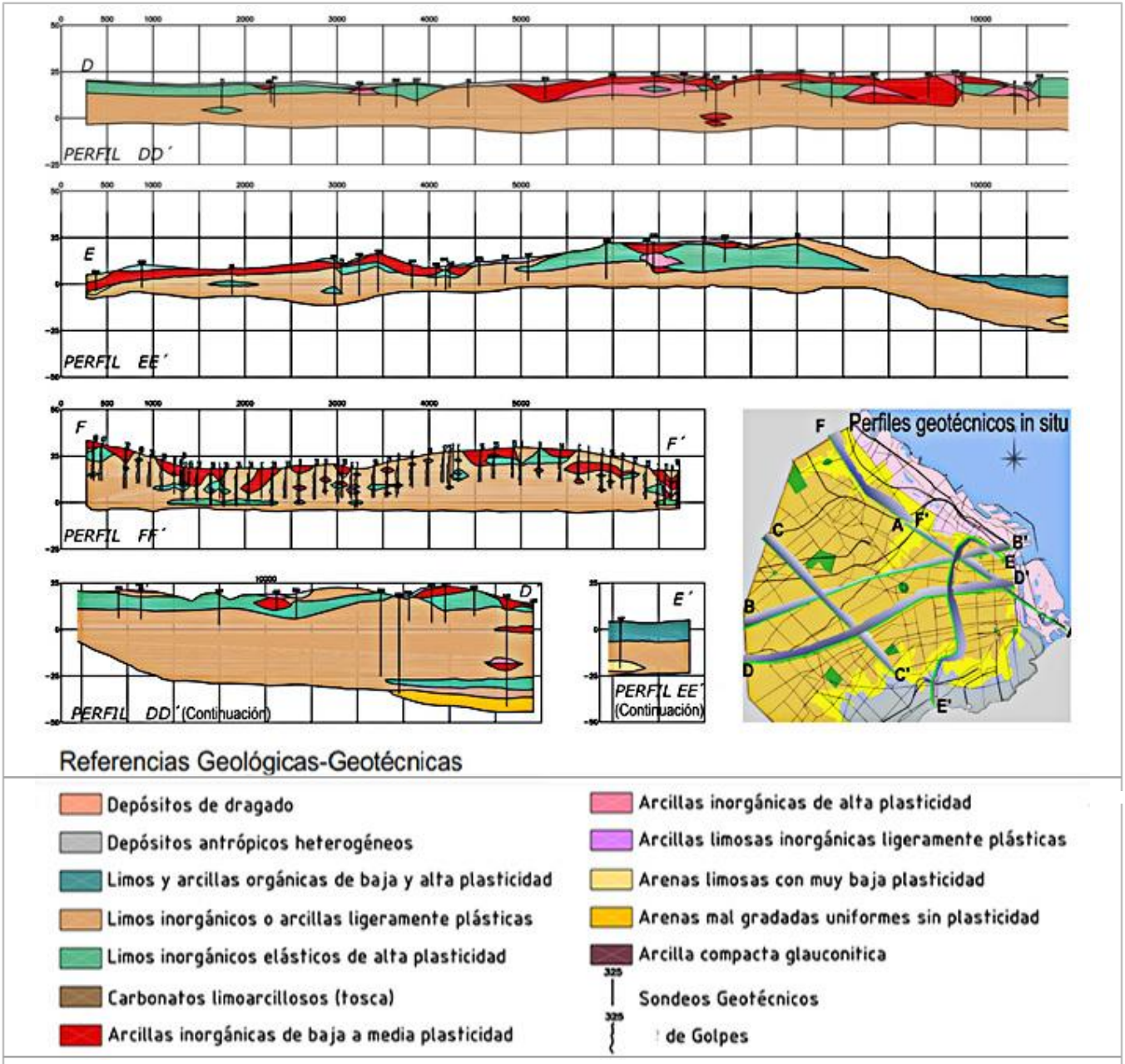


Figura 51: Perfiles geotécnicos alineados. (Continuación)

Tabla 4

Observaciones totales perfiles geotécnicos

Rangos de altura en msnm			
10-15	15-20	20-25	>25
5	3	20	205
9	8	31	463
50	16	34	
59	19	35	
62	30	48	
72	40	55	
73	49	57	
90	63	74	
103	64	93	
121	68	111	
164	71	115	
167	100	154	
176	104	156	
183	105	180	
188	117	182	
202	119	185	
224	150	192	
252	183	195	
259	184	206	
260	204	221	
269	205	233	
272	210	248	
286	225	250	
287	227	254	
295	236	282	
316	238	312	
346	239	321	
348	248	322	
356	257	335	
374	268	336	
411	270	347	
434	291	353	
466	293	361	
522	295	364	
553	306	371	
577	321	373	
580	329	375	
600	342	383	
	390	397	
	408	408	
	412	410	
	414	437	
	418	448	
	423	459	
	428	497	
	480	512	
	491	525	
	492	527	
	493	530	
	518	535	
	584	536	
	587	542	
	594	565	
		583	
		54	
38	53	55	2
Observaciones en perfiles			**148**

Tabla 5

Observaciones con datos verificados.

Rangos de altura en msnm			
10-15	15-20	20-25	>25
5	3	20	205
9	8	31	463
0	16	34	
50	19	35	
188	30	48	
202	40	192	
224	49	195	
411	204	206	
434	210	221	
522	225	233	
	227	410	
	236	437	
	408	448	
	412	459	
	414	497	
	418	512	
	423	525	
	428	527	
	491	530	
	492	535	
	493	536	
	518		
10	22	21	2
Muestras con datos habilitados			**55**

Tabla 6

Base de datos de Estudios Geotécnicos de la ciudad de Buenos Aires.

Nº	Año	Ubicación	10-15	15-20	20-25	>25		Desc. 1	Tramo 2	Desc. 2	ML	L
1	1970	Darragueira 2830					0-4.5	suelo arcilloso tipo CL	4.5-5.5	sedimentos limosos		
2	1970	Vilela 1633-9					0-1.5	arcilla plástica tipo CL	1.5-5.5	limo tipo ML		
3	1970	Viamonte 1454		3			0-9.5	limo arcilloso tipo MH	9.5-15.5	limo tipo ML		1
4	1970	Libertador Gral. San Martín, Av.					0-8.3	limo tipo ML	8.3-10.3	limo arcilloso tipo MH		
5	1970	Padilla 662	5				0-16.5	limos, con calcáreo, tipo ML			1	
6	1970	Acha esq. Roosevelt					0-3.5	arcilla algo limosa tipo CL	3.5-5.5	limo tipo ML		
7	1970	Habana 4319					0-5.5	arcilla limosa tipo CL	5.5-7.5	limo algo arcilloso tipo ML		
8	1970	Quito 4329		8			0-1.5	relleno	1.5-4.5	arcilla plástica tipo CH	1	
9	1970	Arenales 2836	9				0-3	arcilla algo limosa	3-13	limo tipo ML	1	
10	1970	Juan B. Justo 7631					0-1.5	arcilla algo limosa tipo CL	10.5-13.5	limo algo arcilloso tipo ML		
11	1970	Bacacay 5283					0-4.5	arcilla algo limosa tipo CL	4.5-6.5	limo arcilloso tipo ML		
12	1970	Mario Bravo 260					0-3.8	limo algo arcilloso tipo ML	3.8-10.8	limo algo arcilloso con calcáreo tipo ML		
13	1970	Serrano 2453					0-13.5	limo poco arcilloso tipo ML	13.5-16.5	limo arcilloso plástico tipo MH		
14	1970	Pedro I. Rivera 3689					0-2.5	arcilla limosa plástica tipo CH	2.2-4.5	limo con calcáreo tipo ML		
15	1970	Forest 895 esq. Rosetti					0-1.5	relleno	1.5-2.5	arcilla tipo CH		
16	1970	Pringles 1102		16			0-3	arcilla limosa tipo CL	3-15	limo con calcáreo tipo ML	1	
17	1970	Serrano 1502					0-4.5	limo poco arcilloso tipo ML	4.5-9.5	limo tipo ML		
18	1970	Amenábar esq. Ruiz Huidobro					0-8.5	limo poco arcilloso tipo ML	8.5-12.5	limo arcilloso tipo MH		
19	1970	Del Trabajo, Av. 1585		19			0-3.5	limo algo arcilloso tipo ML	3.5-7.5	arcilla plástica tipo CH	1	
20	1970	San Martín, Av. 6002			20		0-2.5	arcilla algo limosa tipo CL	2.5-4.5	arcilla plástica tipo CH		
21	1970	Lope de Vega 3520					0-7.5	limo arcilloso plástico tipo MH	7.5-12	arcilla plástica tipo CH		
22	1970	Cuba y Av. C. Rivadavia					0-3.5	limo algo arenoso tipo ML	3.5-9.5	arcilla plástica con materia orgánica, t		
23	1970	Nicaragua 5645/7					0-4.5	limo poco arcilloso tipo ML	4.5-8.5	arcilla poco limosa, tipo CL		
24	1970	Cabildo, Av. 3273/77					0-1.5	arcilla limosa, con material de relleno	1.5-9.5	arcilla algo limosa, tipo CL		
25	1970	Berutti 3551					0-3.3	excavación	3.3-6.8	arcilla algo limosa, tipo CL		
26	1970	Bravard 1130					0-11	limo poco arcilloso, tipo ML				
27	1971	Peña 3154					0-7.5	limo arcilloso, tipo ML	7.5-12.5	limo tipo ML		
28	1971	Del Tejar, Av. 3845/49					0-5	limo arcilloso plástico, tipo MH	5-15.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML		
29	1971	Paraguay 5370					0-1.5	relleno	1.5-6.5	limo arcilloso calcáreo, tipo ML		
30	1971	San Blas 2555/59		30			0-4.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	4.5-10.5	limo arcilloso, tipo ML		1
31	1971	Carlos Calvo esq. Jujuy			31		0-14.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	14.5-15.5	limo arcilloso, tipo ML	1	
32	1971	Neuquén 1704					0-0.5	arcilla limosa, con material de relleno	0.5-3.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
33	1971	Juramento 2847					0-3.5	limo arcilloso plástico, tipo MH (cota 0	3.5-10.5	limo tipo ML		
34	1971	Alberti esq. Inclán			34		0-3.5	limo calcáreo, tipo ML (cota 0)	3.5-6.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	1	
35	1971	Fray Luis Beltrán 58			35		0-1.5	limo arcilloso, tipo ML (cota -2.5)	1.5-3.5	limo arcilloso, tipo ML	1	
36	1971	Uriarte 2273					0-3.5	limo algo arcilloso, tipo ML	3.5-6.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
37	1971	Cucha Cucha 2511					0-1.5	limo tipo ML	1.5-9.5	limo calcáreo tipo ML		
38	1971	San Pedrito 851					0-4.5	limo poco arcilloso, tipo ML	4.5-7.5	arcilla calcárea, tipo CL		
39	1971	Costa Rica 4186					0-3.5	limo arcilloso plástico, tipo MH (cota +	3.5-12.5	limo tipo ML		
40	1971	Rivadavia esq. Lacarra		40			0-1.5	arcilla limosa, tipo CL (cota -3)	1.5-5.5	limo arcilloso, tipo ML	1	
41	1971	Montevideo 524	41				0-2.5	limo algo arcilloso, tipo ML	2.5-6.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	1	
42	1971	Franklin Roosevelt y Av. del					0-4.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML	4.5-6.5	limo friable, tipo ML		
43	1971	Belgrano, Av. 2566					0-2.5	arcilla limosa, tipo CL	2.5-4.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
44	1971	Riobamba 932					0-3.5	limo arcilloso, tipo ML (cota 0)	3.5-11.5	limo arcilloso plástico, calcáreo, tipo		
45	1971	Tinogasta 3633					0-3.5	limo arcilloso, tipo ML	3.5-8.5	limo arcilloso plástico, calcáreo, tipo		
46	1971	Independencia esq. Pozos					0-4.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML	4.5-12.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
47	1971	Moldes 2227					0-1.5	relleno	1.5-5.5	limo arcilloso plástico, calcáreo, tipo		
48	1971	Campana 2774			48		0-4.5	limo algo arcilloso, tipo ML	4.5-12.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	1	
49	1971	Nazca 2373		49			0-2.5	arcilla limosa plástica calcárea, tipo C	2.5-7.5	limo arcilloso plástico calcáreo, tipo M	1	
50	1971	Camargo 352/70	50				0-4.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	4.5-7.5	limo poco arcilloso calcáreo, tipo ML		1
188	1971	Pacheco de Melo 2545	188				0-9.5	limo friable, calcáreo, tipo ML	9.5-11.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML	1	
189	1971	Rocha 1758					0-1.5	relleno	1.5-2.5	limo con relleno, tipo ML		
190	1971	Bacacay 4166					0-5.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	5.5-6.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
191	1951	Aristóbulo del Valle 1659					0-3.5	arena muy fina algo limosa tipo SM (cota	3.5-6.5	limo algo arcilloso y calcáreo tipo ML		
192	1970	Nazarre 2600			192		0-3.5	arcilla limosa tipo CL (cota -1)	3.5-10.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
193	1970	Conesa 2531					0-6.5	arcilla limosa tipo CL	6.5-10.5	limo tipo ML		
194	1970	Belgrano 2449					0-1.5	arcilla limosa con relleno (cota +1)	1.5-5.5	limo poco arcilloso tipo ML		
194	1970	Belgrano 2449					0-1.5	relleno (cota +1)	1.5-5.5	limo algo arcilloso tipo ML		

(Continúa)

Nº	Año	Ubicación	10-15	15-20	20-25	>25	Tramo 1	Desc. 1	Tramo 2	Desc. 2	ML	L
195	1970	Juncal 1120			195		0-2.5	relleno	2.5-5.5	limo calcáreo tipo ML	1	
196	1970	Amenábar 771/83					0-2.5	limo algo arcilloso tipo ML	2.5-7.5	limo arcilloso plástico y calcáreo tipo		
197	1970	Melo 3040					0-1.5	arcilla limosa y relleno (cota +0.5)	1.5-6.5	limo arcilloso plástico tipo MH		
198	1970	Martín García y Patricios					0-3.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML (c	3.5-5.5	limo arcilloso plástico calcáreo, tipo M		
199	1971	Rawson esq. Sarmiento					0-3.5	limo arcilloso tipo ML	3.5-10.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
200	1970	Independencia esq. Pozos					0-4.5	limo algo arcilloso y calcáreo, tipo ML	4.5-9.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
201	1970	Céspedes 2449					0-7.5	arcilla algo limosa calcáreo, tipo CL	7.5-8.5	limo arcilloso plástico y calcáreo tipo		
202	1971	Lavalleja 56	202				0-4.5	arcilla limosa tipo CL	4.5-7.5	limo algo arcilloso tipo ML		
203	1970	Quito 4117/25					0-3.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML	3.5-12.5	limo arcilloso plástico calcáreo tipo MH		
204	1970	Charcas 2636		204			0-2.5	arcilla limosa y relleno	2.5-14	limo calcáreo tipo ML	1	1
205	1970	Lamarca, E. 3965				205	0-2.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	2.5-9.5	limo arcilloso plástico, calcáreo, tipo		1
206	1970	Mármol esq. Irigoyen			206		0-9.5	limo arcilloso calcáreo tipo MH	9.5-12.5	limo tipo ML		
207	1970	Lavallol y Nogoyá					0-7.5	arcilla plástica algo limosa y calcárea	7.5-10.5	limo algo arcilloso tipo ML		
208	1970	Juncal 1635					0-4.5	limo algo arcilloso tipo ML	4.5-10.5	arcilla plástica, tipo CH		
209	1970	Alberdi, J.B. y Moreno, J.M.					0-2.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML (c	2.5-10.5	arcilla limosa plástica, tipo CH		
210	1970	Bogotá 2622		210			0-5.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	5.5-15.5	limo tipo ML		1
211	1970	Cabildo 1124					0-3.5	limo algo arcilloso, tipo ML	3.5-5.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
212	1970	Bulnes esq. Arenales					0-1.5	relleno	1.5-8.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
213	1970	Matienzo 2581					0-4.5	arcilla limosa y relleno	4.5-11.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML		
214	1970	San Isidro 4583					0-6.5	limo arcilloso plástico, calcáreo, tipo	6.5-12.5	limo concrecionado, tipo ML		
215	1970	Rioja y Belgrano					0-3.5	limo algo arcilloso, tipo ML (cota -3)	3.5-7.5	arcilla plástica calcárea, tipo CH		
216	1970	Belgrano 2583					0-3.5	limo algo arcilloso, tipo ML (cota -3.5)	3.5-4.5	limo tipo ML		
217	1970	El Cano 3096 esq. Freire					0-11.5	limo poco arcilloso, algo friable, calcá	11.5-15.5	limo arcilloso plástico, calcáreo, tipo		
218	1970	El Cano 3025					0-2.5	arcilla algo limosa, tipo CL	2.5-7.5	limo algo arcilloso, tipo ML		
219	1970	Dickman, A. 1421					0-2.5	arcilla, tipo CL	2.5-4.5	limo arcilloso calcáreo, tipo ML		
220	1970	Bacacay 3862					0-3.5	limo algo arcilloso, tipo ML	3.5-7.5	limo arcilloso, plástico, tipo MH		
221	1970	Yerbal 355			221		0-3.5	arcilla algo limosa, tipo CL (cota -3)	3.5-9.5	limo arcilloso plástico, calcáreo, tipo		
222	1970	Zapiola 1753					0-4.5	limo poco arcilloso, algo friable, tipo	4.5-5.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
223	1971	Hortiguera 1525					0-5.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	5.5-10.5	limo tipo ML		
224	1971	Vidt 2022	224				0-1.5	relleno	1.5-3.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		1
225	1971	Gascón esq. Estado de Israel		225			0-3.5	limo arcilloso plástico, tipo MH (cota -	3.5-9.5	limo tipo ML		1
226	1971	Lope de Vega 690					0-2.5	arcilla limosa, tipo CL con relleno	2.5-12.5	limo arcilloso calcáreo, tipo ML		
227	1971	Bermúdez 47/49/51		227			0-7.5	limo poco arcilloso plástico y calcáreo,	7.5-9.5	limo algo arcilloso calcáreo, tipo ML	1	1
228	1971	Córdoba 2088					0-4.5	limo arcilloso plástico, tipo MH	4.5-8.5	limo arcilloso plástico, calcáreo, tipo		
229	1971	Sánchez de Bustamante 2268					0-6.5	limo algo arcillos, tipo ML (cota +1)	6.5-12.5	limo poco arcilloso, tipo ML		
230	1971	Arcos esq. Guayra					0-1.5	relleno	1.5-3.5	limo arcilloso, tipo ML		
231	1971	Manzanares esq. Superí					0-5.5	limo tipo ML	5.5-7.5	limo relativamente friable, tipo ML		
232	1970	Esquiú 1339/45					0-2.5	limo arcilloso, tipo ML	2.5-4.5	arena limosa, tipo SM		
233	1971	Córdoba 1622			233		0-1.5	arcilla, tipo CL y material de relleno	1.5-3.5	arcilla, tipo CL		
234	1971	Triunvirato y Estomba					0-6.5	limo arcilloso plástico calcáreo, tipo M	6.5-13.5	limo arcilloso plástico, tipo MH		
235	1971	Iberá 1557/65/73					0-2.5	limo con relleno, tipo ML	2.5-4.5	arcilla limosa, tipo CL		
236	1971	Nazca 2026/2030		236			0-5.5	limo algo arcilloso, tipo ML	5.5-12.5	limo algo friable, tipo ML	1	
401	1968	Cazadores e/ Juramento y Mendo					0-2.5	terreno alterado y materiales de relleno	2.5-6.5	limo calcáreo, tipo ML		
402	1969	Juramento 3170					0-1.5	arcilla tipo CL	1.5-5.8	arcilla calcárea, tipo CL		
403	1969	Juramento 1347					0-2.5	arcilla tipo CL	2.5-3.5	limo calcáreo, tipo ML		
404	1969	Uruguay 647/59					0-4.5	arcilla algo limosa y calcárea, tipo CL	4.5-7.5	limo tipo ML		
405	1969	Gorostiaga 1540/42					0-3.5	arcilla plástica y orgánica, tipo OH	3.5-4.5	limo calcáreo, tipo ML		
406	1969	Virrey del Pino 1500					0-1.5	arcilla tipo CL	1.5-5.5	limo calcáreo, tipo ML		
407	1969	De los Incas, Av. 3338					0-1.5	relleno (cota -6.4)	1.5-7.5	limo algo calcáreo, tipo ML		
408	1969	Gavilán 45		408			0-3.5	limo elástico, tipo MH	3.5-5.5	arcilla algo calcárea, tipo CL		1
409	1970	Santa Fe, Av. 854					0-12.5	limo arcilloso de relleno con resto de m	12.5-13.5	limo arcilloso tipo ML		
410	1970	Bartolomé Mitre 3764			410		0-1.5	limo tipo ML	1.5-5.5	limo plástico calcáreo, tipo MH	1	
411	1970	Nazca 1789	411				0-2.5	arcilla algo limosa, tipo CL	2.5-4.5	limo algo arcilloso, tipo ML	1	
412	1970	Acuña de Figueroa 1250-Sanator		412			0-3.5	limo calcáreo, tipo ML (cota -12.5)	3.5-7.5	arcilla plástica, tipo CH	1	
412	1970	Acuña de Figueroa 1250-Sanator					0-3.5	limo calcáreo, tipo ML (cota -12.5)	3.5-7.5	arcilla plástica, tipo CH		
413	1970	Juan F. Seguí 3579					0-3.5	arcilla algo limosa y material de rellen	3.5-4.5	limo poco calcáreo, tipo ML		
414	1970	Roque Sáenz Peña, Av. 777		414			0-1.5	limo tipo ML y relleno	1.5-6.5	limo plástico y calcáreo, tipo MH	1	
415	1970	Helguera 1552					0-3.5	arcilla plástica y calcárea, tipo CH	3.5-5.5	limo algo arcilloso, tipo ML		
416	1970	Chacabuco 952					0-6.5	limo tipo ML (cota -3)	6.5-8.5	limo friable, tipo ML		
417	1970	Guayra 2235					0-4.5	arcilla limosa algo plástica y calcárea,	4.5-5.5	arcilla limosa, tipo CL		
418	1970	Paraguay 2936/54		418			0-3.5	limo arcilloso elástico, tipo MH	3.5-4.5	limo algo arcilloso y elástico, tipo ML		1
419	1970	Anchorena 670					0-4.5	arcilla limosa algo concrecionada, tipo	4.5-9.5	limo algo friable y calcáreo, tipo ML		
420	1970	Avellaneda esq. Bahía Blanca					0-5.5	arcilla algo plástica, limosa y calcárea	5.5-15.5	limo concrecionado, tipo ML		
421	1970	Cabildo, Av. 2342 (Galería Mar					0-2.5	arcilla con relleno	2.5-5.5	limo algo arcilloso, tipo ML		
422	1977	Isla Demarchi					0-6.5	limo orgánico (relleno), tipo OL	6.5-9.5	arena limosa (relleno), tipo SM		
422	1977	Isla Demarchi					0-4.5	limo orgánico (relleno), tipo OL	4.5-9.5	arena limosa (relleno), tipo SM		
423	1993	Cabrera 3078		423			0-2	arcilla limosa tipo CL	2-12	limo arcilloso tipo ML	1	
424	1993	Peña 2036					0-1	relleno heterogéneo	1-4	arcilla limosa, tipo CL		
425	1993	Puerto Madero					0-0.5	relleno homogéneo, arcilla limosa, tipo	0.5-1	relleno limo arcilloso, tipo ML		
425	1993	Puerto Madero					0-0.5	relleno, arcilla limo arenosa, tipo Cl	0.5-1	relleno limo arenoso, tipo ML		
426	1993	Rivadavia 9645					0-2	arcilla limosa, tipo CL	2-4	arcilla, tipo CH		
427	1993	Monroe 1935					0-1	arcilla arenosa, tipo Cl	1-5	arcilla limosa, tipo CL		
428	1993	Estivao 133		428			0-1	Arcilla, tipo CH	1-2	arcilla limosa, tipo CL		

(Continúa)

Nº	Año	Ubicación	10-15	15-20	20-25	>25	Tramo 1	Desc. 1	Tramo 2	Desc. 2	ML	L
428	1993	Estivao 133		428			0-1	Arcilla, tipo CH	1-2	arcilla limosa, tipo CL		
429	1993	Zapiola 2647					0-2	arcilla limosa, tipo CH	2-4	limo arcilloso, tipo ML		
430	1992	Espinosa 2111					0-1	arcilla tipo CH	1-2	arcilla limosa, tipo CL		
431	1992	Gallo 158/160/164/168/170					0-3	limo tipo ML	3-7	limo arcilloso, tipo MH		
432	1992	Sarmiento 2053					0-6	sin muestra	5-9	limo arcilloso, tipo MH		
432	1992	Sarmiento 2053					0-2	arcilla limosa, tipo CL	2-3	arcilla tipo CH		
433	1992	San Martín, Av. 3088/92/94					0-2	arcilla tipo CH	2-3	limo arcilloso, tipo MH		
434	1992	Castillo 50	434				0-3	arcilla limosa tipo CL	3-4	limo tipo ML		
435	1992	De los Incas, Av. 3956					0-1	arcilla limosa tipo CL	1-6	arcilla tipo CH		
436	1993	Miró 860					0-1	relleno	1-4	arcilla limosa tipo CL		
437	1993	Varela 3198			437		0-1	relleno	1-4	limo arenoso tipo ML	1	
438	1993	Sarmiento 1737					0-2	arcilla limosa tipo CL	2-8	arcilla tipo CH		
439	1992	Club Ciudad de Buenos Aires -					0-1	relleno y limo tipo ML	1-2	arcilla tipo CH		
440	1992	Salguero 1787					0-1	relleno	1-2	arcilla tipo CH		
441	1992	Tandanor Muelle terminal-Dárse					0-6	lecho, nivel pelo de agua a 3m.	6-8	arena limosa tipo SM		
442	1994	Amenábar 3069					0-1	relleno	1-2	limo arcilloso, tipo ML		
443	1994	Dársena 1 y 2, Cámara de trans					.50-7	arcilla limo-arenosa, tipo CL y relleno	7-8	limo arenoso, tipo ML		
444	1994	Puerto Nuevo, Tanque para agua					.50-3	arcilla limosa, tipo CL	3-5	limo arcilloso, tipo ML		
445	1994	Amenábar 3942					1.450-4.45	limo arcilloso, tipo MH, con calcáreo	4.45-10.45	limo, tipo ML		
446	1994	Escalada, Av. e/ Av. Roca y Av					0-4	limo arenoso, tipo ML	4-5	sin muestra		
446	1994	Escalada, Av. e/ Av. Roca y Av					0-1	relleno	1-3	limo arenoso, tipo ML		
447	1994	Belgrano, Av. 1648					0-3	arcilla limosa, tipo CL	3-5	limo tipo ML		
448	1994	Cabrera 3441			448		0-1	arcilla tipo CH	1-3	limo tipo ML	1	
449	1994	Guatemala 4965					0-1	relleno heterogéneo	1-2	arcilla tipo CH		
450	1994	Vallejos 4730					0-1	arcilla tipo CH	1-3	arcilla limosa, tipo CL		
451	1994	Paseo Colón, e/Psje. Giuffra e					0-1	relleno heterogéneo	1-2	arcilla limosa, tipo CL		
452	1994	Crámer 2370										
453	1994	Escalada, Av. e/ Castañares y					0-1	arcilla limosa, tipo CL	1-5	limo arenoso, tipo ML con arcilla tipo C		
453	1994	Escalada, Av. e/ Castañares y					0-1	arcilla con arena fina tipo CL	1-4	limo arenoso tipo ML		
453	1994	Escalada, Av. e/ Castañares y					0-1	relleno	1-3	arcilla arenosa tipo CL		
454	1994	Andrés Lamas y Galicia					0-4	arcilla limosa tipo CL	4-5	limo arcilloso tipo ML		
454	1994	Andrés Lamas y Galicia					0-1	arcilla limosa tipo CL	1-2	arcilla tipo CH		
455	1994	Crisóstomo Alvarez y Lacarra					0-1	arcilla limosa tipo CL	1-3	arcilla con arena tipo CL		
455	1994	Crisóstomo Alvarez y Lacarra					0-0.5	limo arcilloso tipo ML	0.5-1.5	arcilla limosa tipo CL		
456	1994	Grecia 4076					0-1	arcilla tipo CH	1-5	limo tipo ML		
457	1994	Congreso 2334					41789	arcilla limosa tipo CL	5-9	limo arenoso tipo ML		
458	1994	Tronador 2746					0-1	arcilla tipo CH	1-3	arcilla limosa tipo CL		
459	1994	Yerbal 2455			459		0-2	arcilla tipo CH	2-3	arcilla limosa tipo CL		
460	1993	Franklin 778					0-1	arcilla, tipo CH	1-3	arcilla limosa, tipo CL		
461	1993	José Hernández 2650/52					0-4	arcilla limosa, tipo CL	4-14.5	limo calcáreo, tipo ML		
462	1992	A. Alcorta 3506 - Coca Cola					0-1	relleno	1-2	limo arenoso, tipo ML		
463	1992	Varela 3359				463	0-1	relleno	1-6	arcilla limosa, tipo CL		
464	1992	Juncal 2740					0-1	arcilla, tipo CH	1-2	arcilla limosa, tipo CL		
465	1992	Aráoz 2864					0-1	relleno	1-2	arcilla limosa, tipo CL		
491				491			0-2	arcilla blanda a media, tipo CH	2-6	arcilla compacta, tipo CL		
492				492			0-2	arcilla medianamente compacta, tipo CH	2-9	arcilla compacta o muy compacta, tipo CL		
493	1974			493			0-1	relleno	1-3	arcilla medianamente compacta, tipo CH		
494							0-2.5	relleno de arcilla algo compacta, tipo C	2.5-10	arcilla o limo compacto a muy compacto,		
495	1975						0-2.5	arcilla limosa algo compacta, tipo CL	2.5-8	arcilla compacta, tipo CH		
496							0-2.5	limo arcilloso compacto, tipo MH (cota -	2.5-7	limo duro, tipo ML/MH		
497					497		0-3	arcilla, tipo CL	3-5	arcilla tipo CH		
498	1976						0-3.5	arcilla tipo CH	3.5-10	arcilla o limo algo compacto, tipo CH/MH		
499							0-1	relleno	1-2.5	arcilla compacta, tipo CH		
500							0-1	relleno reciente heterogéneo	1-4	arcilla tipo CH		
501							0-4.5	arcilla muy compacta, tipo CL	4.5-8	limo duro, tipo ML		
502							0-2	arcilla algo compacta, tipo CH	2-4	limo compacto a duro, tipo ML		
503							0-3	arcilla algo compacta, tipo CL	3-4	limo compacto, tipo ML		
504							0-1	suelo vegetal (cota +1)	1-6	arcilla o limo compacto, tipo CH/ML		
505	1972						0-4	arcilla limosa, tipo CL	4-7	arcilla tipo CL		
506	1971						0-3	arcilla limosa algo calcárea, tipo CL	3-5	limo algo arcilloso, tipo ML		
507	1971						0-2	arcilla algo limosa, tipo CH/CL y rellen	2-3	limo arcilloso algo calcáreo, tipo ML		
508	1972						0-1	arcilla limosa, tipo CH	1-3	arcilla limosa algo calcárea, tipo CL		
509	1971						0-3	arcilla algo calcárea, tipo CH	3-4	limo arcilloso, tipo MH		
510	1971						0-2	limo arcilloso algo calcáreo, tipo CL	2-5	arcilla calcárea, tipo CH		
511	1971						0-1	arcilla y restos vegetales, tipo CH	1-2	limo arcilloso, tipo CL		
512	1971				512		0-1	arcilla muy compacta, tipo CH	1-3	arcilla calcárea y friable, tipo CL		
513	1971						0-1	relleno heterogéneo arcilloso, tipo CL	1-3	arena fina poco calcárea, tipo SP/SM		
514	1971						0-2	relleno heterogéneo (cota 2.3)	2-7	arena limosa y limosa arenoso		
514	1971						0-6.5	relleno heterogéneo (cota +5,78)	6.5-7	arena limosa y limosa arenoso		
514	1971						0-2	arenas fluviales actuales (cota -1.3)	2-7	arena limosa y limosa arenoso		
514	1971						0-2	arenas fluviales actuales (cota -2.05)	2-7	arena limosa y limosa arenoso		
515							0-2	arcilla tipo CH/CL	2-5	arcilla limosa algo calcárea, tipo CL		
516	1971						0-4	suelos arcillosos blandos y plásticos, t	4-8	arcilla tipo CH/MH		
517							0-2	arcilla tipo CH	2-3	arcilla limosa algo calcárea, tipo CH		

(Continúa)

Nº	Año	Ubicación	(*) 10-15	15-20	20-25	>25	Tramo 1	Desc. 1	Tramo 2	Desc. 2	ML	L
518	1971			518			0-1	arcilla, tipo CH y restos de vegetales	1-3	arcilla fisurada, tipo CL		
519	1971						0-1	arcilla tipo CH	1-4	arcilla limosa, tipo CL		
520	1971						0-1	arcilla tipo CH	1-3	arcilla limosa, tipo CL		
521	1971						0-3	arcilla limosa algo calcárea, tipo CL	3-4	sin muestra		
522	1971		522				0-1	arcilla tipo CL	1-3	arcilla algo calcárea, tipo CL		
523	1970						0-1	relleno arcilloso homogéneo, tipo CH	1-2	arcilla tipo CL		
524	1971						0-3	arcilla tipo MH	3-7	arcilla limosa, tipo MH		
525	1971				525		0-2	arcilla tipo CH	2-4	arcilla algo calcárea, tipo CH		
526	1969				527		0-2	arcilla tipo CL	2-4	arcilla limosa, tipo CL		
527							0-2	arcilla tipo CH/CL	2-6	arcilla compacta, tipo CL		
528	1971						0-1	arcilla limosa, con compacidad	1-5	arcilla limosa friable, tipo CL		
529	1973						0-1.5	arcilla arenosa blanda, tipo CL	1.5-4.5	arcilla limosa inconsistente, tipo CL		
529	1973						0-1.5	arcilla (relleno), tipo CH	1.5-2.5	arcilla limosa algo arenosa blanda, tipo		
530					530		0-1.5	arcilla algo compacta y orgánica, tipo	1.5-6.5	arcilla compacta, plástica, tipo CL/CH		
531	1972						0-3.5	arcilla tipo CH y arcilla limosa tipo CL	3.5-8.5	arcilla tipo CH		
532	1973						0-2.5	arcilla arenosa con lentes de arena muy	2.5-7.5	arcilla arenosa blanda, tipo CL		
533							0-4.5	arcilla compacta y calcárea, tipo CH	4.5-14.5	limo algo arcilloso duro y lentes calcár		
534							0-1.5	limo algo arcilloso y compacto, tipo ML	1.5-4.5	arcilla algo compacta y poco calcárea,		
535	1973				535		0-4.5	arcilla limosa calcárea, compacta, tipo	4.5-6.5	arcilla muy compacta, tipo CH		
536	1973				536		0-6.5	arcilla con tosquillas y gravas, dura, t	6.5-8.5	arcilla limosa calcárea, muy dura, tipo		
			10	22	21	2					24	11
				55							44%	20%

Notas

ML: moderadamente lenta

L: lenta

(*): msnm

Total de muestras con datos: 55

Total de casos favorables: 24 + 11 = 35

Probabilidad de ocurrencia: 35/55 = 64%

ANEXO C: ELECCIÓN DEL VALOR DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA.

Estos suelos son clasificados como “Argiudoles” [húmedo arcillosos], y son dominantes en una franja de unos cincuenta a sesenta kilómetros de ancho desde el Río de la Plata [Figura 52]…los Argiudoles vérticos se encuentran coronando las lomas más altas, en tanto los Argiudoles típicos se presentan en las pendientes y en lomas de altura intermedia…la permeabilidad de los suelos de este sector oscila

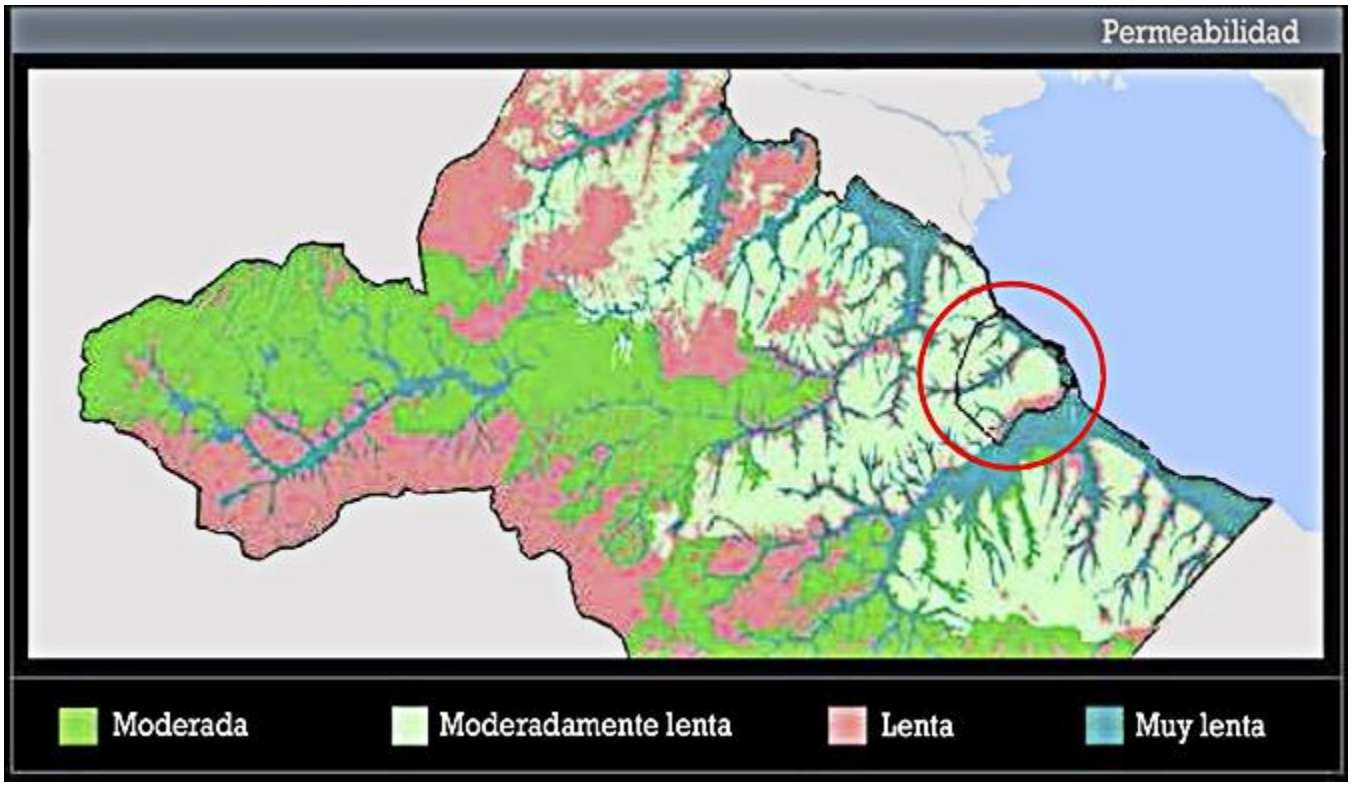


Figura 52: Permeabilidad de los suelos del AMBA. CABA en círculo rojo.

Fuente: Atlas ambiental de Buenos Aires. (2010).

entre *moderadamente lenta a lenta*… la planicie estuárica del Río de la Plata, disponen de permeabilidades lentas y muy lentas. (Morrás, y otros, 2010)

Los distintos suelos resultan de la combinación de diferentes proporciones granulométricas, cuyas formas puras ideales son arcilla, limo y arena, ubicadas en los extremos del triángulo textural, Figura 53.

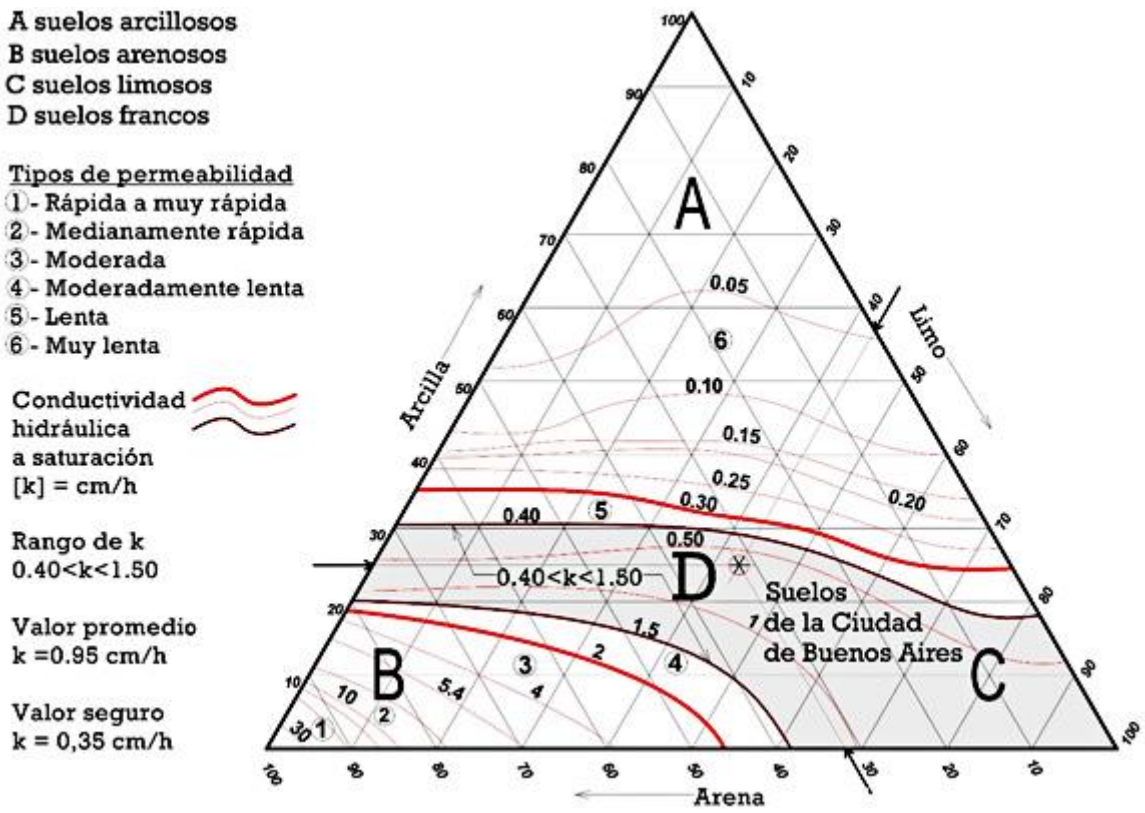


Figura 53: Triángulo textural, ubicación de suelos de la ciudad de Buenos Aires.

Fuente: Fernández, C. D. (2011)

Sobre el mismo se marcaron las isolíneas de conductividad hidráulica y los tipos de permeabilidad correspondiente. Estos determinan el rango para la ciudad de Buenos Aires entre 0.40 y 1.50 cm/h, zona gris. Por lo cual se define como valor seguro de conductividad hidráulica: $k = 0.35\ cm/h$. Menor al mínimo.

ANEXO D: FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA Y FUNDAMENTACIÓN DE CÁLCULOS.

Esto se desarrolla resolviendo hipotéticamente, el caso de una tormenta típica de recurrencia anual, de 30 mm de intensidad, de una hora de duración, con un patrón de mayor precipitación inicial.

La Figura 54, muestra el corte de la fosa en la vereda, con las áreas húmedas. La exterior es tanto mayor que la interior como la razón de sus diferentes porosidades.

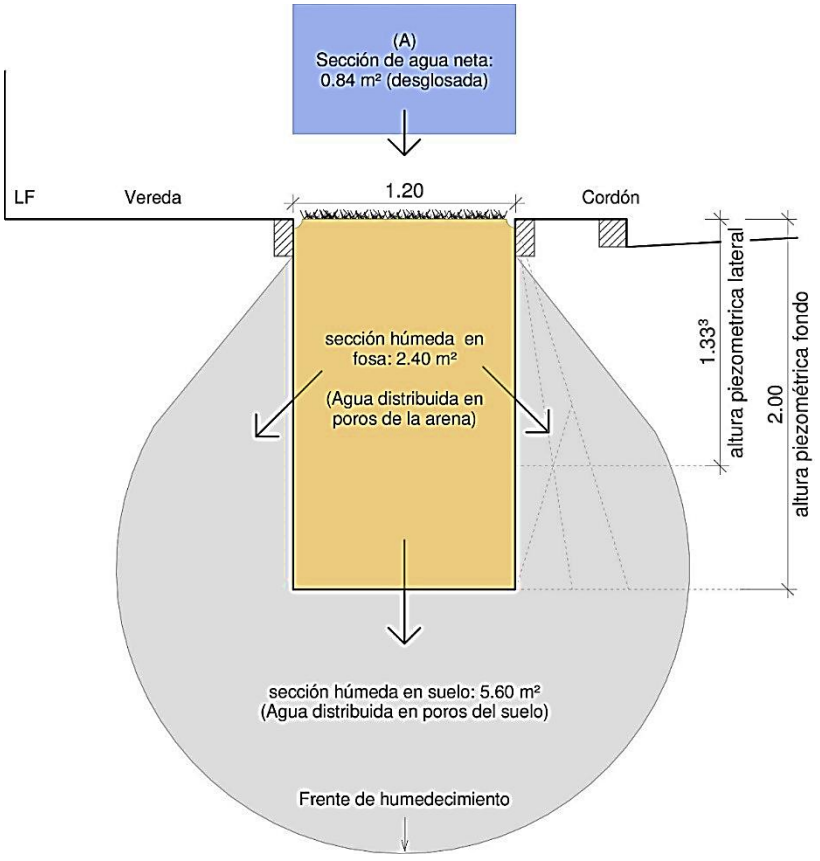


Figura 54: Corte transversal de trinchera en vereda.

La Tabla 7 define la superficie de contacto arena-suelo dada por las paredes y fondo de la fosa, y los volúmenes reales y aparentes contenidos en esta.

Tabla 7

Propiedades de las trincheras

Cod.	Parámetros	relaciones	unid	Parcial	total
a	Cantidad de fosas por lado de la manzana.		un	1	4
b	Porosidad libre arena (Pe1)		s/u	0.35	
c	Porosidad libre suelo (Pe2)		s/u	0.15	
d	Relación de porosidad (Pe1/Pe2)	b/c	s/u	2.33	
e	Altura total (HT)		m	2	
f	Altura coronamiento H°A° (Hc)		m	0.25	
g	Altura libre lateral (H)	e-f	m	1.75	
h	Ancho (A)		m	1.2	
i	Largo total sin interrupciones (LT)		m	75	
j	Interrupciones por árboles c/ 10 m		un	7	
k	Separación por árbol		m	2	
l	Largo útil (L)	i-kj	m	61	244
m	Perímetro (P)	2[i+(j+1).h]	m	141	565
n	Área lateral vertical libre	g.m	m²	247	988
o	Área fondo horizontal	h.i	m²	73	293
r	Volumen de la fosa	e.o	m³	146	586
s	Volumen útil de la fosa: porosidad total	r.b	m³		205
t	Sección útil de la fosa	s/l	m²		0.84
v	Sección húmeda real de la fosa	t/b	m²		2.40
w	Sección húmeda real del suelo	t/c	m²		5.60
x	Cuenca, manzana ideal de 1 ha (cc)		m²	10000	

Notas: Las combinaciones de valores que originan nuevos parámetros son indicadas en la columna *relaciones*, usando las letras de la primera columna como indicadores. Los totales que se hallan enfrentados a parciales surgen de multiplicar estos por el total de lados de la manzana (4 de la primera fila).

La velocidad de infiltración (q), está definida por el volumen de agua (V) que atraviesa una sección unitaria (A), en un tiempo unitario (T).

$$q = V/(A.T)$$

Expresada en cm/h o m/día.

Cuando el suelo no está aún saturado, *la velocidad de infiltración* varía desde un valor inicial máximo hasta un valor de estabilización siguiendo una curva de función potencial inversa. En 1932, Kostiakov propuso la suya:

$$I = k_o T^{-b}$$

Donde T es el tiempo, ko la conductividad hidráulica inicial y el término b es la pendiente logarítmica de la curva de infiltración. Como se ve en la Figura 55, se ajusta muy bien a los valores experimentales. (Valverde, 2007, pág. 30) Para el caso de este trabajo: ko = 25 y b = 0.45. (Alvarez, Sastre, Gutiérrez,& Carral, s/f, pág. 1)

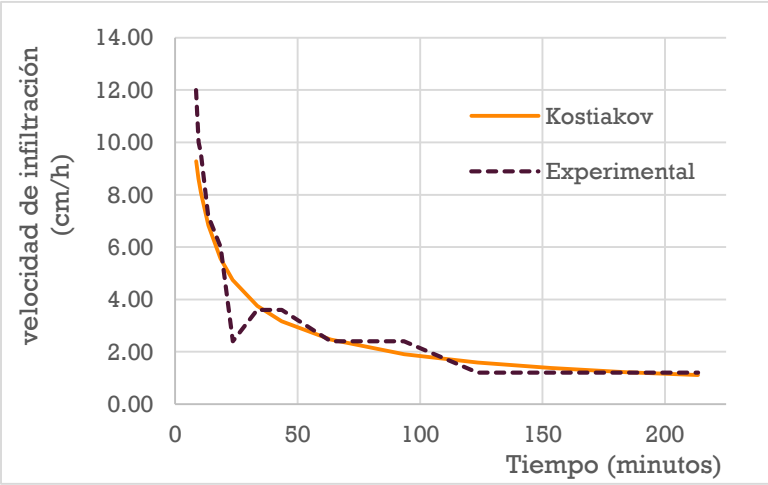


Figura 55: velocidad de infiltración en suelo insaturado.

Ajuste de curvas experimental y estimada según kostiakov. Fuente: Valverde, J. C. (2007).

En la Tabla 9, bajo el encabezado *infiltración en suelo insaturado,* se indican los valores de infiltración instantánea y acumulada. Esta última se obtiene integrando la velocidad de infiltración respecto al tiempo: $IA = \int k_o T^{-b}$ (Valverde, 2007, pág. 30)

Ahora bien, mientras el suelo absorbe el agua según su capacidad, el excedente comienza a cargar la fosa hasta su completamiento. Ver Tabla 9, columna: *Acopio en fosa.*

En general, al cabo de una hora la velocidad de infiltración se estabiliza. A partir de ese momento la infiltración es regida por la ley de Darcy (1850).

"La velocidad de infiltración depende de la diferencia de altura piezométrica (Δh) actuante sobre el recorrido del agua (Δl), y la conductividad hidráulica (k), referida a la permeabilidad del suelo."

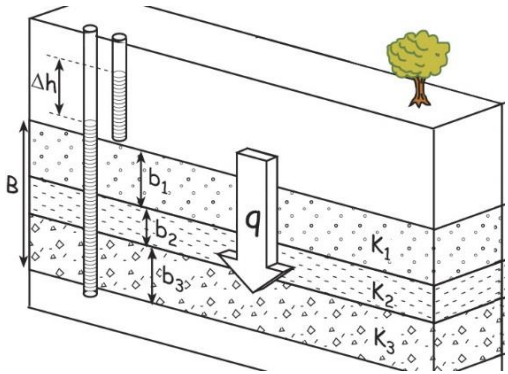


Figura 56: flujo perpendicular

Fuente: San Román, S. F. (2014).

$$q = k\,\Delta h/\Delta l$$

En el caso de las fosas, el material de relleno y el suelo determinan un flujo a través de capas heterogéneas pero consideradas en sí mismas como homogéneas e isotrópicas. Figura 56. (San Román, 2013, págs. 2-4)

La permeabilidad ponderada para todas las capas es la conductividad hidráulica equivalente (K), dada por la expresión:

$$K = B/(\sum bi/ki)$$

Siendo: ki = conductividad hidráulica de cada una de las capas, bi = espesor de cada una de las capas, B = espesor total, suma de todos los espesores.

La velocidad de infiltración a la que se descargaría la fosa es: $q = -K\ \Delta H/\Delta L$

En la Tabla 8 se desarrolla el cálculo de esta última parte, que se inscribe en la Tabla 9 bajo el encabezado *infiltración en suelo saturado.*

Tabla 8

Infiltración a flujo saturado

Cod.	Parámetros	relaciones	unid	Fondo	Lateral	Σ
A	Carga piezométrica (Δh) = HT		m	1.75	0.99	
B	Áreas de intercambio	o | n	m²	293	847	1140
C	Ponderación f(Carga piezométrica y áreas)	A.B	m²	512	839	1351
D	% De distribución	C/ΣC	%	38%	62%	
E	Sección húmeda real de la fosa distribuida	D.v	m²	0.80	1.30	
F	Sección húmeda real del suelo distribuida	D.w	m²	1.86	3.04	
G	Volumen de la fosa asignado a laterales	D.r	m³	194	318	
H	Recorrido del agua a través de laterales (ΔL1)	G/B	m	0.66	0.38	
I	Volumen de la fosa asignado al fondo	G.d	m³	453	742	
J	Recorrido del agua a través del fondo (ΔL2)	I/B	m	1.55	0.88	
K	Recorrido del agua total (ΔL)	H+J	m	2.21	1.25	
L	Carga piezométrica capa 1: arena (ΔH1)		m	-1.75	-0.99	
M	Carga piezométrica capa 2: suelo (ΔH2)		m	-1.55	-0.87	
N	Carga piezométrica total (ΔH)	L+M	m	-3.30	-1.86	
O	Conductividad hidráulica arena (K1)		cm/h	20.00		
P	Conductividad hidráulica suelo (K2)		cm/h	0.35		
Q	Conductividad hidráulica equivalente K = ΔL/Σ(Δli/Ki)	K/(H/O+J/O)	cm/h	0.50	0.50	
R	Velocidad de infiltración (q) q = -K ΔH/ΔL	-QN/K	cm/h	0.83	0.80	
S	Flujo de infiltración horario (Q) Q = q Área	R.B	m³/h	2.43	7.90	10.34
T	Flujo de infiltración diario (Qd) Qd = 24Q	24.S	m³/d	58	190	248

Notas: Las combinaciones de valores que originan nuevos parámetros son indicadas en la columna relaciones, usando las letras de la primera columna como indicadores.

El balance hídrico considera, en intervalos de cuartos de hora (15’), *entradas* de agua de lluvia, *salidas* de la misma por infiltración o retención en fosa y *saldos* no captados por el sistema.

Tabla 9

Balance hídrico de cuenca tipo manzana de 1 ha.

Tiem-po	Entrada de agua por lluvias[a]				Salidas de agua por infiltración y retención										Saldos	
					Infiltración en suelo					Acopio en fosa[d]		Volúmenes totales[e]			Escorrentía[f]	
	Columna		Volumen		Insaturado[b]				Sat.[c]							
	IP	IA	VP	VA	I	IAU	IAT	IAT	ITS	VP	VA	VP	VA		VP	CA
min	mm/ch	mm	m^3/ch	m³	cm/h	cm	m3	m^3/ch	m^3/ch	m^3/ch	m³	m^3/ch	m³	mm	m^3/ch	mm/ch
0	0	0	0	0	0	0.00	0			0	0	0	0	0		
15	6	6	60	60	7.4	3.36	43.0	43.0		17	17	60	60	6		
30	10	16	100	160	5.4	4.92	63.0	20.0		80	97	100	160	16		
45	9	25	90	250	4.5	6.15	78.8	15.7		74	171	90	250	25	0	0.0
60	5	30	50	300	4.0	7.20	92.3	13.5		34	205	47	297	30	3	0.3
75	3	33	30	330					2.58	0	205	3	300	30	30	3.0
90	2	35	20	350					2.58	0	205	2.6	302	30	48	4.8
105	1	36	10	360					2.58	0	205	2.6	305	30	55	5.5
120	0	36	0	360					2.58	-2.58	202	0.0	305	30	0	0.0
135	0	36	0	360					2.58	-2.58	200	0.0	305	30		0.0
150	0	36	0	360					2.58	-2.58	197	0.0	305	30		0.0
165	0	36	0	360					2.58	-2.58	195	0.0	305	30		0.0
180	0	36	0	360					2.58	-2.58	192	0.0	305	30		0.0

Notas: I = infiltración, A = acumulado, V = volumen, U = unitario, T = total, ch = cuarto de hora, sat. = saturado, P = parcial, o sea, por cuarto de hora, CA = columna de agua, ko = conductividad hidráulica inicial, b = coeficiente de saturación.

a La entrada por lluvia registra la intensidad como columna de agua por cuartos de hora y los volúmenes acumulados.

b La infiltración inicial según la fórmula de Kostiakov, su acumulada (IAU), extendida (IAT) e instantánea (IAT/ch).

c La infiltración de suelo saturado según la ley de Darcy para la segunda hora.

d El acopio acumulado en fosa hasta llegar a su máxima capacidad y decrecimiento al cese del evento.

e Los volúmenes horarios y totales en columna de agua y metros cúbicos captados por el sistema.

f Los saldos de escorrentía también en columna de agua y metros cúbicos.

En conclusión, de una lluvia de 36 mm, el sistema retuvo 30, que serán entregados al acuífero en menos de un día y medio y solo 9 mm fueron al sistema actual. Si se usara el sistema de módulos de almacenamiento e infiltración mencionados se captaría una lluvia de hasta 70 mm en dos horas.

Con los datos de la tabla 7 se conforma el gráfico de la Figura 57, mostrando el avance de las entradas – salidas – saldos del balance hídrico, y la retención de la fosa desglosada.

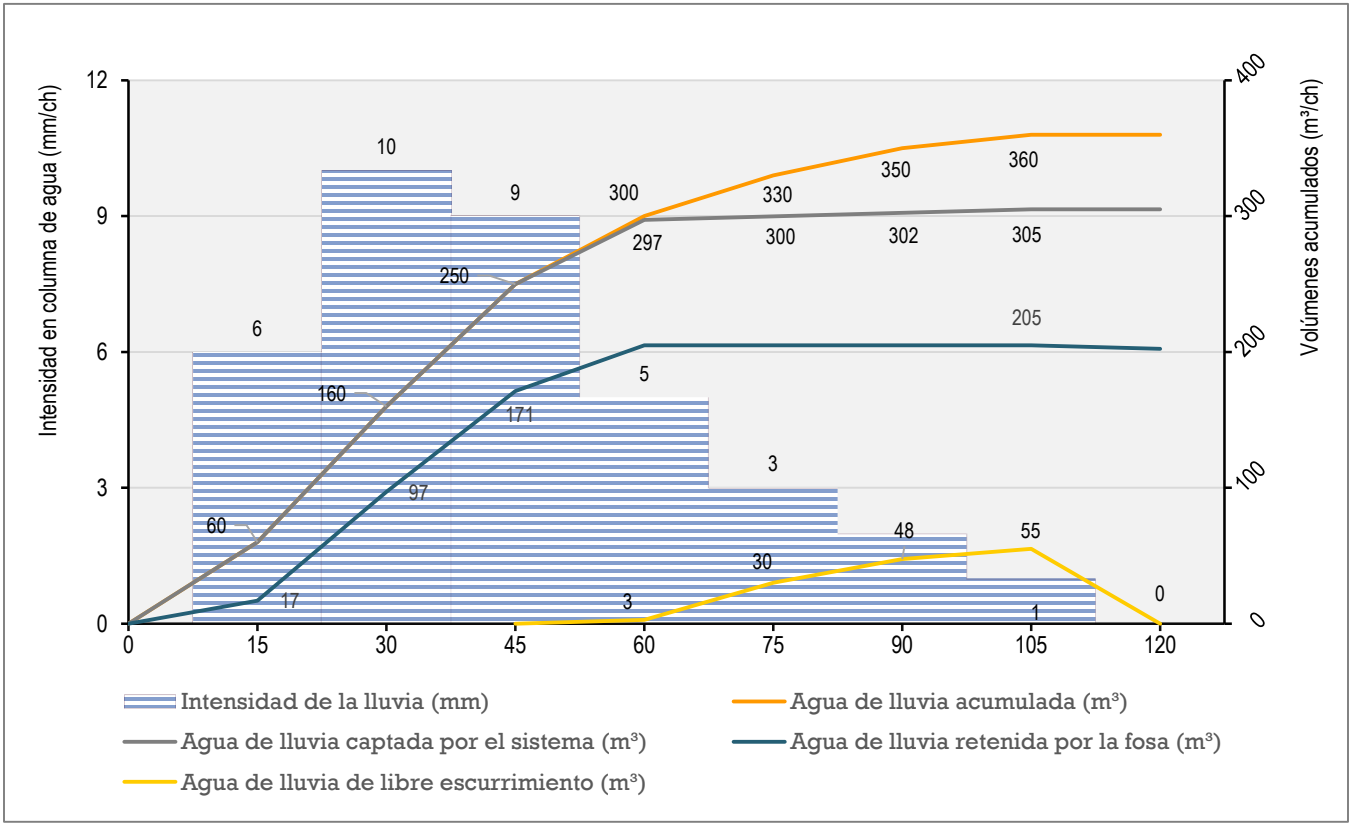


Figura 57: Balance hídrico.

ANEXO E: ÁREAS APTAS Y NO APTAS

Tabla 10

Balance de áreas

Áreas	unidades	cantidad	áreas aptas		áreas no aptas	
terraza alta	km²	148.5	64%	95.1	36%	53.5
terraza baja	km²	54.8	0	0.0	100%	54.8
total	km²	203.3		95.1		108.2
área verde	km²	16.0	10%	1.6	90%	14.4
área edificada	km²	187.3	50%	93.5	50%	93.8
calles y avenidas	km²	29.0				
manzanas con veredas	km²	158.3				
vereda / manzana		12.5%				
vereda	km²	19.8				
fosa/vereda		30%				
fosas	km²	5.9				

Sobre el mapa topográfico de la ciudad de Buenos Aires, Figura 58, se midieron las áreas de los distintos niveles y se agruparon en las terrazas correspondientes, alta y baja. Se les aplicó las probabilidades determinadas en el Anexo B. Se desglosó el área verde que se halla mayormente en la terraza baja. Y se concluye que la mitad del área edificada de la ciudad puede tener fosas de infiltración.

Aparte se mensuró aproximadamente la superficie cubierta por las fosas a partir de la relación entre circulación total y manzanas con veredas. La misma da un área de 5.9 km² o sea 590 ha.

Para tener una idea menos abstracta de esta cantidad, se la puede comparar con las 33 ha. que el GCBA planea incorporar a las 1600 ha. existentes. (GCBA, 2009, pág. 148)

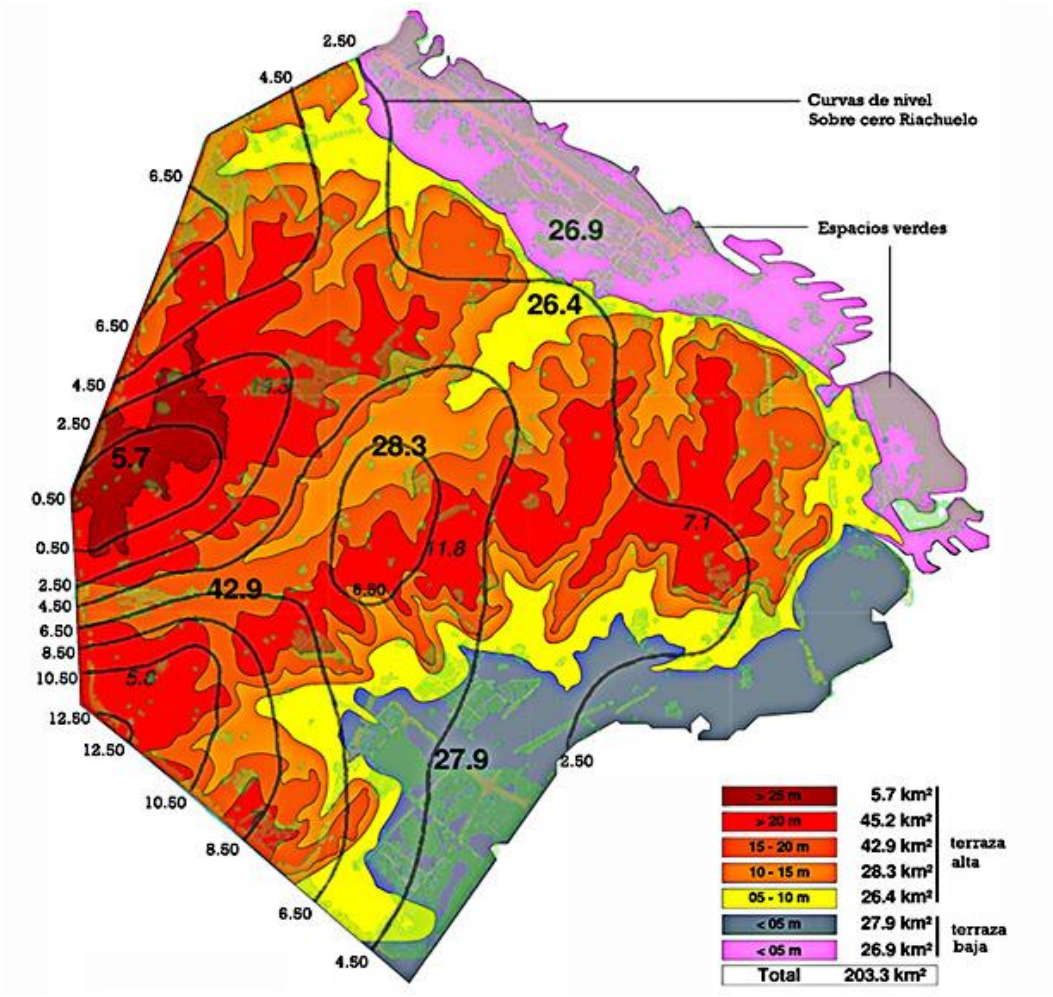


Figura 1: Mapa topográfico de la ciudad de Buenos Aires.
Se superpuso la capa de áreas verdes y curvas de nivel.

Fuente: Rimoldi, H. V. (2001).

Figura 58: Mapa topográfico de la ciudad de Buenos Aires.
Se superpuso la capa de áreas verdes y curvas de nivel.

Fuente: Rimoldi, H. V. (2001).

ANEXO F: COSTO APROXIMADO

Tabla 11

Costo constructivo de fosas con arena.

Ítem	Fuente	cantidad	unidad	PU	Parcial	PU	Parcial
Excavación a máquina y a mano	Vivienda	2.00	m³/m		0.00	276.88	553.75
Arena gruesa	Mercado libre	2.00	m³/m	300.00	600.00		0.00
Coronamiento pre-moldeado	Vivienda	2.50	m/m	85.37	213.43		0.00
Tanque AVS [a]	Abelson	0.02	unid/m	10,921.06	218.42		0.00
Condutales PVC 160 mm x 3.2 Tigre	Abelson	0.60	unid	380.41	228.25		0.00
Hora sanitarista	Vivienda	1.00	h/m		0.00	68.77	68.77
Tierra negra puesta en obra	Vivienda	0.39	m³/m	120.00	46.80		0.00
Membrana geotextil (rollo)	Vivienda	0.12	unid/m	461.55	55.39		0.00
Hora Jardinero	Vivienda	1.00	h/m		0.00	68.77	68.77
Total materiales y mano de obra					1,362.28		691.30

Item	pesos
Costo materiales y mano de obra	2,054
Administración y beneficio (30%)	616
Total	2,670
IVA	561
Precio por metro	3,230
precio por frente	27,973
precio por cuadra	242,271

[a]El costo de un separador de vórtice se asimila al de dos bio-digestores marca Rotoplast de 1300 L.

BIBLIOGRAFÍA

AIACC (Assessment of Impact and Adaptation for Climate Change). (2005). Impact of Global Change on the Coastal Areas of the Río de la Plata, Sea Level Rise and Meteorological Effects. Retrieved Mayo 15, 2014, from http://laboratorios.fi.uba.ar/lmm/la26.htm

Álvarez, A., Sastre, S., Gutiérrez, A., & Carral, P. (s/f). Tendencias observadas en el estudio de curvas de infiltración de suelos. Recuperado el 10 de junio de 2014, de http://ingenierosdeminas.org/ documentos/03-Metodos%20matematicos%20en%20geoquimica-1.pdf

Andoh, R., Hides, S., & Saul, A. (2002). Improving Water Quality Using Hydrodynamic Vortex Separators and Screening Systems. Trabajo presentado en la 9th International Conference on Urban Drainage. Portland, Oregon, Usa. doi:org/10.1061/40644(2002)3

Auge, M. (2004). Hidrogeología de la ciudad de Buenos Aires. Recuperado el 20 de mayo de 2014, de http://www.alhsud.com/public/ebooks/Hidrogeologia-Bs_As.pdf

Bayer. (2005). Bayer environmental science y el cambio climático. Retrieved mar 3, 2014, from http://www.pestcontrol-expert.com/bayer/cropscience/bespestcontrol.nsf/files/Mar/$file/BayerEn vironmentalScience-y-el-cambio-%20climatico.pdf

Bidegain, M., Caffera, F. R., Blixen, Pshennikov, V., Lagomarsino, J. J., Forbes, E. A., & Nagy, G. J. (2005). Tendencias climáticas, hidrológicas y oceanográficas en el río de La Plata y costa uruguaya. El cambio climático en el rio de la Plata. Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de http://www.cima.fcen.uba.ar/~lcr/libros/Cambio_Climatico-Texto.pdf

Camilloni, I. (2005). El cambio climático. Recuperado el 15 de Mayo de 2014, de Variabilidad y tendencias hidrológicas en la Cuenca del Plata: http://www.cima.fcen.uba.ar/~lcr/libros/Cambio_Climatico-Texto.pdf

Camilloni, I. (2008). La Ciudad de Buenos Aires frente al cambio climático. Recuperado el 15 de mayo de 2014, de http://www.fundacionciudad.org.ar/FundacionCiudad/components/com_booklibrary/ ebooks/CamilloniFC24NOV08.pdf

Camilloni, I. (2010). Cambio climático. Atlas Ambiental de Buenos Aires. Recuperado el 20 de julio de 2014, de http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/index.php?option=com_content& task=view &id=246&Itemid=118

CIRIA. (2007). The SUDS manual [Manual SuDS], C697. Londres. Recuperado el 12 de abril de 2014, de The SUDS manual: www.ciriabooks.com

de Schiler, S., Evans, J. M., & Katzschner, L. (2001). Isla de calor, microclima urbano y variables de diseño. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 5, 48. Recuperado el 20 de mayo de 2014, de http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2001/2001-t001-a009.pdf

EPA, Enviromental Protection Agency. (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Recuperado el 27 de julio de 2014, de http://www.epa.gov/heatisland/resources/compendium.htm

EPA, Enviromental Protection Agency. (2003). Protecting Water Quality from Urban Runoff. Recuperado el 28 de julio de 2014, de http://www.epa.gov/npdes/pubs/nps_urban-facts_final.pdf

Faram, M. G., & Harwood, R. (2002). A Method for the Numerical Assessment of Sediment Interceptors. Trabajo presentado en la 3rd International Conference on Sewer Processes & Networks, Paris, France. Obtenido de http://www.hrdtec.com/library/stormwater/Faram-&-Harwood-2002-3SP&N .pdf

Fernández, C. D. (2011). ...sobre la Edafología y los suelos. Recuperado el 30 de julio de 2014, de http://www.edafologia.net/alumnos//media/pm9912.gif

GCBA. (2009). Plan de acción contra el cambio climático Buenos Aires 2030. Recuperado el 5 de junio de 2014, de http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med_ambiente/apra/des_sust/pacc.php?menu_ id= 32408

Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (2011). Modelo Territorial Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina: Subsecretaría de Planeamiento de la CABA.

Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (n.d.). Buenos Aires frente al Cambio Climático: Corredores verdes. Retrieved from http://www.buenosaires.gob.ar/areas/med_ambiente/apra/institucional/archivos/bsas_cc.pdf

Groncol. (n.d.). Beneficios de los Techos Verdes. Retrieved from http://www.slideshare.net/groncol/beneficios-de-los-techos-verdes

Gurovich, L. A. (1985). Fundamentos y diseño de sistemas de riego. San José, Costa Rica: Saraví, T.

Hidro International Stormwater. (2009). LEED® Line Card. Retrieved julio 31, 2014, from http://www.hydro-int.com/UserFiles/downloads/LEED%20Line%20Card_0.pdf

Hydro International. (2009). HX Guide to the Downstream Defender: Advanced Vortex Separation for Stormwater Treatment. Retrieved from http://www.hydro-int.com/UserFiles/downloads/DD-%20HX%20Guide%20-%20FINAL%20Lo%20Res%20B1308_0.pdf

Hydro International. (2009). First Defense Stormwater Treatment System: Operation and Maintenance Manual. Retrieved from http://mbo-precast.com/wp/wp-content/uploads/2013/04/MBO-First-Defense-Operation-Manual.pdf

Hydrowebcast's channel. . (2010). (Productor). Advanced Vortex Separator High Flow. [MP4]. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=lVnvknpizfM

Maryland Department of the Environment. (2000). Maryland Stormwater Design Manual Volumes I & II. Retrieved from http://www.mde.state.md.us/programs/Water/StormwaterManagementProgram/SoilErosionandSedimentControl/Documents/MD%20SWM%20Volume%201.pdf

Mazzeo, Patricia I., Figuerola, & Nicolas A. (s/f). Efecto de la ciudad de buenos aires sobre la velocidad del viento y la nubosidad. Recuperado el 5 de mayo de 2014, de http://www.cbmet.com/cbm-files/13-c164894a1b5cc52af2adc48fb008825a.pdf

Morrás, H. J., Cruzate, G. A., Angelini, M., Moretti, L., Gómez, L. A., & Deferrari, M. (2010). Características agronómicas, Limitaciones y aptitudes. Atlas Ambiental Buenos Aires. Buenos Aires. Recuperado el 15 de julio de 2014, de http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/index.php?option=com_content&task=view&id=327&Itemid=149&lang=es

Nabel, P. E. (2010). Subsuelo. Atlas Ambiental Buenos Aires. Retrieved julio 15, 014, from http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/index.php?option=com_content&task=view&id=21& Itemid=17&lang=es

Naciones Unidas. (1992). Convención marco de las Naciones unidas sobre el cambio climático. Retrieved julio 24, 2014, from http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf

National Cooperative Soil Survey. (1993). Soil Survey Manual. Retrieved from http://www.nrcs. usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262

OMM Organización Meteorológica Mundial. (2014). Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial 2013. Retrieved mayo 15, 2014, from https://docs.google.com/file/d/0BwdvoC9Ae WjU UWVpbmZfWVZIM0U/edit

OSN. (1974). Normas y gráficos de instalaciones sanitarias domiciliarias e industriales. Buenos Aires, Argentina: OSN.

Ramanathan, V. (2008). Global and regional climate changes due to black carbon. Nature Geosciences, 1(4), 221–227. doi:10.1038/ngeo156

Rimoldi, H. V. (2001). Carta Geológico-Geotécnica de la Ciudad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina: Segemar. Recuperado el 15 de Mayo de 2014, de http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar /aaba/index.php?option=com_content&task=view&id=308&Itemid=149&lang=es

Rimoldi, H. V., & Morrás, H. J. (2010). Características geotécnicas. Atlas Ambiental Buenos Aires. Recuperado el 22 de mayo de 2014, de http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/index.php?option=com_content&task=view&id=307&Itemid=148&lang=es

San Román, S. F. (2013). Hidrología Subterránea. Ley de Darcy. Conductividad hidráulica. España. Recuperado el 5 de Mayo de 2014, de http://hidrologia.usal.es/temas/Ley_Darcy.pdf

Sánchez Rabat, S. (2010). Retrieved mayo 11, 2014, from El balance energético del planeta: http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com.ar/2010/05/el-balance-energetico-del-planeta.html

Spokane County, City of Spokane, City of Spokane Valley. (n.d.). Spokane Regional Stormwater Manual. Retrieved from http://www.spokanecounty.org/data/engineers/srsm_apr08final/SRSM_April2008 Final.pdf

SuDS Wales. (2011). Sustainable Drainage Systems. Recuperado el 29 de julio de 2014, de http://www.sudswales.com/education

Valverde, J. C. (2007). Riego y drenaje (2da ed.). San José, Costa Rica: EUNED.

Villa, A. P. (n.d.). Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial. Retrieved from http://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro -PFHS-05.pdf

Wikipedia. (2013). Ley de Darcy. Recuperado el 30 de julio de 2014, de http://es.wikipedia.org/ wiki/Ley_de_Darcy

Zaramillo, E., & Larenze, G. (2008). Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos. Buenos Aires: Univ. Tecnológica.

TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Aproximaciones 4
Figura 2: Balance energético global. 9
Figura 3: Emisiones globales de dióxido de carbono discriminadas según su origen. 9
Figura 4: Contenido total de calor bajo y sobre nivel del mar. 9
Figura 5: Causales del incremento de nivel del río de La Plata. 10
Figura 6 Aumento precipitación anual en el Río de la Plata. Período: 1950-2000. 10
Figura 7: Causales climáticos de inundaciones 11
Figura 8: Isotermas concéntricas. 14
Figura 9: Isla Urbana de calor generando una gran célula convectiva. 16
Figura 10: Temperaturas del aire en zona rural y ciudad. 16
Figura 11: Flujos y reflujos de calor de distintas fuentes en la ciudad. 16
Figura 12: Balance hídrico de la ciudad de Buenos Aires. 17
Figura 13: Balance hídrico en áreas rurales y urbanas. Fuente: EPA, 2003. 19
Figura 14: NEA en acera. 23
Figura 15: corte esquemático fosa en vereda 24
Figura 16: Manzana teórica con fosas perimetrales y ampliación. 25
Figura 17: Corte estratigráfico y ubicación geográfica. 25
Figura 18: Ubicación de sedimentos Pampeanos y Postpampeanos en el AMBA. 26
Figura 19: Perfiles geotécnicos de Buenos Aires. 27
Figura 20: Corte esquemático que muestra distintas situaciones de relieve topográfico. 27
Figura 21: Perfil de humedecimiento en el proceso de infiltración. 29
Figura 22: Esquema de la propuesta, simplificado para suelos aptos para infiltración. 31
Figura 23: Cuenca de captación del agua de lluvia: la manzana. 31
Figura 24: Condutales de salida a la calle. 31
Figura 25: Esquema básico de fosa. 32
Figura 26: Fosa de arena en vereda, corte transversal. 32
Figura 27: Módulo de almacenamiento e infiltración, Stormbloc®, 80.80.66 cm 33
Figura 28 Tanque de tratamiento del agua de lluvia (A). 34
Figura 29: Sistemas de separación de partículas según su granulometría y costos 35
Figura 30: Esquema simplificado de los flujos en vórtice. 35
Figura 31: geometría emergente de la separación de flujos. (Corte vertical) 35
Figura 32: Secuencias de Separador hidrodinámico de vórtice avanzado en acción. 37
Figura 33: Downstream Defender® 37
Figura 34: Downstream Defender y cámaras de infiltración bajo pavimento de gran superficie. 38
Figura 35: Downstream Defender® 38
Figura 36: Ubicación de la cubierta en fosa, corte. 39
Figura 37: Cubierta de fosa de infiltración. Parte vegetada y parte con bloques. 39
Figura 38: Ejemplos de distintas terminaciones de cubiertas secas. 40
Figura 39: Vereda con NEA vegetados. 41

Figura 40: Vereda en transparencia. Sistema de infiltración en NEA. 41
Figura 41: Vista isométrica del Sistema de infiltración. 44
Figura 42: Panta y corte vista parcial de vereda con el sistema completo. 44
Figura 43: Relación de duración, intensidad y recurrencia de tormentas. 44
Figura 44: Balance hídrico de precipitación. 45
Figura 45: Fosa de retención. 46
Figura 46: fosa en estacionamiento. 46
Figura 47: Filosofía del Sistema de desagües sustentables. 59
Figura 48: Jerárquica de selección de sistemas de drenaje sustentable. 61
Figura 49: Sistema típico de infiltración para el agua pluvial. 65
Figura 50: D1. Detalle de perfiles geotécnicos de la Figura 48. 65
Figura 51: Perfiles geotécnicos alineados. 68
Figura 52: Permeabilidad de los suelos del AMBA. CABA en círculo rojo. 75
Figura 53: Triángulo textural, ubicación de suelos de la ciudad de Buenos Aires. 76
Figura 54: Corte transversal de trinchera en vereda. 79
Figura 55: velocidad de infiltración en suelo insaturado. 81
Figura 56: flujo perpendicular 82
Figura 57: Balance hídrico. 85
Figura 58: Mapa topográfico de la ciudad de Buenos Aires. 88

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 8
Tabla 2 45
Tabla 3 65
Tabla 4 68
Tabla 5 68
Tabla 6 70
Tabla 7 80
Tabla 8 83
Tabla 9 84
Tabla 10 87
Tabla 11 91