

## **LAS PRACTICAS DE GESTION OPTIMA (BMP's en inglés) EN EL ESCURRIMIENTO PLUVIAL URBANO**

Gerardo A. Riccardi

Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales  
Facultad de Cs. Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario

**RESUMEN:** En este informe se presenta un enfoque general acerca del estado actual del conocimiento en lo que concierne a las prácticas de gestión óptima en el escurrimiento pluvial urbano. Se parte de una breve síntesis los procesos hidrológicos principales en los ambientes urbanos y la movilización de contaminantes producidas por el escurrimiento pluvial. Además se presenta un resumen de las BMP's más comunes y sobre las que más se ha investigado, incluyendo la descripción y performance. Se indican las capacidades para remoción de los principales contaminantes arrastrados en los ambientes urbanos y la capacidad de atenuación de flujo. Posteriormente se expone un informe técnico de las diferentes prácticas individuales no-estructurales y estructurales. Las BMP's no-estructurales incluyen actividades tales como modificaciones de uso y deposición de residuos químicos domiciliarios; usos de la tierra y prácticas de manejo; programas in situ de manejo de escurrimiento, manejo de excesos de contaminantes; y manejo de infiltración de desagües cloacales en conductos de desagües pluviales. Las BMP's estructurales descritas abarcan los sistemas de infiltración y deposición locales; la retención o almacenamiento en canales con vegetación natural; controles de entrada a las redes de desagües; embalses de detención; embalses (microembalses) y bajos para retención y tratamientos. Por último se presentan una serie de figuras correspondientes a BMPs sugeridas por un organismo gubernamental de los EEUU que gerencia las actividades de control de crecidas y el drenaje pluvial urbano.

### **PROCESOS HIDROLOGICOS EN CUENCAS URBANAS Y PARAMETROS AMBIENTALES**

#### **Procesos Hidrológicos y Movilización de Contaminantes**

El volumen de escurrimiento de crecida y las variaciones de caudales relacionados con una dada lámina de lluvia caída en una ambiente urbano están principalmente determinados por los procesos naturales tales como: - precipitación; - intercepción en cubierta vegetal y depresiones superficiales; - infiltración en suelo y - almacenamiento y recarga-descarga

## Parámetros ambientales y guías de calidad

A lo largo del mundo si bien existen diferencias entre los climas, suelos, actividades humanas y formas urbanas lo que resulta en diferentes alteraciones del escurrimiento pluvial, los procesos básicos son los mismos. La gestión del drenaje debe tratar de prevenir los cambios. Normalmente no es posible una modificación nula o despreciable a las condiciones de escurrimiento en urbanizaciones nuevas, o volver a las iniciales en urbanizaciones existentes por lo que los programas y prácticas de gestión del drenaje urbano deben limitar los impactos a niveles tolerables para asegurar un desarrollo sostenible donde el ambiente considerado pueda asimilar la perturbación pasando a otro estado de equilibrio ambiental.

Acciones antipáticas tales como: - el sucesivo reemplazo de vías de drenajes naturales vegetadas y valles de inundación con conductos y canales impermeables y - relleno de depresiones naturales y bajos húmedos disminuyen la capacidad natural de intercepción del sistema de los elementos constitutivos del escurrimiento (sólidos, sólidos en suspensión, contaminantes) y además, aumentan el volumen de escorrentía y los valores máximos de caudales (aumento de Qpico y disminución de tiempo de concentración). Estas dos alteraciones y muy especialmente en tormentas pequeñas y de gran intensidad producen un mejoramiento en la capacidad de transporte y de renovación de los constituyentes del escurrimientos aumentando los niveles de contaminación aguas abajo.

La urbanización producen sustanciales alteraciones del medio ambiente natural. Se modifica el paisaje, se impermeabilizan grandes áreas, se modifica la vegetación y la permeabilidad del suelo en áreas permeables, se altera la morfología del drenaje superficial y el intercambio de flujo con el ambiente subterráneo. Estos cambios aumentan de gran manera el volumen de escorrentía y la velocidad de aumento de los caudales (se empuja la rama ascendente del hidrograma) y paralelamente la contaminación asociada al escurrimiento pluvial. Actividades humanas como tráfico de vehículos imponen una severa carga de contaminantes en áreas impermeables. La aplicación de fertilizantes, herbicidas y pesticidas en zonas permeables (zonas parquizadas, zonas de quintas de producción agrícola) y la posible propagación a zonas impermeables por salpicado, spray, etc. contribuyen a la contaminación del paisaje urbano. Gran parte de las deposiciones de contaminantes se movilizan mediante el escurrimiento y son transportadas hacia los cuerpos receptores. Cuanto más se alteren las condiciones de escurrimiento, especialmente disminuyendo el tiempo de concentración del flujo (aumentando velocidad del escurrimiento) mayor será el proceso de movilización.

La vegetación es un importante modificador del escurrimiento a través del mejoramiento de la capacidad de intercepción e infiltración y la evapotranspiración (que hace descender la humedad del suelo, favoreciendo indirectamente la infiltración).

subterránea.



Los valores ambientales urbanos y de los cuerpos de agua receptores de mayor jerarquía que pueden ser alterados en mayor o menor medida por el escurrimiento pluvial comprenden:

- conservación de aguas destinadas a recreación; - paisaje y valores estéticos de espacios abiertos
- conservación del medio ambiente acuático; - fuentes de agua para consumo humano y otros usos (almacenamiento, riego, industrial, etc.)

La protección de estos parámetros debe definirse en términos de parámetros guías de calidad de agua ambiente.

Las principales modificaciones del escurrimiento y contaminantes que se han encontrado en los escurrimientos pluviales, que afectan la calidad de agua y equilibrio ecológico de los cuerpos receptores son :- incremento de la variabilidad del caudal pico de crecidas;

- mecanismo de exportación de la cuenca de sedimentos sólidos y en suspensión; - DBO
- Nutrientes, bacterias, desechos y escombros; - Tóxicos

### **Estrategia de gestión de calidad del escurrimiento pluvial. Las BMPs**

Una vez identificados los contaminantes críticos es de suma importancia la planificación de los procesos y mecanismos mínimos necesarios para asegurar la reducción de las cargas de los diferentes contaminantes a controlar. En general, de acuerdo con experiencias en el mundo, las normativas establecidas para escurrimiento y calidad de aguas identifican el régimen de flujo y la calidad mínima del ambiente para sostener parámetros ambientales proyectados. Estas condiciones ambientales se definen en términos de flujo máximo permisible y cargas máximas (concentraciones) de contaminantes.

A diferencia del problema de protección contra crecidas donde se estudian eventos extremos (de máxima), asociados a recurrencias de diseño, el impacto de los escurrimientos pluviales sobre calidad está relacionado básicamente al primer flujo y/o efectos acumulativos de una gran cantidad de tormentas de pequeña magnitud. Estudios realizados en diferentes cuencas urbanas que un 85 a 90% de las tormentas que han producido impactos considerables tienen recurrencias menores a 1 año. Esto indica que los controles de calidad de agua deben orientarse a los volúmenes de escurrimiento de tormentas con esas recurrencias. Queda claro que los estudios hidrológicos no solo se deben enfocar al caso de eventos extremos, sino que es necesario establecer los parámetros de las precipitaciones y escurrimientos que producen los riesgos de contaminación. En estos casos no solo tiene importancia la probabilidad estadística de los eventos sino que interesa la sucesión temporal, por lo que debe recurrirse al análisis de series de tiempo de tormentas ya sean observadas o sintéticas generadas mediante modelación estocástica. Un gran déficit de las distintas gestiones del escurrimiento pluvial urbano es la escasez de datos históricos y la ínfima infraestructura para toma de mediciones en la actualidad, por lo que debe ser necesario considerar la posibilidad de regionalizar información.

A los efectos de reducir y controlar las cargas de los contaminantes del escurrimiento se fueron estableciendo a lo largo de los últimos años ciertas "prácticas" de gestión que apuntaron a establecer la mejor gestión posible. A éstas prácticas se las denominó BMPs (del inglés *Best*

*Management Practices*) y fueron clasificadas en dos categorías: noestructurales y estructurales.

Las BMPs noestructurales incluyen la prevención de la contaminación y control de fuentes. El mayor costo efectivo de las mismas es la prevención de deposiciones de contaminantes sobre el paisaje urbano y minimizar la migración (exportación) de los mismos desde los lugares donde ellos se usan, almacenan, o donde se los expone al arrastre del escurrimiento pluvial. Incluyen educación pública para prevenir deposiciones impropias, prácticas domésticas, etc. Los controles de fuentes no estructurales incluyen programas administrativos, preventivos y de control de erosión durante fases constructivas, limpieza de calles y prácticas de mantenimiento de calles.

Las BMPs estructurales incluyen las obras constructivas que pasivamente tratan el escurrimiento pluvial urbano antes de su vertido a los cuerpos receptores. Son obras usadas para reducir el escurrimiento y/o remover contaminantes del mismo. Ejemplos de este tipo son obras de control de erosión y captura de sedimentos durante construcciones, embalses de detención (espejos no permanentes), uso de bajos húmedos, uso de bajos permanentes), uso de bajos húmedos, pavimentos porosos, usos de zonas vegetadas. Estas BMPs pueden tratar pequeños volúmenes de escurrimiento pluvial sobre urbanizaciones o servir a extensas áreas regionales de drenaje. Los mecanismos de remoción son acompañados por actividades como adsorción, sedimentación, precipitación, infiltración, exfiltración, química y/o biológica.

## PRACTICAS DE GESTION

Como ya se señalara una estrategia efectiva de gestión de cuenca comprende el uso de múltiples BMPs, estructurales y no estructurales. Una simple práctica y/o obra generalmente no puede brindar una significativa reducción en los parámetros del flujo (volumen y caudal máximo) y en las cargas de los contaminantes detectados a causa que tanto el flujo como los contaminantes pueden provenir de cualquier sitio dentro de un municipio. Las prácticas de gestión individual deben ser conocidas y divulgadas en el contexto de la estrategia de gestión de los desagües pluviales urbano o a nivel de cuenca, como así también en el contexto de los beneficios colectivos y comunes a toda la sociedad.

El estudio, diseño y posterior funcionamiento (eficiencia a largo plazo, mantenimiento, vida útil) de las BMPs están en un proceso de crecimiento dentro de la ciencia de la ingeniería, por lo que se demanda el aporte de investigadores y profesionales involucrados en la planificación hidrodinámica. En la Tabla I se presentan distintas BMPs, con la definición de su eficiencia para la remoción de contaminantes y capacidad de atenuación del pico de caudal.

La selección de las BMPs más apropiadas dentro de un municipio es determinada de acuerdo a si se trata de planificación de desagües pluviales en urbanizaciones nuevas o reajuste de sistemas de escurrimiento en urbanizaciones existentes. En estas últimas áreas es conveniente la utilización de BMPs noestructurales puesto que su costo efectivo es mayor a causa de que las obras estructurales en áreas urbanizadas demandarían un muy alto costo. En cambio las BMPs



estructurales son más apropiadas en urbanizaciones nuevas y significativas reurbanizaciones, particularmente cuando son incluidas dentro de la planificación inicial y proyecto de infraestructura municipal y desarrollo privado.

	ATENUACIÓN DE FLUJO		REMOCION DE CONTAMINANTES						
	Qp	Volúmen	Basura	Sólidos	P	N	DBO	Metales	Bact.
Trincheras y pozos de percolación	C	C	C	D	C	D	C	C-D	C-D
Bajos húmedos con vegetación (pastos)	NA	D	D	D	D	E	D	D-E	E
Microembalses veg. NA (cesped, pastos, etc.)		E	E	E	E	E	E	D-E	E
Pavimentos porosos	C	E	B	C	D	C	D	E	D-E
Infiltración	C	C	C	D	C	D	C	C-D	C-D
Vías de drenaje veg. NA		D	D	E	D	E	D	D-E	E
Controles/Trampas de entrada	A	D	E	E	D	E	E	NA	NA
Cuencas de detención (secas y húmedas)	NA	A	C	D	C	B	A	B-C-D	E
Pozos y bajos de retención	NA	B	B-C	C-D	C-D	B	A-B-C	C-D	E
Aereación	NA	NA	NA	NA	A	NA	NA	NA	NA
Barrido de calles	B	C-D	E	E	E	E	E	NA	NA

REFERENCIAS : A: 80-100% B: 60-80% C: 40-60% D: 20-40% E: 0-20% NA: no aplicable

NOTAS:

\* La capacidad de remoción de contaminantes estará sujeta a los volúmenes y área superficiales de la provisión de BMPs consideradas en relación al escurrimiento de la cuenca.

\* En el caso de cuencas con sedimentos y suelos arcillosos se requerirán altos niveles de provisión de volúmenes y areas superficiales de BMPs.

\* Los niveles de atenuación de flujo en los Embalses de Retención y Cuencas de Detención es función de la frecuencia de la tormenta, capacidad de almacenamiento y diseño de obras de descarga.

\* La capacidad de remoción de contaminantes del barrido de calles es función del equipamiento utilizado y la frecuencia de barrido.

**Tabla 1. Capacidades de Remoción de Contaminantes y Atenuación de Flujo de BMPs**

**RESUMEN TECNICO DE PRACTICAS INDIVIDUALES**

**BMPs no estructurales**

Las BMPs no estructurales tienden a prevenir y limitar el acceso de contaminantes a los desagües pluviales en sus fuentes. La prevención es beneficiosa pues evita la contaminación y reduce la cantidad que necesita ser removida en tratamientos posteriores. En cuencas o sectores de municipios pueden ser una de las pocas prácticas posibles de ser llevadas a cabo para

*Descripción:* comprende la educación de la comunidad respecto a los potenciales impactos de

lavado, lixiviación o descarga directa.

*Objetivo:* Promover el uso y gestión de químicos domésticos, pesticidas, solventes, aceites, fertilizantes, anticongelantes, etc. para minimizar el vertido al sistema de desagües pluviales por

### **Modificaciones de usos y Prácticas de almacenamiento de materiales domésticos**

recolecidos y reciclados son cuantificables y pueden servir como una medición indirecta.

- Los efectos sobre la calidad de agua de los desagües pluviales son virtualmente imposibles de cuantificar y medir con exactitud sin datos a largo plazo. Por otro lado la cantidad de materiales

participación ciudadana

- Requerimientos de mano de obra y fondos para mantener viable los programas y continuar la

realizado la cobertura del terreno

- La efectividad de las prácticas vegetativas esta determinada por la calidad en que se ha

de recolección y tratamiento de residuos tóxicos domiciliarios

\* proveer la infraestructura para mejoramiento, tales como centros de reciclado y programas

\* remover impedimentos de participación y alentar al desarrollo de la información

- Inversiones iniciales públicas y/o privadas son necesarias para:

de participación de la comunidad residente.

- La efectividad de buenas prácticas domésticas esta determinada principalmente por la voluntad

redistribuida en forma continua

- El desarrollo y distribución de la información pública son costosos, y debe ser actualizada y

en cambio, tiene una potencialidad para la percepción de cambios en la calidad de agua.

participación da como resultado un insignificante y no medible beneficio. La alta participación,

compliance para aceptar información y para poner en práctica las BMPs. Una baja

La efectividad de muchas BMPs no estructurales depende de la aptitud pública, su

### **Desventajas**

- No requieren gran financiación de capital para la construcción.

- La implementación puede ocurrir rápidamente.

y dan una buena sensación a la comunidad.

- La mayoría requiere solo una modificación de prácticas existentes, son de simple conocimiento

- Incremento de conciencia pública en el tema de calidad de agua de desagües pluviales.

- Contribuye a partir de los años 80 a la conciencia pública acerca de los problemas de

- Protege los espacios abiertos y el habitat silvestre.

(basura)

- Beneficia la calidad del aire, calidad de aguas subterráneas y control de residuos sólidos

contaminantes depositados en cuerpos de agua receptores.

- Es reducido el volumen de sedimentos (arrastrado y en suspensión), escombros y otros

- La calidad del escurrimiento pluvial es mejorada

### **Ventajas:**

el mejoramiento de la calidad de los escurrimientos de desagües pluviales.



*Descripción:* comprende la educación de la comunidad respecto a los potenciales impactos de los químicos domésticos más comunes sobre la calidad de agua y ecología acuática, la provisión de información acerca de buenas prácticas y servicios o modalidades de depósitos disponibles e información acerca de la influencia de las descargas de desagües pluviales sobre los cuerpos receptores de agua, el uso de ordenanzas que reglamenten la planificación y construcción y regulaciones de control de uso de materiales y métodos teniendo en cuenta el potencial impacto sobre calidad de agua y medio ambiente. A la actualidad ha habido una basta aplicación de estas alternativas. Si bien es dificultoso evaluar la efectividad de los programas, su aplicación ha producido una gran concientización acerca de los impactos producidos por las deposiciones de contaminantes.

#### **Usos de la tierra y Prácticas de Gestión**

*Objetivo:* Minimizar la potencial generación de contaminantes debido al desarrollo de la tierra, y proteger y/o regir las alteraciones significantes de las características hidrológicas y terrestres de los sitios a urbanizar

*Descripción:* Se deben definir mapeos de evaluación de aptitud de uso de la tierra y zonificación de usos y prácticas de gestión con un criterio de minimización de los impactos de las urbanizaciones sobre los cuerpos receptores.

*Performance:* En general esta práctica es adoptada para nuevas urbanizaciones. La falta de documentación acerca de técnicas de gestión para diferentes condiciones aleatorias a menudo limita la sistemática aplicación de esta alternativa.

#### **Programas de gestión de escurrimiento "in situ"**

*Objetivo:* Minimizar el escurrimiento y la exportación de contaminantes desde grupos de viviendas habitacionales, construcciones o emplazamientos industriales.

*Descripción:* Estas BMPs comprende las siguientes medidas:

- minimización de áreas impermeables y orientación del escurrimiento hacia áreas permeables.
- mantenimiento de coberturas vegetales y cubiertas de protección de suelos; - intercepción y retención "in situ" de escurrimiento proveniente de construcciones, manipuleos químicos
- revisión de normas municipales para promover la adopción de sistemas de detención y retención "in situ" de escurrimientos pluviales.

*Performance:* Existe una amplia aplicación de estas prácticas donde se las considerada costo efectivo para la minimización de la contaminación.

#### **Gestión de excedentes de contaminantes**

*Objetivo:* Reducir la descarga de contaminantes a sistemas de desagües pluviales mediante la limitación en la propia fuente sobre superficies impermeables o en depresiones.

*Descripción:* comprende el uso de equipamiento mecánico para barrido de calles, lavado y aspirado, para remover el contaminante; el uso de equipamiento limpiador mecánico de

- Mejora la calidad de agua del escurrimiento pluvial
- Algunas veces puede reducir el volumen de escurrimiento a través de los procesos de intercepción e infiltración
- Pueden reducir los caudales picos, especialmente en pequeñas tormentas, mediante la detención y laminación de los hidrogramas
- A menudo pueden ser combinadas con las estructuras de los sistemas de drenajes y estructuras de control a muy bajo costo adicional
- Pueden ser contruías en primer lugar y ser utilizadas para control de erosión y sedimentación durante el proceso de construcción del resto de la obra (barrios, edificios de viviendas, fábricas, conductos, pavimentos, etc.)

### Ventajas

Las BMPs estructurales ofrecen las siguientes ventajas y desventajas en nuevos desarrollos urbanos y reurbanizaciones :

### BMPs estructurales

Estas prácticas se implementan por organismos encargados del mantenimiento de los sistemas de desagües en casos puntuales donde se detecta la infiltración desde conductos cloacales.

*Descripción:* Este grupo de BMPs comprende medidas como: - el uso de conductos plásticos y otros materiales minimizando el número de aberturas en juntas; - la rehabilitación de conductos envejecidos; - la detección y corrección de conexiones ilegales a redes de desagües pluviales - detección de fisuras y roturas en sistemas y programas de rehabilitación

*Objetivos:* Minimizar las potenciales infiltraciones desde conductos cloacales a conductos pluviales en sistemas separativos.

### Gestión de la infiltración en las redes de conductos

*Performance:* Mientras el barrio es reconocido como una efectivo medio para remoción de escombros y gruesos contaminantes desde la superficie de calles, la efectividad en la calidad del agua en términos de control es cuestionable. Los programas de seguimientos de la USEPA (Agencia estadounidense de protección del medio ambiente) no han encontrado una significativa reducción estadística en las concentraciones medias equivalentes del escurrimiento, por lo que los potenciales beneficios fueron enmascarados por la variabilidad de los datos.

hondonadas para remover sedimentos y otros materiales productos de erosión; y la provisión de un programa efectivo de gestión de los residuos sólidos. El barrio/lavado de calles y tratamiento en depresiones son prácticas ampliamente usadas en municipios, establecidas primariamente para mantener la seguridad y capacidad hidráulica de los sistemas de desagües pluviales existentes. Con la percepción de la gente acerca de los beneficios del control de contaminación de los desagües pluviales de estas prácticas se ha podido promover actividades como el aspirado de las calles con equipos mecánicos. Actualmente se estudia la adaptación de pozos en entradas al sistema para optimizar el control de intercepción de basura y sedimentos.



- Pueden ser combinadas con otros usos públicos tales como recreación activa y pasiva, espacios abiertos y habitat silvestre.
- Pueden algunas veces integrarse con el paisaje para suplementar riego de vegetación.

#### **Desventajas**

- Requieren extensiones de tierra por lo que pueden limitar la densidad de las nuevas urbanizaciones
- Requieren continuo mantenimiento y deberán ser inspeccionadas y reguladas periódicamente en cada emplazamiento para asegurar la funcionabilidad supuesta en el diseño
- El uso de BMPs requiere un cambio en la tradicional metodología de diseño de sistemas de desagües, lo que demandará entrenamiento y cambios de actitud en autoridades oficiales, planificadores, ingenieros y urbanizadores
- Las BMPs requieren un incremento del capital inicial al incorporarlas al proyecto de desarrollo
- El agua retenida en las BMPs puede conducir a la generación de dificultosos problemas como olores, cría de mosquitos, y áreas de anidamiento de asves acuáticas. También es posible potenciales problemas en lo que concierne a seguridad
- Se necesitan lugares de depósito para los sedimentos atrapados. Si los sedimentos contiene elementos contaminantes debe ser almacenados en lugares apropiados, en caso contrario se podrán utilizar para diferentes aplicaciones (rellenos, terraplenes, etc.)
- En los casos en que las BMPs son utilizadas para control de erosión y sedimentación en etapas de construcción de obras, las mismas deben ser limpiadas y vueltas a su condición de diseño despues que la construcción ha finalizado

#### **Infiltración y Sistemas de depósitos locales**

*Objetivo:* Promover la intercepción de escurrimiento superficial e infiltración en el suelo para reducir volumen de escurrimiento superficial, caudal pico y movilización y transporte de contaminantes asociados. Promover la recarga de acuíferos.

*Descripción:* Estas prácticas comprenden :

- protección del suelo y vegetación en zonas de superficies porosas (permeables), y la protección posterior ante la probable compactación por circulación de vehículos y transeúntes;
- coberturas de pasto en bajos (húmedos) y fajas de filtros con pasto;
- trincheras con material pétreo con determinada composición granulométrica para percolación o pozos de almacenamiento temporario y posterior infiltración;
- trincheras de filtración prismáticas lineales subterráneas o superficiales, para la intercepción, almacenamiento temporario e filtración posterior;
- cuencas de infiltración para un almacenamiento temporario y posterior infiltración
- pavimentos porosos que permiten la infiltración de parte del escurrimiento a la sub-base y suelo.

Los bajos húmedos, fajas filtrantes y pozos de absorción pueden ser integrados en el tratamiento del paisaje de áreas espacios abiertos públicos o privados .

Las trincheras de filtración se utilizan para coleccionar escurrimiento pluvial desde lotes y/o propiedades, reduciendo el volumen de escurrimiento, el caudal pico y la movilización de contaminantes para eventos de baja recurrencia (frecuentes). Son útiles para pequeñas áreas

Los pavimentos porosos con una adecuada operación reducen el volumen de escurrimiento, llegando a la detención de todo el volumen para eventos de poca recurrencia. Además reducen los caudales picos, y mejora la percolación mediante la sorción de elementos contaminantes en los materiales finos de la estructura del pavimento. Estas prácticas demandan un regular mantenimiento con equipamiento especial, algunas veces con rociado y succión a alta presión para asegurar un continuo funcionamiento en óptimas condiciones. Se ha detectado un alto porcentaje de fallas de los pavimentos monolíticos porosos de asfalto y de hormigón

Las trincheras de filtración contribuyen a reducir el pico de escurrimiento para tormentas de baja frecuencia, reducen los volúmenes de escurrimiento, mejora la recarga de acuífero y provee una capacidad entre moderada a alta para remover contaminantes como sólidos suspendidos: fósforo, nitrógeno, sustancias con DBO, metales y bacteria. Los buenos diseños y mantenimiento son muy importantes; un alto porcentaje de fallas reportadas corresponden a obturación de huecos y aumento de niveles de agua subterránea.

*Performance:* Mientras la intercepción local y detención por almacenamiento en bajos y pozos contribuye a disminuir el volumen escurrido y caudal máximo para áreas pequeñas, o para grandes áreas para pequeñas tormentas, sus efectividad disminuyen para grandes eventos debido a la gran probabilidad de que se alcance la humedad de saturación del suelo bajo estas condiciones. Estas prácticas son efectivas en el mejoramiento de la humedad de suelo y la asociada sostenibilidad y preservación de las coberturas vegetales superficiales, por lo que también se mejora la protección de los suelos de erosiones posteriores y la intercepción de partículas. Sin embargo se han reportado fallas en las técnicas basadas en procesos de infiltración, las que se detectaron en las inadecuadas proporciones relativas de las áreas filtrantes respecto al área total de la cuenca, fallas de pretatamiento y mantenimiento y problemas asociados a aumentos de niveles de agua subterránea. Este último problema y la obturación de las superficies de infiltración son dos de las mayores causas de infiltración reportadas en la actualidad. La adopción de medidas de pretatamiento del escurrimiento para interceptar los materiales finos es crítico para la protección de la porosidad del suelo y la calidad del acuífero.

Existen varios tipos de pavimentos porosos utilizados en la actualidad en áreas urbanas: asfalto poroso, hormigón poroso, bloques de hormigón perforado, cobertura con cespel artificial. Todos estas variedades pueden ser utilizados con o sin almacenamiento bajo pavimento, relleno con grava o roca. Los inconvenientes de estas aplicaciones incluyen vehículos de mucha carga, volumen de tráfico, riesgo de vertido aleatorio de compuestos químicos y topografía con pendientes escalonadas.

(menores a 2 ha) requiriendo algún pretatamiento del escurrimiento para reducir la carga de sólidos y evitar el prematuro taponado de los elementos filtrantes. Se usan en suelos con buena capacidad de percolación y donde la capa freática y el lecho rocoso del acuífero si existiere, se encuentren lo suficientemente alejados del nivel de fondo de la trinchera. Los inconvenientes e inaplicabilidades de estas prácticas pueden presentarse en terrenos con pendientes escalonadas o suelo muy erosionable; arcillas activas; y áreas con niveles freáticos muy cercanos a la superficie de terreno natural. Debe prestarse especial cuidado en la probable recarga de acuífero.



### **Utilización y/o restitución de canales con vegetación natural para retención de crecidas e intercepción de sedimentos y contaminantes**

*Objetivo:* Utilizar o restituir canales naturales y vías de drenaje dentro de áreas urbanas o construir canales artificiales con cobertura vegetal para laminar hidrogramas y mejorar la intercepción de sólidos en suspensión y nutrientes. Asimismo el objetivo es el mejoramiento de los parámetros ambientales de espacios abiertos y del paisaje.

*Descripción:* Experiencias en el mundo han demostrado que en aquellos casos donde se cuenta con cursos de agua naturales o artificiales con coberturas vegetales, con suficiente capacidad hidráulica para soportar elevados caudales y suficientemente estables, pueden brindar sustanciales beneficios sociales, ambientales y económicos. Extensas plantaciones son usadas para proteger las superficies de los canales de erosiones posteriores, reducir las velocidades de flujo y brindar un atractivo paisaje como corredor a cielo abierto. La capacidad de los canales naturales y vías de drenaje para almacenar grandes volúmenes de agua, reducen el caudal pico que se propaga aguas abajo (laminación).

En los casos de canales vegetados artificiales, es importante la ejecución de un pequeño canal con piedras u hormigón, para encausar y transportar el pequeño escurrimiento en época seca. En estas obras debe garantizarse un adecuado control de deposición de sedimentos, para asegurar la viabilidad de la cobertura vegetal. Una alternativa muy común es el requerimiento de una trampa para contaminantes y material sólido grueso.

Una de las dificultades de implementación de estas prácticas es la vulnerabilidad de la cobertura vegetal de la superficie de los canales y la biomasa necesaria para garantizar los parámetros hidráulicos de diseño, especialmente rugosidades del canal (Manning 0,04 a 0,05). Además, a menos que el canal para flujo en época seca tenga capacidad para transportar sólidos deberá requerirse elementos para interceptar todos los sedimentos antes a la descarga a los canales naturales, en vistas a preservar la cobertura de césped o pasto.

*Performance:* Esta práctica una es una solución a bajo costo en comparación a conductos de hormigón o canales y produce un mejoramiento de la tierra, mejora parámetros de espacios abiertos y zonas de recreación favorece la conservación de habitats riberños y de bajos húmedos y de la biota relacionada. El mejoramiento de la capacidad de almacenamiento de canales puede reducir las velocidades y caudales pico aguas abajo, mejorando además la sedimentación de sólidos suspendidos y contaminantes asociados al escurrimiento pluvial.

### **Controles de Entrada (Trampas para Contaminantes gruesos y Filtros de entrada)**

*Objetivo:* Interceptar escombros, basura y desechos orgánicos, limos gruesos y cualquier otra fracción de granulometría gruesa que sea arrastrada por el escurrimiento pluvial con el fin de contribuir a proteger las funciones físicas y biológicas de los parámetros de espacios abiertos de las vías de drenaje aguas abajo, como así también proteger la calidad del medio subterráneo y zonas de infiltración.

*Descripción:* Estas técnicas incluyen enrejados fijos y canastos abiertos que se ubican en la

trayectoria del escurrimiento para interceptar grandes sólidos suspendidos y flotantes; barreras flotantes, pantallas fijas para interceptar sólidos flotantes, espumas y aceites; cuencas de sedimentación para interceptar sólidos sedimentables; enrejado fino ( geotextil, etc.) para separar basuras y otros sólidos suspendidos y filtros de arena (u otro material medio) para interceptar sólidos finos en suspensión. Las trampas pueden localizarse sobre los ejes principales de drenaje o se pueden integrar dentro de las cámaras de acceso al sistema. Las cuencas de sedimentación pueden ser abiertas, para fácil remoción del material o también en zonas de tierra con cobertura vegetal respetando los requerimientos paisajísticos

Ha habido una extensa aplicación de trampas de sedimentos y contaminantes gruesos, en casos realizando consideraciones acerca de que puede remover un amplio rango de contaminantes. Debe tenerse en cuenta que las trampas de sedimentos para elementos muy gruesos pueden producir excesivas pérdidas de carga en el funcionamiento hidráulico por lo que debe tenerse especial cuidado en las hipótesis planteadas para el diseño. Generalmente las trampas son elementos compactos por lo que también pueden ser implementadas en sistemas existentes. En lo que concierne a los residuos sólidos orgánicos interceptados resultan actualmente de difícil manejo. Puede ocurrir que debido a la naturaleza de los contaminantes interceptados se generen olores indeseables. Los costos de mantenimiento pueden ser altos, pero los tratamientos in situ pueden transformar el material atrapado en un buen acondicionador de suelo, obteniendo beneficios económicos. En el caso de los filtros de entrada se ha comprobado su excesivo costo inicial y de mantenimiento por lo que su uso es muy limitada.

**Performance:** De acuerdo a numerosas experiencias realizadas las trampas resultan muy efectivas en la interceptación de sedimentos y contaminantes de gruesa tracción. La capacidad hidráulica limitada por el enrejado y por los mecanismos de interceptación pueden producir la misma de efectividad y hasta inutilización de estos elementos en grandes tormentas. Los elementos filtrantes son altamente efectivos para la interceptación de finos en suspensión, fósforo, DBO, y metales pesados. Se taponan rápidamente y necesitan un continuo mantenimiento.

#### Embalses de Detención

**Objetivo:** Almacenar temporalmente flujo el tiempo suficiente que permita una laminación del hidrograma en tránsito, permitiendo no exceder la capacidad hidráulica de los conductos, canales o vías de drenaje naturales en la dirección aguas abajo. Cuando el tiempo de permanencia es alto pueden usarse en forma secundaria para extraer sólidos y/o contaminantes suspendidos.

**Descripción:** Estas prácticas comprenden desde el aprovechamiento de pequeñas depresiones naturales para utilizarse en micocuencas urbanas como barríos de viviendas, hasta grandes embalses para laminaciones de hidrogramas de cuencas enteras. Como cualquier embalse comprende un endicamiento, terraplenamiento y/o excavación con un control de salida del flujo. El uso para control de contaminación requiere por lo menos un detención de 24 a 48 horas para permitir la sedimentación de sólidos suspendidos y nutrientes asociados, sustancias con DBO, materiales orgánicos y bacterias.

Ha habido una amplia utilización de estas prácticas especialmente en problemas de



escurrimiento urbano con severas restricciones de la capacidad hidráulica ya establecida en zonas urbanas existentes en la dirección aguas abajo. Las laminaciones de crecidas producen una disminución de las obras de infraestructura necesarias aguas abajo. Asimismo, en los últimos años se ha comenzado a usar los embalses y microembalses para el mejoramiento de la calidad de agua y como parte de una cadena de tratamiento para el control de la contaminación. Debe prestarse atención en el diseño de estas obras para el flujo escurrido en eventos extraordinarios donde funcionan las obras de descarga de emergencia (en general vertederos). Debe asegurarse un mantenimiento del nivel de riesgo de vida humana y de las propiedades aguas abajo. Además es necesario analizar los impactos potenciales de las crecidas por los efectos de remanso en dirección aguas arriba.

*Performance:* Un adecuado proyecto puede permitir una significativa capacidad de remoción de contaminantes. El uso combinado como obra de detención de escurrimiento y elemento de control de contaminación puede permitir beneficios económicos en términos de diferimiento de costos de infraestructura hidráulica aguas abajo y la provisión de una real alternativa de intercepción de contaminación de agua. En muchos países el uso de embalses de retención se ha hecho muy común, con el argumento adicional de que el costo de las obras es transferido a quien urbaniza la tierra. No obstante hay un crecimiento en el uso debido al mínimo mantenimiento necesario para asegurar su eficiencia y capacidad de operación a largo plazo.

#### **Cuencas de Retención, embalses y Bajos**

*Objetivo:* Establecer un espejo de agua permanente y plantas acuáticas como base para procesos de intercepción de sólidos en suspensión, nutrientes, tóxicos y bacterias.

*Descripción:* Los embalses de retención son pequeños lagos con espejo de agua permanente y algo de vegetación también permanente, mientras que los bajos son vasos poco profundos con gran parte de su superficie cubierta con vegetación. La retención de agua permiten la sedimentación de material suspendido, contacto con adsorción para sedimentos activos e intercepción mediante plantas emergentes y sumergidas, algas y fauna acuática. La intercepción de sólidos y contaminantes de grueso tamaño antes de entrar a estas obras es fundamental para asegurar su funcionamiento. Los embalses y bajos requieren mínimo mantenimiento y brindan un agradable aspecto paisajístico y generan un ecosistema productivo.

En los casos de sistemas de desagües pluviocloacales los embalses de retención estarán sujetos una muy intensiva carga de sedimentos y material orgánico, por lo que requerirán una remoción periódica de los materiales acumulados para prevenir la removilización de los mismos como resultado de procesos de reducción biológica. Los embalses utilizados en estos sistemas son comúnmente construidos con fondo de concreto para poder garantizar una correcta remoción periódica del material acumulado. En los bajos húmedos utilizados en pluviocloacales se construyen con lecho de gravas.

Existen interrogantes respecto al volumen de almacenamiento adecuado. Otro inconveniente es el limitante físico de espacio abiertos y condiciones hidráulicas asociadas al impacto producido por la propagación del remanso aguas arriba. Dado que los hidrogramas

urbanos en general se caracterizan por elevados valores de caudal máximo, el funcionamiento de los bajos debe ser acotado a su capacidad hidráulica temporal de retención, a menos que se incorporen en forma conjunta elementos de detención. Esto puede ser llevado a cabo mediante dos formas posibles: la combinación de capacidad de detención de flujo y procesos de retención dentro de un mismo embalse (embalse a vaso húmedo a permanente) o la adopción de una cadena de tratamiento que incluya embalses de detención de flujo aguas arriba seguido por embalses o bajos de retención aguas abajo. Siempre deben interceptarse los sedimentos y basuras antes del volcamiento de escurrimiento a las obras de retención, en vistas a proteger plantas acuáticas, diferir operaciones de mantenimiento como dragado que resultan altamente costosas y destructivas para el embalse y la flora acuática y proteger la calidad del paisaje. El costo de mantenimiento de los embalse y bajos para retención es significativamente menor que el equivalente de áreas parquizadas. Debe ser tenido en cuenta en el diseño, la seguridad por hipotéticos casos de caída y riesgo de ahogamiento.

**Performance:** El funcionamiento de los embalses de retención es una función de - su tiempo de retención hidráulica; - de la carga orgánica y la correspondiente demanda biológica de oxígeno (DBO) (deoxigenación potencial de los sedimentos que resultarían en la removilización del contaminante) y - altura de los embalses (minimizar el potencial de una estratificación térmica). Las alturas necesarias deben limitarse entre 1,50 y 3,00 m, no obstante se han construido embalses permitiendo alturas mayores con resultados satisfactorios. La promoción del crecimiento de plantas acuáticas emergentes ha demostrado un mejoramiento en el funcionamiento de los embalses. En lo que respecta a tasa de interceptación de sólidos suspendidos y fósforos totales se han medido valores entre 50 a 70% a los 10 días de permanencia a 90% a 30 días de retención.

La organización más comúnmente utilizada de los embalses de retención es en línea pero también se han reportado utilizaciones aisladas y sin alineamiento. En lo concerniente a efectividad de capacidad de retención los reportes de experiencias coinciden en la variabilidad de la misma.

### **Tratamientos físicos, químicos y biológicos en embalses**

**Objetivo:** Mejorar la performance de interceptación de contaminantes, y/o parámetros ecológicos, beneficios de uso de lagos, embalses, bajos mediante tratamientos directos físicos o químicos o manipulación biológica.

**Descripción:** Estos tratamientos comprenden un amplio espectro como:

- uso de mezcladores de superficie o aireadores para desestratificar y mezclar el agua de los embalses, lagos, etc.; - aplicaciones de compuestos químicos (aluminio o yeso) para mejorar la coagulación y sedimentación de finos suspendidos; - tratamiento de sedimentos con nitratos para restablecer su capacidad de adsorción; - recolección de algas o plantas acuáticas para mantener la capacidad de retención

La remoción de sedimentos para restablecer o mantener los volúmenes de los embalses es un importante requerimiento de mantenimiento. Se han verificado casos en que para impedir



la removilización de los contaminantes se debe recurrir a aireación mecánica.

Los tratamientos químicos para mejorar la coagulación y sedimentación de finos es ampliamente utilizada. Existen sin embargo serias críticas y objeciones por el probable impacto ambiental que puede acarrear la utilización de elevadas cantidades de químicos

Existe un reconocimiento de la importancia de las macroplantas acuáticas en el mejoramiento de la intercepción de sólidos suspendidos y nutrientes, en la reaereación de sedimentos y respectiva limitación de liberación de nutrientes, y en la transformación del carbono en sustancias menos disponibles biológicamente.

*Performance:* La aplicación de técnicas de aereación tienen en algunos casos el potencial de permitir significantes mejoras en la intercepción, mientras que los tratamientos químicos deberían limitarse a aplicaciones especiales. En lo que concierne a la recolección de plantas acuáticas, algunos autores sugieren la obtención de limitados beneficios en embalses y bajos.

### EJEMPLOS DE BMPs

Se presentan una serie de figuras correspondientes a algunas de las BMPs descriptas. Las mismas fueron tomadas de los Manuales editadas por la Agencia de Control de Crecidas y Drenaje Urbano de Denver, Colorado, EEUU. Si bien los diseños corresponden al ambiente donde fueron proyectadas, su ilustración resulta de suma utilidad para el potencial rediseño de estructuras adaptadas a las diversas realidades regionales de nuestro país.

Las BMPs ilustradas corresponden a:

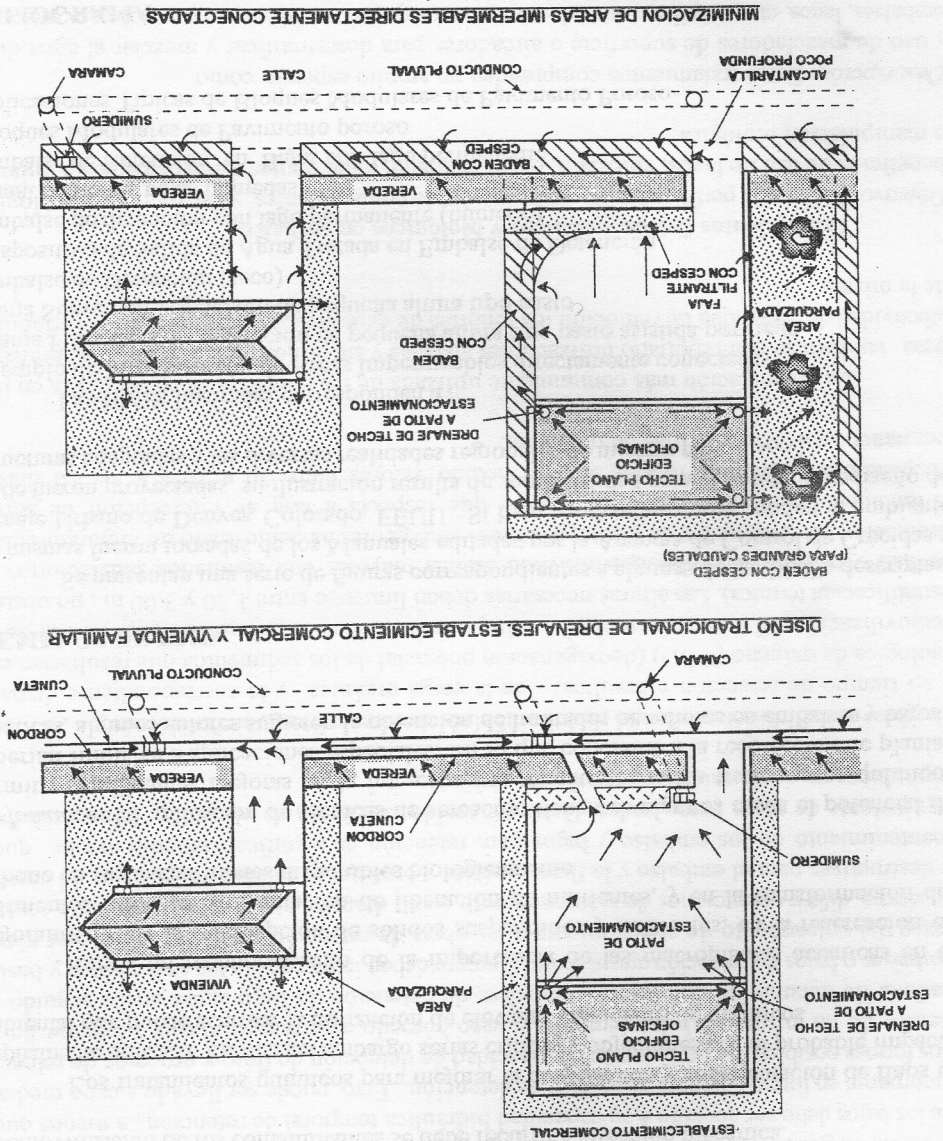
- Ejemplo de Minimización de Areas Impermeables directamente conectadas
- Franja Filtrante con vegetación de pequeña altura tipo pasto asistida por riego
- Zanja Suave con vegetación de pequeña altura tipo pasto
- Embalse de Detención (seco)
- Dispositivo de Salida de Agua Tratada en Embalse de Detención
- Embalse de detención con lago permanente (húmedo)
- Canal en tierras bajas húmedas
- Embalse de Retención en Bajas con lago permanente
- Bloques Modulares de Pavimento poroso
- Aplicaciones Típicas de Bloques Modulares de Pavimento Poroso

### BIBLIOGRAFIA

Lawrence A., Marsalek J., Ellis J. & Urbonas B. (1996), *Stormwater detention & BMPs*, Journal of Hydraulic research, Vol 34, 1996, N° 6, pag 799.

Urban Drainage and Flood Control District, (1992), *Best Management Practices*, Urban Storm Drainage- Criteria Manual, Volúmen 3, Denver, Colorado, EEUU

Figura 1. Ejemplo de Minimización de Áreas Impermeables Directamente Conectadas





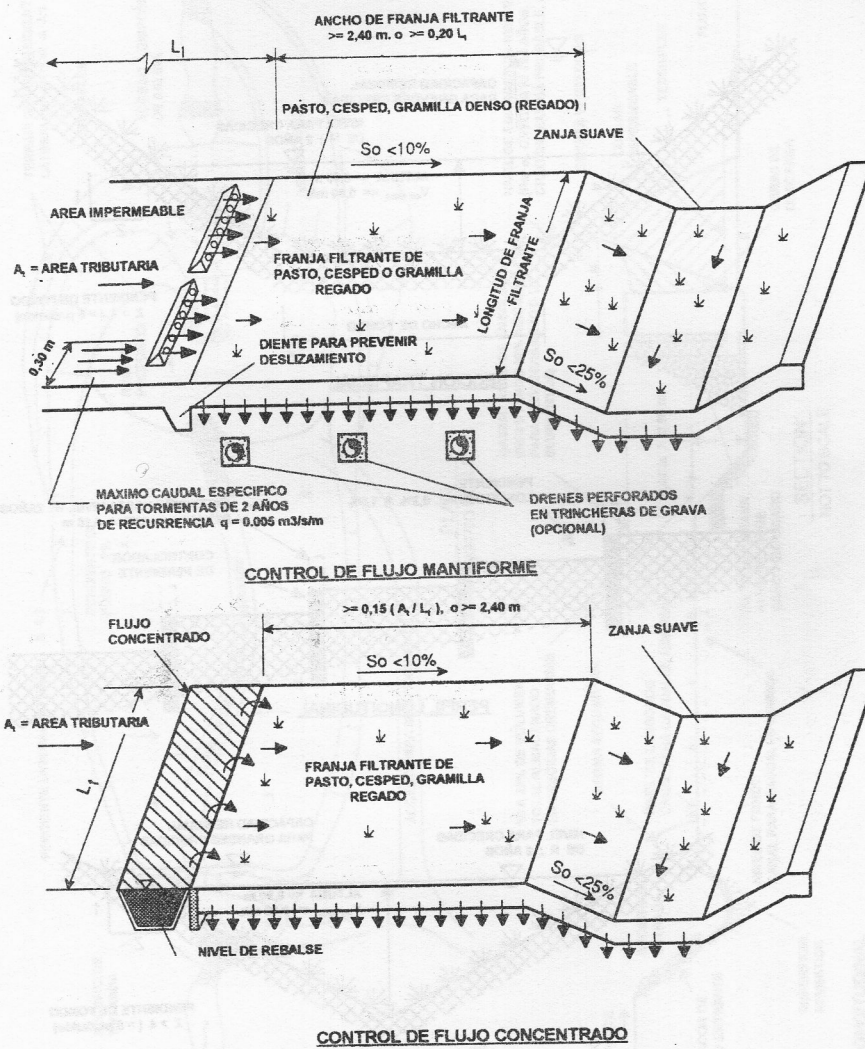
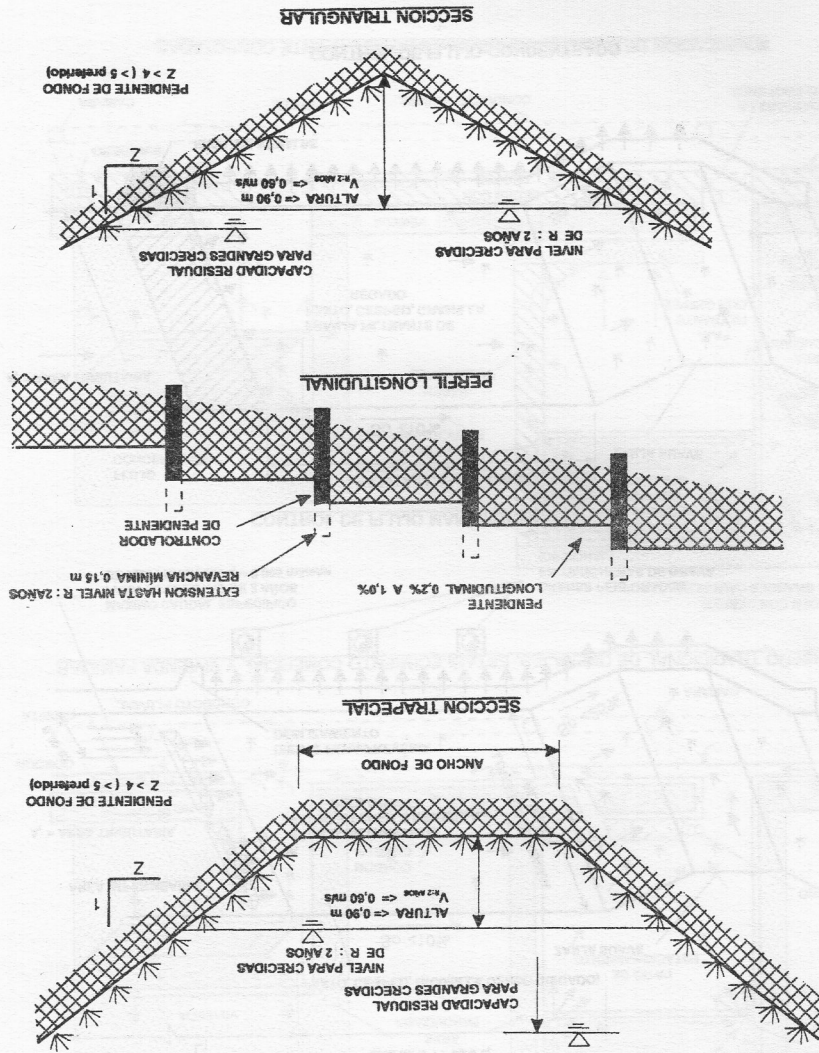


Figura 2. Franja Filtrante con vegetación de pequeña altura tipo pasto asistida con riego

Figura 3. Zanja Suave con vegetación de pequeña altura tipo pasto





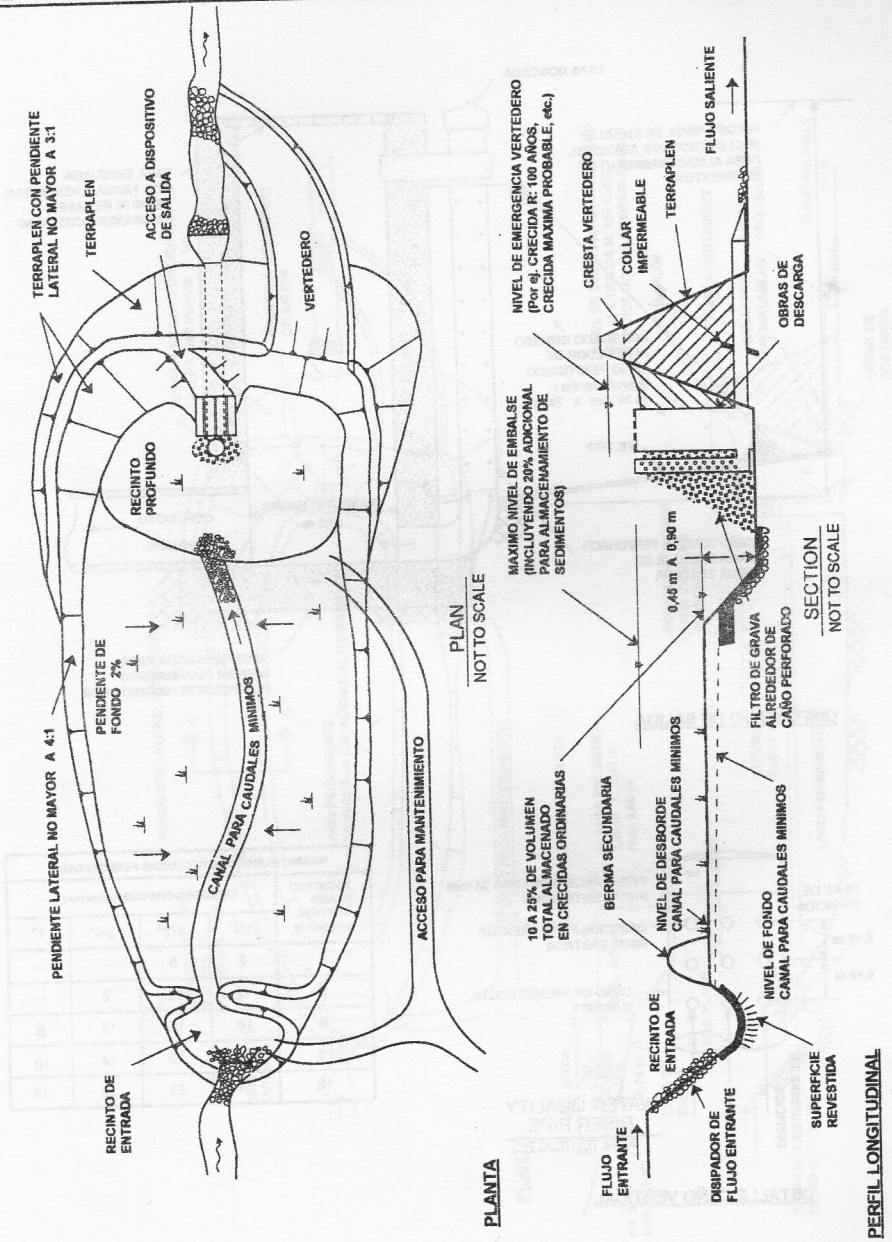
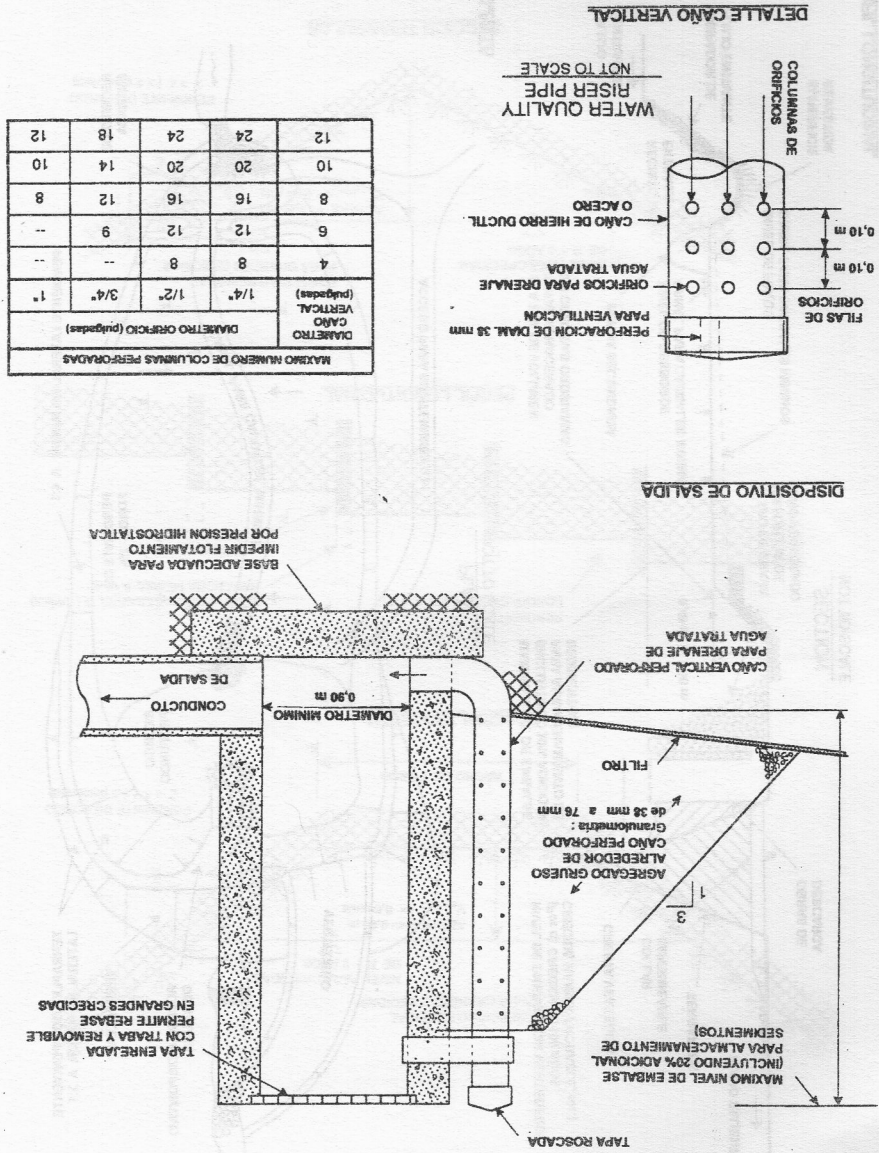


Figura 4. Embalse de Detención (seco)

Figura 5. Dispositivo de Salida de Agua Tratada en Embalse de Detención





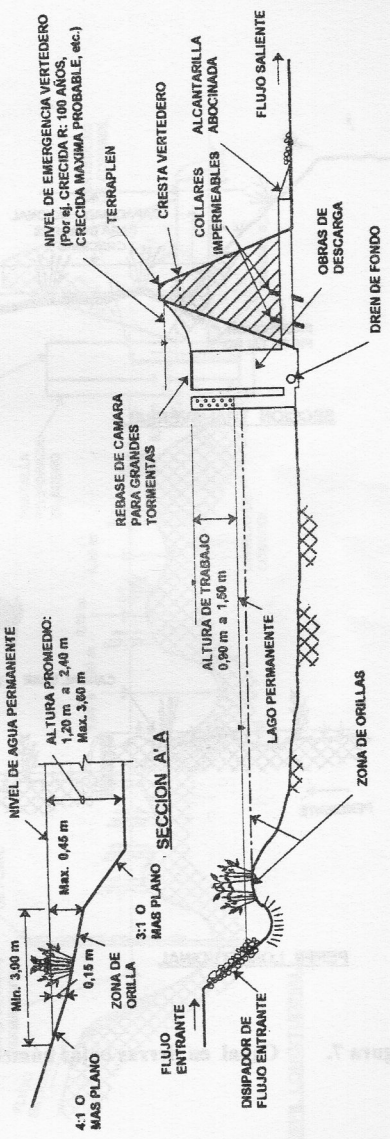
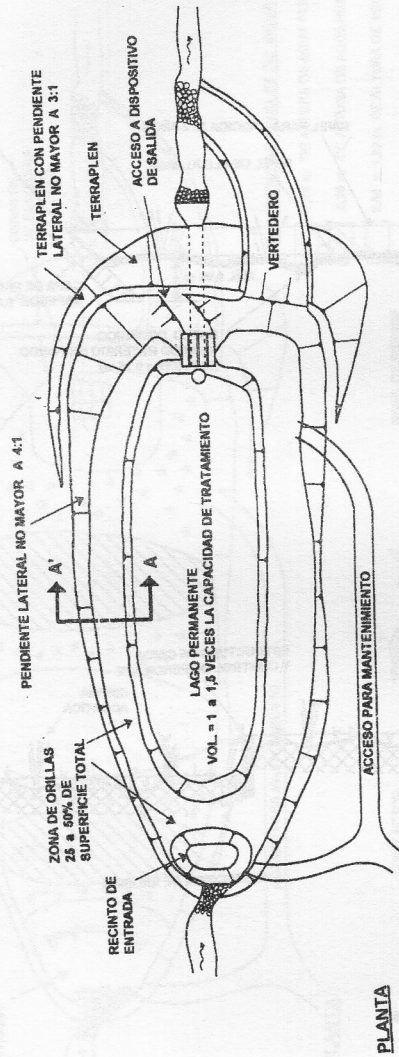
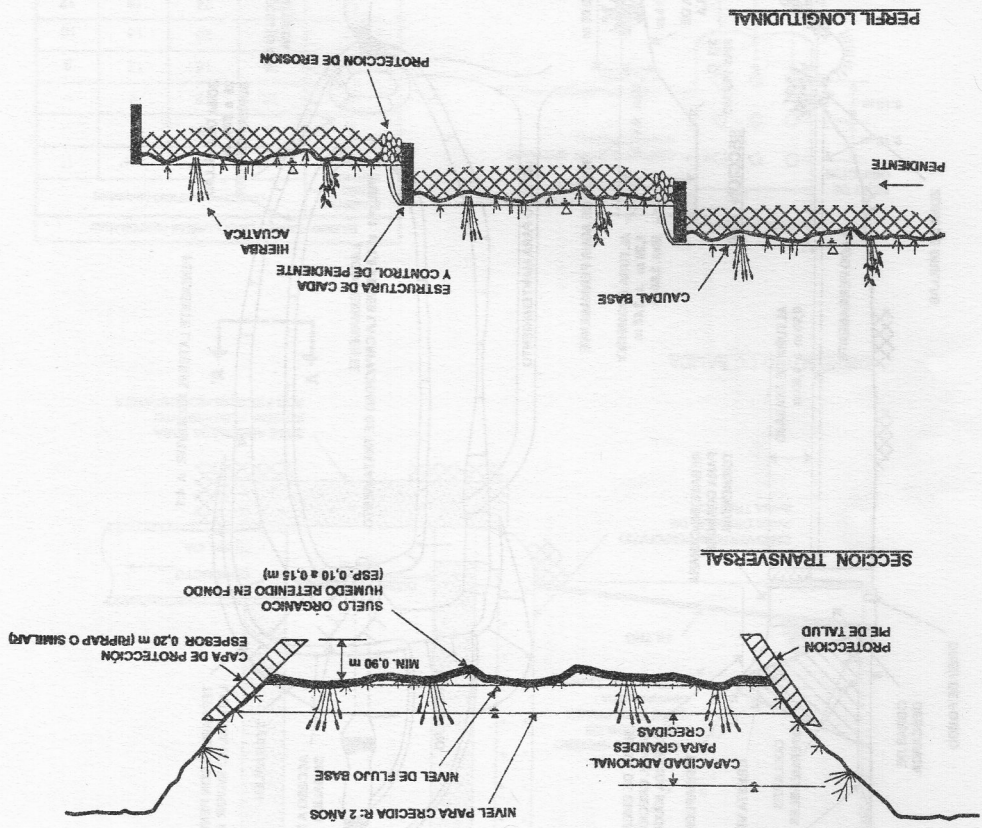


Figura 6. Embalse de Detención con lago permanente (húmedo)

Figura 7. Canal en tierras bajas húmedas





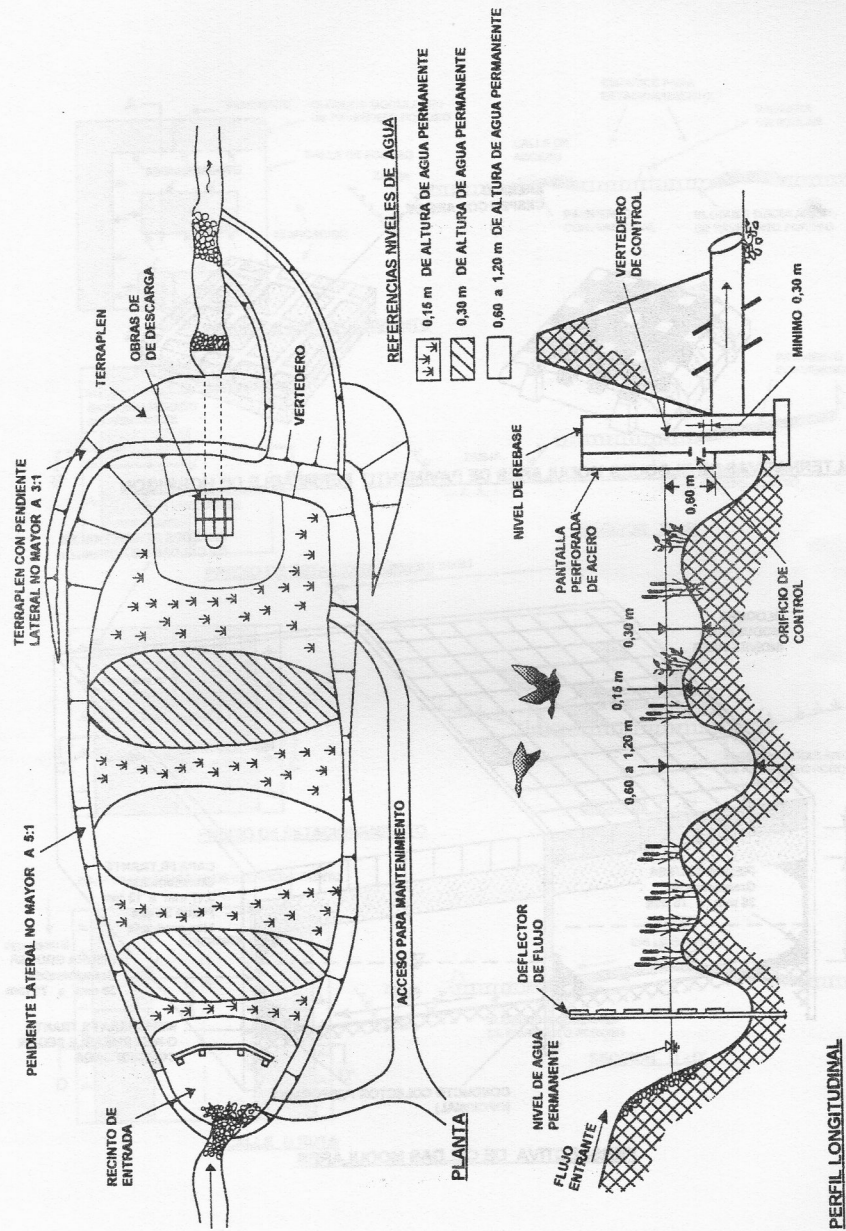
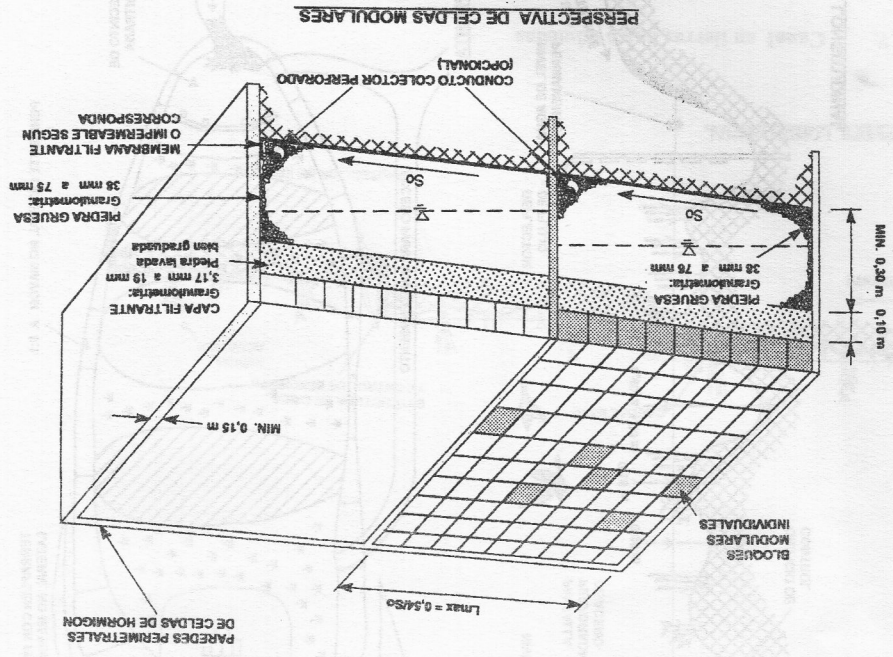
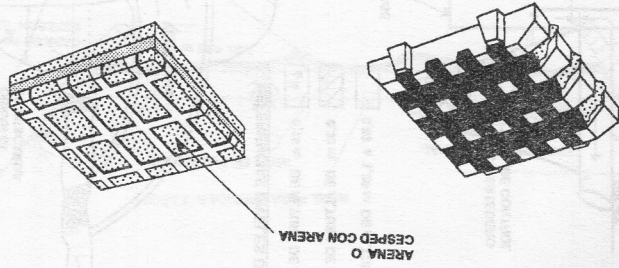


Figura 8. Embalse de Retención en Bajos con lago permanente

Figura 9. Bloques Modulares de Pavimento Poroso



DOS ALTERNATIVAS DE BLOQUES MODULARES DE PAVIMENTO PERMEABLE DE HORMIGON





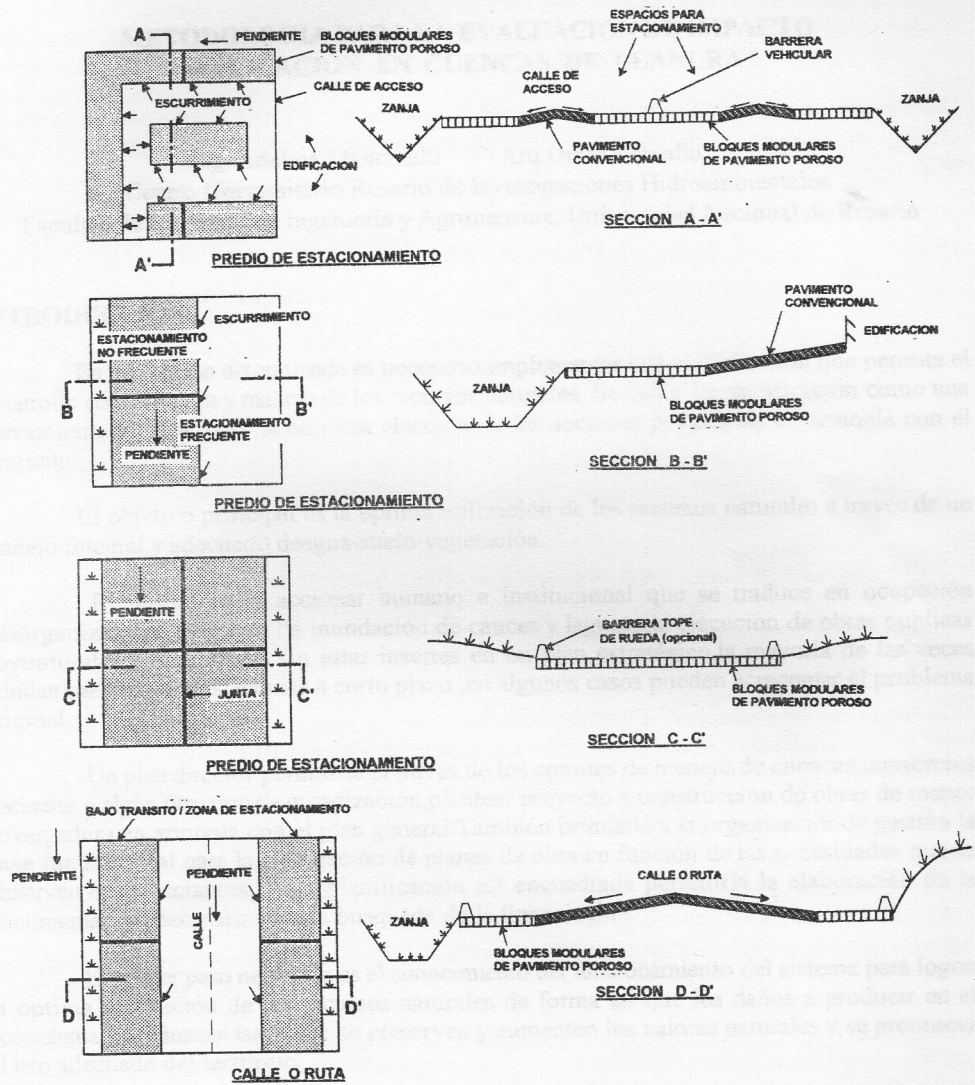


Figura 10. Aplicaciones Típicas de Bloques Modulares de Pavimento Poroso