



Alteraciones producidas en los escurrimientos naturales por la construcción de vivienda en el Área Metropolitana de Monterrey.

I. DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta la tesis para la obtención del grado de Maestro en ciencias con especialidad en Administración de la Construcción. La temática se desarrolla en siete capítulos donde se exploran las alteraciones que se producen a los escurrimientos naturales por parte de la construcción de vivienda en los siete municipios que comprende el Área Metropolitana de Monterrey (Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santa Catarina).

En primera instancia, el capítulo I presenta las hipótesis, los objetivos y los resultados esperados, así como una justificación del estudio del tema. El capítulo II presenta un marco teórico general y el capítulo III presenta la metodología detallada utilizada. El capítulo IV discute los resultados obtenidos con respecto a la cuantificación de escurrimientos mediante el método racional, así como la configuración de patios y densidad de construcciones de cada uno de los siete municipios que comprende este estudio. El Capítulo V explora la capacidad de infiltración del suelo mediante el uso de triángulos texturales.

Enseguida, en el Capítulo VI presenta las técnicas de captación, infiltración y retención de escurrimientos que existen y las que son aplicables al AMM. Por último, en el Capítulo VII se discuten las técnicas de captación, infiltración y retención de escurrimientos que pueden recomendarse para cada uno de los municipios del AMM y un costo aproximado de estas recomendaciones. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del estudio, la bibliografía y los anexos.



1.2 RESUMEN

El presente estudio se enfoca hacia el estudio de la alteración de los escurrimientos naturales que se produce por la construcción de la vivienda en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), considerando el AMM como siete municipios: Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santa Catarina. El problema consiste en la alteración de la cobertura vegetal de la cuenca debido al proceso de urbanización, mediante el uso predominante de superficies impermeables en la construcción de vivienda. Esto se refleja como un incremento de inundaciones de todo tipo en el AMM y de daños materiales y humanos que afectan anualmente a la ciudad. Una de las fuentes de escurrimiento más grandes son las áreas impermeables producto del uso de suelo de vivienda. A pesar de que no es la única fuente, ya que la vialidad también representa un porcentaje importante, la construcción de vivienda puede regularse mediante leyes que permitan un mejor manejo de las áreas libres de absorción y el diseño arquitectónico adecuado puede estar a cargo del usuario mismo.

Asimismo, es uno de los elementos que con una inversión de pequeña magnitud pueden contribuir enormemente a la disminución de este problema. En este estudio, mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se identifica el uso de suelo que ocupa la vivienda en el AMM, el escurrimiento generado por lote de vivienda aplicando el Método Racional y la tipología de construcción y de patios de la vivienda. Asimismo, se establece la capacidad de infiltración del suelo de la zona urbana mediante la digitalización de los puntos de verificación de las Cartas Edafológicas correspondientes al AMM. Con base en este análisis se proponen estrategias de captación, retención e infiltración adecuadas para la zona metropolitana.



1.3 ANTECEDENTES

El proceso de construir algún inmueble involucra una serie de actividades que impactan de varias maneras al ambiente. Uno de los primeros impactos que se realizan en el sitio es el desmonte del suelo previo a cualquier construcción, lo cual afecta profundamente la hidrología superficial al alterar el coeficiente de escurrimiento del predio (Center for Resource Management (CRM), 2000). La cantidad de escurrimientos generados por precipitaciones pluviales dependen básicamente de la intensidad de la lluvia (en mm/hora) y de la cobertura de suelo, que está relacionada a su vez con la cantidad final de agua que se escurre y/o infiltra y el área de captación.

En los cálculos para obtener los escurrimientos generados por lluvia, la cobertura del suelo se refleja como un coeficiente, que a su vez es afectado por el tipo de pendiente y la clase textural del suelo y simboliza el porcentaje de lluvia que no se infiltra en el suelo y que se convierte en escurrimiento (Center for Watershed Protection, 2000).

El coeficiente de un predio sin construcción puede ir de 0.10 a 0.20, dependiendo de los factores de cobertura, pendiente y clase textural, como ya se mencionó anteriormente, mientras que para un área asfaltada o pavimentada puede llegar a ser de hasta de 0.95 dependiendo del material. Incluso ciertos suelos debido a sus características pueden llegar a tener coeficientes de escurrimiento muy altos como se observa en la Tabla 1 (Watercom Engineering, 2000). El escurrimiento además tiende a aumentar su torrencialidad cuando se genera en las zonas de altas pendientes (ver Tabla 1.1).

Tabla 1.1. Coeficientes de escurrimiento de acuerdo a la superficie para pendientes de 1 a 2%.

| Tipo de superficie | Coefficiente |
|---|--------------|
| Todos los materiales para techos impermeables | 0.75 to 0.95 |
| Pavimentos asfaltados | 0.80 to 0.95 |
| Pavimentos de concreto | 0.70 to 0.90 |
| Caminos con grava | 0.35 to 0.70 |
| Suelos impermeables | 0.40 to 0.65 |
| Suelos impermeables con césped | 0.30 to 0.55 |
| Suelos poco permeables | 0.15 to 0.40 |
| Suelos poco permeables con césped | 0.10 to 0.30 |
| Suelos moderadamente permeables | 0.05 to 0.20 |
| Suelos moderadamente permeables con césped | 0.00 to 0.10 |

Fuente: Watercom Engineering, 2000.



En las zonas no urbanas cubiertas con vegetación y pastizales, el escurrimiento proveniente de precipitaciones pluviales ordinarias, no se acumula de manera instantánea, es menos torrencial aún en caso de altas pendientes y se evapora o infiltra, enriqueciendo los acuíferos. Esto es de gran importancia para mantener la cantidad de agua disponible, para abastecimiento de agua potable a las zonas urbanas.

En una zona urbanizada, las áreas impermeables están compuestas por construcciones y por la vialidad que las conecta. Por ello en las zonas urbanas tiende a recrudecerse el problema de las inundaciones y el efecto destructivo del agua acumulada es mayor, debido a la rápida acumulación de altos volúmenes de agua y al rápido escurrimiento favorecido por las superficies lisas impermeables. Una superficie sin construcción escurre solamente entre un 10% y un 25% dependiendo de la vegetación, mientras que un área construida puede escurrir hasta el 90% (Noriega, P. et al 2004a). Aunado a esto, los picos de escurrimiento tienden a ser más altos y a formarse con mayor rapidez, y también después del desarrollo urbano, la recesión gradual del agua es mucho menor (ver Figura 1.1).

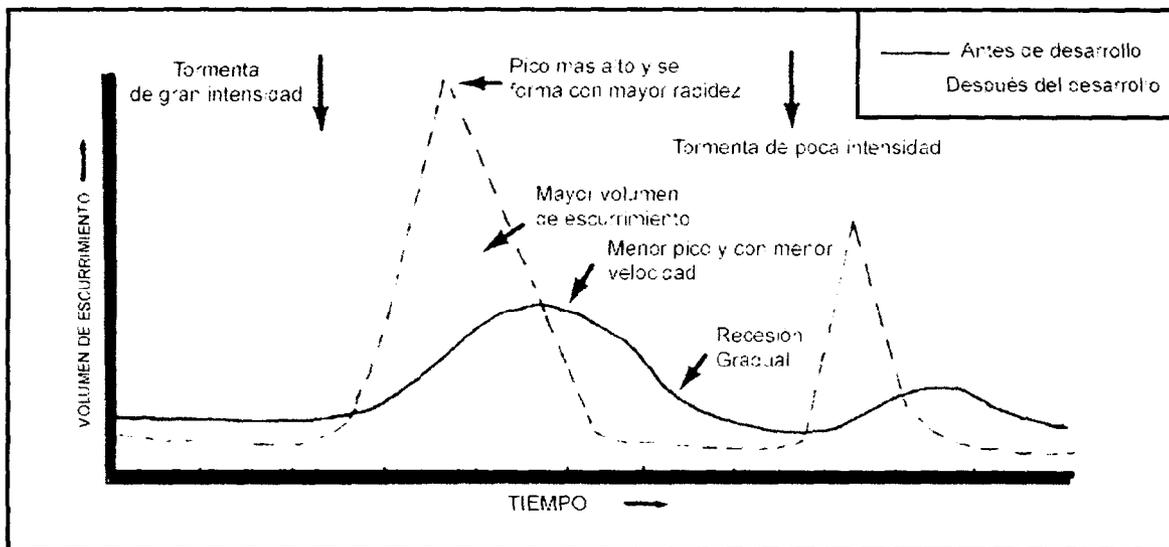


Figura 1.1. Cambios a los escurrimientos naturales producto de la urbanización.

Fuente: Environmental Protection Agency (EPA), 2002d.

El uso de suelo predominante en una ciudad corresponde generalmente a la vivienda y a la vialidad. De ahí la relevancia de conocer la forma de diseño y construcción de la vivienda, para entender las oportunidades de control y captación de escurrimientos



A continuación se presenta la definición de inundación y se describen los 3 diferentes tipos de inundaciones de acuerdo a los cauces

Las **inundaciones** son eventos naturales y recurrentes que en ocasiones se producen por corrientes de agua. Es el resultado de intensas precipitaciones o de continuas lluvias que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y la capacidad de los cauces, desbordan y anegan llanuras de inundación, representadas en general por aquellos terrenos aledaños a los cursos de agua.

A) TIPOS DE INUNDACIONES

- Inundación de tipo aluvial (inundación lenta)

Se producen cuando se presentan lluvias persistentes y en forma generalizada dentro de una gran cuenca, generando un incremento paulatino de los caudales de los grandes ríos hasta superar la capacidad máxima de almacenamiento, produciendo el desbordamiento e inundación de las áreas planas aledañas al cauce principal. Las crecientes así producidas son inicialmente lentas y tienen una gran duración. Este tipo de inundaciones se presentan en las partes bajas de las cuencas de los ríos.

- Inundación de tipo torrencial (inundación súbita)

Son los que se producen en ríos de montaña, como en el caso de la zona en estudio, originadas por lluvias intensas. El área de la cuenca es más reducida y con fuertes pendientes. El aumento de los caudales se produce cuando la cuenca recibe la acción de las tormentas durante determinadas épocas del año, por ello, las crecientes suelen ser repentinas y de corta duración. Estas inundaciones son generalmente las que causan los mayores daños y estragos a la población por ser intempestivas.

- Anegamiento

Fenómeno que se presenta por saturación del suelo, caracterizado por la presencia de láminas delgadas de agua sobre la superficie del suelo en pequeñas extensiones y, por lo general, presente en zonas moderadamente onduladas a planas. El fenómeno regularmente puede durar entre pocas horas hasta unos días.



- Nivel crítico o de inundación

El nivel de referencia, o nivel crítico, corresponde a aquél en el cual se comienza a presentar desbordamientos y anegamientos que puedan causar inundaciones, en el sitio o áreas aledañas localizadas aguas abajo o aguas arriba del sitio de referencia. Estos niveles están asociados topográficamente a las estaciones automáticas o a aquellas estaciones hidrométricas cuya información puede ser recibida en tiempo real o diariamente a través de radio o fax-teléfono, para dar así un aviso o una alerta oportunos en caso de un evento extremo. Por lo general las zonas inundables corresponden a la planicie inundable de la zona baja de las cuencas.

B) EL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY

En el caso del Área Metropolitana de Monterrey (AMM), los principales usos de suelo son los correspondientes a la vivienda con 29.77% de la superficie ocupada y la vialidad asociada a ella con 23.8 % (Guajardo, A., Salinas, J. et al., 2004).

El material de construcción predominante en vivienda y en general en todas las construcciones del AMM es el concreto en techos y el asfalto en vialidades. Al analizar los materiales de los que esta constituida la vivienda en el AMM, resulta que un 83.2% de las viviendas son duraderas, es decir que el material de sus losas es concreto (Noriega, P., 2004b). En este caso es importante considerar el material de las losas, ya que este es el primer punto donde tiene contacto la lluvia que luego se convertirá en escurrimiento si no es debidamente canalizada.

En la periferia de la ciudad se observan los porcentajes más bajos de viviendas que cuentan con losas sólidas, especialmente en el Municipio de Santa Catarina, donde un número importante de casas cuentan con porcentajes inferiores al 40%. En el centro del Área Metropolitana de Monterrey, los porcentajes fluctúan alrededor del 60 al 80%, mientras que en el resto, los porcentajes son superiores al 80% (Noriega, P., 2004b), lo cual conforma una superficie altamente impermeable. Además de las losas, hay que considerar que muchas viviendas tienen otro tipo de superficies impermeables con patios pavimentado. Históricamente la falta de agua hizo que en los años sesenta las autoridades recomendaran a la población la pavimentación de las áreas verdes y jardines de las viviendas para evitar el uso de agua en

riego, por lo que el porcentaje de suelo impermeable es muy alto en Monterrey y su Área Metropolitana.

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) ocupa aproximadamente 572 km² de superficie, un área muy extensa y se encuentra en un valle que recibe escurrimientos torrenciales de la Sierra Madre (Noriega, P. et al 2004a). La cantidad de precipitación es desigual dentro del Valle de Monterrey ya que éste se encuentra situado entre dos zonas: una con precipitaciones escasas de 100 a 250 mm y la otra en el sur-sureste de mayor precipitación (750 a 1000 mm).

En la Figura 1.2 se observan las isolinéas de precipitación horaria modal construida con las precipitaciones registradas en todas las estaciones del AMM y puede apreciarse que existe un diferencial de lluvia, cuyos valores son menores hacia Escobedo, zona de principal crecimiento poblacional, pero más altos hacia el Sur y el Oriente (Noriega. P. et al, 2004a). Esta área por su topografía más baja recibe los escurrimientos generados en la parte alta de la cuenca formada por los Municipios de Santa Catarina y Escobedo. En otras palabras, los municipios en donde más llueve y más urbanización hay y por lo mismo se generan mayores escurrimientos se reciben además los volúmenes de agua de la parte alta de la cuenca, lo que tiende a aumentar la intensidad y frecuencia de las inundaciones. Este proceso se agudizará al incrementarse el área impermeable (urbanizada) en la parte alta de la cuenca y NO puede resolverse solamente con obras de drenaje pluvial, dando como resultado inundaciones constantes en el AMM.

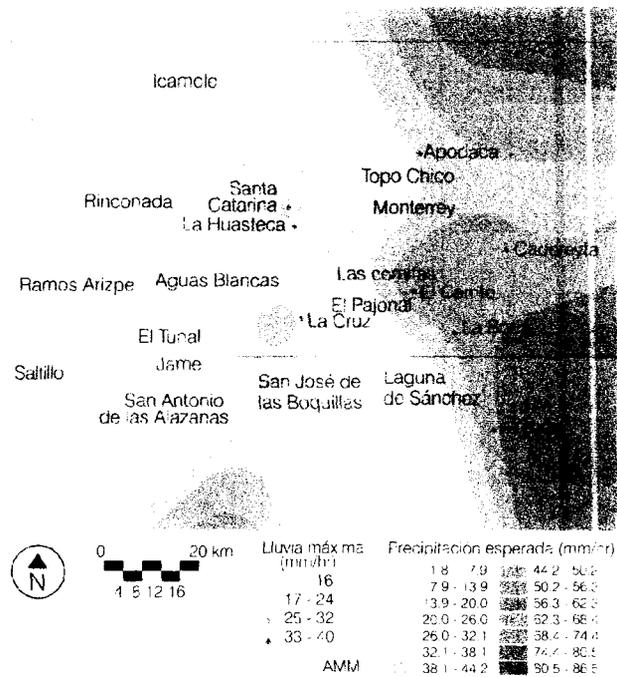


Figura 1.2. Extrapolación de los valores de lluvia horaria modal.

Fuente: Noriega, P. et al, 2004a.



La Ciudad de Monterrey ha sufrido **inundaciones** que van desde las anegaciones **anuales** en épocas de lluvias, hasta las **extraordinarias**, de tipo aluvial y /o torrencial que han destruido parcialmente la ciudad.

Inundaciones extraordinarias

Además de las lluvias ordinarias, cíclicamente se presentan perturbaciones procedentes del Golfo de México (*huracanes y tormentas tropicales*) generalmente entre los meses de mayo y octubre. Según Murillo, E. (2002) estos fenómenos no llegan hasta la ciudad con toda su intensidad, pero provocan lluvias frontales y chubascos copiosos.

Este régimen de precipitación aunado a la alteración de los patrones naturales de escurrimientos por la construcción de áreas impermeables propicia que las precipitaciones por avenidas repentinas no se infiltren en los acuíferos y transcurran por el área urbana, creando inundaciones que pueden generar pérdidas millonarias (Murillo, E., 2002). La ciudad ha sido protagonista de varios fenómenos que han causado daños considerables, los principales se enlistan a continuación.

El primer registro que se tiene de una inundación grave corresponde a 1611, año en el cual hubo una inundación que obligó a reubicar la ciudad al sur de los ojos de agua de Santa Lucía. Al año siguiente, a pesar de la reubicación, la inundación derribó la mitad de las casas de la ciudad. En 1716, la lluvia cayó sin cesar durante 40 días. Esto en una ciudad en la que regularmente no llueve más de 3 días seguidos y aún esos pocos días de lluvia ocasionan grandes disturbios (Murillo, E., 2002).

Otros años con destrucción parcial de la ciudad fueron 1752, 1782, 1810, 1881, 1909, 1938, 1967 (Torres, E, 1985) y la más reciente en la mente de los habitantes actuales, la de 1988, provocada por el Huracán Gilberto. No existen registros de la precipitación pluvial que provocó cada uno de éstos eventos de inundación, ya que, en el caso de Monterrey, municipio donde se encuentra la estación meteorológica con mayor antigüedad, los registros se iniciaron desde el año de 1886. Durante el periodo comprendido entre 1886 y 2002 se encontraron varios eventos cuyos registros pluviométricos corresponden a precipitaciones pluviales originadas por huracanes iniciados en la zona del Atlántico oriente: 1909, 1910, 1938, 1967 y 1988 (Noriega,



P., et al 2004a). El Beulah (1967) y el Gilberto (1988) pudieron ser identificados por nombre ya puesto que previo a éstos, los huracanes se identificaban sólo mediante un número (ver Figura 1.3).

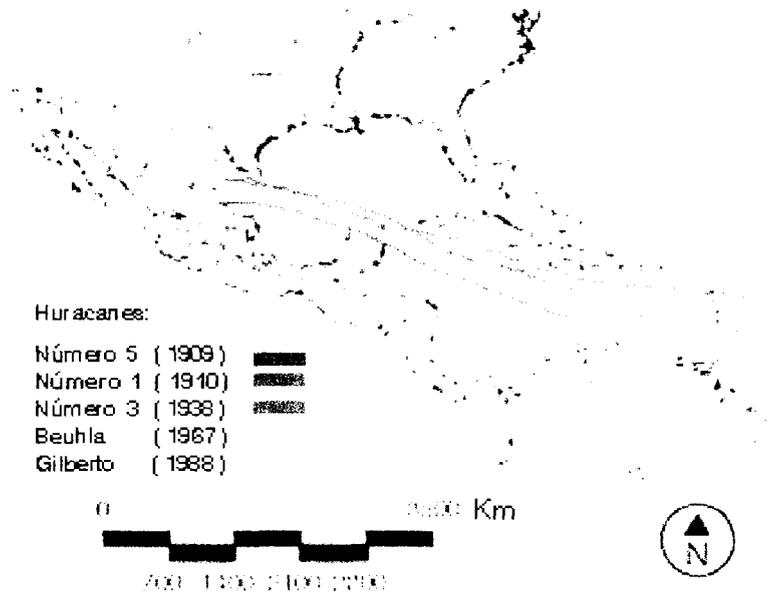


Figura 1.3. Trayectorias de huracanes que han afectado al AMM (1909-2000).

Fuente: UNISYS Weather, 2004.

C) DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema consiste en la alteración de la cobertura vegetal de la cuenca debido al proceso de urbanización, mediante el uso predominante de superficies impermeables en la construcción de vivienda. Esto se refleja como un incremento de inundaciones de todo tipo en el AMM y de daños materiales y humanos que afectan anualmente a la ciudad.

D) OBJETIVOS

Generales

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica se procederá a analizar el área impermeable que ocupa la vivienda en el Área Metropolitana de Monterrey; se cuantificarán los escurrimientos generados y se podrá comprender el impacto del sistema constructivo de la vivienda y cómo esto afecta la cantidad de los escurrimientos y crecidas promedio de lluvia en la ciudad



Con este conocimiento se podrán hacer propuestas de cambio en el diseño arquitectónico para limitar las áreas impermeables en el diseño de los fraccionamientos de vivienda y para incorporar técnicas de captación, infiltración o retención para el AMM.

Particulares.

Los objetivos particulares de esta investigación consisten en:

1. Diseñar una metodología basada en el método científico para evaluar la cantidad del área impermeable de la vivienda y como ésta afecta el nivel de escurrimientos a nivel metropolitano en el Municipio de Monterrey.
2. Mediante un Sistema de Información Geográfica, analizar el uso de suelo del Área Metropolitana de Monterrey para identificar el correspondiente a la vivienda y el área impermeable que ocupa
3. Cuantificar el volumen de agua desplazado por el área de vivienda.
4. Caracterizar los patios de las viviendas y el escurrimiento que estos desplazan para poder proponer las medidas de infiltración o captación según los tamaños de los patios y las características de su suelo.
5. Analizar el perfil de suelo del AMM, mediante la digitalización de los puntos de verificación de las cartas edafológicas correspondientes al AMM.
6. Mediante el análisis del perfil de suelos del triángulo textural del Departamento de Agricultura de EU, proponer las zonas adecuadas para infiltración.
7. Identificar las técnicas de cosecha de lluvia y captación de lluvia existentes en la actualidad y sus diferentes aplicaciones
8. Seleccionar las técnicas de captación, infiltración y retención más aplicables al caso del AMM
9. Analizar la tipología de vivienda actual que existe en el AMM y proponer según su diseño las técnicas de infiltración, captación y retención de lluvia que sean las más convenientes.
10. Analizar el costo aproximado que representa la incorporación de estas técnicas al diseño actual de la vivienda.



E) JUSTIFICACIÓN

Este estudio analiza el impacto hacia el medio ambiente que los desarrollos de vivienda y la vialidad asociada a ella realizan y propone cambios en el desarrollo urbano y arquitectónico para la minimización de los daños provocados por las áreas impermeables para ayudar a la conservación de los mantos acuíferos y la reutilización del agua de lluvia.

Entre el año 2001 y el 2006, las zonas urbanas en el país crecerán 44 ha/día en promedio, principalmente en la zona noreste y centro del país (Holguera, D., Castillo, R. et al., 2004) lo que incluye en forma destacada a Monterrey.

El AMM se ha expandido en forma horizontal, siendo una de las ciudades de México con menores densidades de población. La expansión urbana causa la pérdida de vegetación y una alteración más intensa de la cuenca y sus escurrimientos.

Como se observa al comparar las tablas de densidades de la Ciudad de México y de Monterrey las densidades más altas de los años setenta de esta ciudad son menores aún que las densidades que se manejaban en la Ciudad de México en 1900 (ver Tabla 1.2).

Tabla 1. 2. Densidad de las ciudades de Monterrey y México, DF.

| Monterrey | | | |
|-----------|------------|----------------|--------------------------|
| Década | Habitantes | Hectáreas (ha) | Densidad (habitantes/ha) |
| 1910 | 62,266 | 1,145 | 54 |
| 1930 | 137,387 | 3,325 | 41 |
| 1940 | 190,074 | 3,419 | 56 |
| 1950 | 339,282 | 6,152 | 55 |
| 1960 | 601,085 | 12,000 | 50 |
| 1970 | 858,000 | 14,000 | 61 |
| 1980 | 2,011,936 | 16,089 | 125 |
| 1990 | 2,573,527 | 20,583 | 125 |
| 2000 | 3,236,604 | 42,974 | 75 |
| Cd México | | | |
| Década | Habitantes | Hectáreas (ha) | Densidad (habitantes/ha) |
| 1900 | 344,721 | 2,714 | 127 |
| 1950 | 3,104,671 | 22,989 | 135 |
| 1960 | 5,381,153 | 47,070 | 114 |
| 1970 | 9,210,853 | 68,260 | 135 |
| 1980* | 13,139,000 | 107,973 | 122 |
| 1990** | 15,047,685 | 132,579 | 113 |
| 1995 | 16,739,396 | 145,492 | 115 |

* incluye los municipios conurbados del Estado de México

Fuente: Holguera, D., Castillo, R. et al., 2004.

Entre las ciudades latinoamericanas de tamaño similar (Santiago de Chile, Bogotá) el AMM es la de densidades más bajas. Si el patrón de crecimiento horizontal sigue prevaleciendo en la ciudad, se agudizará el problema de las inundaciones, lo cual hace muy relevante la propuesta



de este estudio de conocer el efecto de la urbanización sobre el volumen de escurrimientos y buscar cambios en las tipologías de las viviendas construidas y de sus patios.

Según la Bay Area Stormwater Management Agencies Associations (BASMAA, 1999), una de las alternativas más viables para la reducción de los escurrimientos urbanos generados por la construcción es la planeación y el diseño arquitectónico adecuados. Una vez que se ha construido, es mucho más difícil y costoso corregir los patrones de uso de suelo que contribuyen al escurrimiento. Uno de los enfoques de diseño para el control de escurrimientos es el llamado "Control en la fuente" (Start at the source), que consiste en atacar el problema en la fuente que lo genera ya que esto representa la opción más barata y más eficiente (ver Figura 1.4). Estas estrategias realizadas de manera local puntualmente en donde el escurrimiento inicialmente tiene contacto con la superficie, y la repetición consistente a lo largo de un proyecto entero o una región son las que evitan el más alto escurrimiento al menor costo (BASMAA, 1999).

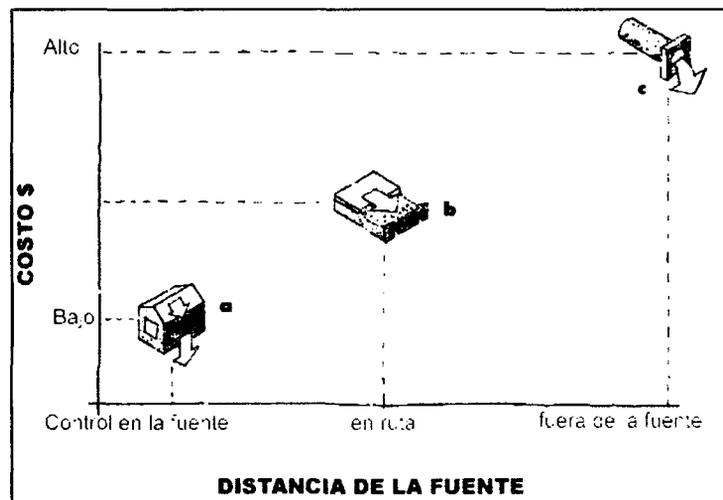


Figura 1.4. Costo del control de escurrimientos con respecto a la distancia de la fuente.

Fuente: Bay Area Stormwater Management Agencies Association, 1999.

En este caso, una de las fuentes de escurrimiento más grandes son las áreas impermeables producto del uso de suelo de vivienda. A pesar de que no es la única fuente, ya que la vialidad también representa un porcentaje importante, la construcción de vivienda puede regularse mediante leyes que permitan un mejor manejo de las áreas libres de absorción y el diseño arquitectónico adecuado puede estar a cargo del usuario mismo. Asimismo, es uno de los elementos que con una inversión de pequeña magnitud pueden contribuir enormemente a la disminución de este problema.



Está comprobado que los proyectos que incorporan técnicas de diseño del sitio para la detención, retención e infiltración del escurrimiento como conservación de áreas naturales, pavimentos permeables, entre otros presentan volúmenes menores de escurrimientos generados, comparados con proyectos similares sin estas técnicas de control en la fuente. Esta reducción a nivel lote se traduce más tarde en un menor volumen de agua desplazada a nivel metropolitano (BASMAA, 1999).

Así, el control de los volúmenes de escurrimientos puede ser manejado y controlado para evitar inundaciones que produzcan daños materiales. El proyecto pretende contribuir con el desarrollo sustentable de la ciudad de Monterrey, ya que propone varias técnicas que permitirán tener un mejor control sobre las inundaciones, así como utilizar el Desarrollo de Bajo Impacto (LDI por sus siglas en inglés) permitiendo además la protección de los mantos acuíferos y la reutilización del agua de lluvia. Los resultados de este análisis pueden adaptarse hacia otras ciudades en el Noreste del país que comparten problemáticas similares.

Es importante el desarrollo de investigaciones con fines prácticos como esta, ya que en la región Noroeste del país el agua es un recurso estratégico por su escasez y por la variabilidad extrema de las precipitaciones anuales que pueden variar hasta 70% entre un año y otro (ver tabla 1.3) que afecta las posibilidades de suministro.

Tabla 1.3.

Variación de las precipitaciones pluviales (mm/año). Estación Observatorio

| Año | Precipitación (mm/año) |
|------------|-----------------------------------|
| 1958 | 1134.7 |
| 1959 | 389.3 |
| 1967 | 1305.4 |
| 1968 | 692.3 |
| 1976 | 964.3 |
| 1977 | 731 |
| 1986 | 742 |
| 1987 | 471.7 |
| 1998 | 344.7 |
| 1999 | 611.9 |

Fuente: Noriega, P. et al, 2004a.

En el Área Metropolitana de Monterrey el agua tanto superficial como subterránea se ha tenido que traer de distancias cada vez mayores conforme ha crecido la mancha urbana. Además, las



obras de captación y de conducción de la lluvia representan mayor complejidad de construcción y mayores costos.

Las presas de Cerro Prieto y El Cuchillo, usadas para el abastecimiento del AMM, se encuentran a más de 100 km de distancia y para su transporte se valen de métodos de bombeo múltiples, debido a los desniveles que presenta su recorrido (Noriega, P. et al, 2004a).

Asimismo, los campos de perforación y extracción se encuentran cada vez más lejos y las profundidades de perforación son cada vez mayores como lo muestra la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Fuentes de Abastecimiento del AMM 1910-2004.

| Mayor profundidad | | |
|--------------------|-------|----------|
| | 1960 | 1980 |
| Pozo Huasteca | 100 m | 1500 m |
| Pozos Mina | 260 m | 1545 m |
| Mayor bombeo | | |
| Presa Cerro Prieto | 300 m | desnivel |
| Presa Cuchillo | 430 m | desnivel |
| Mayor distancia | | |
| La Estanzuela | 1910 | 19 km |
| La Huasteca | 1965 | 25 km |
| Santiago | | 38 km |
| Pozos Mina | | 40 km |
| Presa Cerro Prieto | 1984 | 125 km |
| Presa Cuchillo | 1994 | 102 km |

Fuente: Noriega, P. et al 2004a.

Otro de los factores importantes a considerar es la demanda de agua cada vez mayor que presenta el AMM debido al creciente aumento demográfico (Noriega, P. 2004). Mientras que en 1980 existía un gasto promedio de 6.25 m³/segundo, en el año 2000 se registraron 10.2 m³/s (ver Tabla 1.5).

Tabla 1.5. Consumo diario de agua por habitante.

| Año | Población | Gasto promedio | |
|------|-----------|---------------------|-------------------------|
| | | (m ³ /s) | Gasto habitante (l/día) |
| 1980 | 2,011,936 | 6.25 | 223 |
| 1990 | 2,573,527 | 8.2 | 229 |
| 1995 | 2,988,081 | 8.85 | 213 |
| 2000 | 3,236,604 | 10.2 | 226 |

Fuente: Noriega, P. et al 2004a.

El uso doméstico es el que presenta el mayor consumo diario de agua potable. En el año 2001, según datos de Agua y Drenaje de Monterrey, había un total de 732,605 consumidores, de los cuales el sector doméstico representaba un 92.9% de éstos, con 680,913 usuarios (Noriega, P. et al, 2004a). Agua y Drenaje de Monterrey estima que cada año se incrementa la demanda



con 25 mil nuevos hogares que entran a la red de agua potable, lo cual significa alrededor de 100,000 personas por año, que equivalen a un incremento en la demanda de 2.25 m³/día (con una dotación de 180 l/persona/día). La Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas (SEDUOP), estima que para el año 2020 habrá 1,250,000 nuevos habitantes en el AMM, lo cual podría representar una demanda de 15 a 16 m³/s, con una dotación de 180 l/persona/día (Noriega, P. et al, 2004a).

Sin embargo, no todos los hogares tienen el mismo consumo, según datos de Agua y Drenaje, un 46% de los hogares consume entre 11 y 20 m³/mes. El consumo mensual promedio de casa habitación es del orden de 18.43 m³ (Noriega, P. et al, 2004a).

El proporcionar toda esta agua potable al AMM implica un alto costo en inversión en infraestructura ya que como se explicó anteriormente, cada vez las distancias y las profundidades son mayores y a esto se suma el bombeo necesario para cubrir las altitudes. Según el Centro de Desarrollo Estratégico Metropolitano, los gastos que representan la adición de cada nueva fuente de abastecimiento han ido aumentando de manera significativa. Para realizar este estudio se actualizaron las inversiones a precios de 1998. Los resultados que muestra el estudio del CEDEM se muestran en la Figura 1.5.

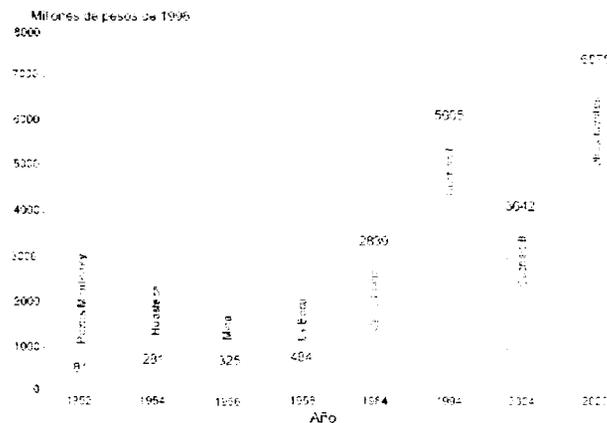


Figura 1.5: Inversión en abastecimiento del agua del AMM.

Fuente: Noriega, P et al., 2004a.

Así, se puede observar que para el año 2020 se deben de buscar otras fuentes de abastecimiento, y esto implicará unos costos de aproximadamente 6878 Millones de pesos.



Estos altos costos hacen que la búsqueda por fuentes alternas de abastecimiento de agua para la ciudad sean necesarias lo más pronto posible.

Asimismo, hay que considerar que no se debe de sobreexplotar las fuentes que se tienen hasta ahora ya que esto puede resultar en su abatimiento y se debe de recalcar puntualmente que no se conocen con exactitud nuevas fuentes cercanas y disponibles para el suministro del AMM (Noriega, P. et al ,2004a).

Debido a esta demanda que afronta el Área Metropolitana de Monterrey en los próximos años, es importante considerar técnicas alternas de captación de agua de lluvia que puedan utilizarse en los hogares, los cuales representan el mayor porcentaje de consumo. Con esto no se implica que los hogares deban de regirse solamente por agua de lluvia, pero el uso de estos sistemas, además de aliviar las avenidas pico durante las lluvias y ayudar a reducir los escurrimientos, pueden ayudar a minimizar la demanda de agua potable y los costos de inversión en infraestructura que implica esta misma demanda. Es muy importante actuar sobre la fuente del problema que en este caso es la vivienda y no esperar a que se genere un problema de dimensiones extraordinarias que luego no sea posible solucionar.

Para atender el problema tanto de la demanda de agua como de las inundaciones periódicas, se puede recurrir a la captación de aguas pluviales en estructuras que permitan su retención, detención e infiltración al acuífero (Noriega, P. et al ,2004a). En otros países se ha comprobado la factibilidad de la recarga del acuífero mediante balsas de infiltración, así como mediante el uso de sistemas de infiltración pluvial como parte integral de la imitación del ciclo hidrológico existente antes del desarrollo del sitio (Silgado et al., 2000).

Algunas de las alternativas para el control de los escurrimientos naturales generados por las áreas impermeables pueden representar una misma solución para proveer a la ciudad del agua que necesita, en vista que no existen fuentes nuevas disponibles.

De igual manera, el limitar la construcción de áreas impermeables puede representar ahorros significativos para los desarrolladores de vivienda. La infraestructura de transporte representada por calles, caminos y estacionamientos puede constituir hasta un 50% del costo total de la construcción (CWR, 2000). Los ahorros se pueden obtener al reducir las áreas impermeables tanto en las calles como en el sistema de drenaje pluvial, generando además



una mejor calidad de vida para los habitantes y una ventaja competitiva para los compradores. Por lo tanto los resultados de esta investigación, además de considerar el desarrollo sustentable de la ciudad, representan una alternativa atractiva para los desarrolladores de vivienda.

F) HIPÓTESIS

El presente estudio se enfoca a la superficie de vivienda del Área Metropolitana de Monterrey, conformada por los municipios de Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santa Catarina.

H1. La construcción de vivienda contribuye a la alteración de los patrones de escurrimientos naturales y genera inundaciones importantes en el Área Metropolitana de Monterrey.

H1. La tipología bajo la cual se construyen la vivienda permite la construcción de superficies impermeables ignorando sus efectos sobre los escurrimientos naturales y las cuencas, y los problemas de inundaciones que generan en el AMM.

H2. La vivienda que se construye en el AMM no toma en cuenta elementos de diseño arquitectónico para adecuarse a los escurrimientos naturales y evitar las inundaciones.

G) RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados esperados de esta investigación son los siguientes:

1. Una metodología válida para analizar como afecta la superficie impermeable producto de construcción de la vivienda en el Área Metropolitana de Monterrey a los escurrimientos naturales.
2. Un mapa con la identificación del área de vivienda ocupada por los municipios que integran el Área Metropolitana de Monterrey, especificando cuanta área es permeable y cuanta es impermeable.
3. La cantidad de agua desplazada por la vivienda construida del AMM.
4. Una caracterización de los patios de las viviendas de los siete municipios del AMM.



6. El análisis de la cantidad de agua desplazada por los patios considerando que fueran totalmente pavimentados.
7. El análisis de la ubicación de los patios donde el suelo tiene capacidad de infiltración.
8. Un mapa con la identificación de los puntos de verificación del AMM, así como la capacidad del suelo en estos puntos para infiltrar.
9. Un análisis de cada punto de verificación por su capacidad de infiltración con base en los triángulos de caracterización de suelos.
10. Un análisis de las estrategias generales de captación, infiltración en los diferentes predios según su tamaño y sus características de suelo.
11. Un análisis de las estrategias de captación, infiltración y retención para el AMM.
12. Un análisis del costo que representa la incorporación de algunas de estas técnicas.



II. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTOS

A) EL CICLO HIDROLÓGICO

La hidrosfera es el espacio donde existe el agua de la tierra, que se extiende desde aproximadamente 15 km arriba de la atmósfera hasta un kilómetro debajo de la corteza terrestre (Chow, V., 1994). El agua circula en la hidrosfera por varios caminos, lo cual constituye el ciclo hidrológico. Este ciclo no tiene principio ni fin y sus procesos ocurren de forma continua. El agua se evapora de los océanos y de la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera: el vapor de agua se transporta y se eleva a la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o sobre los océanos en forma de lluvia, nieve o hielo (ver Figura 2.1).

Esta agua puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo o se puede infiltrar o correr sobre el suelo como escorrentía o escurrimiento. Una gran parte de esta agua interceptada y de escorrentía superficial se regresa a la atmósfera mediante la evaporación; el agua que se infiltra profundamente sirve para recargar el agua subterránea, de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos y por último fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera mientras el ciclo hidrológico continúa (Chow, V., 1994).

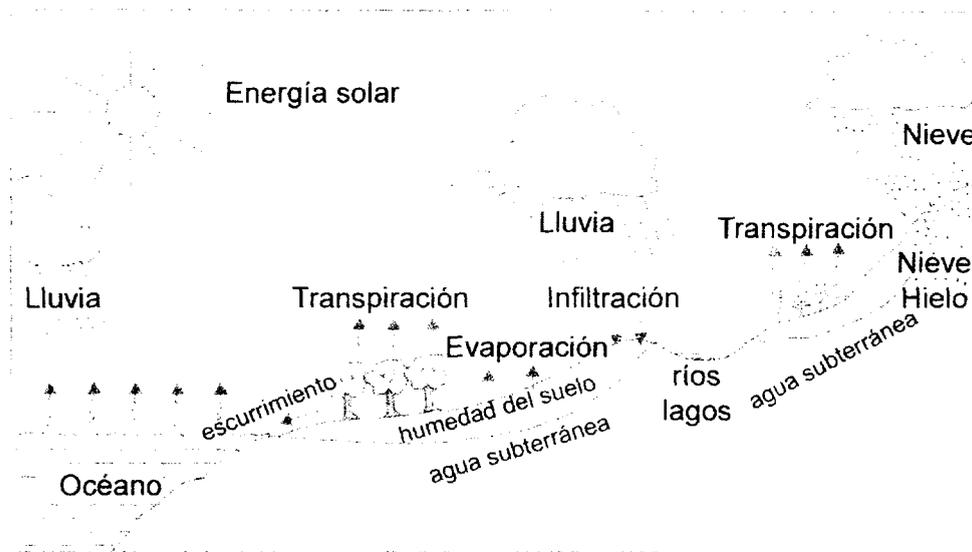


Figura 2.1. El ciclo hidrológico.

Fuente: Hillel, D., 1998.



El ciclo hidrológico es extremadamente complejo, pero puede tratarse como un sistema, donde sus componentes son la precipitación, la evaporación, la escorrentía y otras fases del ciclo. Este sistema puede subdividirse en varios subsistemas: el sistema de agua atmosférica que contiene a los procesos de precipitación, evaporación, intercepción y transpiración; el sistema de agua superficial que comprende los procesos de flujo superficial, escorrentía superficial, nacimientos de agua superficial y subterránea y escorrentía hasta ríos y océanos. El último subsistema es el sistema de agua subsuperficial que contiene a los procesos de infiltración, recarga de acuíferos, flujo superficial y flujo de agua subterránea (Chow, V., 1994).

La urbanización puede afectar directamente el ciclo hidrológico, reduciendo notablemente el agua que se infiltra de manera profunda a las cuencas y causando una mayor cantidad de agua de escorrentía que no se infiltra y que puede causar inundaciones importantes.

B) LA INFILTRACIÓN

Cuando el agua llega al suelo ya sea por lluvia, nieve o irrigación, ésta penetra la superficie y se absorbe a las capas más profundas del suelo. A menudo una parte de esta agua no alcanza a penetrar el suelo por diversos factores como la cubierta del terreno, la estructura geológica, en cuanto a la conformación de los granos del suelo y su porosidad; la pendiente y la intensidad de la lluvia (Hillel, D., 1998). Una vez que la precipitación alcanza la superficie del suelo, esta se infiltra en las capas superiores del mismo, hasta que estas se saturan. Cuando se llenan las depresiones del terreno, el agua comienza a escurrir sobre la superficie. Este escurrimiento (flujo en la superficie del terreno) se produce mientras que el agua no llegue a caudales definitivos. Esta agua se sigue infiltrando mientras sigue su trayectoria y una parte de la misma se evapora. El escurrimiento superficial es el flujo de esta agua sobre el terreno.

El agua que no penetra el suelo, se divide en dos partes, una de ellas regresa a la atmósfera por evaporación o por la extracción y transpiración de las plantas y la parte restante es la que sigue fluyendo sobre el suelo en forma de escurrimiento.

ÁREAS IMPERMEABLES

Las áreas impermeables se refieren a todos aquellos materiales que no permiten la filtración del agua en el suelo (Gibbons, J. 1998). Las superficies impermeables más comunes son el asfalto, el concreto y los techos de las construcciones. La cantidad de superficies



impermeables es un indicador que fácilmente permite medir los impactos del desarrollo urbano en los sistemas acuáticos en cuanto a la calidad, cantidad de agua desplazada y su impacto en los acuíferos. Asimismo, las superficies impermeables contribuyen a las inundaciones de las zonas urbanas ya que evitan que el agua de precipitación se infiltre en las cuencas.

Según el Center for Watershed Protection (CWP), existe evidencia científica que relaciona la cantidad de áreas impermeables con los cambios en la hidrología, el hábitat natural, la calidad del agua y la biodiversidad de los sistemas acuáticos; incluso se ha visto que a niveles relativamente bajos de impermeabilidad (alrededor del 10%) los mantos acuíferos se ven afectados (CWP, 2000). Además de esto, las áreas impermeables contribuyen a las inundaciones ya que evitan la recarga de los mantos acuíferos al no permitir la filtración natural. En una zona urbana, las áreas impermeables están compuestas por construcciones y por la vialidad que las conecta. Por ello en las zonas urbanas tiende a recrudecerse el problema de las inundaciones y el efecto destructivo del agua acumulada es mayor, debido a la rápida acumulación de altos volúmenes de agua y al rápido escurrimiento favorecido por las superficies lisas impermeables

El estudiar las áreas impermeables permite tener un indicador medible que puede ser cuantificado, administrado y controlado en cada etapa del desarrollo urbano, para el control de los escurrimientos en las áreas metropolitanas (CWP, 2000).

Un tercio de la cantidad total de área impermeable de una ciudad corresponde a las superficies relacionadas con el transporte. Los mayores porcentajes de uso de suelo en una ciudad corresponden generalmente al transporte y a la vivienda y éstos representan los componentes más importantes de la superficie impermeable. Dado el alcance de este estudio, solamente se tomarán en cuenta los escurrimientos generados por las superficies de vivienda que representan dos tercios del total de volúmenes desplazados.

Según Chow (1994), los trabajos de hidrología urbana en los últimos años han encontrado que los efectos de la urbanización en los hidrogramas de crecientes incluyen incrementos en los volúmenes totales de escorrentía y en los cambios en los caudales de las cuencas urbanas (ver Figuras 2.2 y 2.3), esto debido principalmente a lo siguiente:



1. El volumen de agua disponible para la escorrentía ha aumentado hasta un 200% debido al incremento de zonas impermeables, que reducen la cantidad de infiltración.
2. Los picos de las crecientes han aumentado en velocidad de flujo y magnitud, debido al cambio en la eficiencia hidráulica asociado con la construcción de canales artificiales, cunetas y sistemas de drenaje pluvial, todos éstos construidos con materiales impermeables.

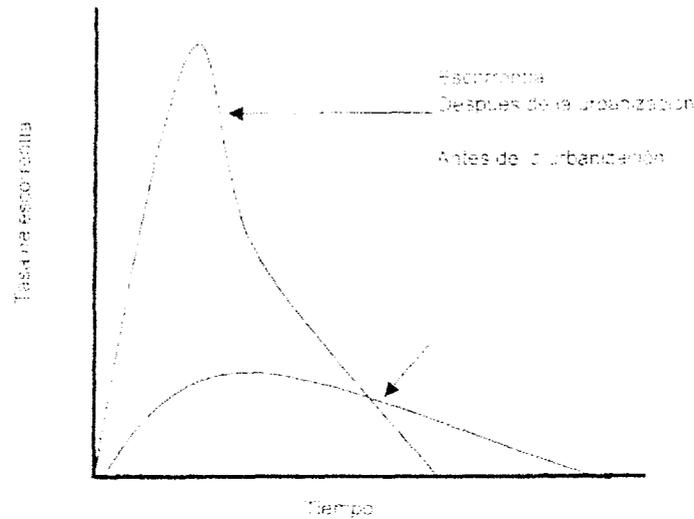


Figura 2.2. Efecto de la urbanización en la escorrentía de tormentas.

Fuente: Chow, V., 1994

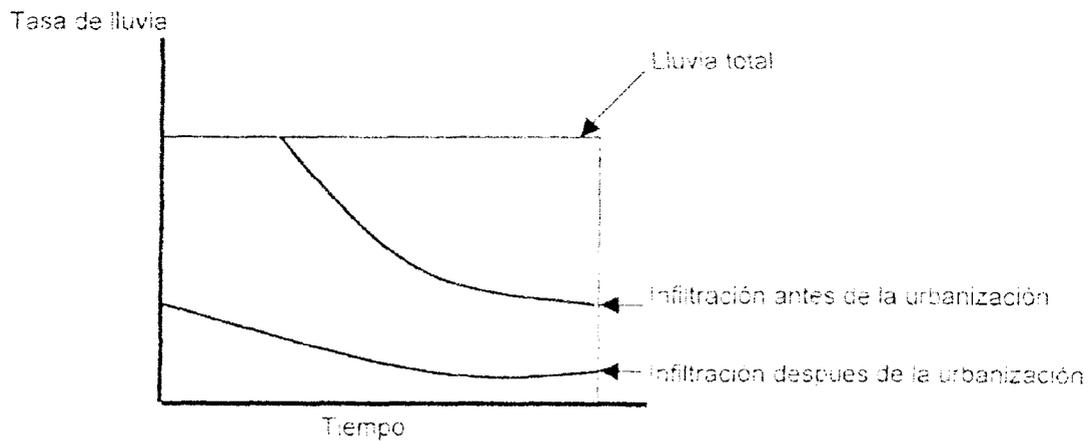


Figura 2.3. Efecto de la urbanización en la escorrentía de tormentas.

Fuente: Chow, V., 1994



El coeficiente de escurrimiento o escorrentía expresa la relación entre la escorrentía y la precipitación sobre un periodo de tiempo dado. Este coeficiente puede ir de 0 a 1, y expresa la fracción del volumen de precipitación que es convertido en escurrimiento. En las zonas impermeables este coeficiente se acerca mucho a la unidad. Según un estudio de la CWP (2000), al comparar la escorrentía que producía un estacionamiento y una zona sin desarrollo se encontró lo siguiente:

Tabla 2.1. Comparación de la escorrentía entre un estacionamiento y una zona sin desarrollo.

| Parámetro Hidrológico o de Calidad del Agua | Estacionamiento | Pradera |
|---|-----------------|---------|
| Coeficiente de escurrimiento | 0.95 | 0.06 |
| Tiempo de concentración (min) | 4.8 | 14.4 |
| Tasa de descarga tormenta de 2 años h (decímetros cúbicos/ segundo) | 121.7631 | 11.3268 |
| Tasa de descarga tormenta 100 años (decímetros cúbicos/segundo) | 356.79 | 87.78 |
| Volumen de escurrimiento de tormenta de 1 pulgada (decímetros cúbicos) | 97693.6 | 6173.1 |
| Velocidad de escurrimiento de tormenta 2 años (m/segundo) | 2.438 | 0.5486 |
| Descarga anual de Fósforos (lb/ac/año) | 2 | 0.1 |
| Descarga anual de nitrógeno (lb/ac/año) | 15.4 | 0.8 |
| Descarga anual de zinc (lb/ac/año) | 0.3 | ND |
| Inferencias: Estacionamiento: 100% impermeable, 3% de pendiente, 60.9 m de longitud de flujo, Tormenta tipo 2, 2 años 24 h= 7.84 cm, tormenta 100 años=22.6 cm. Radio hidráulico=0.3, canal en concreto. Pradera: 1% impermeable, 3% pendiente, 60.9 m de longitud de flujo, vegetación, Suelos tipo B, canal de tierra. | | |

Fuente: Center for Watershed Protection (CWP), 2000.

En este caso se encontró que en una zona urbanizada como el estacionamiento el coeficiente de escurrimiento aumentó casi 16 veces con respecto a la zona sin urbanizar (de 0.06 a 0.95). Esta diferencia no solo se aprecia en cuanto al coeficiente de escurrimiento, sino que también aumenta la contaminación, la velocidad de descarga y el tiempo de concentración (ver Figura 2.4).

Según el Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, (1999a), al haber precipitación pluvial, en una zona sin superficies impermeables, 40% de esta agua se infiltra de manera profunda, 25% se infiltra de manera superficial y 40% contribuye a la evapotranspiración. Cuando hay un 10 a 20% de superficies impermeables, 38% contribuye a la evapotranspiración, 20% se convierte en escurrimiento, 21% se infiltra de manera superficial y el resto se infiltra de manera profunda. En el extremo de tener una cantidad de superficie



impermeable de 75 a 100%, más de la mitad del agua pluvial escurre (55%), solamente 10% tiene una infiltración superficial y solo un 5% del agua se infiltra de manera profunda. La Figura 2.4 ejemplifica de manera muy clara los efectos de las superficies impermeables en cuanto a la infiltración profunda y su contribución a las inundaciones.

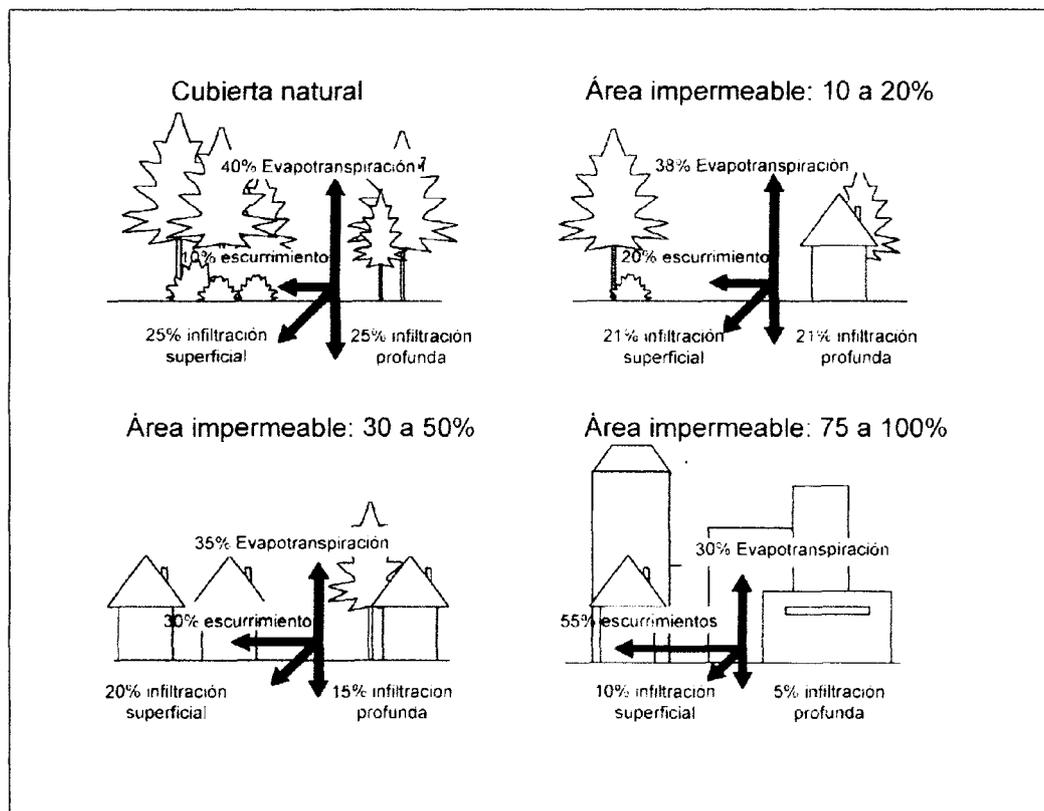


Figura 2.4. Efecto de las áreas impermeables en los escurrimientos naturales.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, (1999a).

Además de aumentar el nivel de escurrimiento durante las precipitaciones, las zonas impermeables pueden afectar la calidad del agua debido a que acumulan contaminantes de la atmósfera, bacterias, materia orgánica y metales, que durante la precipitación pluvial se acarrearán y acumulan en los sistemas acuáticos (CWP,2000).

Finalmente, la construcción de zonas impermeables tiene un costo elevado para los desarrolladores. Además de los costos que representa el material de construcción, a esto deben sumarse las actividades de limpieza y despalme. Si se controla la construcción de éstas en la vivienda, además de reducirse los costos, se puede tener un área de oportunidad para el control de los escurrimientos de cada predio de manera individual.



C) EL AMM Y LAS ÁREAS IMPERMEABLES

En el área de estudio, el Área Metropolitana de Monterrey, los dos usos de suelo predominantes son la vivienda y la vialidad. La superficie total del AMM es de 572 km² y de esta un 29.77% (17,044 ha) pertenece al uso de vivienda (ver Figura 2.5), mientras que el segundo lugar lo ocupa la vocación del suelo dedicado a las vialidades con 13,639 ha, que representa un 23.8%, lo cual casi iguala la cantidad de suelo de la vivienda (Guajardo, A., Salinas, J. et al, 2004).

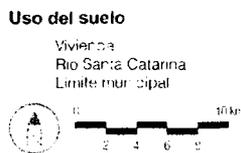


Figura 2.5. Superficie de suelo dedicado a la vivienda en el Área Metropolitana de Monterrey (2000).

Fuente: Guajardo, A. y Salinas, J. et al (2004)

Según datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Guajardo, A. y Salinas, J. et al 2004), en el año 2000 existían 731,813 viviendas habitadas en el Área Metropolitana de Monterrey. Esta vivienda ocupaba una superficie de 17,044 hectáreas (ha) como se mencionó anteriormente. De todos los municipios que conforman la zona metropolitana, Juárez es el que dedica mayor porcentaje de su superficie a la vivienda (47.67%), mientras que los Municipios de Monterrey, Guadalupe y San Pedro tienen porcentajes que van desde el 30 al 35% (ver Tabla 2.2).

**Tabla 2.2.** Superficie municipal ocupada por la vivienda (en hectáreas).

| Concepto | Apodaca | Escobedo | García | Guadalupe | Juárez | Monterrey | San Nicolás | San Pedro | Santa Catarina |
|--|---------|----------|--------|-----------|--------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| Viviendas por superficie municipal de vivienda (Vivienda/ha) | 44.77 | 26.13 | 14.25 | 62.03 | 12.74 | 46.75 | 65.56 | 19.06 | 66.37 |
| Porcentaje dedicado a vivienda por municipio | 17.06 | 33.63 | 25.34 | 30.58 | 47.67 | 33.74 | 29.3 | 35.43 | 18.55 |
| Superficie municipal dedicada a vivienda (ha) | 1452 | 2055 | 478 | 2415 | 1216 | 54478 | 1738 | 1479 | 732 |
| Superficie municipal urbanizada (ha) | 8512 | 6111 | 1886 | 7897 | 2551 | 16234 | 5931 | 4174 | 3946 |

Fuente: Noriega, P. 2004b.

Es claro que la mayor parte del uso de suelo corresponde a la vivienda y a la vialidad, por lo que es importante analizar el impacto sobre el ambiente que ejerce toda esta extensión de área construida sobre los escurrimientos y el papel que juegan en las inundaciones. Este impacto es distinto para cada uno de los municipios, sobre todo por la superficie dedicada a vivienda, como se ve en la tabla presentada anteriormente.

D) LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN EL AMM

El AMM se encuentra entre dos zonas de precipitación: una con precipitaciones muy escasas (de 100 mm a 250 mm) y otra con precipitaciones mayores que van de 750 mm a 1000 mm.

Dado que la precipitación anual es muy variable y presenta altibajos marcados que han ido desde 147.53 mm/año en 1888 a 1,211.3 mm/año, según los datos de la Estación Monterrey, es difícil extraer patrones y tendencias claras de precipitación en la ciudad (Noriega, P. et al 2004).

En el AMM, los meses de lluvia son junio y septiembre, y durante estos meses el 40% de la lluvia total se concentra en un día. Para el mes más lluvioso, el 40% de la lluvia se concentra en una hora, específicamente en un lapso de 15 a 20 minutos. Esta concentración de lluvia en tiempos muy reducidos, aunada al aumento de la superficie impermeable en la ciudad genera inundaciones periódicas importantes (Noriega, P. et al 2004a).

Para el establecer la cantidad de escurrimientos generada por las superficies impermeables de la vivienda se utilizará la lluvia máxima horaria encontrada en el AMM, la cual corresponde a 0.05 m/h (Noriega, P. et al. 2004).



E) CUENCAS O VERTIENTES

Se denomina cuenca vertiente, o cuenca de drenaje de un cauce, en una sección dada de su curso, a la superficie de terreno limitada por el contorno a partir del cual la precipitación caída drena por esa sección.

Si el suelo fuese impermeable es evidente que la cuenca estaría definida topográficamente por la línea divisoria. En los suelos permeables la cuenca vertiente real puede diferir de la cuenca topográfica, pero salvo en los casos de la circulación interna particularmente intensa, este efecto es solamente apreciado en cuencas muy pequeñas, admitiéndose prácticamente en la mayoría de los casos que la cuenca vertiente coincide con la cuenca topográfica (Tragsatec, 1998)

El funcionamiento de la cuenca es parecido al de un colector que recibe la precipitación, pluvial y nival y la convierte en escurrimiento. Esta transformación se hace con pérdidas de agua, función de las condiciones climatológicas y de las características físicas de la cuenca. Desde el punto de vista hidrológico, no sólo es importante el volumen de los escurrimientos (balance hídrico), sino también su reparto en el tiempo (hidrograma).

En muchas ocasiones, para la aplicación de los diferentes modelos hidrológicos es necesario dividir la cuenca en estudio en una serie de unidades de menor superficie y de comportamiento homogéneo, a las cuales se denomina unidades hidrológicas.

Estas unidades hidrológicas pueden ser, o bien subcuencas, o bien tramos intermedios entre éstas (vertientes directas al propio cauce, a un embalse o al mar). Los criterios para realizar esta división deben atender a la orografía, los usos mayoritarios del suelo, la torrencialidad de las precipitaciones, etc. (Tragsatec, 1998).

Desde el punto de vista de su funcionamiento, la cuenca vertiente puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza de suelo y por la cobertura vegetal.

La influencia de estos factores sobre la transformación de la precipitación en escorrentía es fácilmente intuible cualitativamente, estribando la dificultad en expresar estas influencias mediante parámetros sencillos. Sin embargo, es posible definir cierto número de índices, susceptibles de servir, al menos de referencia, en la clasificación de cuencas y de facilitar los estudios de semejanza (Tragsatec, 1998).



F) EL MÉTODO RACIONAL

Existen diversos métodos para cuantificar el escurrimiento en una cuenca. Para este análisis se utilizará sin embargo el Método Racional debido a que es actualmente el más usado en el mundo, por su sencillez y porque además es susceptible para su aplicación a estudios regionales (Tragsatec, 1998). Se basa en dos hipótesis generales para su aplicación:

1. Cuencas pequeñas
2. Uniformidad espacial y temporal de la lluvia.

La fórmula para su aplicación es la siguiente:

$$Q \text{ (m}^3\text{/seg)} = C \cdot I \cdot A$$

Su aplicación utiliza la siguiente información:

I: intensidad de la lluvia (mm/hora)

C: coeficiente de escorrentía (%)

A: superficie de la cuenca (m²)

Q: caudal (m³/seg)

G) EL SUELO

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre, sobre el cual se desplanta la capa vegetal. Según INEGI (1990), el suelo está conformado por varias capas llamadas horizontes, las cuales se designan con letras; cada letra indica diferentes procesos y tipos de suelo aunque el suelo es un elemento dinámico que esta en constante evolución. El horizonte A es la parte superficial del suelo en la que se deposita la materia orgánica que luego se transforma en los minerales del suelo. El horizonte A lo constituyen las capas más oscuras y superficiales de los suelos. El horizonte B es donde se manifiestan los cambios que sufre el material que dio origen al suelo y en este horizonte se acumulan la materia orgánica y los minerales del horizonte A. El horizonte C es la capa profunda del suelo y muestra las características del material del cual se deriva. El horizonte R es una capa continua y dura de roca que está por debajo del suelo y que dio origen a éste en muchos casos. En algunos casos existe un horizonte O que es una capa



superficial donde se acumulan los materiales orgánicos que caen al suelo como restos de animales y vegetales (ver Figura 2.6).

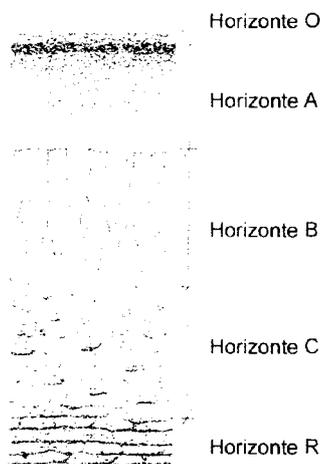


Figura 2.6. Horizontes que constituyen el suelo.

Fuente: Hillel, D., 1998

Cada uno de los horizontes puede presentar algunas variantes o diferencias que se conocen como subhorizontes. El análisis de los horizontes, en cuanto a sus características morfológicas, así como físicas y químicas permiten conocer su drenaje y su cantidad de arcilla o arena.

La capacidad del suelo para infiltrar el agua está dada por varios factores:

Clase textural. La clase textural se refiere, según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (1990), al contenido en los 30 cm superficiales del suelo, de partículas de diferentes tamaños, que en las cartas de Edafología aparecen con los números 1,2 ó 3.

El número 1 representa los suelos de textura gruesa, que en la superficie son arenosos, y que pueden tener problemas como poca retención de agua o pocos nutrientes.

El número 2 se refiere a suelos con textura media, parecidos a los limos de los ríos. Tiene menos problemas de drenaje y es más fértil. Finalmente, el número 3 representa a los suelos arcillosos, con mal drenaje, poca porosidad, que son duros al secarse y se inundan.

Capacidad de campo. Es la cantidad de agua que puede almacenar un suelo por sus características físicas. Mientras que los suelos arcillosos tienen una capacidad de almacenamiento entre 15 y 20 %, los suelos arenosos tiene entre un 5 y 8% (Morales, M. 1999).

La velocidad de infiltración del agua es mayor en los arenosos y menor en los arcillosos. Cuando el suelo recibe una cantidad de agua por lluvia o riego, ésta ocupa todos los espacios y desciende por gravedad a las capas subterráneas constituyendo el drenaje, lo cual depende de



la penetración del agua en el suelo (permeabilidad). Los suelos con mayor cantidad de arena pueden retener menos tiempo el agua y la infiltración se produce más rápido, el avance a zonas de mojado se observa a mayor profundidad en menor tiempo. Por el contrario, en los suelos con arcillas, se tiende a retener el agua mayor tiempo y se retarda el tiempo que el agua puede infiltrarse hacia mayor profundidad, además que tiene un efecto expansivo (ver Figura 2.7).

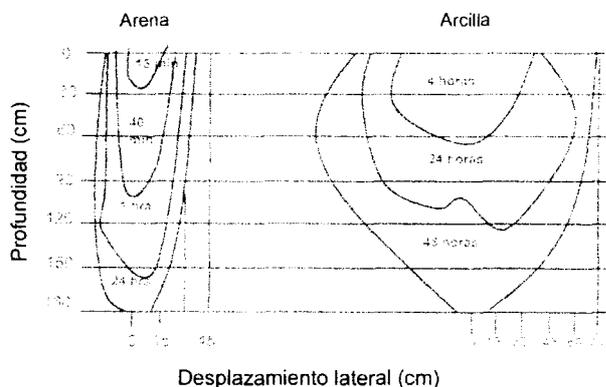


Figura 2.7. Diagrama del fenómeno lateral de infiltración en suelos arcillosos y arenosos.

Fuente: Morales, M. (1999).

Los suelos pueden clasificarse por su textura con base al porcentaje de arena, limo y arcilla que contienen. Rodríguez Suppo (1982) presenta la siguiente clasificación:

Tabla 2.3. Clasificación de los suelos.

| Clases de suelo | Arena% | Limo % | Arcilla % |
|-------------------------|----------|-----------|-----------|
| Franco | < 52 | 28 a 80 | 7 a 27 |
| Franco-limoso | <50 | 50 o más | 17 a 27 |
| Franco-limoso-arcilloso | <50 | 50 a 80 | <12 |
| Limoso | <20 | 80 o más | <12 |
| Franco-arcillo-arenoso | 45 o más | <28 | 20 a 35 |
| Franco-arcilloso | 20 a 45 | | 27 a 40 |
| Franco-arcillo-limoso | <20 | | 27 a 40 |
| Arcillo-arenoso | 45 o más | <40 | 40 o más |
| Arcillo-limoso | | 40 o más | 40 o más |
| Arcilloso | < 45 | <40 | 40 o más |
| Arenoso | 85 o más | | <15 |
| Arenoso-franco | | | |
| Limite superior | 85 a 90 | | <15 |
| limite inferior | 70 a 85 | | <30 |
| Franco Arenoso | 52 o más | > 2 y <30 | <21 |
| Franco arenoso | 43 a 52 | <50 | <70 |

Fuente: Rodríguez, F. 1982.



III. METODOLOGÍA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

A) UBICACIÓN

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM) se refiere a los nueve municipios comprendidos en el área conurbada de la Ciudad de Monterrey. Estos nueve municipios son: Apodaca, Escobedo, García, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro y Santa Catarina, todos ellos situados en el Estado de Nuevo León, (ver Figura 3.1).

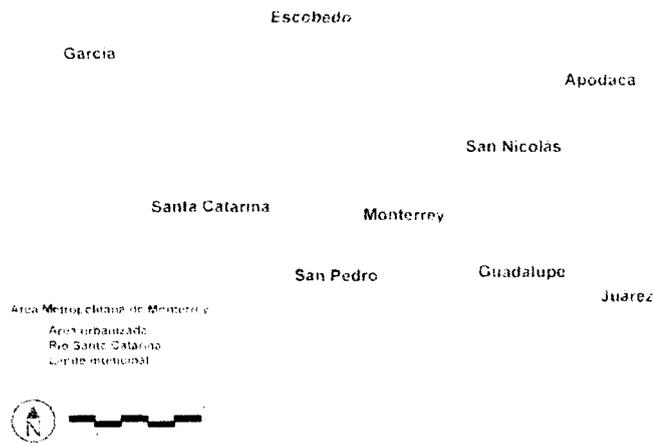


Figura 3.1. Municipios que conforman el Área Metropolitana de Monterrey, 2000.

Fuente: Cartografía Digital, Gobierno del Estado de Nuevo León, 1996 con actualización del CEDEM.

B) USO DE SUELO

El Área Metropolitana de Monterrey (AMM), representa una extensión de 57,241 hectáreas de urbanización (Guajardo, A., Salinas, J. et al, 2004), que integra un aproximado de 1,324 colonias. El municipio que ocupa el mayor porcentaje de urbanización lo representa Monterrey con un 28.36% (16,234 ha), seguido de Apodaca, Guadalupe y Escobedo con 8,512, 7,897 y 6,111 ha, respectivamente.

El uso de suelo predominante en la zona urbana es la vivienda con un 29.77% del total (ver Tabla 3.1) y en segundo lugar se encuentra el área dedicada a la vialidad con 13,639 ha, lo cual representa un 23.8%. Esto significa que más del 50% del uso de suelo de la ciudad representa usos que son típicamente construidos con superficies impermeables. Además de esto, es notable que del total de tierra urbanizada, un 17.56% (10,057 ha) corresponde a



baldíos urbanos, los cuales podrían considerarse como zonas de oportunidad para infiltraciones (ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Usos de suelo del AMM (2000) en hectáreas.

| Concepto | Apodaca | Escobedo | García | Guadalupe | Juárez | Monterrey | San Nicolás | San Pedro | Santa Catarina | AMM |
|--|---------|----------|--------|-----------|--------|-----------|-------------|-----------|----------------|--------|
| Áreas Verdes Urbanas y Espacios Públicos | 47 | 50 | 15 | 222 | 8 | 513 | 160 | 323 | 54 | 1,395 |
| Baldíos | 2,070 | 1,966 | 136 | 1,000 | 260 | 2,303 | 754 | 733 | 834 | 10,057 |
| Vialidad | 1,929 | 1,090 | 24 | 2,350 | 791 | 3,976 | 1,502 | 918 | 1,059 | 13,639 |
| Comercio y Servicios | 469 | 202 | 6 | 543 | 90 | 1,523 | 662 | 327 | 204 | 4,027 |
| Equipamiento | 1,115 | 316 | 412 | 277 | 134 | 924 | 290 | 143 | 124 | 3,734 |
| Industria | 826 | 309 | 815 | 280 | 51 | 796 | 712 | 187 | 892 | 4,868 |
| Vivienda | 1,452 | 2,055 | 478 | 2,415 | 1,216 | 5,478 | 1,738 | 1,479 | 732 | 17,044 |
| No especificado | 604 | 122 | - | 810 | - | 720 | 113 | 63 | 46 | 2,479 |
| Total urbanizado | 8,512 | 6,111 | 1,886 | 7,897 | 2,551 | 16,234 | 5,931 | 4,174 | 3,946 | 57,241 |

Fuente: Guajardo, A. y Salinas, J. et al, 2004.

Es importante considerar que el área de estudio considera solamente los siete municipios integrados al área metropolitana, sin tomar en cuenta a Juárez y García.

C) PRECIPITACIÓN

Para el cálculo de los escurrimientos generados en el AMM, se utilizó la lluvia máxima horaria 0.05 m/h.

3.2 CARTOGRAFÍA Y DATOS UTILIZADOS

Las capas de información de cartografía digital necesarias para el análisis de los escurrimientos afectados por la construcción de vivienda fueron las siguientes:

- Predios y construcciones Datos Vectoriales de la Carta Topográfica del Programa de Modernización Catastral de 1993, que fue actualizado en el año 2000 por el Centro de Desarrollo Estratégico Metropolitano (CEDEM) utilizando los datos vectoriales de escala 1:50,000 y considerando la cartografía censal urbana de los censos económicos de 1999 de INEGI, para los municipios de Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro y Santa Catarina.
- AGEBS División administrativa del INEGI para los municipios de Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro y Santa Catarina.
- Uso de suelo para los municipios de Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro y Santa Catarina. Este tema describe los usos urbanos dividiéndolos de acuerdo a la clasificación propuesta por el CEDEM (Salinas, J. y Guajardo, A. et al 2004).



Las categorías en las cuales clasifica el CEDEM los usos de suelo son:

- Agricultura
 - Áreas Verdes y Espacios Públicos
 - Baldíos
 - Comercio y Servicios
 - Equipamiento
 - Equipamiento y área verde
 - Industria Ligera
 - Industria Mediana
 - Industria Pesada
 - Uso Mixto, Misceláneo, Multifuncional
 - Vivienda
 - Parques Suburbanos
- Ríos del Área Metropolitana de Monterrey
 - Cuencas
 - Edafología
 - Vegetación

3.3 CORRECCIONES PRELIMINARES EN EL COVERAGE

Para poder representar los resultados de agua desplazada y de caracterización de patios lo más cercanos a la realidad se tuvieron que realizar varias correcciones preliminares en algunos de los coverages.

1. Reclasificación de la información. En el coverage de Uso de Suelo, proporcionado por el CEDEM, se encontraron varias clasificaciones que correspondían a predios de vivienda pero que aparecían con otras clasificaciones como “Uso Mixto, Misceláneo, Multifuncional” el cual correspondía a predios de uso compartido entre el habitacional y el comercial. Asimismo en la clasificación de Catastro de uso de suelo comercial aparecían en algunos fraccionamientos, áreas pequeñas que por su traza correspondían típicamente a vivienda. Estos predios fueron reclasificados con el fin de obtener un tema más preciso que fuese solamente dedicado a la vivienda de cada municipio.
2. Predios con la misma clave de AGEB en diferentes municipios. Para obtener el área dedicada a vivienda por AGEB, se detectó que aparecían predios que tenían la misma



clave AGEB pero que se encontraban en diferentes municipios. Para evitar esta discrepancia, se recurrió a un Script para detectar registros duplicados que permitía encontrar estos AGEBS con la misma clave aunque estuviesen en diferentes municipios y sumar los datos de vivienda de sus registros. Esto sirvió para que los datos de densidad de vivienda por AGEB fueran más exactos.

3. Corrección. Se actualizaron algunos predios que en el año 2000 eran considerados como comercio y que por su traza urbana y ubicación eran claramente de uso habitacional. Esto con el fin de tener un coverage que tuviera solamente la vivienda por municipio, tratando de evitar todo tipo de discrepancias con el uso de suelo.
4. Verificación de "Area_lote". Errores en la topología. En varios municipios se detectó que al tratar de obtener el porcentaje de vivienda por lote (densidad) aparecían campos donde se rebasaba el 100% de vivienda construida, esto fue debido a que había errores en la topología, donde las áreas de lote que tenían ciertos registros no eran la sumatoria de todos sus polígonos. Esto se corrigió mediante una sumatoria aparte de todos los predios con la misma clave lote y verificando los que aparecían con porcentajes mayores a 100%
5. Áreas de vivienda construida muy grandes. Al calcular los escurrimientos por municipio, en algunos de los coverages aparecían como áreas construidas, predios muy extensos, en realidad baldíos, los cuales generaban escurrimientos irreales para ser uso de suelo de vivienda, en este caso se depuró el uso de suelo tomando como base su tipología en planta, para desechar los predios muy grandes.
6. Reclasificación patios/jardín. Algunos de los polígonos que la clasificación del CEDEM presentaba como patios eran áreas muy extensas que no podían considerarse con los mismos criterios que los patios pequeños en cuanto a técnicas de infiltración y captación ya que estos predios muy grandes en la mayoría de los casos no corresponderían a patios pavimentados como se infirió que sucedía con una gran parte de los patios pequeños de las viviendas. En este caso se depuraron tomando como base el tamaño del patio, donde los patios mayores a 500 m² se reclasificaron automáticamente como jardines o áreas libres donde se pueden establecer otro tipo de técnicas de manejo de escurrimientos (jardines de lluvia, estanques de retención, etc.).

Es importante considerar todas estas correcciones ya que debido a que los datos tenían los problemas antes mencionados, se tomó mucho tiempo en corregir los coverages para que los datos de escurrimientos generados fuera lo más cercano a la realidad posible. Este tipo de correcciones mencionadas consumió una buena parte del tiempo de estudio.



3. 4 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

A) CÁLCULO DEL AGUA DESPLAZADA

Para mejorar la precisión del cálculo de escurrimientos es necesario establecer una semejanza entre los componentes del áreas urbana que se van a analizar. Para ello primero se identificaron los diversos usos de suelo y luego se estableció su importancia relativa en la superficie urbanizada. Una vez definido esto, se segregó el componente vivienda como el más importante para el análisis y se procedió por municipio a establecer semejanzas en tamaños de lote y área de vivienda construida y área de patios. En función de estas semejanzas se les asigna un comportamiento en caso de lluvia que se refleja en la elección de un coeficiente lluvia y posteriormente en un coeficiente de infiltración definido por los datos de puntos de verificación del INEGI en el tema de Edafología

Revisión de los datos de uso de Suelo proporcionados por el Centro de Desarrollo Estratégico Metropolitano (CEDEM).

La información del CEDEM tomó como base el Programa de Modernización Catastral realizado en 1993. Con base a esta información, el CEDEM actualizó la periferia del Área Metropolitana de Monterrey (AMM) de acuerdo a datos vectoriales escala 1:50,000 y considerando la cartografía censal urbana de los censos económicos de 1999 (INEGI). Además, para esa misma área, se digitalizaron fotografías aéreas escala 75,000, también de 1999 (INEGI). La base de datos de toda el AMM fue complementada con trabajo de campo (2000). Las clasificaciones que presentaba el CEDEM correspondían a lo siguiente:

- Las áreas verdes urbanas y espacios públicos incluyen explanadas, jardines, parques y plazas.
- Los baldíos corresponden a aquéllos con barda y sin barda.
- Comercio y servicios tiene 58 distintos tipos de áreas que van desde aquéllas que proveen alimentos y bebidas hasta aquéllas de venta o consumo.
- Las áreas de equipamientos incluyen las de administración pública, basureros, control ambiental, cultura, educación elemental, media privada y pública, educación superior, instituciones científicas, plantas, estaciones, subestaciones, torres y antenas, así como equipamiento de salud.



- La industria proviene de industria ligera, mediana, pesada y de extracción. Dentro de vivienda se considera el conjunto habitacional horizontal, conjunto habitacional vertical, en proceso de construcción, vivienda multifamiliar y unifamiliar (Salinas, J. y Guajardo, A. 2000).

Después de la depuración de la información de Uso de Suelo, el siguiente paso consistió en establecer la densidad de vivienda para establecer el coeficiente de escurrimiento que se aplicaría para el cálculo del agua desplazada.

En este caso se establecieron dos vertientes para la establecer la densidad de la vivienda:

- Densidad de vivienda por AGEB
- Densidad de vivienda por lote

B) DENSIDAD DE VIVIENDA POR AGEB

Para establecer la densidad de vivienda, en primer lugar se creó un campo nuevo donde se clasificó lo construido de lo no construido de la vivienda. Una vez establecida esta clasificación se tomaron solamente los predios de vivienda construidos de cada municipio para realizar una sumatoria de las áreas construidas por AGEB. Para esto primero se estableció una tabla de identificación con las claves de AGEB y las claves de lote, la cual se unió a la tabla Predios y Construcciones de cada municipio mediante el campo de Clave_lote. Con base en la clave de AGEB se realizó la sumatoria de las áreas construidas de vivienda en cada una de las tablas de los municipios.

Una vez realizado esto, se unieron las tablas de los siete municipios del AMM (Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santa Catarina) en una sola tabla mediante un Script (Table.Append) que se obtuvo de la página de ESRI. Este Script permite unir varias tablas creando una sola que combina los atributos de las mismas (Ver anexo). El siguiente paso consistió en identificar los polígonos que se repetían en la tabla, ya que aparecían en diferentes municipios pero con la misma clave de AGEB, y para obtener el área real de vivienda en estos polígonos, se necesitaba identificarlos y sumar sus área de vivienda. Esto se realizó mediante un Script (Ver anexo).

Estos duplicados una vez identificados se etiquetaron y se realizó una sumatoria independiente de su área de vivienda la cual luego se anexó a la tabla de todos los municipios. La nueva tabla



resultante se unió a la tabla del tema de AGEBS mediante la herramienta Join del ArcView. Una vez realizado esto, se establecieron dos campos nuevos donde se calcularon el escurrimiento mínimo y el escurrimiento máximo por AGEB. Para este cálculo se tomaron los siguientes datos:

- Coeficiente de Escurrimiento
 - Escurrimiento máximo :0.95
 - Escurrimiento mínimo: 0.75
- Lluvia máxima horaria (m/h): Según lo explicado en la sección de clima en el apartado de precipitación pluvial el valor más alto para una lluvia máxima horaria es de 0.0500 m/h.
- Área: se tomó el dato producto de la sumatoria de áreas de vivienda construida por AGEB.

Debido a que el resultado de este análisis era demasiado amplio, se decidió realizar un análisis de escurrimiento a nivel de lote, ya que para el manejo de escurrimientos había que actuar en la fuente, los mapas generados por el análisis de AGEB se utilizaron como base para el siguiente cálculo.

C) DENSIDAD DE VIVIENDA POR LOTE

El siguiente método para el cálculo de agua desplazada se realizó a nivel de lote para establecer, según la densidad de vivienda construida por lote, el coeficiente de escurrimiento que se aplicaría en la fórmula del Método Racional. El primer paso consistió en establecer por municipio el área de vivienda construida con respecto al lote. Para obtener la sumatoria de las áreas construidas de cada lote, se recurrió a la herramienta de Sumatoria del ArcView

Se encontraron errores de topología en los datos de las áreas de lote en todos los municipios estudiados, donde la sumatoria de las áreas de todos los polígonos con la misma clave lote no correspondía al área que aparecía dentro del campo de "Área de lote". La importancia de corregir estos errores radica en que alteraban de manera dramática los escurrimientos generados. En este caso se corrigieron sumando todos los polígonos con la misma clave y comparando estos datos con los datos originales. Los municipios que presentaban mayores



errores fueron Monterrey y Guadalupe y el que presentó menos errores fue San Pedro. Para corregir estos datos se siguieron los siguientes pasos:

1. Se realizó la sumatoria de las áreas de los predios de vivienda clasificados como construidos que tuviesen la misma clave lote
2. Se calculó el porcentaje de construcción por lote (área de vivienda /área de lote)
3. Se encontraron lotes donde el porcentaje de construcción superaba el 100% de ocupación. En estos casos, se etiquetaron estos polígonos y se recurrió a una verificación de los datos del campo "área_lote".
4. La verificación se realizó sumando todos los polígonos con la misma clave de lote, sin tomar en cuenta si éstos estuviesen construidos o no.
5. Este nuevo dato se corrigió en el campo de "Área_lote" de la tabla de origen

Una vez realizado esta corrección, se prosiguió al cálculo de agua desplazada con base en la densidad de vivienda por lote. Para esto se volvió a utilizar el Método Racional con los siguientes datos:

- *Coefficiente de Escurrimiento*

En este caso se eligió aplicar los siguientes coeficientes:

Tabla 3.2.

Coefficientes de Escurrimientos aplicados según la densidad de construcción por lote.

| Densidad de construcción | Porcentaje de construcción por lote (%) | Coefficiente aplicado |
|--------------------------|---|-----------------------|
| Baja | 0-20 % | 0.75 |
| Media | 21-60% | 0.85 |
| Alta | 61-100% | 0.95 |

- *Lluvia máxima horaria (m/h)*: Según lo explicado anteriormente en AMM tiene una lluvia máxima horaria de 0.0500 m/h.
- *Área*: se tomó el dato de áreas de vivienda construida por lote.

Para el cálculo del agua desplazada por la vivienda se recurrió al método racional que se explicó en apartados anteriores.

Por último, una vez que se calculó el agua desplazada, se encontraron errores en la clasificación de Catastro en cuanto a Uso de Suelo, donde aparecían como áreas de vivienda construida áreas muy grandes, las cuales generaban escurrimientos irreales, por lo cual se



tuvieron que remover estos predios que se habían clasificado como vivienda construida, cuando en realidad solo una mínima porción del predio estaba realmente ocupado por vivienda.

D) CARACTERIZACIÓN DE PATIOS

Para encontrar la tipología de patios que se presentaba con mayor frecuencia dentro de cada municipio se clasificaron según su tamaño, comparando el número de veces que este tamaño de patio correspondía a la totalidad de conteo de polígonos clasificados como "patio". Este proceso se realizó mediante la herramienta de Query del ArcView. Los patios se clasificaron de rubros de porcentajes de 10 en 10 por cada municipio, los resultados encontrados se ejemplificaron en tablas de excel para todos los datos y en gráficas. Esta caracterización se realizó con el fin de encontrar las áreas de dimensiones de área libre de lote, para la aplicación de diferentes sistemas de captación de agua con respecto a su tamaño.

E) ESCURRIMIENTO GENERADO POR LOS PATIOS

Se tomaron los patios como un área de oportunidad para la descarga de escurrimientos, para lo cual se realizó un análisis especial. Se partió de una clasificación inicial propuesta por el CEDEM.

En este caso se tomó la información proporcionada por el CEDEM, donde los datos de construcción se habían clasificado de la siguiente manera con base al número de niveles de los polígonos:

- Baldío
- Nivel
- Patio

En esta clasificación se encontraron predios construidos y predios sin construcción, desde el nivel cero hasta n niveles, el nivel cero aparece como desocupado (sin construcción). Hay dos variantes con ese identificador, los totalmente baldíos (sin construcción en el lote) y los polígonos que se encuentran entre el límite de lote y el límite de construcción. Se hizo una selección del nivel 1 al n nivel considerando como construcciones. El problema radicó en distinguir entre el baldío total y el patio. Cuando se seleccionaba el nivel cero, se identificaban



tanto las áreas desocupadas totalmente como las áreas dentro de los predios que podían ser patios o jardines.

Para diferenciarlos se recurrió a la clave catastral. A todos los que tenían cero construcciones se les dio un identificador, para aplicarles un proceso mediante la clave catastral. Luego, se corrió un script de “duplicados” para buscar dentro de las tablas registros repetidos. En el predio que tenía niveles y áreas construidas se encontraban claves catastrales idénticas (niveles/duplicados). A los duplicados, se les hizo una segunda selección y se les identificó como patios, mientras que los predios que no aparecían como duplicados se consideraron baldíos.

Utilizando como partida esta clasificación del CEDEM de patios, para el estudio, se prosiguió a una segunda reclasificación. Las áreas que se consideraban como patios correspondían a todos los polígonos no construidos que se encontraron dentro de un lote con construcción de vivienda. Debido a que estos predios también correspondían a áreas muy extensas que pudiesen ser considerados jardines donde si hay una captación de escurrimiento, se depuró esta información de la siguiente manera:

En primer lugar, se tomó como base el área del polígono considerado como patio. Se eliminaron como patios todos los polígonos que tuviesen un área mayor a 500 m². Este proceso se realizó mediante un Query y reclasificando como “Jardín” estos predios, ya que se supone que al ser de este tamaño es poco probable que estuviesen pavimentados en su totalidad. Una razón adicional de haber separado estos patios de mayor tamaño es que las estrategias de manejo pluvial van a diferir de las aplicadas en las áreas de captación más pequeñas. En patios o áreas de 500 m² y mayores se pueden aplicar estanques de retención, jardines de lluvia y otras similares.

Una vez que se hubiesen reclasificado los polígonos grandes, se calculó el escurrimiento generado por los patios, infiriendo que éstos se encontraban pavimentados en su totalidad, por lo cual se utilizó un coeficiente de escurrimiento de 0.95. Con este dato se aplicó el Método Racional explicado anteriormente para obtener el agua desplazada por estas áreas. Para este cálculo se utilizó como lluvia máxima horaria 0.0500 m/h y el área correspondiente al patio.



F) EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL SUELO

Una vez que se caracterizaron los patios en cuanto a tamaños y localización, se analizaron los tipos de suelo del Área Metropolitana de Monterrey, con el fin de encontrar las zonas donde se pudiesen proponer áreas de infiltración. Para esto se digitalizaron los Puntos de Verificación correspondientes a las siguientes cartas Edafológicas:

Carta Edafológica GI4C25

Carta Edafológica GI4C26

Carta Edafológica GI4C16

Carta Edafológica GI4C15

La fecha de Verificación de campo de estos puntos corresponde a julio de 1976 y se refieren a la Zona 77 realizados en una escala 1:50,000. Se digitalizaron un total de 81 puntos. De éstos solamente 23 tenían información relevante al perfil de suelo, es decir, la información correspondiente a la profundidad del drenaje, los componentes del suelo en cuanto a limo, arcilla y arena en porcentaje que presenta el suelo en los primeros 60 cm, que son los que captan el agua al caer lluvia.

También para este análisis se utilizó el tema de Edafología proporcionado por el Centro de Desarrollo Estratégico Metropolitano (CEDEM), el cual se clasificó para su uso en el tipo de textura. Esta característica del suelo maneja la siguiente simbología:

Textura

- 1- gruesa
- 2- media
- 3- fina

Una vez que se digitalizaron los puntos y se realizó un cruce de variables en cuanto a la textura y el tipo de suelo (arenoso/arcilloso) se obtuvo un mapa donde se identifican las zonas con mayor capacidad de infiltración. Uno de los problemas en este punto resultó ser la falta de datos acerca de los componentes de arcilla, limo y arena de los puntos de verificación, así como la falta de puntos de verificación dentro de las áreas urbanizadas.



G) PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE INFILTRACIÓN, DETENCIÓN Y CAPTACIÓN.

Con los resultados de las áreas susceptibles de infiltración, el escurrimiento generado y la configuración de patios del AMM, el siguiente paso consistió en realizar una investigación bibliográfica acerca de las estrategias de administración de escurrimientos existentes y su factibilidad de aplicación.

H) PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE INFILTRACIÓN, DETENCIÓN Y CAPTACIÓN PARA EL AMM.

Una vez realizada la investigación bibliográfica, se propusieron estrategias específicas de control de escurrimientos para el AMM. Dado que los resultados encontrados en el análisis de evaluación de la capacidad de infiltración del suelo resultaron en un suelo poco adecuado a la infiltración, se recomienda el uso de sistemas de captación de agua de lluvia.

Con base en la tipología encontrada en el análisis de densidad y tamaño de la vivienda por municipio, se realizó el cálculo del área desplazada por el tamaño de la vivienda que representa el mayor porcentaje por municipio.

Esto se realizó de la siguiente manera:

- Área impermeable de la vivienda más común en el municipio x Lluvia máxima horaria (0.05m/h) = Escurrimiento generado.

Dado que es probable que solamente el 60% de la lluvia caiga en la mayor parte de los días del año se hizo el siguiente cálculo:

Escurrimiento generado x 0.60 = Escurrimiento más probable.

Con este escurrimiento más probable y con base en el Catálogo de Costos de Construcción y Edificación BIMSA (septiembre 2004), se recomendó un recipiente de captación para este escurrimiento y el costo aproximado de éste.

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



TECNOLÓGICO
DE MONTERREY.

ALTERACIONES PRODUCIDAS EN LOS
ESCURRIMIENTOS NATURALES POR LA
CONSTRUCCION DE VIVIENDA EN EL AREA
METROPOLITANA DE MONTERREY

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA
Y ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION
(EDIFICACION Y VIVIENDA)

POR:

ODRA MONIKA CARDENAS SPERLING

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 2004

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY**

CAMPUS MONTERREY

**DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY.**

**ALTERACIONES PRODUCIDAS EN LOS
ESCURRIMIENTOS NATURALES POR LA
CONSTRUCCION DE VIVIENDA EN EL AREA
METROPOLITANA DE MONTERREY**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERIA
Y ADMINISTRACION DE LA CONSTRUCCION
(EDIFICACION Y VIVIENDA)**

POR:

ODRA MONIKA CARDENAS SPERLING

MONTERREY, N. L.

DICIEMBRE DE 2004

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

**CAMPUS MONTERREY
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

**Alteraciones producidas en los escurrimientos naturales por la construcción de vivienda
en el Área Metropolitana de Monterrey.**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN
(EDIFICACIÓN Y VIVIENDA)**

POR:

ODRA MONIKA CÁRDENAS SPERLING

MONTERREY, N.L.

DICIEMBRE DE 2004

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

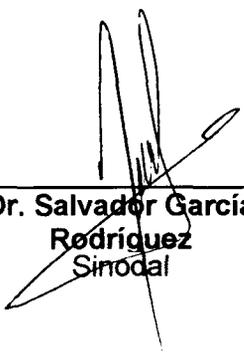
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por la Arq. Odra Monika Cárdenas Sperling sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias especialidad en Ingeniería y Administración de la
Construcción**

COMITÉ DE TESIS:


M. en C. Maria del Pilar Noriega Crespo
Asesor


Dr. Salvador García
Rodríguez
Sinodal


M. en C. Edmundo José
Reyes Guzmán
Sinodal


Ing. Edi Morales Tovar
Sinodal

Aprobado:


Dr. Federico Viramontes Brown
Director del Programa de Graduados en Ingeniería

Diciembre, 2004

DEDICATORIA

A mis padres, José y Monika, por apoyarme siempre y ayudarme a lograr mis metas.

A Miguel por su amor incondicional.

A mis hermanos, Brigitta y Ruy.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora Pilar Noriega por sus consejos, comprensión y apoyo para el desarrollo de esta tesis.

A mis sinodales Dr. Salvador García y Edmundo Reyes por dar parte de su tiempo para la lectura y revisión de la presente tesis.

A Edi Morales por su tiempo, dedicación y sobre todo por su amistad.

Al Centro de Desarrollo Estratégico Metropolitano (CEDEM) por proporcionar la cartografía para el presente estudio.

A mis compañeros y amigos Karime y Pepe Grajales, Denisse Terrón, Alejandro Acosta, Yesi Castillo, Armando Álvarez, Manuel Terminel, Amanda Salan, Paola Medrano, Lucero Elizalde y Ricardo Reynoso por su apoyo, ayuda y compañía durante mi estancia en la maestría y en el CDC.

ÍNDICE

Alteraciones producidas en los escurrimientos naturales por la construcción de vivienda en el Área Metropolitana de Monterrey.

| | | |
|------|---|----|
| I. | DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN. | |
| 1.1 | Introducción. | 1 |
| 1.2 | Resumen. | 2 |
| 1.3 | Antecedentes. | |
| a. | Tipos de inundaciones. | 5 |
| b. | El Área Metropolitana de Monterrey. | 6 |
| c. | Definición del Problema. | 9 |
| d. | Objetivos. | 9 |
| e. | Justificación. | 11 |
| f. | Hipótesis. | 17 |
| g. | Resultados Esperados | 17 |
| II. | MARCO TEÓRICO. | |
| 2.1 | Conceptos Generales | |
| a. | El ciclo hidrológico. | 19 |
| b. | La infiltración. | 20 |
| c. | El Área Metropolitana de Monterrey y las áreas impermeables. | 25 |
| d. | La precipitación pluvial en el AMM. | 26 |
| e. | Cuencas o vertientes. | 27 |
| f. | El método racional. | 28 |
| g. | El suelo. | 28 |
| III. | METODOLOGÍA. | |
| 3.1 | Descripción del área de estudio. | |
| a. | Ubicación. | 31 |
| b. | Uso de suelo. | 31 |
| c. | Precipitación. | 32 |
| 3.2 | Cartografía y Datos Utilizados. | 32 |
| 3.3 | Correcciones preliminares en el Coverage. | 33 |
| 3.4 | Descripción de Metodología. | |
| a. | Cálculo del agua desplazada. | 35 |
| b. | Densidad de la vivienda por AGEB. | 36 |
| c. | Densidad de la vivienda por lote. | 37 |
| d. | Caracterización de patios. | 39 |
| e. | Escurrimiento Generado por los patios. | 39 |
| f. | Evaluación de la capacidad de infiltración del suelo. | 41 |
| g. | Propuesta de estrategias de infiltración, detención y captación de escurrimientos. | 42 |
| h. | Propuesta de estrategias de infiltración, detención y captación de escurrimientos para el AMMM. | 42 |
| IV. | RESULTADOS POR MUNICIPIO | |
| 4.1 | Apodaca. | |
| a. | Uso de suelo. | 44 |
| b. | Tamaño y Densidad de la vivienda. | 44 |
| c. | Escurrimientos. | 45 |

| | |
|---|-----|
| d. Configuración de patios. | 46 |
| 4.2 Escobedo. | |
| a. Uso de suelo. | 51 |
| b. Tamaño y Densidad de la vivienda. | 51 |
| c. Escurrimientos. | 52 |
| d. Configuración de patios. | 53 |
| 4.3 Guadalupe. | |
| a. Uso de suelo. | 58 |
| b. Tamaño y Densidad de la vivienda. | 58 |
| c. Escurrimientos. | 59 |
| d. Configuración de patios. | 59 |
| 4.4 Monterrey. | |
| a. Uso de suelo. | 65 |
| b. Tamaño y Densidad de la vivienda. | 65 |
| c. Escurrimientos. | 66 |
| d. Configuración de patios. | 67 |
| 4.5 San Nicolás de los Garza. | |
| a. Uso de suelo. | 73 |
| b. Tamaño y Densidad de la vivienda. | 73 |
| c. Escurrimientos. | 74 |
| d. Configuración de patios. | 75 |
| 4.6 San Pedro. | |
| a. Uso de suelo. | 80 |
| b. Tamaño y Densidad de la vivienda. | 80 |
| c. Escurrimientos. | 81 |
| d. Configuración de patios. | 82 |
| 4.7 Santa Catarina. | |
| a. Uso de suelo. | 88 |
| b. Tamaño y Densidad de la vivienda. | 88 |
| c. Escurrimientos. | 90 |
| d. Configuración de patios. | 90 |
| 4.8 Resultados comparativos del análisis de escurrimientos del AMM. | |
| a. Uso de suelo. | 96 |
| b. Tamaño y Densidad de la vivienda. | 97 |
| c. Escurrimientos. | 97 |
| d. Configuración de patios. | 99 |
| | |
| V. CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL SUELO. | |
| 5.1 Apodaca | 104 |
| 5.2 Escobedo | 108 |
| 5.3 Guadalupe | 111 |
| 5.4 Monterrey | 114 |
| 5.5 San Nicolás de los Garza | 118 |
| 5.6 San Pedro | 119 |
| 5.7 Santa Catarina | 121 |
| 5.8 Zonas susceptibles de infiltración | 123 |
| | |
| VI. TÉCNICAS DE CAPTACIÓN, RETENCIÓN E INFILTRACIÓN. | |
| 6.1 El Desarrollo de Bajo Impacto (DBI) | 126 |
| 6.2 Coeficiente de Escurrimiento | 129 |
| 6.3 Tiempo de concentración | 131 |
| 6.4 Reducción del volumen de escurrimiento | 133 |
| 6.5 Prácticas Integradas de Administración de Escurrimientos | |
| a. Bioretención | 134 |

| | |
|---|-----|
| b. Pozos secos | 136 |
| c. Canales desarenadores | 137 |
| d. Estructuras de retención | 138 |
| e. Tanque para almacenamiento de agua de lluvia | 140 |
| f. Cisterna | 141 |
| g. Trinchera de infiltración | 141 |
| h. Cubierta vegetal | 142 |
| i. Pavimento permeable | 143 |
| j. Xeriscapía | 145 |
| VII. PRÁCTICAS INTEGRADAS DE ADMINISTRACIÓN DE ESCURRIMIENTOS PARA EL AMM. | |
| 7.1 Apodaca y Escobedo. | 153 |
| 7.2 Guadalupe, San Nicolás y Santa Catarina. | 155 |
| 7.3 Monterrey. | 156 |
| 7.4 San Pedro. | 158 |
| VIII. CONCLUSIONES | 161 |
| IX. RECOMENDACIONES | 165 |
| X. BIBLIOGRAFÍA | 168 |
| XI. ANEXOS | 172 |

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Cambios a los escurrimientos naturales producto de la urbanización. | 1 |
| Figura 1.2. Extrapolación de los valores de lluvia horaria modal. | 7 |
| Figura 1.3. Trayectorias de huracanes que han afectado al AMM (1909-2000). | 9 |
| Figura 1.4. Costo del control de escurrimientos con respecto a la distancia de la fuente. | 12 |
| Figura 1.5. Inversión en abastecimiento del agua del AMM. | 15 |

CAPÍTULO 2

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. El ciclo hidrológico. | 19 |
| Figura 2.2. Efecto de la urbanización en la escorrentía de tormentas. | 22 |
| Figura 2.3. Efecto de la urbanización en la escorrentía de tormentas. | 22 |
| Figura 2.4. Efecto de las áreas impermeables en los escurrimientos naturales. | 24 |
| Figura 2.5. Superficie de suelo dedicado a la vivienda en el Área Metropolitana de Monterrey (2000). | 25 |
| Figura 2.6. Horizontes que constituyen el suelo. | 29 |
| Figura 2.7. Diagrama del fenómeno lateral de infiltración en suelos arcillosos y arenosos. | 30 |

CAPÍTULO 3

| | |
|---|----|
| Figura 3.1. Municipios que conforman el Área Metropolitana de Monterrey, 2000. | 31 |
|---|----|

CAPÍTULO 4

| | |
|---|----|
| Figura 4.1. Tamaño de la vivienda en el Municipio de Apodaca. | 44 |
| Figura 4.2. Densidad de construcción del Municipio de Apodaca. | 45 |
| Figura 4.3. Escurrimientos generados por la vivienda en el Municipio de Apodaca. | 47 |
| Figura 4.4. Configuración de patios del Municipio de Apodaca. | 46 |
| Figura 4.5. Tamaños de patios en el Municipio de Apodaca. | 48 |
| Figura 4.6. Escurrimientos generados por los patios de la vivienda en el Municipio de Apodaca. | 49 |
| Figura 4.7. Escurrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Apodaca. | 50 |
| Figura 4.8. Tamaño de la vivienda en el Municipio de Escobedo. | 51 |
| Figura 4.9. Densidad de ocupación de lote de la vivienda en el Municipio de Escobedo. | 52 |
| Figura 4.10. Escurrimientos generados por la vivienda en el Municipio de Escobedo. | 54 |
| Figura 4.11. Configuración de patios del Municipio de Escobedo. | 53 |
| Figura 4.12. Tamaños de patios en el Municipio de Escobedo. | 55 |
| Figura 4.13. Escurrimientos generados por los patios en el Municipio de Escobedo. | 56 |
| Figura 4.14. Escurrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Escobedo. | 57 |
| Figura 4.15. Tamaño de la vivienda en el Municipio de Guadalupe. | 58 |
| Figura 4.16. Densidad de la vivienda en el Municipio de Guadalupe. | 59 |
| Figura 4.17. Escurrimientos generados por la vivienda en el Municipio de Guadalupe. | 61 |
| Figura 4.18. Configuración de los patios de la vivienda en el Municipio de Guadalupe. | 60 |
| Figura 4.19. Tamaños de patios en el Municipio de Guadalupe. | 62 |
| Figura 4.20. Escurrimientos generados por los patios en el Municipio de Guadalupe. | 63 |
| Figura 4.21. Escurrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Guadalupe. | 64 |
| Figura 4.22. Tamaño de la vivienda en el Municipio de Monterrey. | 65 |

| | |
|--|-----|
| Figura 4.23. Densidad de construcción del Municipio de Monterrey. | 66 |
| Figura 4. 24. Escurrimientos generados por la vivienda en el Municipio de Monterrey. | 69 |
| Figura 4.25. Configuración de patios del Municipio de Monterrey. | 67 |
| Figura 4.26. Tamaño de los patios de la vivienda en el Municipio de Monterrey. | 70 |
| Figura 4.27. Escurrimientos generados por los patios de la vivienda en el Municipio de Monterrey. | 71 |
| Figura 4.28. Escurrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Monterrey. | 72 |
| Figura 4.29. Tamaño de la vivienda del Municipio de San Nicolás. | 73 |
| Figura 4.30. Densidad de construcción del Municipio de San Nicolás. | 74 |
| Figura 4.31. Escurrimientos generados por la vivienda en el Municipio de San Nicolás. | 76 |
| Figura 4.32. Configuración de patios del Municipio de San Nicolás. | 75 |
| Figura 4.33. Tamaño de los patios de la vivienda en el Municipio de San Nicolás. | 77 |
| Figura 4.34. Escurrimientos generados por los patios de la vivienda en el Municipio de San Nicolás. | 78 |
| Figura 4.35. Escurrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de San Nicolás. | 79 |
| Figura 4.36. Tamaño de la vivienda del Municipio de San Pedro. | 80 |
| Figura 4.37. Densidad de construcción del Municipio de San Pedro. | 81 |
| Figura 4. 38. Escurrimientos generados por la vivienda en el Municipio de San Pedro. | 84 |
| Figura 4.39. Configuración de patios del Municipio de San Pedro. | 82 |
| Figura 4.40. Tamaño de los patios de la vivienda en el Municipio de San Pedro. | 85 |
| Figura 4.41. Escurrimientos generados por los patios de la vivienda en el Municipio de San Pedro. | 86 |
| Figura 4.42. Escurrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de San Pedro. | 87 |
| Figura 4.43. Tamaño de la vivienda del Municipio de Santa Catarina. | 89 |
| Figura 4.44. Densidad de construcción del Municipio de Santa Catarina. | 89 |
| Figura 4.45. Escurrimientos generados por la vivienda en el Municipio de Santa Catarina. | 92 |
| Figura 4.46. Configuración de patios del Municipio de Santa Catarina. | 90 |
| Figura 4.47. Tamaño de los patios de la vivienda en el Municipio de Santa Catarina. | 93 |
| Figura 4.48. Escurrimientos generados por los patios de la vivienda en el Municipio de Santa Catarina. | 94 |
| Figura 4.49. Escurrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Santa Catarina. | 95 |
| Figura 4.50. Superficie urbanizada dedicada a la vivienda en el AMM. | 96 |
| Figura 4.51. Tamaño de la vivienda en el AMM. | 97 |
| Figura 4.52. Escurrimiento máximo generado por la vivienda en los municipios del AMM. | 98 |
| Figura 4.53. Escurrimiento promedio generado por la vivienda en el AMM. | 98 |
| Figura 4.54. Escurrimiento máximo generado por los patios en el AMM. | 99 |
| Figura 4.55. Escurrimiento promedio de los patios en el AMM. | 100 |

CAPÍTULO 5

| | |
|--|-----|
| Figura 5.1. Representación visual de los tamaños de la arena, limo y arcilla. | 102 |
| Figura 5.2. Triángulo textural de la USDA. | 102 |
| Figura 5.3. Puntos de verificación digitalizados en el AMM de las Cartas Edafológicas de INEGI. | 103 |
| Figura 5.4. Puntos de verificación en el Municipio de Apodaca. | 105 |
| Figura 5.5. Puntos de verificación en el Municipio de Escobedo. | 109 |
| Figura 5.6. Puntos de verificación en el Municipio de Guadalupe. | 112 |
| Figura 5.7. Puntos de verificación en el Municipio de Monterrey. | 115 |
| Figura 5.8. Puntos de verificación en el Municipio de San Nicolás. | 119 |
| Figura 5.9. Puntos de verificación en el Municipio de San Pedro Garza García. | 120 |

Figura 5.10. Puntos de verificación en el Municipio de Santa Catarina. 122

Figura 5.11. Puntos de verificación con capacidad de infiltración en el AMM. 123

CAPÍTULO 6

Figura 6.1. Reducción del volumen y el pico de escurrimientos al aplicar técnicas de desarrollo de bajo impacto. 130

Figura 6.2. Reducción del volumen y el pico de escurrimientos al aplicar técnicas de desarrollo de bajo impacto. 132

Figura 6.3. Sistema de bioretención y sus componentes. 136

Figura 6.4. Pozo seco. 137

Figura 6.5. Canal desarenador. 138

Figura 6.6. Estructura de retención seca. 139

Figura 6.7. Estructura de retención húmeda. 139

Figura 6.8. Tanque para almacenamiento de agua de lluvia. 140

Figura 6.9. Cisterna para almacenamiento de agua de lluvia. 141

Figura 6.10. Trinchera de infiltración. 142

Figura 6.11. Cubierta vegetal. 143

Figura 6.12. Pavimentos Permeables. 144

CAPÍTULO 7

Figura 7.1. Tamaño de la vivienda en los municipios del Área Metropolitana de Monterrey. 150

Figura 7.2. Tamaño de los patios de la vivienda en los municipios del Área Metropolitana de Monterrey. 151

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

| | |
|---|----|
| Tabla 1.1. Coeficientes de escurrimiento de acuerdo a la superficie. | 3 |
| Tabla 1. 2. Densidad de las ciudades de Monterrey y México, DF. | 11 |
| Tabla 1.3. Variación de las precipitaciones pluviales (mm/año). Estación Observatorio. | 13 |
| Tabla 1.4. Fuentes de Abastecimiento del AMM 1910-2004. | 14 |
| Tabla 1.5. Consumo diario de agua por habitante. | 14 |

CAPITULO 2

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Comparación de la escorrentía entre un estacionamiento y una zona sin desarrollo. | 23 |
| Tabla 2.2. Superficie municipal ocupada por la vivienda (en hectáreas). | 26 |
| Tabla 2.3. Clasificación de los suelos. | 30 |

CAPITULO 3

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1. Usos de suelo del AMM (2000) en hectáreas. | 32 |
| Tabla 3.2. Coeficientes de Escurrimientos aplicados según la densidad de construcción por lote. | 38 |

CAPITULO 4

| | |
|--|----|
| Tabla 4.1. Tabla comparativa del uso de suelo habitacional en el AMM. | 96 |
| Tabla 4.2 . Tamaño y ocupación de lote de la vivienda en el AMM. | 97 |
| Tabla 4.3 . Configuración de patios en el AMM. | 99 |

CAPÍTULO 5

| | |
|---|-----|
| Tabla 5.1. Puntos de verificación en el Municipio de Apodaca de la Carta G 14 C26. | 106 |
| Tabla 5.2. Puntos de verificación en el Municipio de Apodaca de la Carta G14 C16. | 107 |
| Tabla 5.3. Puntos de verificación en el Municipio de Escobedo de la Carta G 14 C15. | 110 |
| Tabla 5.4. Puntos de verificación en el Municipio de Escobedo de la Carta G 14 C15. | 111 |
| Tabla 5.5. Puntos de verificación en el Municipio de Monterrey de la Carta G 14 C26. | 113 |
| Tabla 5.6. Puntos de verificación en el Municipio de Monterrey de la Carta G 14 C26. | 116 |
| Tabla 5.7. Puntos de verificación en el Municipio de San Pedro de la Carta G 14 C25. | 121 |

CAPÍTULO 6

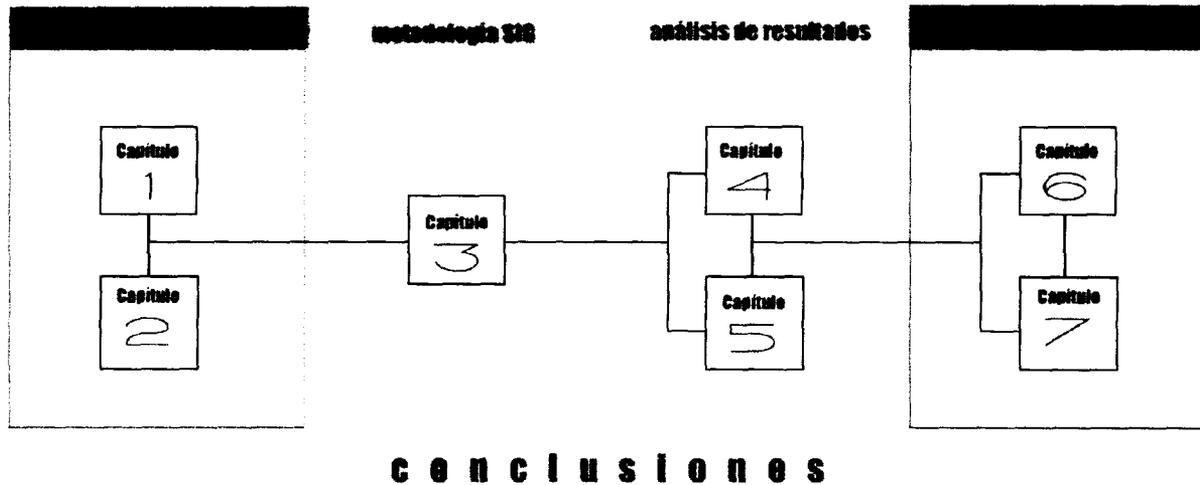
| | |
|---|-----|
| Tabla 6.1. Relación entre técnicas de LID y coeficiente de escurrimiento. | 131 |
| Tabla 6.2. Relación entre técnicas de LID y tiempo de concentración. | 133 |
| Tabla 6.3. Comparación de las limitantes del sitio de las alternativas de LDI. | 146 |

CAPÍTULO 7

| | |
|--|-----|
| Tabla 7.1. Tamaño de construcción de la vivienda en el AMM. | 148 |
| Tabla 7.2. Tamaño de los patios en el AMM. | 149 |
| Tabla 7.3. Porcentajes correspondientes al tamaño de vivienda en los Municipios de Apodaca y Escobedo. | 153 |
| Tabla 7.4. Alternativas de retención de agua de lluvia con respecto al tamaño de la vivienda en los Municipios de Escobedo y Apodaca. | 154 |
| Tabla 7.5. Porcentajes correspondientes al tamaño de vivienda en los Municipios de Guadalupe, San Nicolás y Santa Catarina. | 155 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 7.6. Alternativas de retención de agua de lluvia con respecto al tamaño de la vivienda en los Municipios de Guadalupe, San Nicolás y Santa Catarina. | 156 |
| Tabla 7.7. Porcentajes correspondientes al tamaño de vivienda en el Municipio de Monterrey. | 157 |
| Tabla 7.8. Alternativas de retención de agua de lluvia con respecto al tamaño de la vivienda en Monterrey. | 157 |
| Tabla 7.9. Porcentajes correspondientes al tamaño de vivienda en el Municipio de San Pedro. | 158 |

MODELO CONCEPTUAL



El trabajo de investigación presenta 4 fases principales:

1. Marco teórico. Conformado por los capítulos 1 y 2
2. Metodología de análisis del uso del SIG. Capítulo 3
3. Análisis de los resultados obtenidos con el SIG para cada municipio, que se presenta en los capítulos 4 y 5
4. Evaluación de alternativas y propuesta, que se especifican en los capítulos 6 y 7.

La última parte de la tesis son las conclusiones y recomendaciones, las cuales son producto de cada una de las cuatro etapas antes mencionadas.



IV. RESULTADOS POR MUNICIPIO

A continuación se presentan los resultados del análisis de escurrimientos generados por la vivienda el cual se realizó mediante un Sistema de Información Geográfico (SIG) por cada uno de los municipios. En este análisis se detallan los siguientes aspectos de cada uno de los municipios del Área Metropolitana de Monterrey:

- Uso de Suelo.
- Tamaño de la vivienda.
- Densidad de la vivienda.
- Escurrimiento generado por la vivienda.
- Configuración de los patios.

Asimismo, se presentan los mapas desarrollados con esta herramienta como parte del análisis. Los municipios que comprende este estudio son Apodaca, Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás, San Pedro y Santa Catarina.

Finalmente, se presenta un estudio comparativo de los aspectos analizados.

4.1 APODACA

A) USO DE SUELO

El Municipio de Apodaca muestra una clara zonificación de sus usos de suelo. Existen grandes áreas dentro del municipio que están dedicadas a zonas fabriles, lo cual le da al municipio una vocación industrial. El área dedicada a vivienda en este municipio es de 1452 ha, lo cual representa un 17.85% del total de 8512 ha urbanizadas de Apodaca. Hay 44.77 hectáreas de viviendas habitadas (Noriega, P. et al 2004b). La ubicación de estas zonas de vivienda se identifica claramente en el antiguo casco municipal, y en algunas zonas aledañas a los municipios de Escobedo y Guadalupe.

B) TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA VIVIENDA

Dado que Apodaca es uno de los municipios que tiene mayor crecimiento, se observa en este municipio una proliferación de viviendas de interés social. En la Figura 4.1 se puede notar que los dos tamaños de la vivienda que predominan en el municipio son de 40 a 60 m² (41.73%) y 60 a 80 m² correspondientes a un 17.79% (ver Figura 4.1). Estos rangos pertenecen propiamente a las viviendas de interés social que han proliferado en ciertas zonas del municipio.

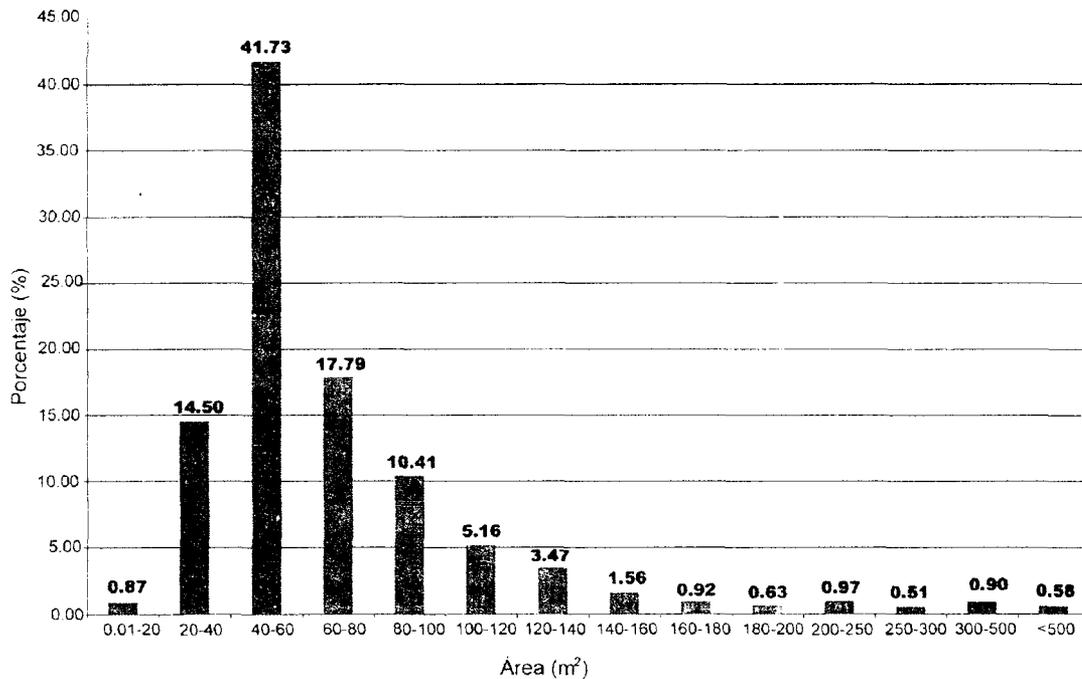


Figura 4.1. Tamaño de la vivienda en el Municipio de Apodaca.

En cuanto a la densidad de la vivienda, al realizar el conteo se encontró que la mayoría de los de los lotes muestran una ocupación del 50 a 60 por ciento (43,9327 lotes contabilizados). Esto significa que aún muchos de los lotes pueden albergar alguna estrategia de infiltración al tener la mitad de su suelo disponible (ver Figura 4.2). Sin embargo hay que notar que los lotes de vivienda de interés social aparecen desocupados porque consideran que la vivienda tiende a crecer con el ciclo de vida de sus ocupantes, por lo cual estas áreas seguramente están planeadas para auto construirse en un futuro.

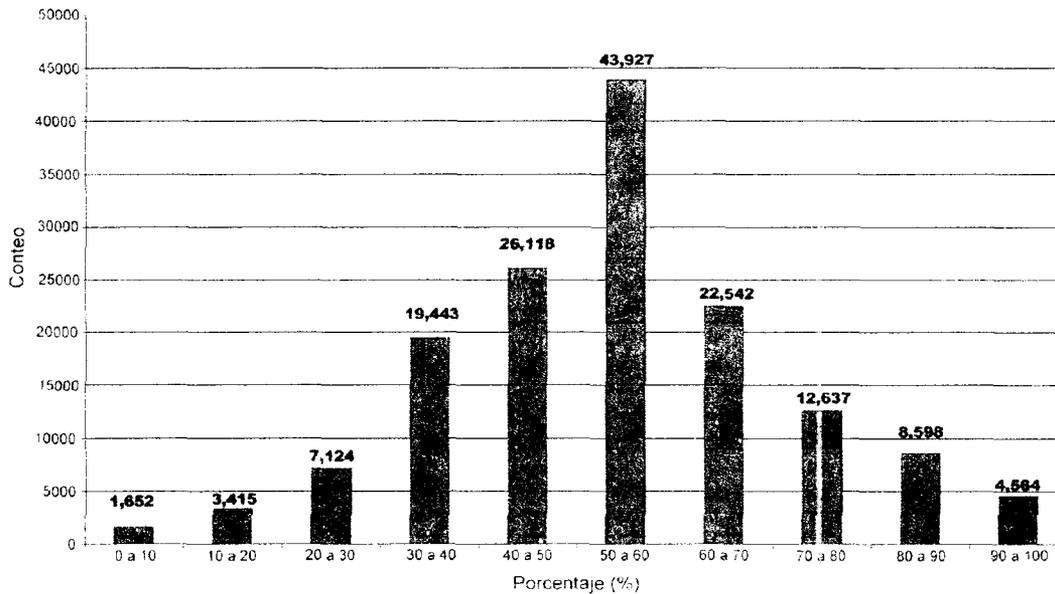


Figura 4.2. Densidad de construcción del Municipio de Apodaca.

C) ESCURRIMIENTOS

Para encontrar el gasto generado por estas edificaciones, como se explicó en el Capítulo 3, se aplicó el Método Racional, aplicando un coeficiente diferente según el porcentaje de ocupación. Para la baja densidad (de 0 a 20% de ocupación de lote) se utilizó el coeficiente de 0.75. En el caso de densidad media (de 21 a 60%) de aplicó 0.85 y finalmente para la alta densidad (61 a 100% de ocupación de lote) un coeficiente de 0.95. En el caso de Apodaca, sus viviendas presentan con mayor frecuencia una ocupación de 40 a 60 por ciento, lo cual significa que se aplicó a la mayor parte del municipio coeficientes de 0.75 y 0.85.

Los gastos encontrados con el Método Racional, van desde 0.01 m³/h hasta 39.38 m³/h. Las áreas donde se concentran los mayores escurrimientos se encuentran en el centro municipal, y hacia el Norte del municipio donde existe una mayor densidad de vivienda por lote (ver Figura 4.3). Como puede observarse en la Figura 4.3, en general el municipio presenta un

escurrimiento general entre 1 y 10 m³/h. Existen pocas zonas del municipio que presenten escurrimientos altos de 30 a 35 m³/h.

D) CONFIGURACIÓN DE PATIOS

Con respecto a la configuración de patios, en Apodaca se encontraron que los patios que aparecen con mayor frecuencia son de 10 a 20 m² (23.57%) y los que aparecen en segundo lugar corresponden a patios de 20 a 30 m² (22.05%) (Ver Figura 4.4).

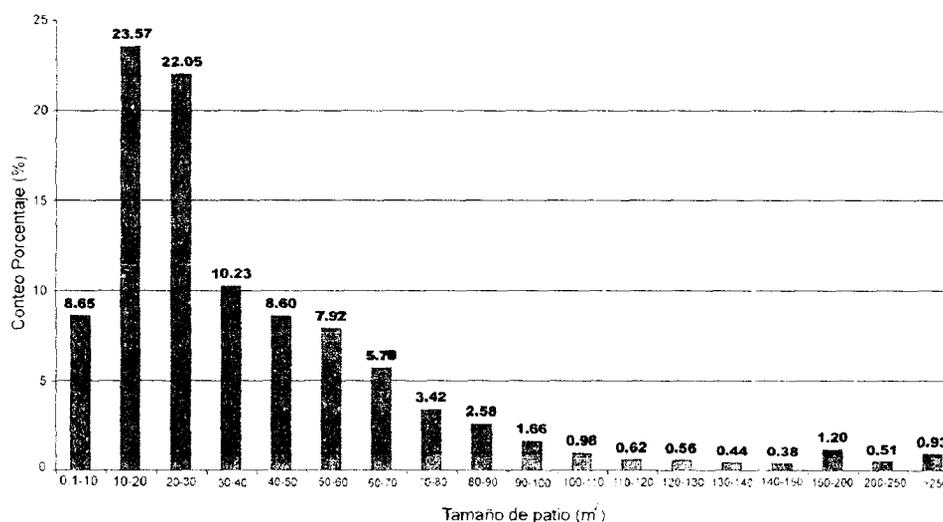


Figura 4.4. Configuración de patios del Municipio de Apodaca.

La Figura 4.5 muestra el mapa de análisis del tamaño de los patios de este municipio. Esta tipología de patios limita mucho la aplicación de estrategias de captación, retención e infiltración dado el área tan pequeña.

En cuanto a los escurrimientos generados por los patios, se infirió que éstos se encontraban pavimentados y se les aplicó un coeficiente de escurrimiento de 0.95, en la Figura 4.6 se muestran los resultados. El escurrimiento máximo de los patios de este municipio fue de 23.69 m³/h.

Finalmente, la Figura 4.7 muestra el escurrimiento total generado en el municipio tanto de las áreas impermeables, como de los patios en caso que estos estuviesen pavimentados. Dado que el municipio tiene una vocación industrial y que sus áreas de vivienda están claramente delimitadas, se aprecia que los escurrimientos totales generados se concentran en el centro municipal y en las áreas de vivienda hacia el Norte del municipio.

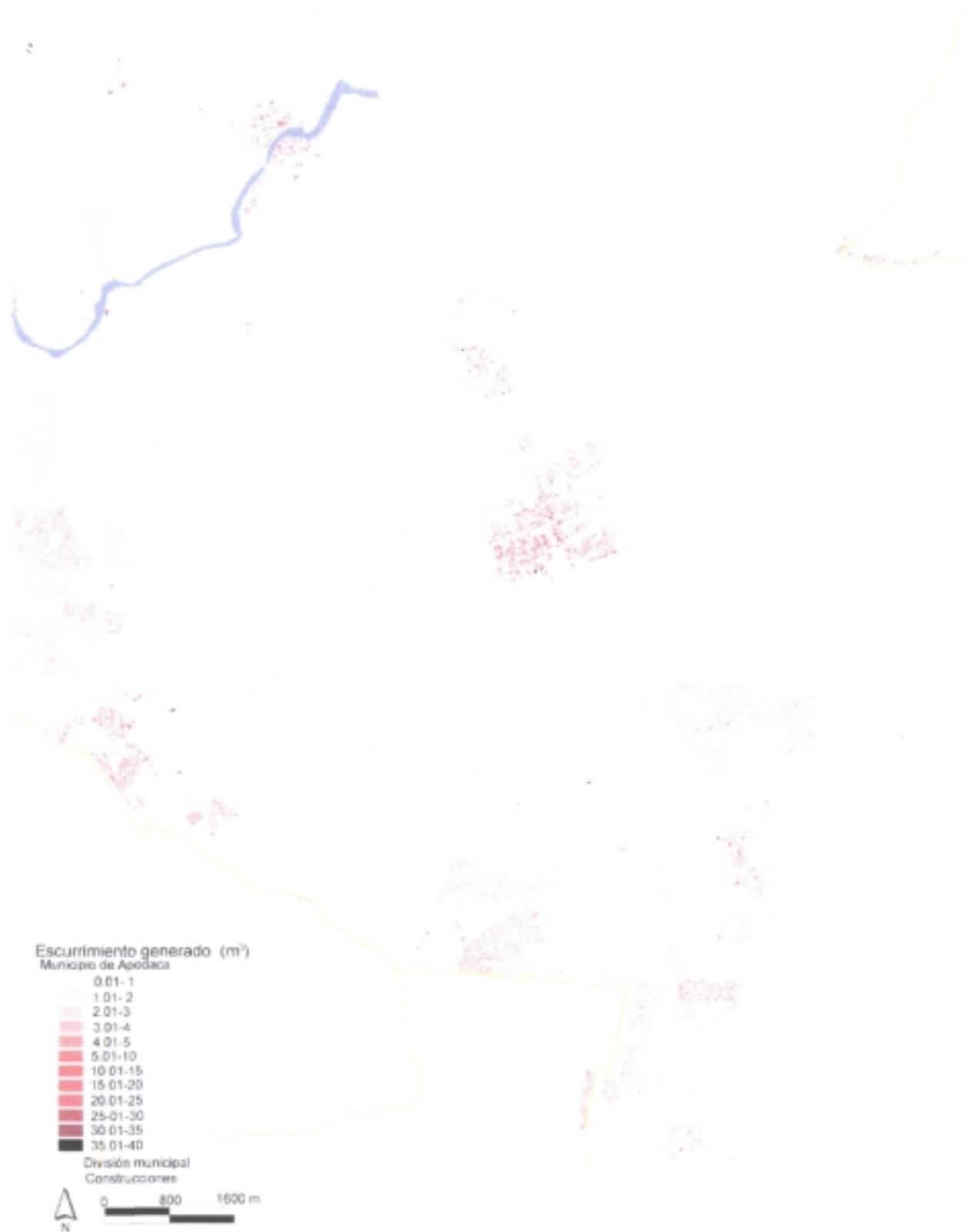


Figura 4.3. Escorrimentos generados por la vivienda en el Municipio de Apodaca.

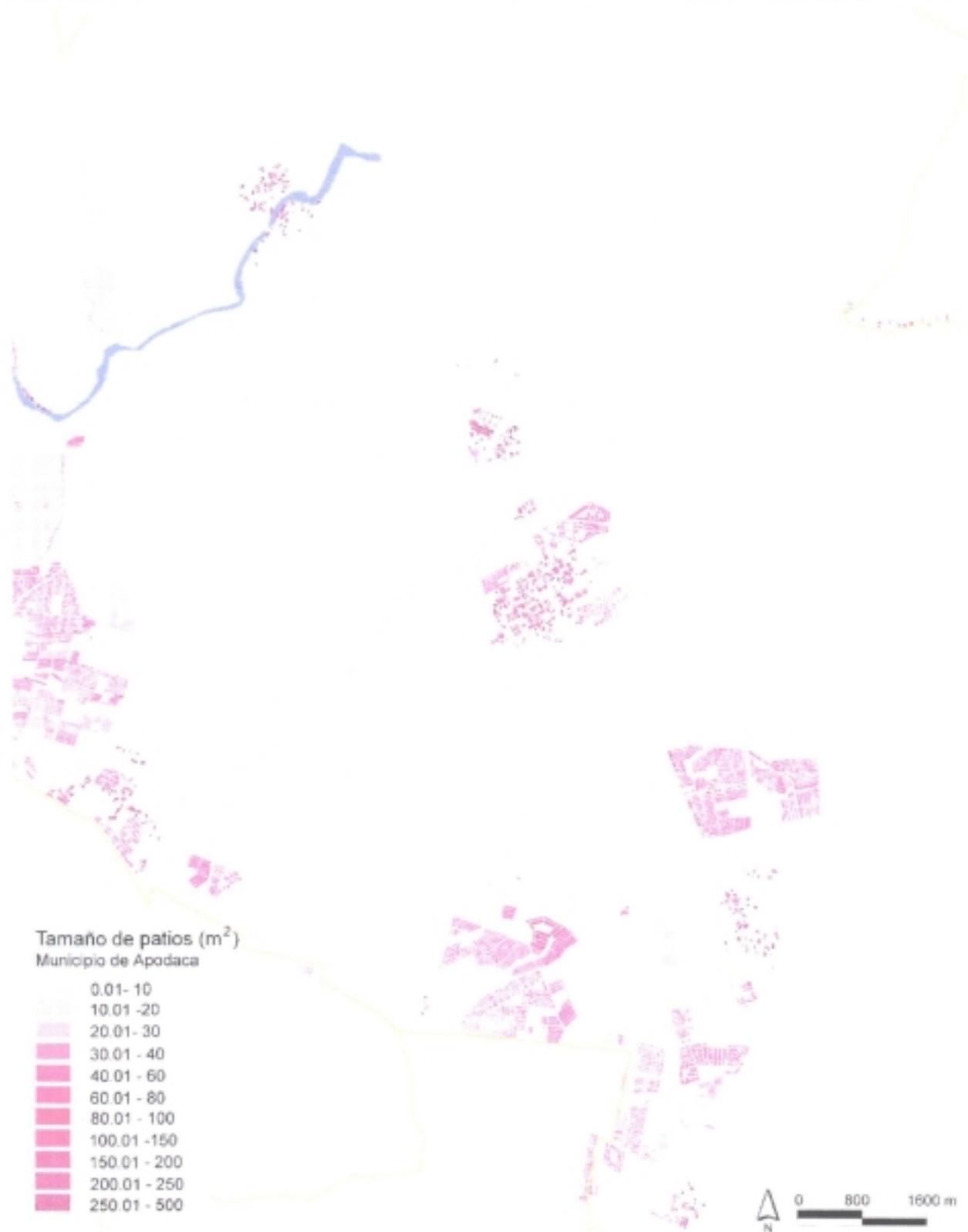


Figura 4.5. Tamaños de patios en el Municipio de Apodaca

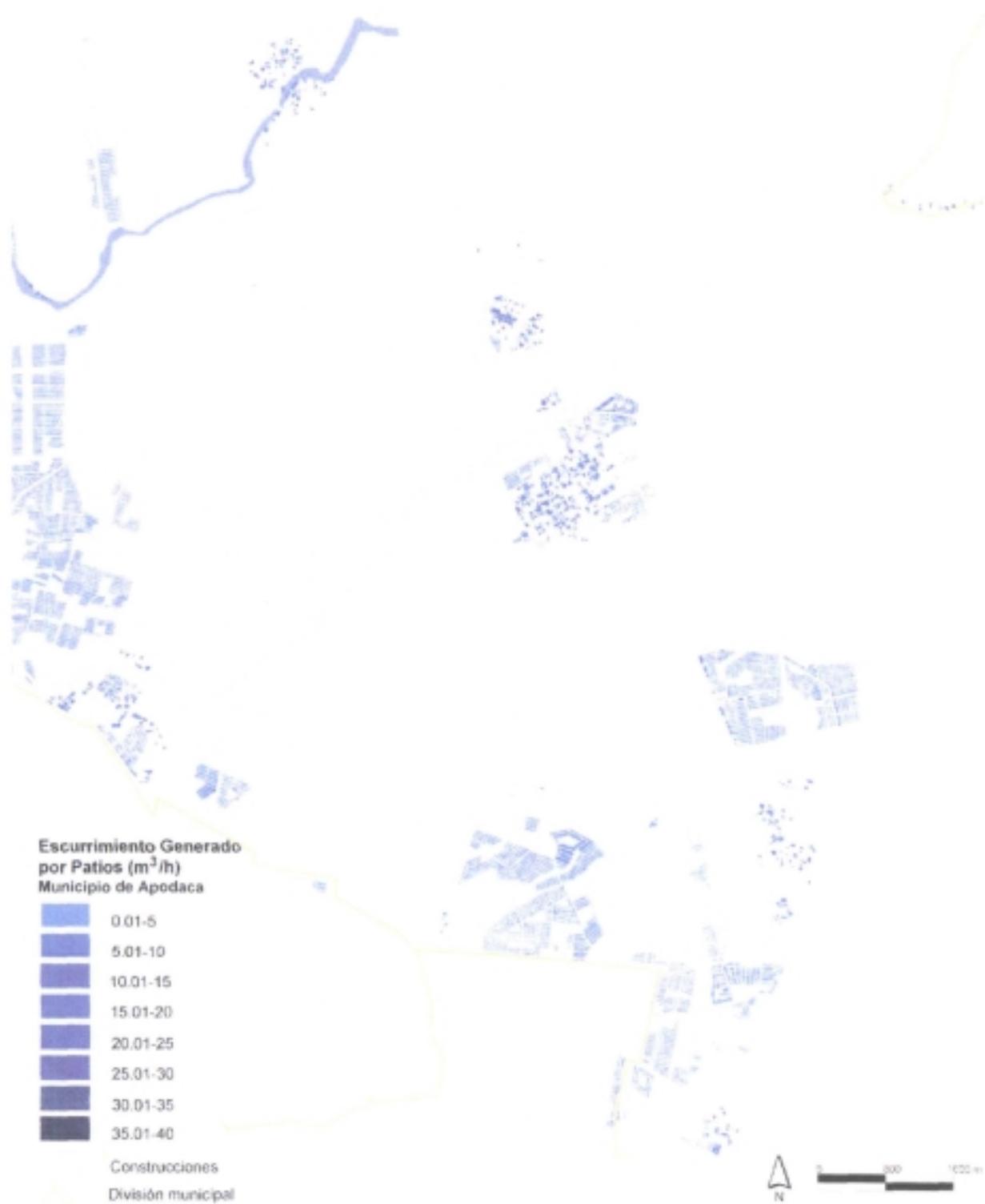


Figura 4.6. Escorrentamientos generados por los patios de la vivienda en el Municipio de Apodaca.

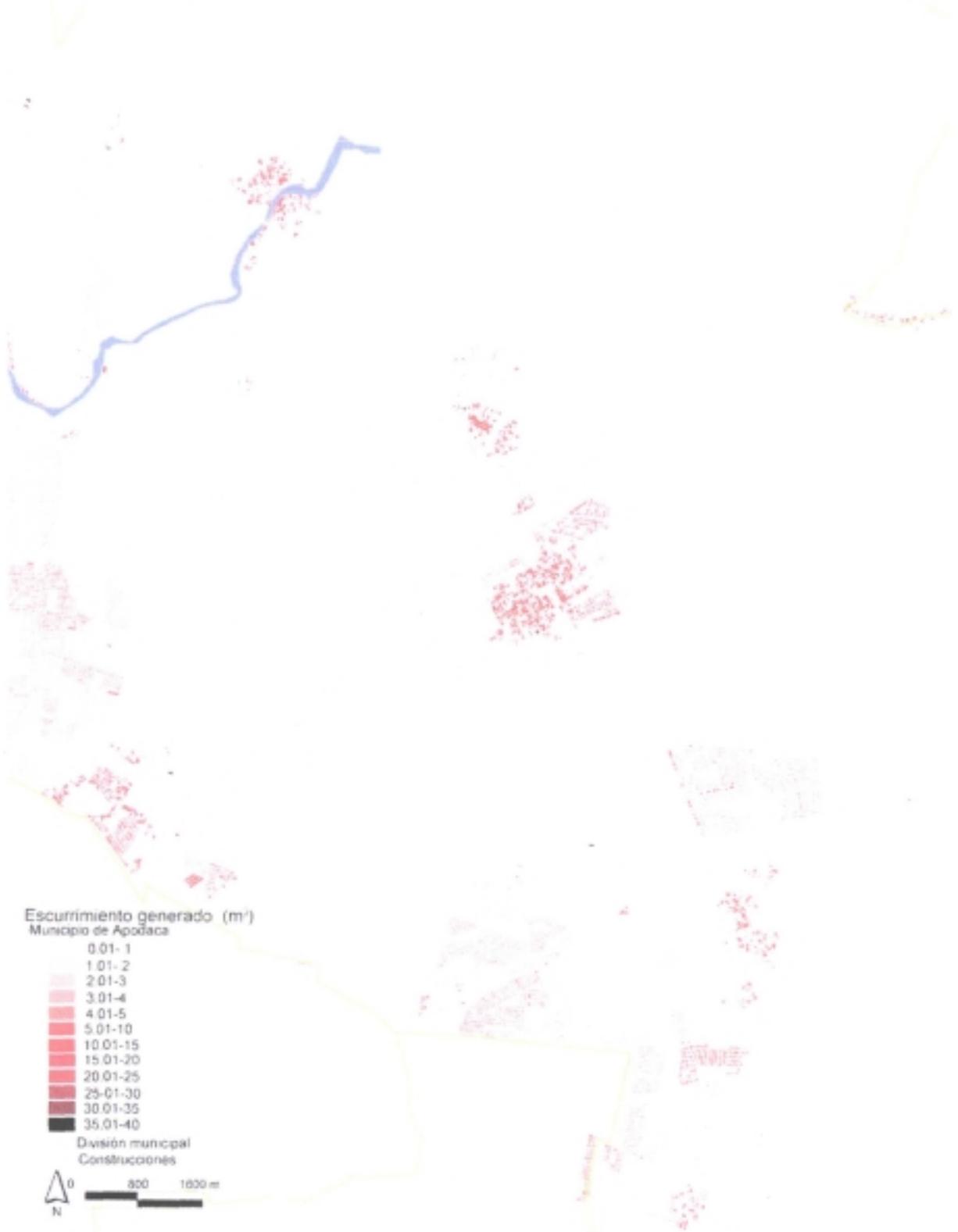


Figura 4.7. Escorrentamientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Apodaca.

4.2 ESCOBEDO

A) USO DE SUELO

El Municipio de Escobedo, junto con Monterrey y Guadalupe, es uno de los municipios del AMM que tiene un uso de suelo habitacional más intenso, ya que dedica como área de vivienda 2055 ha, lo cual representa un 33.63% del total de 6111 ha urbanizadas. Hay 26.13 hectáreas de viviendas habitadas por el área total de vivienda (Noriega, P. et al 2004b). Este municipio es uno de los que más crecimiento presentan y aún se encuentra en proceso de consolidación ya que tiene 1966 ha de baldíos, casi la misma superficie dedicada al uso habitacional. Estos grandes predios libres presentan una oportunidad para regular los escurrimientos en las nuevas construcciones.

Las zonas dedicadas a vivienda están claramente identificadas en el antiguo casco municipal y las zonas aledañas a este casco, en especial en la zona bajo el Río Pesquería. Las zonas arriba del río no están totalmente desarrolladas pero en un futuro se espera que el crecimiento de la zona urbana se enfoque hacia estas áreas. Existen también algunos desarrollos de vivienda en las faldas del Cerro del Topo Chico.

B) TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA VIVIENDA

Al igual que sucede en el Municipio de Apodaca, en Escobedo también predominan las viviendas de interés social, por lo cual los tamaños que predominan son de 40 a 60 m². En segundo lugar aparecen las construcciones de 20 a 40 m² (ver Figura 4. 8). Al igual que en Apodaca, el rango de 40 a 60 m pertenecen a desarrollos de interés social.

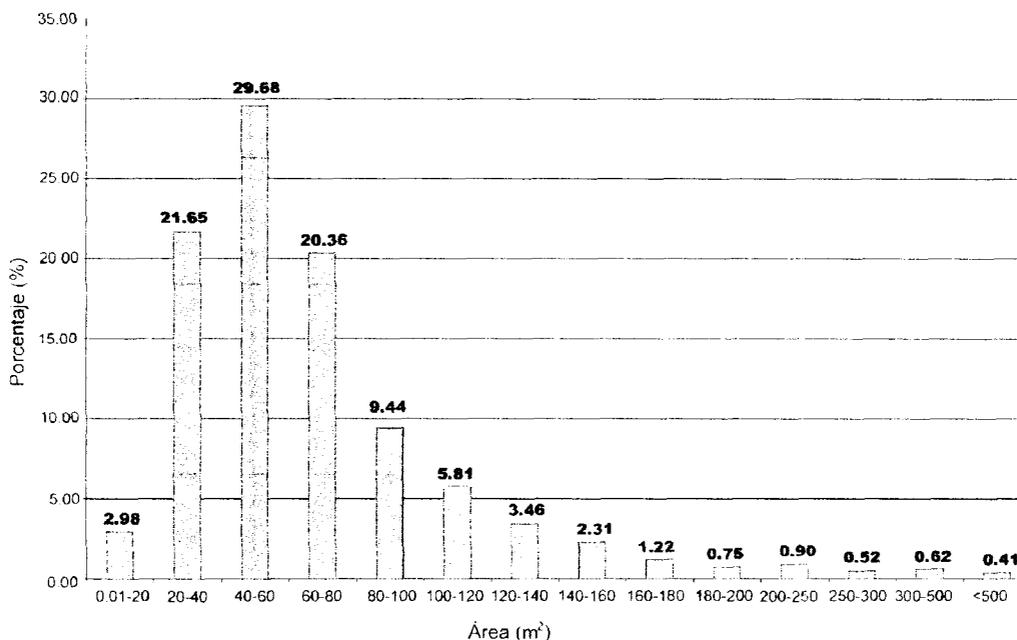


Figura 4.8. Tamaño de la vivienda en el Municipio de Escobedo.

En cuanto a la densidad de la vivienda, en Escobedo se encuentra que la ocupación de lote más frecuente es de 30 a 40% en primer lugar y 40 a 50% en segundo lugar. Al igual que en el Municipio de Apodaca, estos número indican que aún la mitad del predio se encuentra desocupada (ver Figura 4. 9).

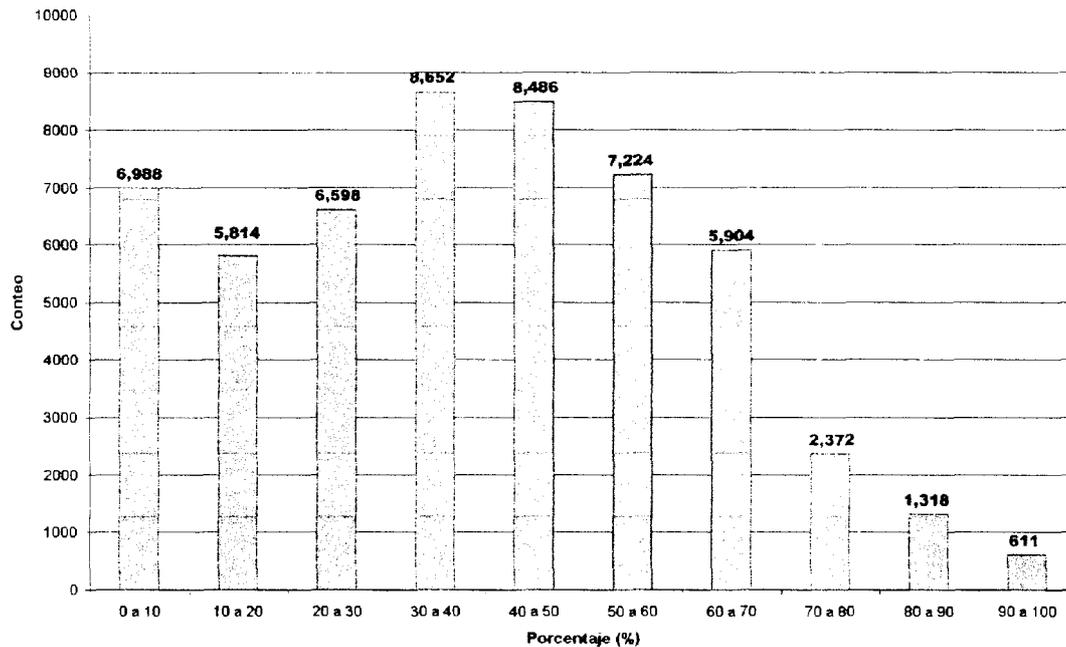


Figura 4.9. Densidad de ocupación de lote de la vivienda en el Municipio de Escobedo.

C) ESCURRIMIENTOS

Al igual que en los demás municipios, se aplicaron los coeficientes de escurrimiento según el porcentaje de ocupación. En Escobedo, la mayor parte del municipio tiene una densidad baja a media, debido en gran parte a la construcción intensiva de viviendas de interés social en este municipio, por lo cual se aplicaron en la mayor parte de los predios coeficientes de 0.75 y 0.85. Los gastos encontrados con el Método Racional, van desde 0.01 m³/h hasta 35.054. m³/h como máximo. Las áreas donde se concentran los mayores escurrimientos se encuentran en el centro municipal, y hacia el Norte del municipio donde existe una mayor densidad de vivienda por lote, así como en el desarrollo del Cerro del Topo Chico (ver Figura 4.10).

Como puede observarse en la Figura 4.10, el municipio presenta un escurrimiento entre 1 y 10 m³/h. En general el promedio de escurrimiento generado por las viviendas construidas de Escobedo es de 1.0477 m³/h, existen muy pocas zonas del municipio que presentan escurrimientos mayores a 30 m³/h.

D) CONFIGURACIÓN DE PATIOS

En Escobedo el patio más frecuente en la vivienda es de 20 a 30 m². En segundo lugar aparecen los patios de 10 a 20 m² (ver Figura 4.11). Estos dos tipos de patios son pequeños para la aplicación de estrategias de manejo de escurrimientos.

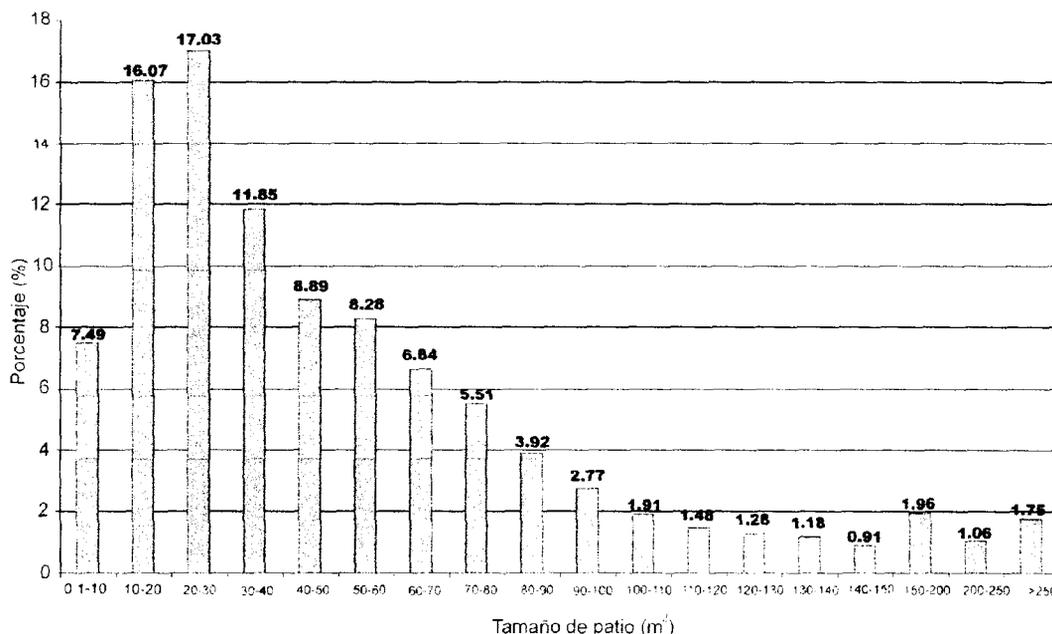


Figura 4.11. Configuración de patios del Municipio de Escobedo.

En la Figura de análisis 4.12, se pueden identificar los patios con mayores áreas hacia el Este, mientras que en el resto del municipio, donde se identifican las zonas con tipología de interés social, se encuentran los patios más pequeños. Si se infiere que estos patios son áreas impermeables se obtiene la Figura 4.13 con los escurrimientos generados por éstos. El escurrimiento máximo que presentan los patios de Escobedo es de 23.79 m³/h y el escurrimiento que aparece con mayor frecuencia es el de 1.0477 m³/h.

En la Figura 4.14, se muestra el escurrimiento total generado de las viviendas y los patios. Si se observa esta figura, se puede notar que el escurrimiento generado tanto por la vivienda construida como por los patios es muy alto y puede identificarse claramente al este del municipio. En estas zonas es donde se sugiere establecer técnicas de captación, infiltración y retención de aguas pluviales de mayor capacidad.



Figura 4.10. Escorrentamientos generados por la vivienda en el Municipio de Escobedo.



Figura 4.12. Tamaños de patios en el Municipio de Escobedo.



Figura 4. 13. Escorrentamientos generados por los patios en el Municipio de Escobedo.



Figura 4.14. Escurrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Escobedo.

4.3 GUADALUPE

A) USO DE SUELO

Como se mencionó anteriormente, este municipio, junto con el de Escobedo y Monterrey, presenta un uso de suelo habitacional más intenso, ya que dedica como área de vivienda 2,415 ha, lo cual representa un 30.58% del total de 7,897 ha urbanizadas. En Guadalupe hay 62.03 hectáreas de viviendas habitadas por el área total de vivienda (Noriega, P. et al 2004b). Este municipio se encuentra totalmente consolidado, dado que los baldíos que existen en esta zona son escasos y representan solamente un 12.6 % que contabilizan 1,000 ha.

Las zonas dedicadas a vivienda se ubican por todo el municipio, y al contrario de los municipios de Escobedo y Apodaca, no se distinguen clusters específicos correspondientes a este uso de suelo. Puede observarse sin embargo, que hacia el Este, en colindancia con el Municipio de Juárez se encuentran aún predios libres de desarrollo.

B) TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA VIVIENDA

En Guadalupe el tamaño de vivienda que predomina es un poco más grande que el de los municipios anteriores, con un área de 60 a 80 m² (ver Figura 4.15). En segundo lugar se encuentran las viviendas entre 80 y 100 m² (16.65%) y en tercero las que tienen un área de 40 a 60 m².

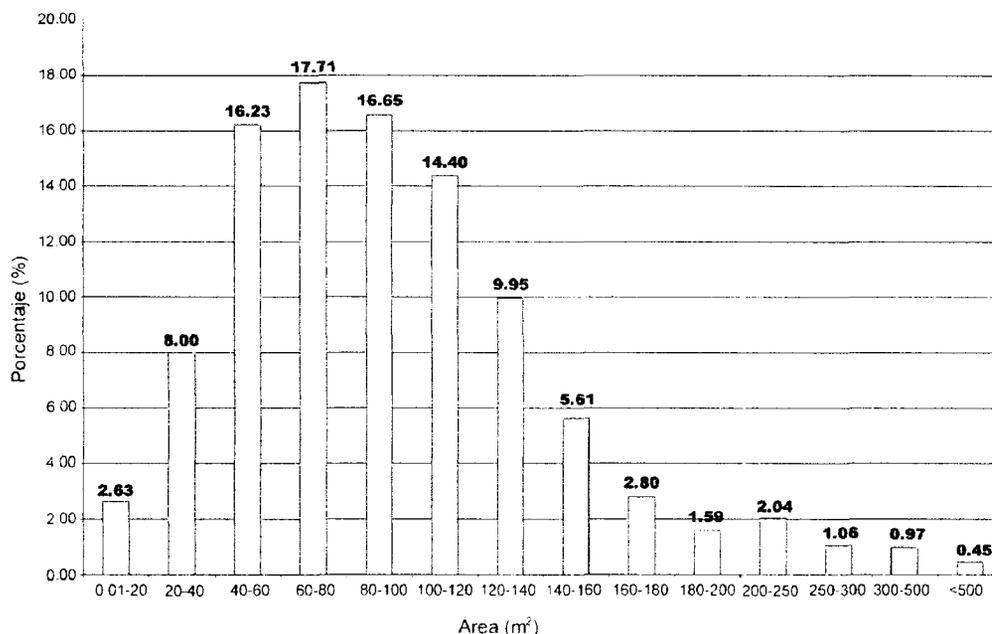


Figura 4.15. Tamaño de la vivienda en el Municipio de Guadalupe.

En cuanto a la densidad de la vivienda, en el Municipio de Guadalupe se encuentra que la ocupación de lote más frecuente es de 60 a 70% en primer lugar y 70 a 80% en segundo lugar. Esto demuestra que Guadalupe es un municipio más consolidado, y que las áreas libres que aún se encuentren dentro de los lotes no sobrepasan el 40% del total del lote (ver Figura 4.16).

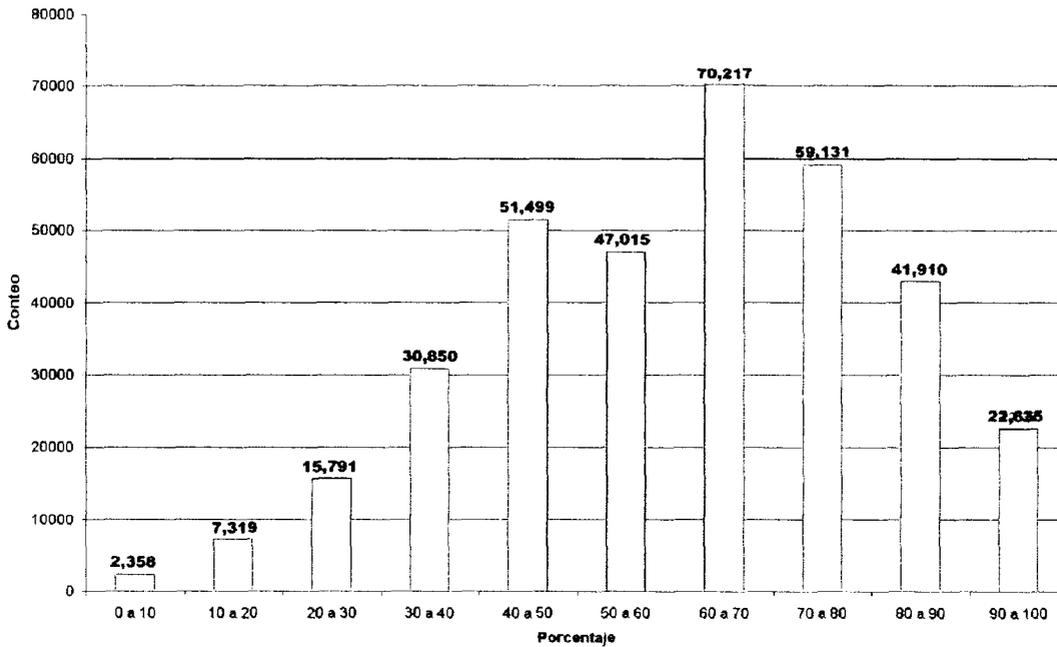


Figura 4.16. Densidad de la vivienda en el Municipio de Guadalupe.

C) ESCURRIMIENTOS

Al igual que en los demás municipios, se aplicaron los coeficientes de escurrimiento según el porcentaje de ocupación. En Guadalupe, la mayor parte del municipio tiene una densidad media, debido en gran parte a la consolidación que presenta el municipio, por lo cual se aplicaron en la mayor parte de los predios, coeficientes de escurrimiento de 0.85.

Los gastos encontrados con el Método Racional, van desde 0.001 m³/h hasta 38.11 m³/h como máximo (ver Figura 4.17). El escurrimiento promedio que se encontró en Guadalupe es de 3.065 m³/h. Hacia el norte del municipio se encuentran las viviendas con mayores escurrimientos, aunque en su mayor parte el municipio presenta escurrimientos de 3 a 4 m³/h.

E) CONFIGURACIÓN DE PATIOS

Los patios que se presentan con mayor frecuencia en este municipio tienen un área de 10 a 20 m². En segundo lugar se ubican los patios con áreas de 20 a 30 m². Estas áreas son importantes ya que al realizar una planeación municipal de Administración y Control de Escurrimientos, se debe de tomar en cuenta el área que necesitan las estructuras de captación, infiltración y retención de aguas pluviales (ver Figura 4.18).

Se puede notar que en la configuración de patios en el rubro correspondiente a áreas de 150 a 200 m² hay un porcentaje de 1.74 patios que tienen estas áreas. Para esta tipología de viviendas con áreas más grandes de patio se pueden proponer estructuras mucho más interesantes que combinen las tres técnicas de captación, infiltración y retención.

En la Figura 4.19 se observa que los patios más grandes de este municipio se ubican en algunas zonas de vivienda en el centro municipal y otras en zonas de vivienda de montaña. En este caso, el manejo de escurrimientos en zonas de alta pendiente es mucho más complejo y deben de estudiarse las condiciones in situ para cada caso en específico, dado que la ubicación de estructuras de infiltración sobre suelos inadecuados y con altas pendientes pueden crear problemas a las estructuras de las edificaciones debido a la expansión o pueden favorecer los deslizamientos.

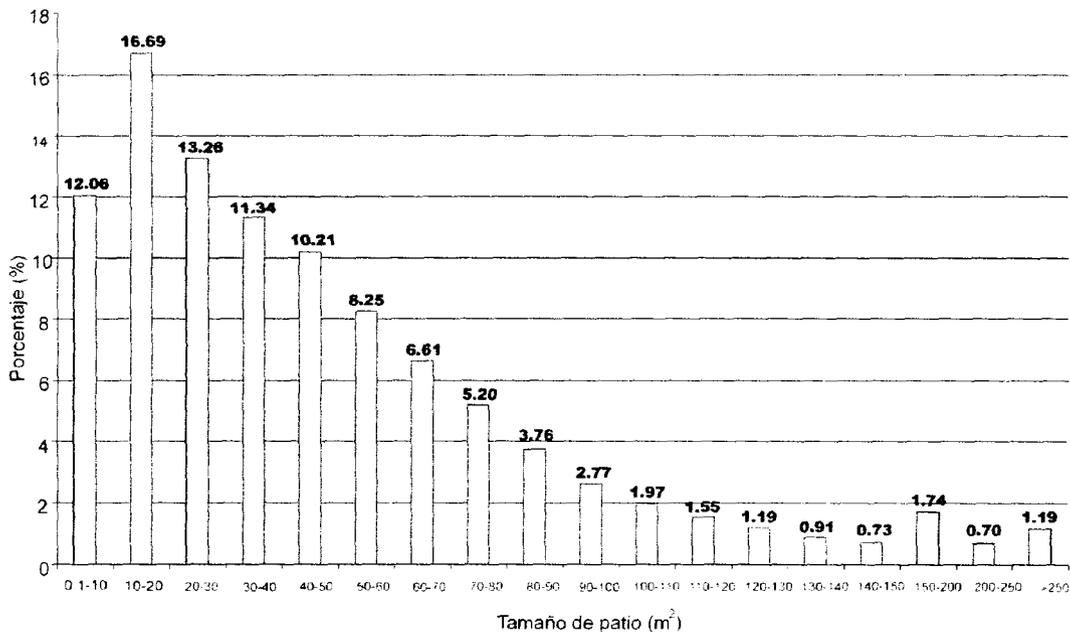


Figura 4.18. Configuración de los patios de la vivienda en el Municipio de Guadalupe.

Al tomar como áreas impermeables estos patios y aplicarles el Método Racional para el cálculo de los escurrimientos, se encontró que el escurrimiento máximo para los patios es de 5.627 m³/h y el promedio de escurrimientos producido por estos patios es de 2.51 m³/h (ver Figura 4.20). En la Figura 4.21 se ejemplifican los escurrimientos generados totales, tanto de la vivienda como de los patios considerados como si estuviesen pavimentados.

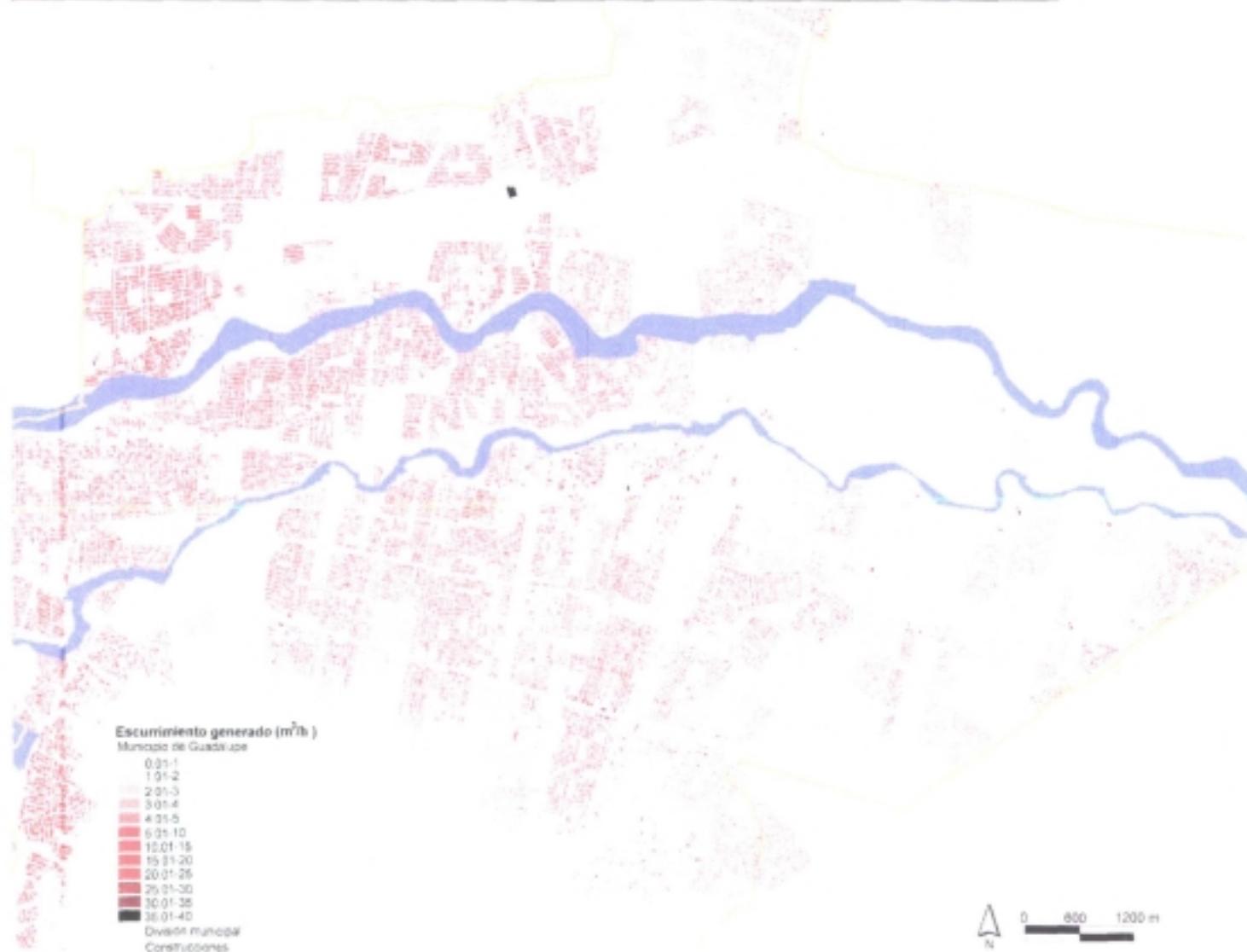


Figura 4.17. Escorrentamientos generados por la vivienda en el Municipio de Guadalupe.

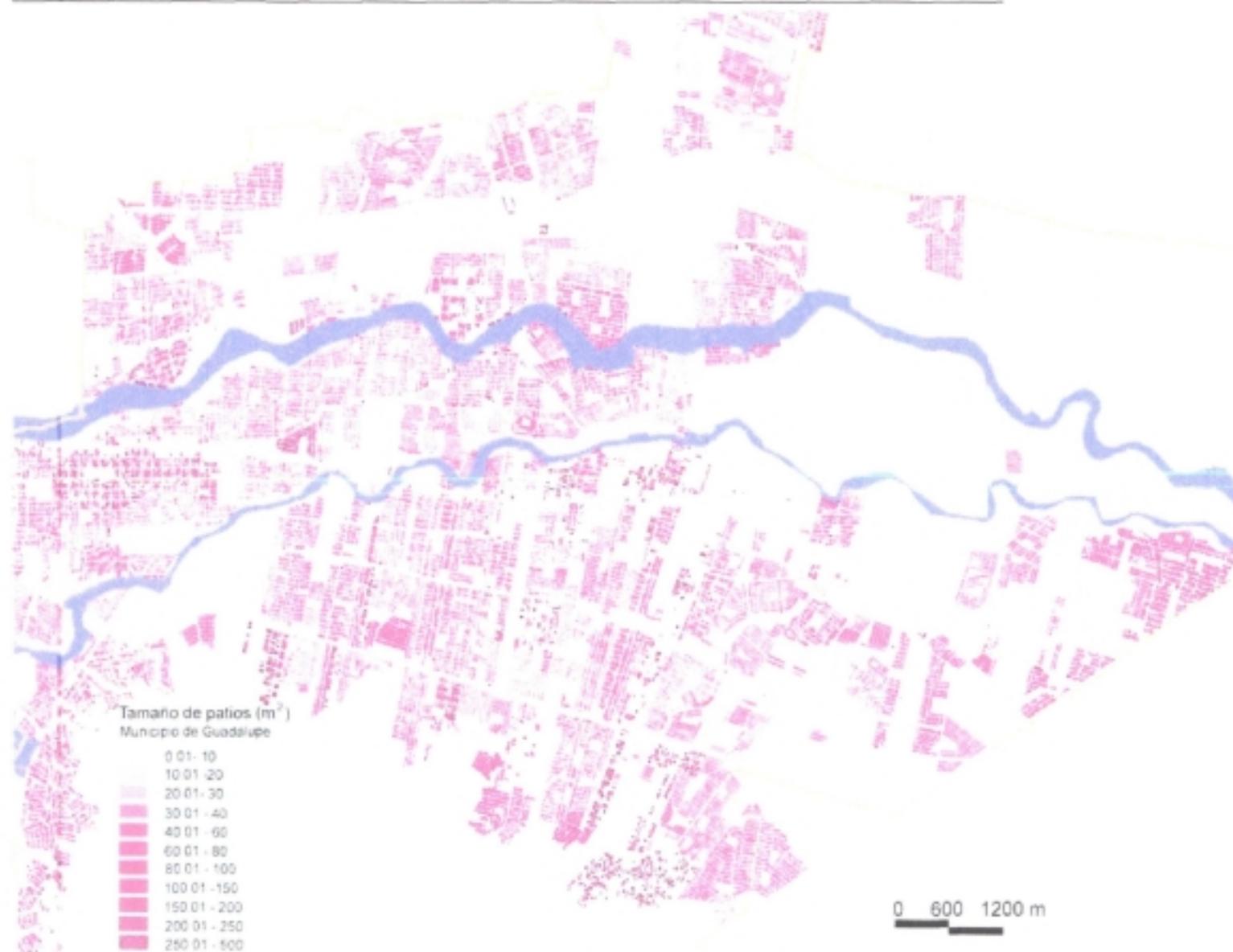


Figura 4.19. Tamaños de patios en el Municipio de Guadalupe.



Figura 4.20. Escorrentías generados por los patios en el Municipio de Guadalupe.

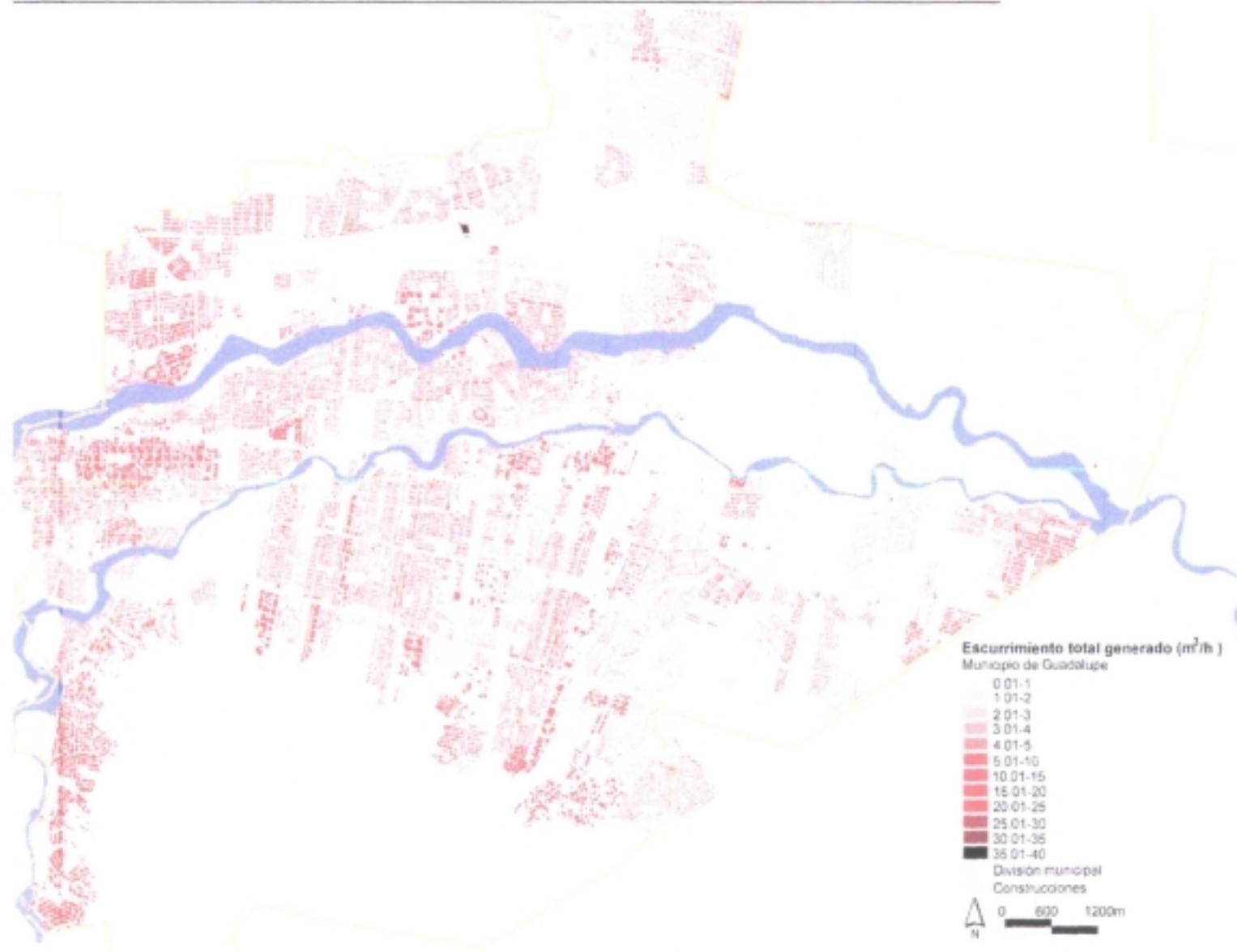


Figura 4.21. Escorrentías totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Guadalupe.



4.4 MONTERREY

A) USO DE SUELO

El Municipio de Monterrey también es uno de los que presentan un uso habitacional más intensivo, con un área dedicada a vivienda de 5478 ha, equivalente a un 30% del total de superficie urbanizadas. En el año 2000, había 46.75 viviendas por superficie municipal y un total de 256,073 viviendas habitadas en el municipio (Noriega, P. et al 2004b). Monterrey es el municipio más consolidado del AMM, ya que ocupa 16,234 ha de superficie municipal edificada. Monterrey no presenta áreas específicas de uso de suelo habitacional claramente identificables, sino que la vivienda está dispersa por todo el municipio, aunque es notorio que en los últimos años el crecimiento y urbanización, así como la construcción de áreas residenciales de medio y alto nivel socioeconómico se han ido consolidando en la zona Sur hacia la Carretera Nacional.

B) TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA VIVIENDA

La vivienda en este municipio tiene áreas más grandes que las encontradas en los municipios anteriores. La categoría con el mayor porcentaje es la de 100 a 120 m². En segundo lugar aparecen las construcciones de 80 a 100 m² y en tercer lugar las de 120 a 140 m². Asimismo, es interesante notar que las construcciones de 200 a 250 m² tienen un porcentaje de 6.28, y por ende producen un gasto mayor en escurrimientos (ver Figura 4.22).

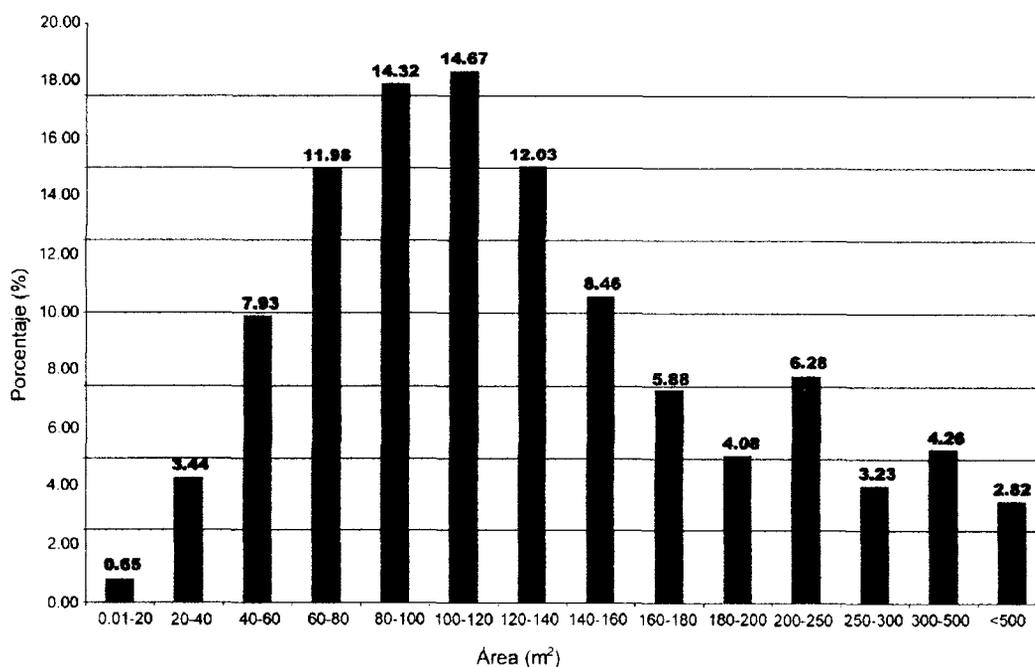


Figura 4.22. Tamaño de la vivienda en el Municipio de Monterrey.



Debido a que el Municipio de Monterrey es uno de los que presenta mayor consolidación del Área Metropolitana de Monterrey, en lo que respecta a la densidad de vivienda, se encuentra que los lotes de Monterrey se encuentran ocupados entre un 60 y un 70 porciento (ver Figura 4.23). En segundo lugar, la densidad más frecuente en segundo lugar corresponde a una ocupación de lote de 70 a 80 %.

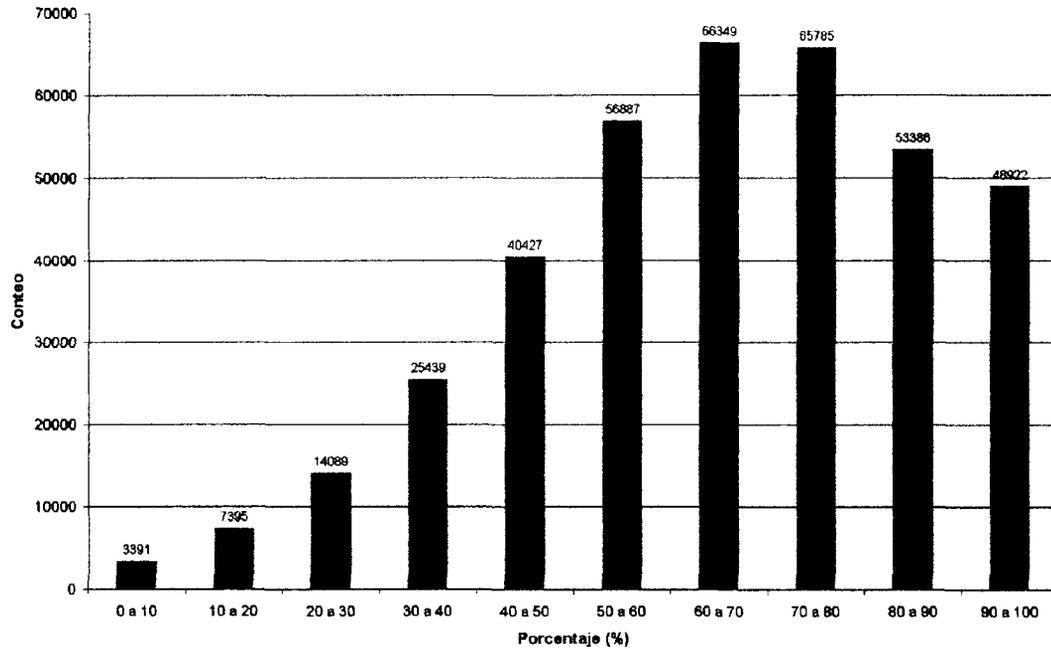


Figura 4.23. Densidad de construcción del Municipio de Monterrey

C) ESCURRIMIENTOS

Los gastos encontrados con el Método Racional aplicando los coeficientes de escurrimiento mencionados al principio del capítulo, son mayores que en los demás municipios ya que existen algunos predios que están construidos en su totalidad sin dejar zonas permeables. Así, se encontraron escurrimientos desde 0.01 m³/h hasta 50.16 m³/h., lo cual corresponde a números mucho mayores que los encontrados en los otros municipios.

De igual manera, el promedio de escurrimiento de las viviendas construidas en Monterrey es mayor que en los otros municipios con 3.5 m³/h. En la Figura 4.24, se aprecia que, en general Monterrey presenta un escurrimiento entre 5 y 15 m³/h. En este municipio se observa una mayor densidad de los predios. Se puede observar que en el centro del municipio es donde se concentran los mayores escurrimientos que por la pendiente natural del terreno y la ubicación



de cauces naturales, tienden a fluir hacia el este-noreste de la ciudad donde se presentan las mayores inundaciones.

D) CONFIGURACIÓN DE PATIOS

Los patios que se presentan con mayor frecuencia en el municipio de Monterrey son de 10 a 20 metros cuadrados (ver Figura 4.25). En segundo lugar se ubican los patios de 0.1 a 10 m² y en tercer lugar los de 20 a 30 m². Al igual que en el Municipio de Guadalupe, el rubro de 150 a 200 m² representa un porcentaje importante del total con 3.20%. En éstos, dado el tamaño del patio, se puede tener un manejo de escurrimientos combinado entre estrategias de escurrimiento, captación y retención más interesante que en los casos donde hay áreas pequeñas de patio.

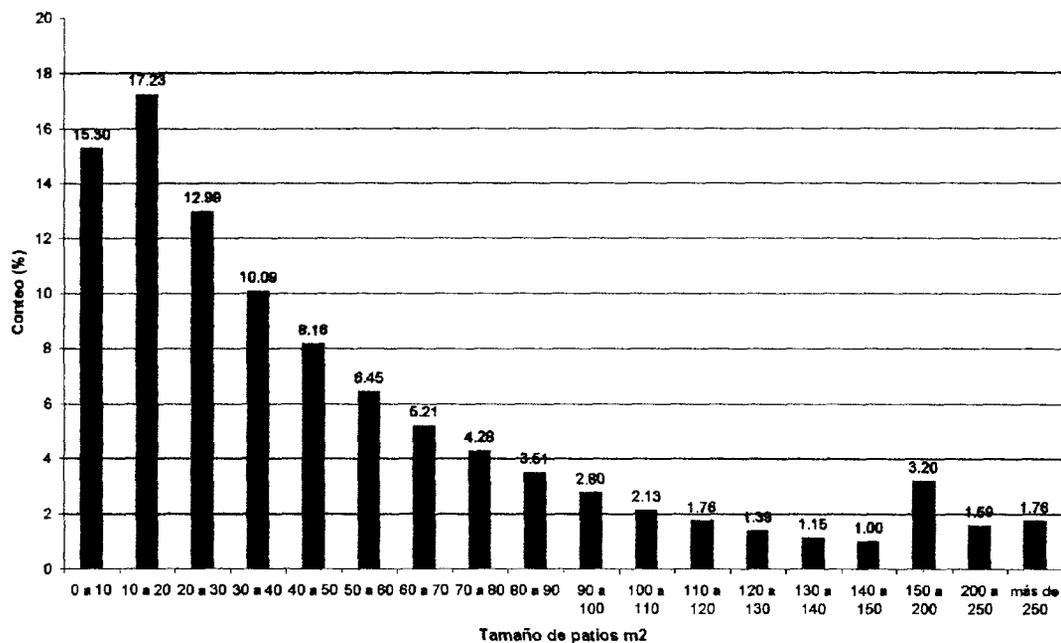


Figura 4.25. Configuración de patios del Municipio de Monterrey.

En la Figura de análisis 4.26 se aprecia que los patios más grandes se ubican en zonas de montaña hacia el sur del municipio, específicamente en el Cerro de la Silla. También puede notarse que en las zonas de Cumbres hay viviendas con patios de mayor tamaño. Para las zonas de alta pendiente se requiere ser cauteloso en el manejo pluvial ya que el almacenamiento e infiltración de agua pluvial puede acarrear problemas de expansión.



Al tomar como áreas impermeables estos patios y aplicarles el Método Racional para el cálculo de los escurrimientos, se encontró que el escurrimiento máximo para los patios es de 23.79 m³/h y el promedio de escurrimientos producido por estos patios es de 2.53 m³/h (ver Figuras 4.27 y 4.28).

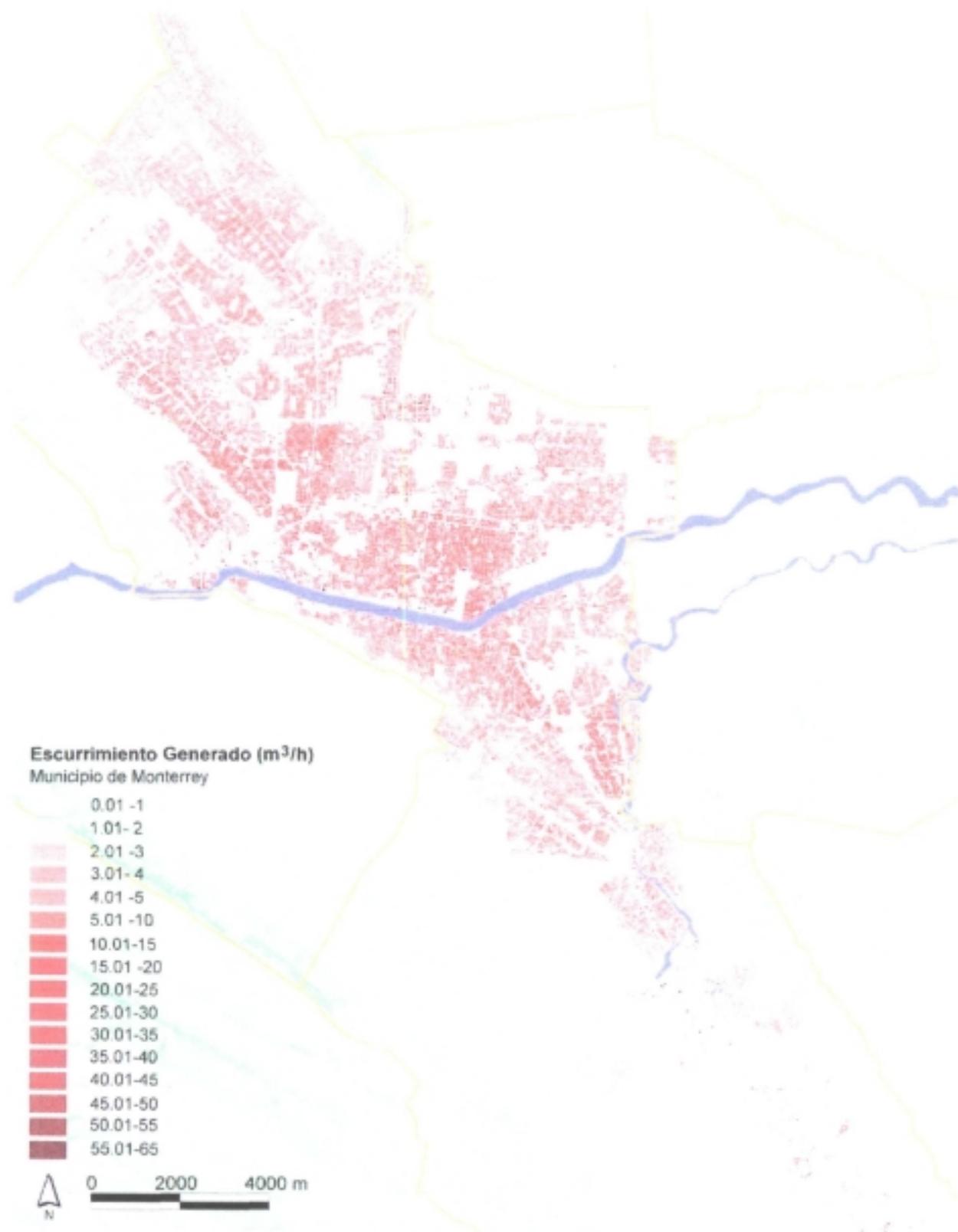


Figura 4. 24. Escorrimentos generados por la vivienda en el Municipio de Monterrey.

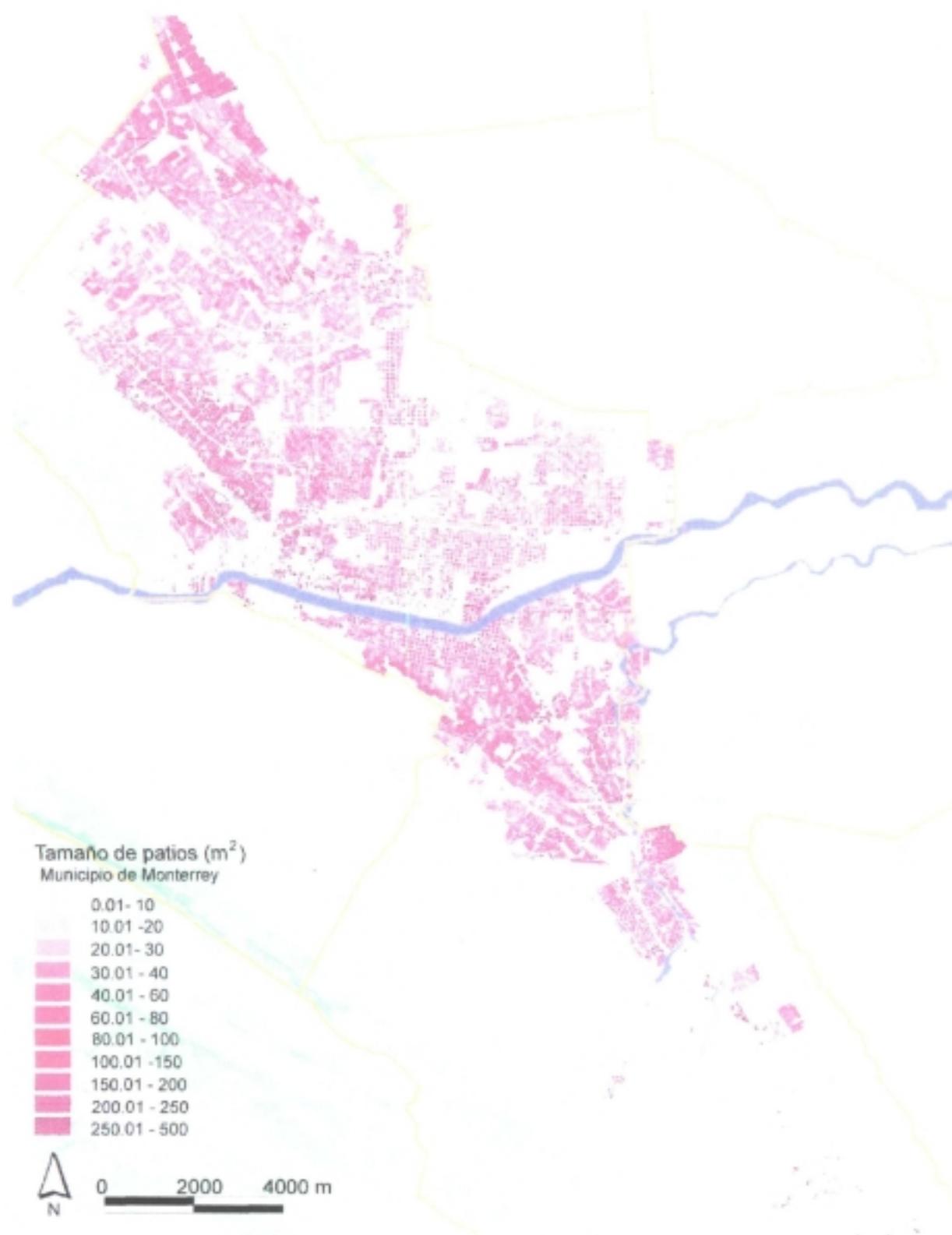


Figura 4.26. Tamaño de los patios de la vivienda en el Municipio de Monterrey.

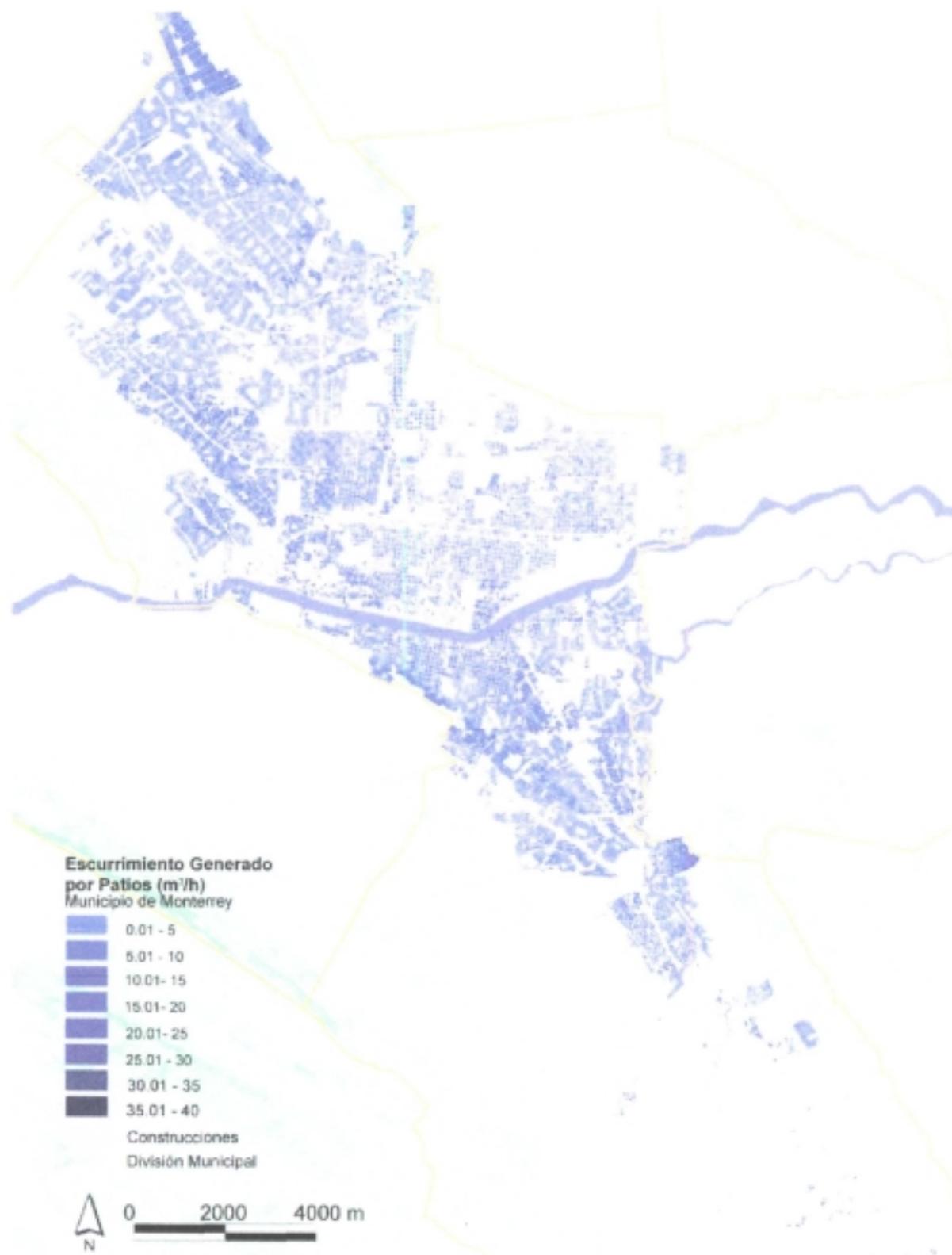


Figura 4.27. Escorrimentos generados por los patios de la vivienda en el Municipio de Monterrey.

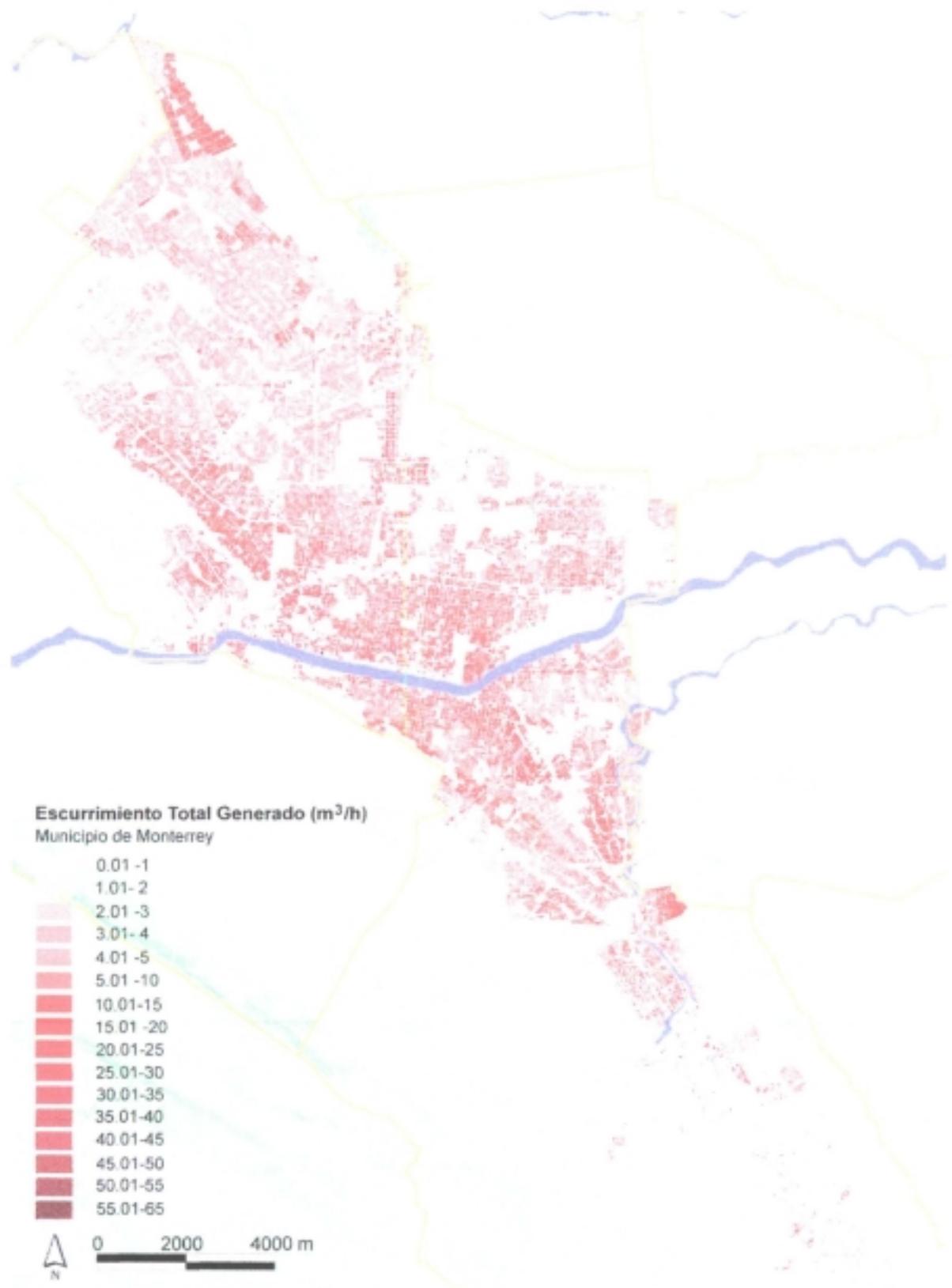


Figura 4.28. Escorrimentos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Monterrey.



4.5 SAN NICOLÁS

A) USO DE SUELO

El Municipio de San Nicolás también es uno de los que presentan un uso habitacional más intensivo, con un área dedicada a vivienda de 1,738, equivalente a un 29.30% del total de superficie urbanizada (5,931 ha). En el año 2000, había 65.56 viviendas por cada hectárea de superficie municipal, lo cual es mucho más denso que otros municipios (Noriega, P. et al 2004b) La superficie total de hectáreas de este municipio es de 5,981 hectáreas.

En San Nicolás, al igual que en Monterrey no se pueden ubicar áreas específicas de uso de suelo habitacional, ya que la vivienda se encuentra sino que la vivienda está diseminada por toda la superficie municipal. Sin embargo las zonas libres que se aprecian en la Figura 4.31 corresponden a áreas de Equipamiento. Los baldíos son escasos y representan solamente un 12.71% del total de superficies urbanizadas, por lo que no hay mucha área libre para el crecimiento municipal.

B) TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA VIVIENDA

El rango de vivienda más común de este municipio corresponde a las viviendas con un área de 60 a 80 m² con aproximadamente 21%. En segundo lugar se encuentran las viviendas de 80 a 10 m² y en tercer lugar las de 40 a 60 m², con 18.54 y 16.83% respectivamente (ver Figura 4.29).

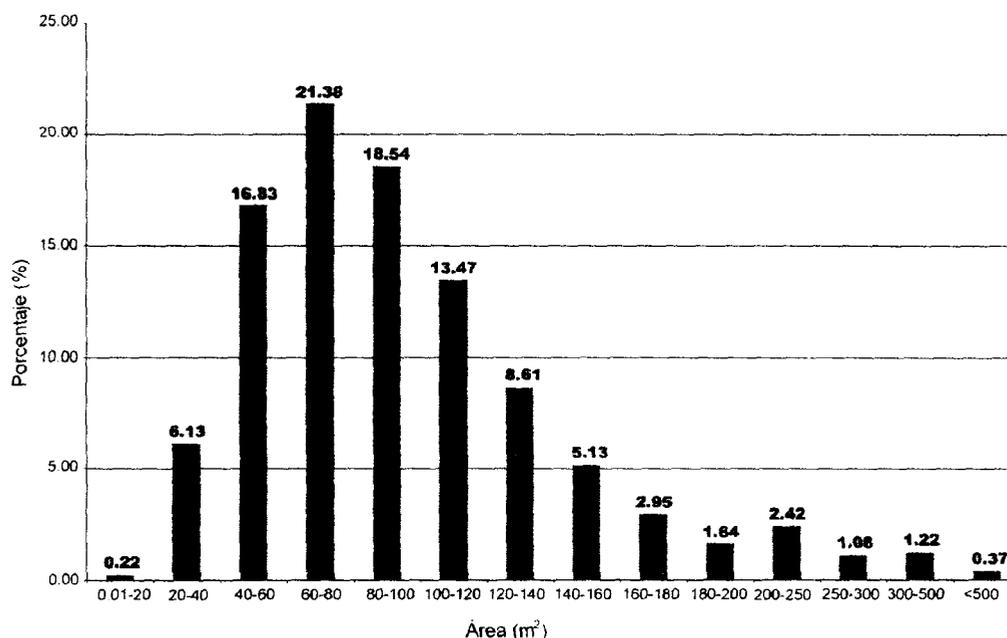


Figura 4.29. Tamaño de la vivienda del Municipio de San Nicolás.



En lo respectivo a la densidad de la vivienda, el conteo del porcentaje de lote ocupado muestra que la mayor parte de los lotes tienen una ocupación de 60 a 17 % (302,735 lotes contabilizados). En segundo lugar se encuentran los lotes con ocupación del 50 al 60% (ver Figura 4.30). Estos lotes que aun tienen poco menos la mitad de su área total libre pueden considerar alguna estrategia de manejo de escurrimientos de captación o infiltración.

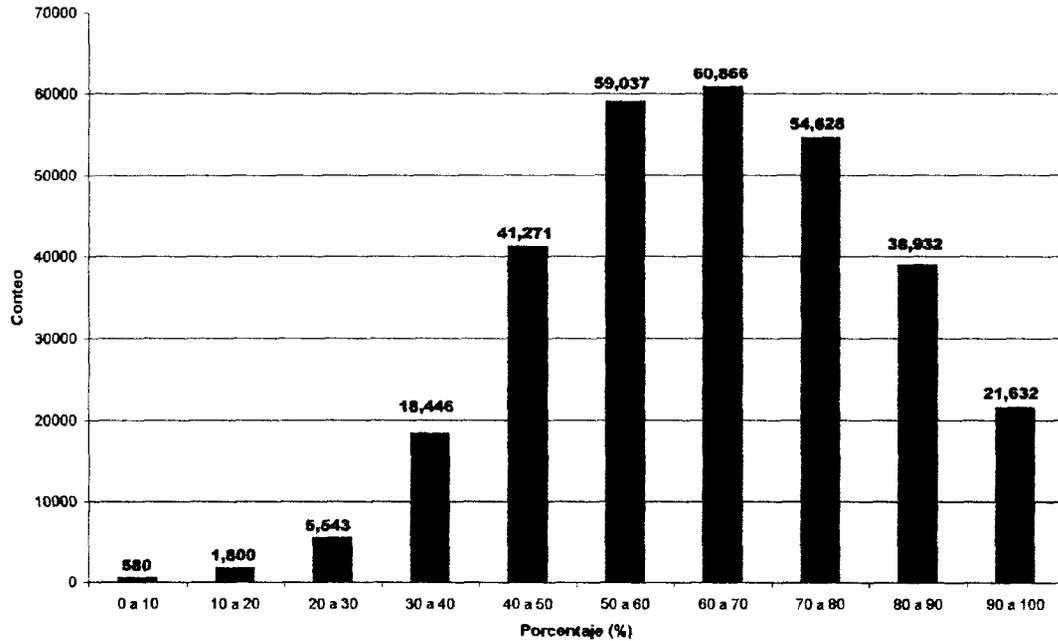


Figura 4.30. Densidad de construcción del Municipio de San Nicolás.

C) ESCURRIMIENTOS

Los gastos encontrados con el Método Racional aplicando los coeficientes de escurrimiento mencionados al principio del capítulo, dieron como resultado un escurrimiento que va desde 0.01 hasta 36.03 m³/h. El promedio de escurrimiento encontrado en este municipio es de 1.58 m³/h, un resultado un poco mayor al encontrado en Apodaca y Escobedo.

En la Figura 4.31 se aprecia que la mayor parte del municipio presenta un escurrimiento de 4 a 5 m³/h y que hay pocas zonas claramente identificables con escurrimientos mayores a este rango. Según Noriega, P. (2004 a) el municipio de San Nicolás cuenta con una infraestructura de captación de drenaje pluvial, sin embargo, el Desarrollo de Bajo Impacto mantiene que el control en la fuente es más barato y efectivo si se actúa en áreas puntuales como lo es la



vivienda. En el caso de San Nicolás las zonas más críticas son las correspondientes al noreste del municipio y el Centro Municipal, donde existen lotes totalmente construidos sin áreas libres.

D) CONFIGURACIÓN DE PATIOS

En San Nicolás los patios de las viviendas que aparecen con mayor frecuencia son de 10 a 20 m² (19.27%) y en segundo lugar aparecen los patios de 20 a 30 m² (ver Figura 4.32).

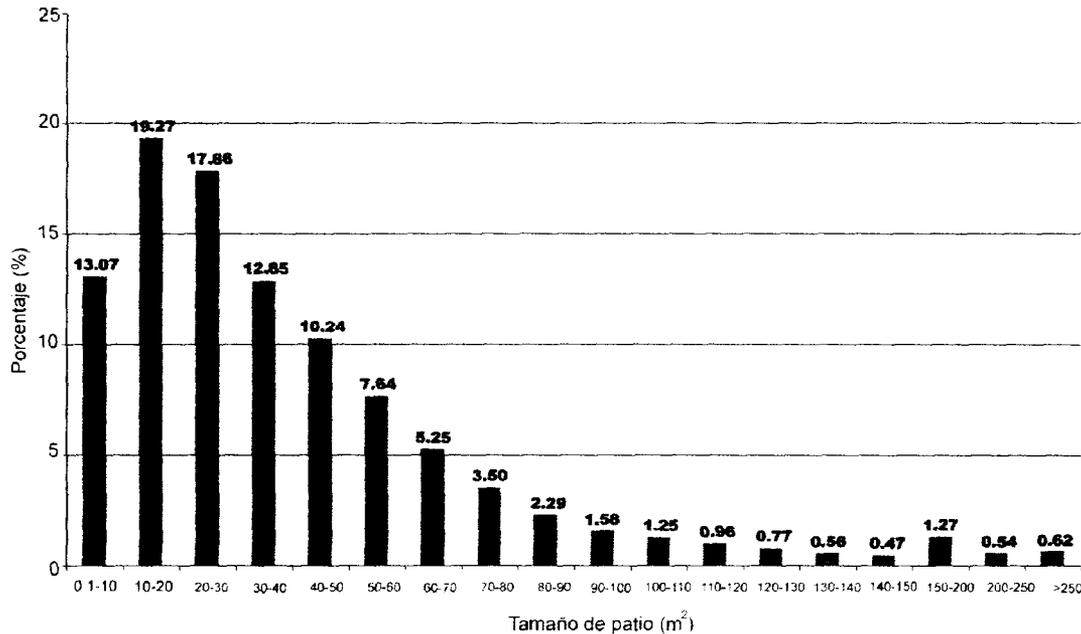


Figura 4.32. Configuración de patios del Municipio de San Nicolás.

En la Figura de análisis 4.33 se aprecia que los patios más grandes se ubican hacia el norte del municipio, lo cual es un área de oportunidad para recomendar zonas permeables, que puedan contribuir a minimizar el escurrimiento.

Al tomar como áreas impermeables estos patios y aplicarles el Método Racional para el cálculo de los escurrimientos, se encontró que el escurrimiento máximo para los patios es de 27.71m³/h y el promedio de escurrimientos producido por estos patios es de 1.95 m³/h (ver Figuras 4.34 y 4.35).



Figura 4. 31. Escorrentamientos generados por la vivienda en el Municipio de San Nicolás.

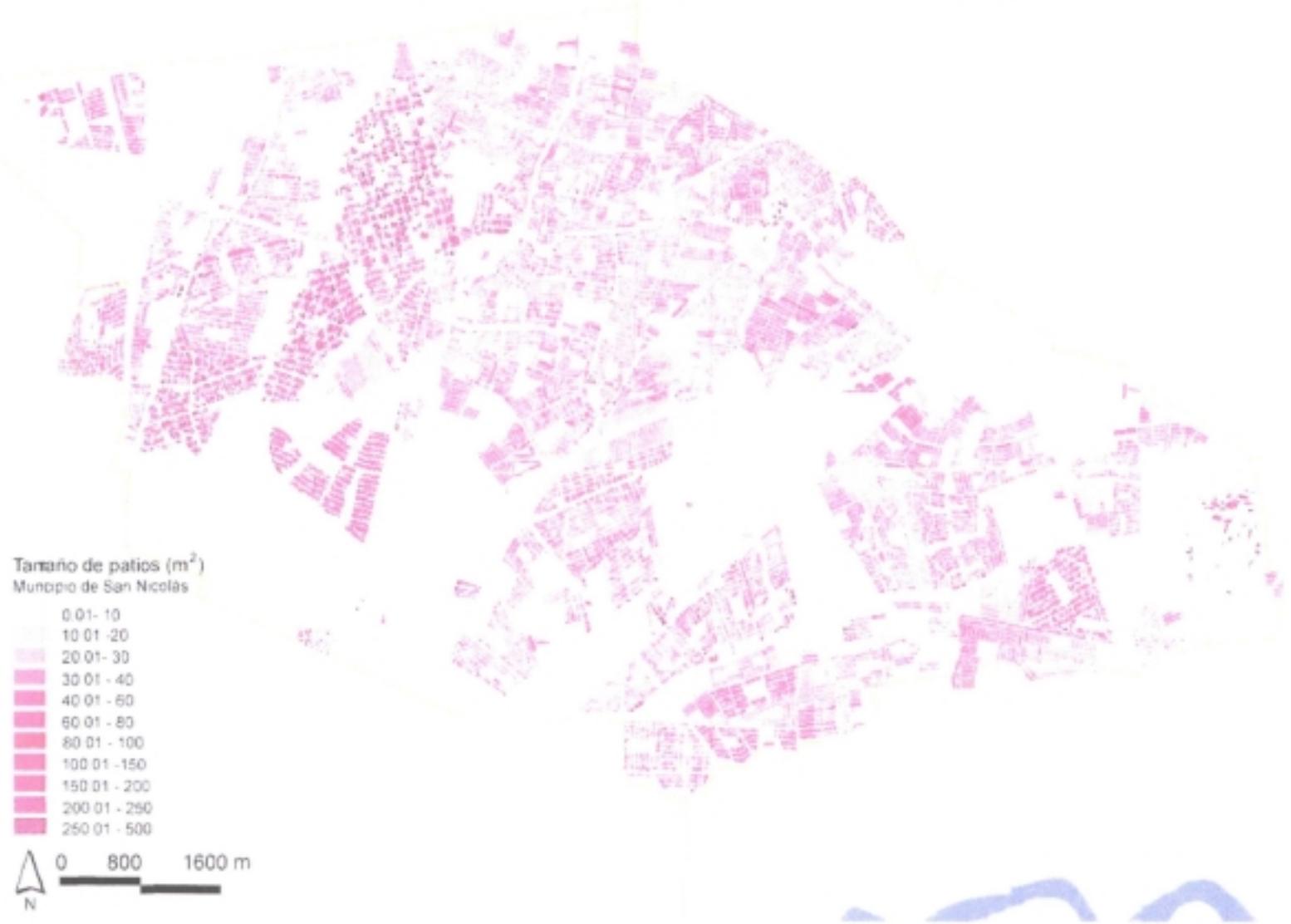


Figura 4.33. Tamaño de los patios de la vivienda en el Municipio de San Nicolás.



Figura 4.34. Escorrimentos generados por los patios de la vivienda en el Municipio de San Nicolás.

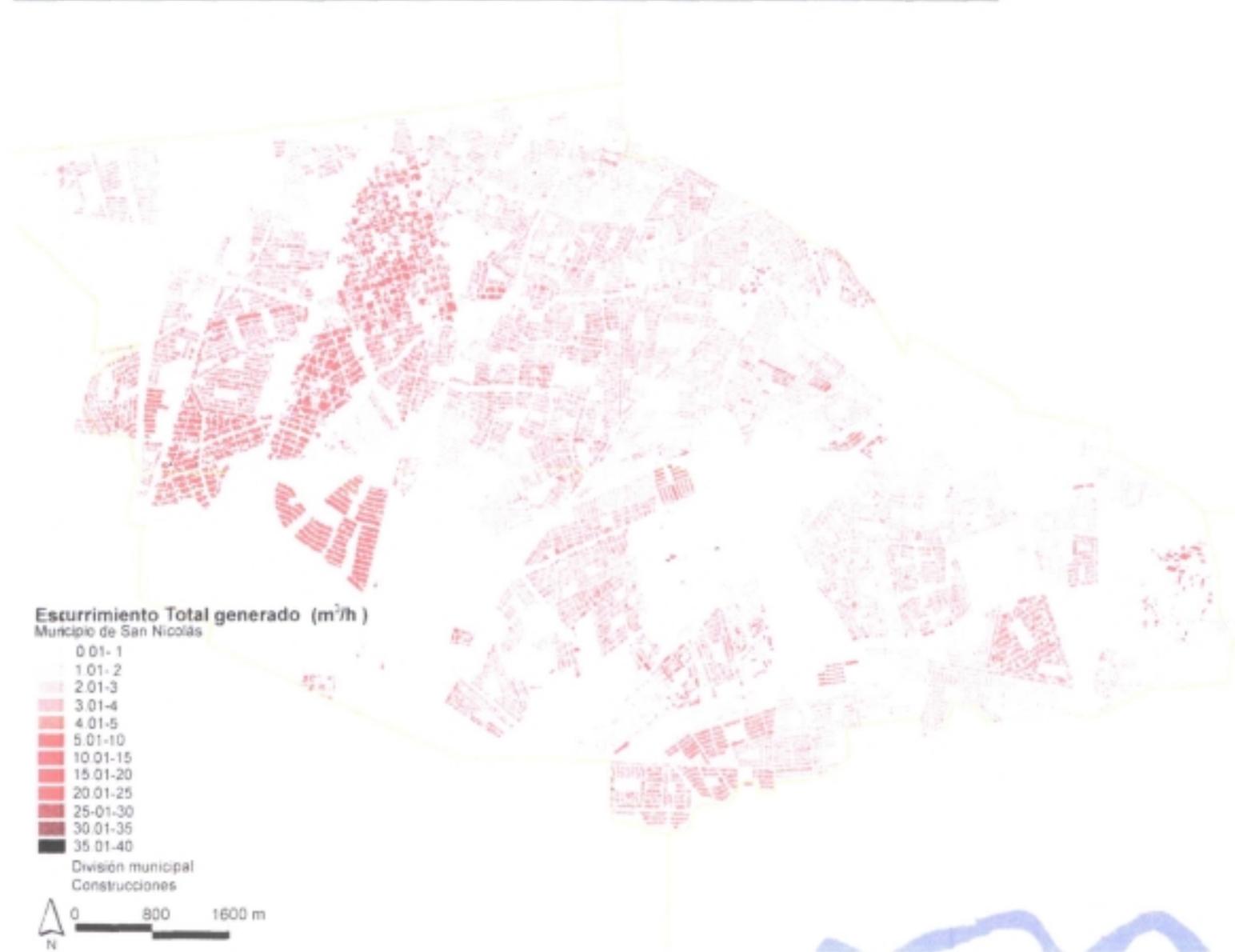


Figura 4.35. Escorrimentos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de San Nicolás.



4.6 SAN PEDRO

A) USO DE SUELO

El Municipio de San Pedro tiene un uso de suelo habitacional predominante, con un área dedicada a la vivienda de 1,479 ha, las cuales equivalen a un 35.45% del total urbanizado de 4174 ha. En el caso de la densidad de vivienda, en el año 2000, había solamente 19.08 viviendas por cada hectárea de superficie municipal, lo cual es mucho menor que lo que sucede con otros municipios (Noriega, P. et al 2004b).

En el municipio de San Pedro las viviendas se encuentran concentradas en la parte central del municipio, pero aún así pueden ubicarse muchas viviendas en zonas de montaña. Los baldíos en este municipio representan un 17.56% del total de superficie urbanizada.

B) TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA VIVIENDA

El tamaño de viviendas más común en San Pedro corresponde a un área entre 300 y 500 m² con un poco más del 20%. En segundo lugar se encuentran las viviendas mayores a 500 m² (ver Figura 4.36).

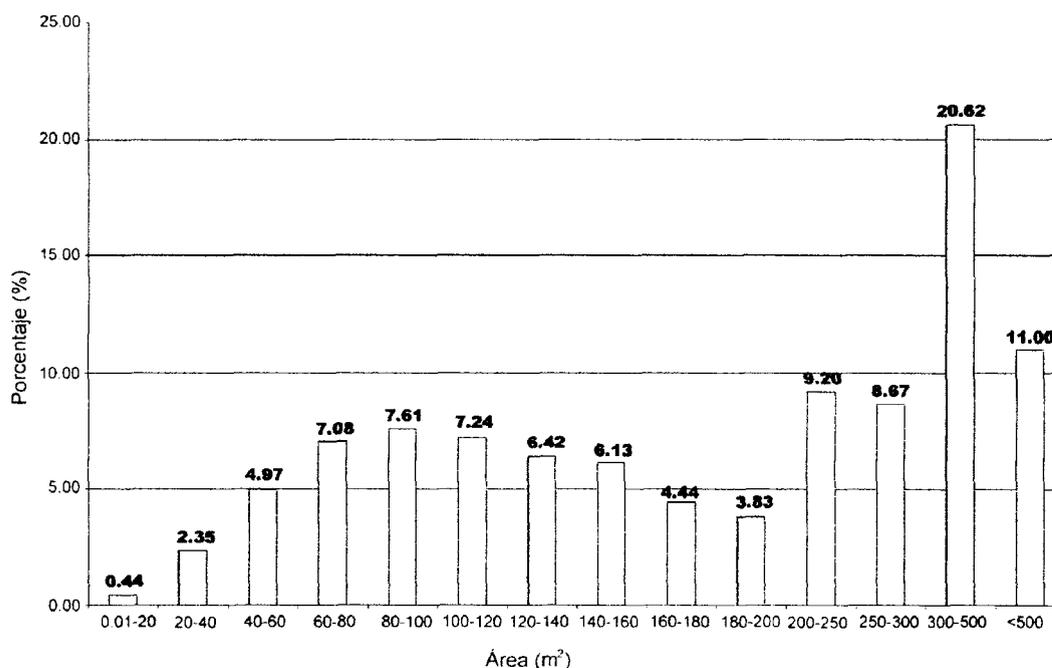


Figura 4.36. Tamaño de la vivienda del Municipio de San Pedro.

Estos tamaños de vivienda, son mucho más grandes que los encontrados en todos los demás municipios, y significa que al tener superficies impermeables mayores se generarán mayores escurrimientos en estas zonas. La ocupación por lote más frecuente en este municipio es de 60 a 70% en primer lugar y en segundo lugar de 50 a 60%. Esto significa que la mayor parte de las



construcciones aún tienen espacios libres que pudieran ser utilizados para instalar técnicas de captación, retención e infiltración de aguas pluviales con el fin de administrar los escurrimientos (ver Figura 4.37).

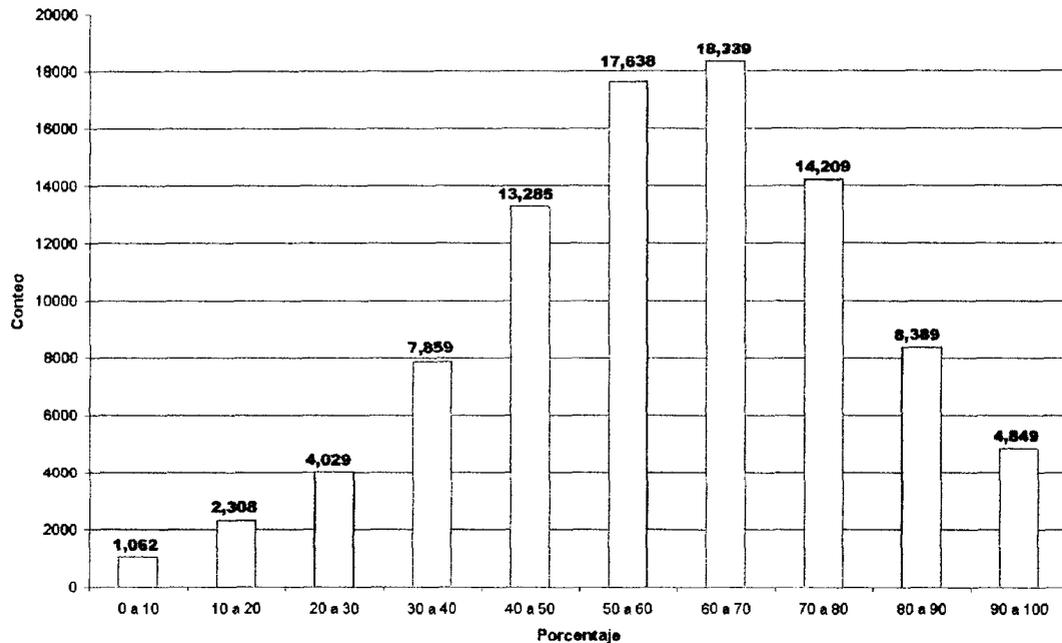


Figura 4.37. Densidad de construcción del Municipio de San Pedro.

C) ESCURRIMIENTOS

Dado que la mayor parte de los lotes tienen una ocupación de 60 a 70% es decir densidades media y alta, para la aplicación del Método Racional, se utilizaron los coeficientes de 0.85 y 0.95, lo cual genera mayores gastos. Así, se encontraron escurrimientos desde $0.01 \text{ m}^3/\text{h}$ hasta $61.27 \text{ m}^3/\text{h}$, lo cual corresponde a números mucho mayores que los encontrados en los otros municipios.

De igual manera, el promedio de escurrimiento de las viviendas construidas en San Pedro es el mayor de todos los municipios del AMM con $4.88 \text{ m}^3/\text{h}$ (ver Figura 4.38).

Se puede observar que en el centro del municipio es donde se concentra la mayor parte de las viviendas y por ende los escurrimientos producidos por éstas serán mayores en esta zona. Es importante también tomar en cuenta que dado que en este municipio se encuentran muchas viviendas en zona de montaña hay que tener cuidado con el manejo de los escurrimientos en esta zona, dado que el favorecer la infiltración en zonas de alta pendiente puede producir deslizamientos o expansión en los suelos.



D) CONFIGURACIÓN DE PATIOS

Los patios que aparecen con mayor frecuencia en este municipio corresponden a un área de 0.01 a 10 m², lo cual los hace mucho más pequeños que los identificados en otros municipios. En segundo lugar se ubican los patios de 10 a 20 m². Este tipo de patios es pequeño para instalar estrategias de manejo de escurrimientos complejas como canales desarenadores o estructuras de captación, las cuales se explicarán en el Capítulo VI. Sin embargo, es interesante notar que en este municipio un 5.66% de las viviendas tiene patios con áreas de 150 a 200 m² (ver Figura 4.39). Esto es muy importante, dado que con viviendas mayores a los 300 m² y patios de estos tamaños se pueden proponer estrategias combinadas de manejo de escurrimientos dando como resultado áreas de paisajismo más interesantes. Aún así no hay que olvidar que en altas pendientes se necesitan estudios a profundidad para proponer estructuras de infiltración.

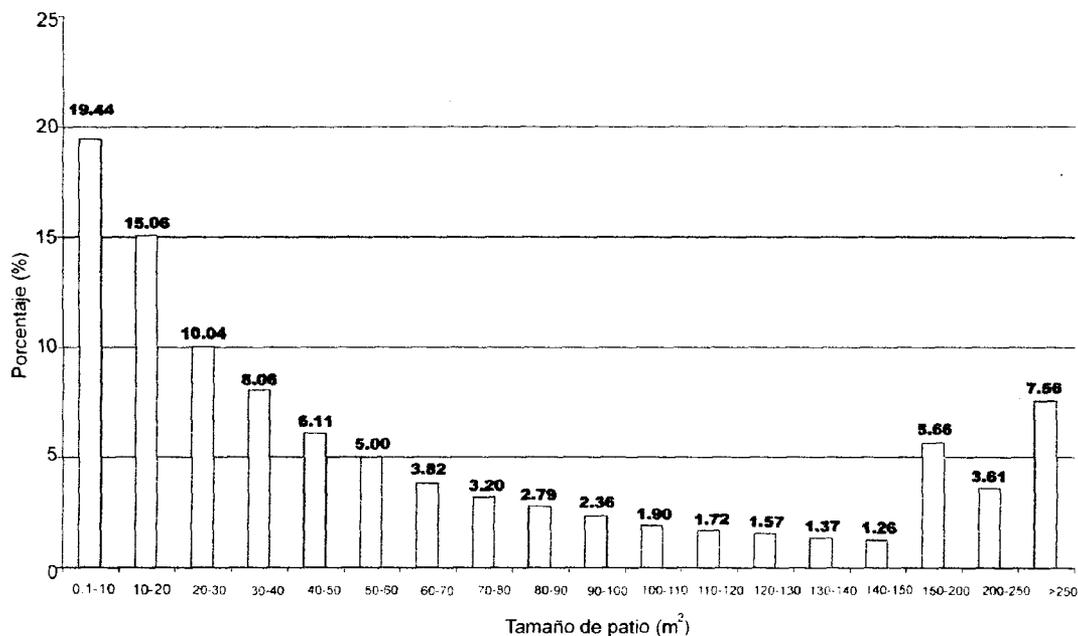


Figura 4.39. Configuración de patios del Municipio de San Pedro.

En la Figura de análisis 4.40 se aprecia que los patios más grandes se ubican en la parte central del municipio.

Al tomar como áreas impermeables estos patios y aplicarles el Método Racional para el cálculo de los escurrimientos, se encontró que el gasto máximo para éstos es de 23.74 m³/h y el promedio de escurrimientos producido por estos patios es de 3.66 m³/h (ver Figuras 4.40 y 4.41). Estos promedios son mucho más altos que en los demás municipios estudiados.



En la Figura 4. 42 se observa el escurrimiento total de las áreas impermeables de vivienda junto con el escurrimiento producido por los patios en caso que estos estuviesen pavimentados.

En este mapa se aprecia que las viviendas con mayores áreas, mayores escurrimientos y mayores patios se encuentran en la parte central del municipio. Para aplicar una estrategia de manejo de agua pluvial para este municipio se debe de concentrar en estas zonas.



Figura 4. 38. Escorrentamientos generados por la vivienda en el Municipio de San Pedro.



Figura 4.40. Tamaño de los patios de la vivienda en el Municipio de San Pedro.



Figura 4.41. Escorrentías generadas por los patios de la vivienda en el Municipio de San Pedro.



Figura 4.42. Escorrimientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de San Pedro.



4.7 SANTA CATARINA

A) USO DE SUELO

El Municipio de Santa Catarina tiene un área dedicada a vivienda de 732 ha solamente, lo cual equivale a un 18.55% del total de superficie urbanizada (3,946 ha). Este municipio es más bien de vocación fabril y hay que notar que un alto porcentaje de área está dedicada a la vialidad con un 1,059 ha (26.8% del total urbanizado). Este factor es también muy importante ya que en este municipio las áreas impermeables por la vialidad superan a las creadas por la vivienda, por lo cual sería importante al considerar una estrategia de manejo de escurrimientos en la fuente, enfocar los esfuerzos a la reducción de área impermeable producto de la vialidad. En el año 2000, en Santa Catarina había 64.37 viviendas por cada hectárea de superficie municipal, lo cual, al igual que San Nicolás, es mucho más denso que otros municipios (Noriega, P. et al 2004b).

La ubicación de la vivienda en Santa Catarina es claramente identificable, en parte debido a su vocación industrial. Este tipo de uso de suelo se identifica hacia el oeste del municipio, en la parte norte, donde se caracteriza por ser de tipología de interés social y en el Casco Antiguo del municipio. Los baldíos de Santa Catarina representan un 21.13 % de la superficie total urbanizada. Estos baldíos se encuentran en su mayoría en los corazones de manzana del caso antiguo, específicamente. Este tipo de áreas sin desarrollo pueden aprovecharse para redensificar el municipio o para establecer estrategias de captación y administración del escurrimiento.

B) TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA VIVIENDA

Un 23.42% de las viviendas tienen un área de 60 a 80 m² y en segundo lugar se encuentran las viviendas de 40 a 60 m². Estos tamaños de vivienda corresponden a viviendas de interés social propiamente, como sucede en los municipios de Apodaca y Escobedo, ya que éstos representan las áreas de crecimiento de la ciudad.

El tercer lugar lo ocupan las casas de 80 a 100 m² (ver Figura 4.43). Las viviendas con un área mayor a 120 m² son escasas y solamente representan, al sumar sus categorías un 12.92% del total. Una estrategia de manejo de escurrimientos en este municipio debe de enfocarse en primer lugar a la permeabilidad de las vialidades y en segundo lugar a establecer técnicas de control para la vivienda de interés social.

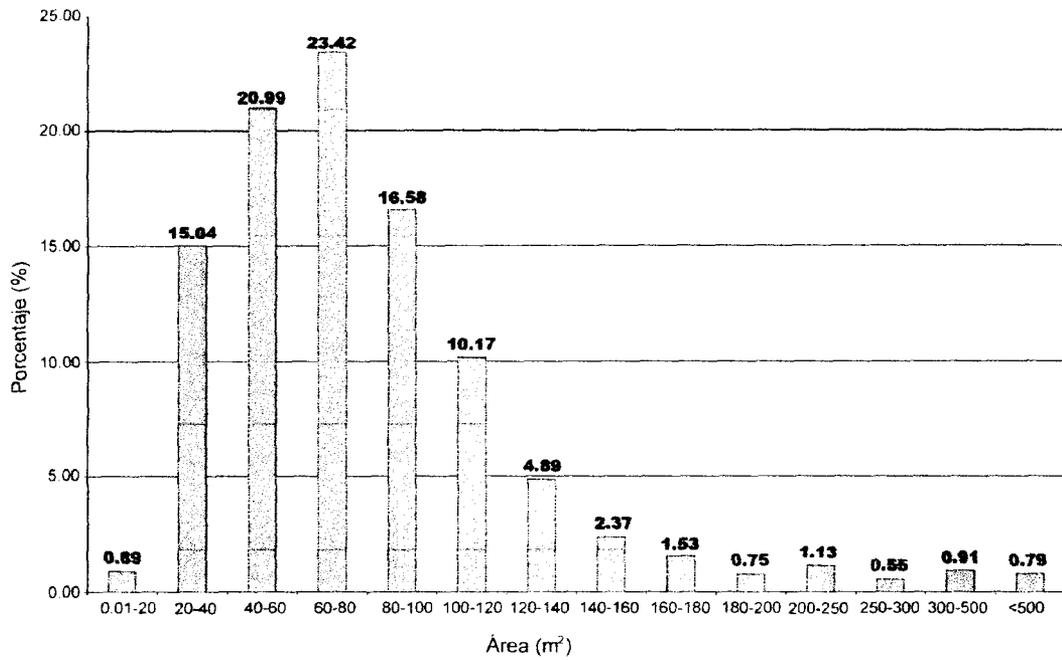


Figura 4.43. Tamaño de la vivienda del Municipio de Santa Catarina.

El conteo de porcentaje de lote ocupado muestra que en Santa Catarina, la densidad de lote que aparece con mayor frecuencia, de los 112,545 lotes contabilizados, es la correspondiente a 60 a 70%. En segundo lugar se encuentran los lotes con ocupación de 40 a 60%. Hay que considerar que estos lotes que aun tienen poco menos la mitad de su área total libre pueden considerar alguna estrategias de manejo de escurrimientos de captación (ver Figura 4.44)

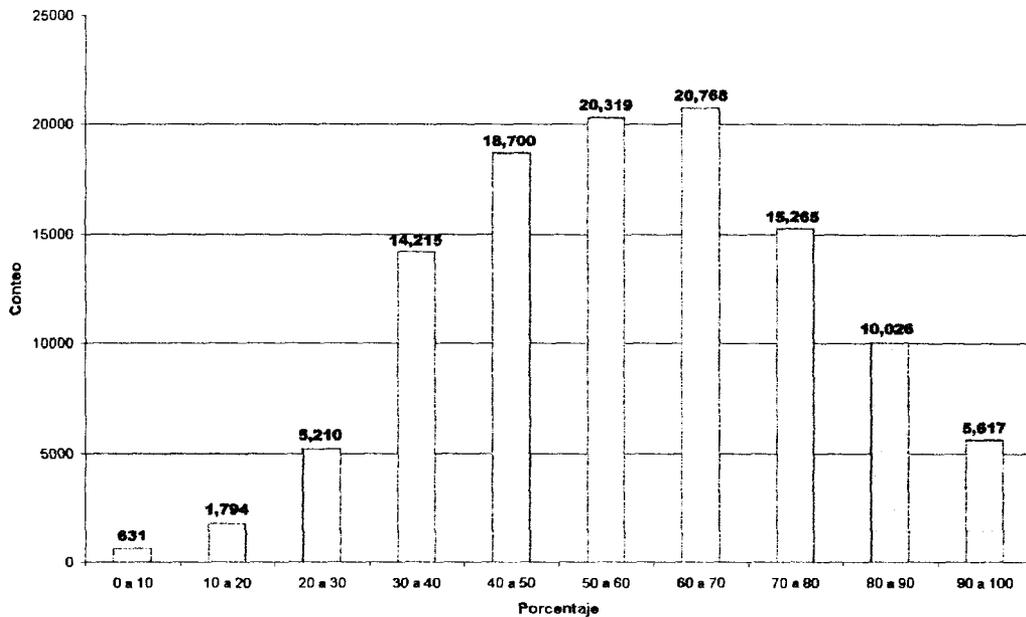


Figura 4.44. Densidad de construcción del Municipio de Santa Catarina.



C) ESCURRIMIENTOS

Dado que la mayor parte del municipio tiene una densidad media- alta, los coeficientes de escurrimiento que se aplicaron fueron de 0.85 y 0.95. Los gastos encontrados dieron como resultado un escurrimiento que va desde 0.01 hasta 39.16 m³/h. El promedio de escurrimiento encontrado en este municipio es de 1.255 m³/h, un resultado un poco mayor al encontrado en Apodaca y Escobedo. En la Figura 4.45 se aprecia que la mayor parte del municipio presenta un escurrimiento entre 4 y 5 m³/h y existen algunas zonas claramente identificables con escurrimientos mayores a este rango, como las ubicadas hacia la salida del AMM. En Santa Catarina, las zonas más críticas son las correspondientes al norte del municipio y unas pocas viviendas del casco antiguo del municipio, donde muchos de los lotes tienen una ocupación casi del 100%.

D) CONFIGURACIÓN DE PATIOS

Los patios que aparecen con mayor frecuencia en este municipio corresponden a un área de 10 a 20 m², lo cual corresponde propiamente a patios de viviendas de interés social. En segundo lugar se ubican los patios de 20 a 30 m². Como se mencionó anteriormente, estos patios no son totalmente adecuados para la instalación de estrategias complejas de manejo de escurrimientos por sus limitantes de espacio, pero existen estrategias de captación que no ocupan demasiada área y que pueden ayudar a solucionar los problemas de escurrimientos en la fuente (ver Figura 4.46).

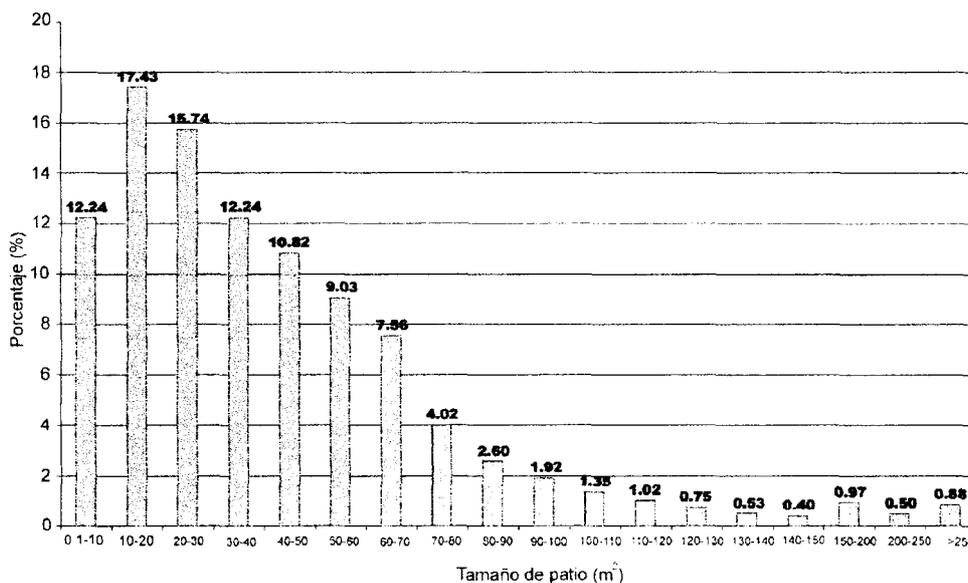


Figura 4.46. Configuración de patios del Municipio de Santa Catarina.



En la Figura de análisis 4.47 se aprecia que los patios más grandes se ubican en lo que fue el casco antiguo del municipio, al noreste del municipio y finalmente en las cercanías del Río Santa Catarina.

Al tomar como áreas impermeables estos patios y aplicarles el Método Racional para el cálculo de los escurrimientos, se encontró que el gasto máximo para éstos es, al igual que sucede en el Municipio de San Pedro, de 23.74 m³/h y el promedio de escurrimientos producido por estos patios es de 2.08 m³/h (ver Figuras 4.48). Estos promedios son mucho más altos que en los demás municipios estudiados.

En la Figura 4. 49 se observa el escurrimiento total de las áreas impermeables de vivienda junto con el escurrimiento producido por los patios en caso que estos estuviesen pavimentados. Aquí se aprecia que la zona crítica a considerar para el manejo de escurrimientos y que además tiene una oportunidad de mejora por el tamaño de sus patios corresponde al Casco Antiguo. Desde luego es necesario en primera instancia, considerar una estrategia de enfocada hacia la vialidad.



Figura 4. 45. Escorrentamientos generados por la vivienda en el Municipio de Santa Catarina.



Figura 4.47. Tamaño de los patios de la vivienda en el Municipio de Santa Catarina.



Figura 4.48. Escorrentías generados por los patios de la vivienda en el Municipio de Santa Catarina.



Figura 4.49. Escorrentamientos totales generados por la vivienda y sus patios en el Municipio de Santa Catarina.



4.8 RESULTADOS COMPARATIVOS DEL ANÁLISIS DE ESCURRIMIENTOS DE LOS MUNICIPIOS DEL AMM

A) USO DE SUELO

El uso de suelo dedicado a la vivienda difiere notablemente entre los distintos municipios del AMM. Los municipios que dedican mayor superficie a la vivienda son San Pedro, en primer lugar, con un 35.43% del total de 4174 ha y Monterrey con 5478 ha de vivienda (33.74%). Los municipios con menor área dedicada al uso de suelo habitacional son Santa Catarina con 18.55% y Apodaca con 17.06% (ver Tabla 4.1 y Figura 4. 50).

Tabla 4.1. Tabla comparativa del uso de suelo habitacional en el AMM.

| Uso de suelo | Apodaca | Escobedo | Guadalupe | Monterrey | San Nicolás | San Pedro | Santa Catarina |
|---|---------|----------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| Vivienda | 1452 | 2055 | 2415 | 5478 | 1738 | 1479 | 732 |
| Total urbanizado | 8512 | 6111 | 7897 | 16234 | 5931 | 4174 | 3946 |
| Porcentaje (%) | 17.06 | 33.63 | 30.58 | 33.74 | 29.30 | 35.43 | 18.55 |
| Viviendas por superficie municipal de vivienda (viv/ha) | 44.77 | 26.13 | 62.03 | 46.75 | 65.56 | 19.08 | 66.37 |

Fuente: Noriega, P. et al 2004b.

Las viviendas por hectárea también presentan números muy distintos. Los municipios con mayor número de viviendas por hectárea son Santa Catarina con 66.37, San Nicolás con 65.56 y Guadalupe con 62.03 viviendas/ha.

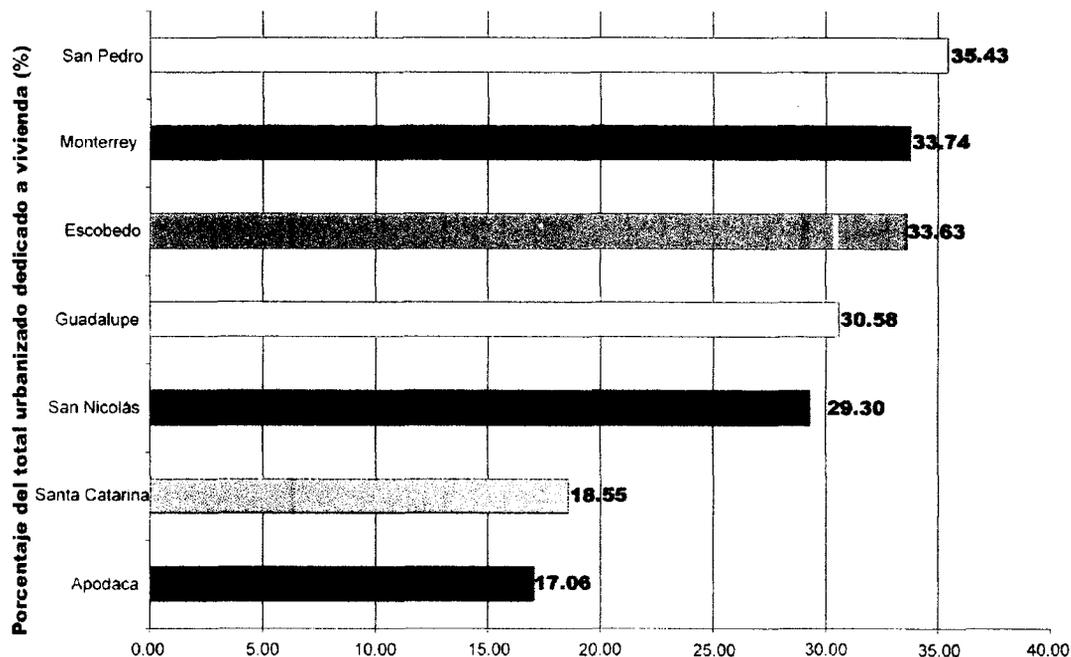


Figura 4.50. Superficie urbanizada dedicada a la vivienda en el AMM.

**B) TAMAÑO Y DENSIDAD DE LA VIVIENDA**

En cuanto al tamaño de la vivienda, los resultados también difieren. San Pedro se caracteriza por tener las viviendas de mayor tamaño con áreas de 300 a 500 m². Monterrey tiene viviendas de 100 a 120 m² y Santa Catarina, San Nicolás y Guadalupe de 60 a 80 m². Finalmente, Apodaca y Escobedo tienen viviendas más pequeñas con áreas de 40 a 60 m² (ver Tabla 4.2 y Figura 4.51).

Tabla 4.2 . Tamaño y ocupación de lote de la vivienda en el AMM.

| Concepto | Apodaca | Escobedo | Guadalupe | Monterrey | San Nicolás | San Pedro | Santa Catarina |
|---------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Tamaño de viviendas (m ²) | 40 a 60 m ² | 40 a 60 m ² | 60 a 80 m ² | 100 a 120 m ² | 60 a 80 m ² | 300 a 500 m ² | 60 a 80 m ² |
| Ocupación de lote (%) | 50 a 60% | 30 a 40% | 60 a 70% | 60 a 70% | 60 a 70 % | 60 a 70% | 60 a 70% |

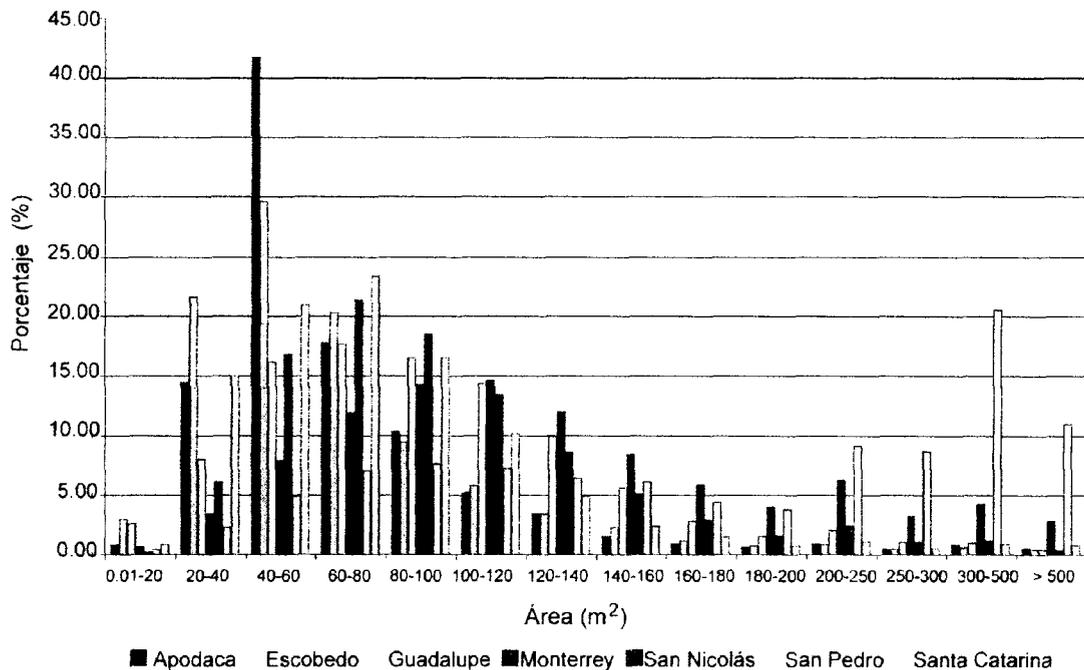


Figura 4.51. Tamaño de la vivienda en el AMM.

C) ESCURRIMIENTOS

En cuanto a los escurrimientos máximos generados en el AMM, en la Figura 4.51, se puede observar que en San Pedro es el municipio que presenta un escurrimiento máximo con 61.27 m³/h. En segundo lugar se encuentra el municipio de Monterrey. Estos dos municipios tienen superficies impermeables más extensas por lo que sus escurrimientos máximos son mayores. Apodaca Guadalupe y Santa Catarina desplazan un escurrimiento similar de alrededor de 39 m³/h. El resto de los municipios muestran un gasto de 36 m³/h en promedio (ver Figura 4.52).



Del escurrimiento promedio que desplazan estos municipios, San Pedro es el que tiene un mayor volumen con 4.88 m³/h. Monterrey y Guadalupe están en segundo y tercer lugar respectivamente con 3.49 y 3.06 m³/h. Escobedo es el municipio con el menor promedio de escurrimiento del AMM, con solamente 1.04 m³/h (ver Figura 4.53).

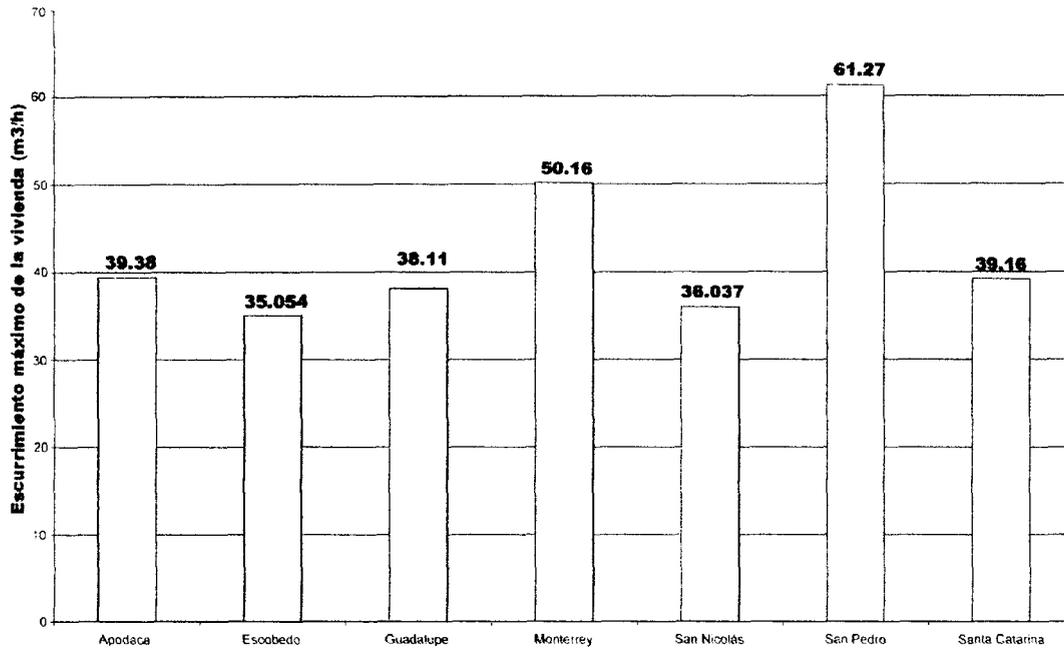


Figura 4.52. Escurrecimiento máximo generado por la vivienda en los municipios del AMM.

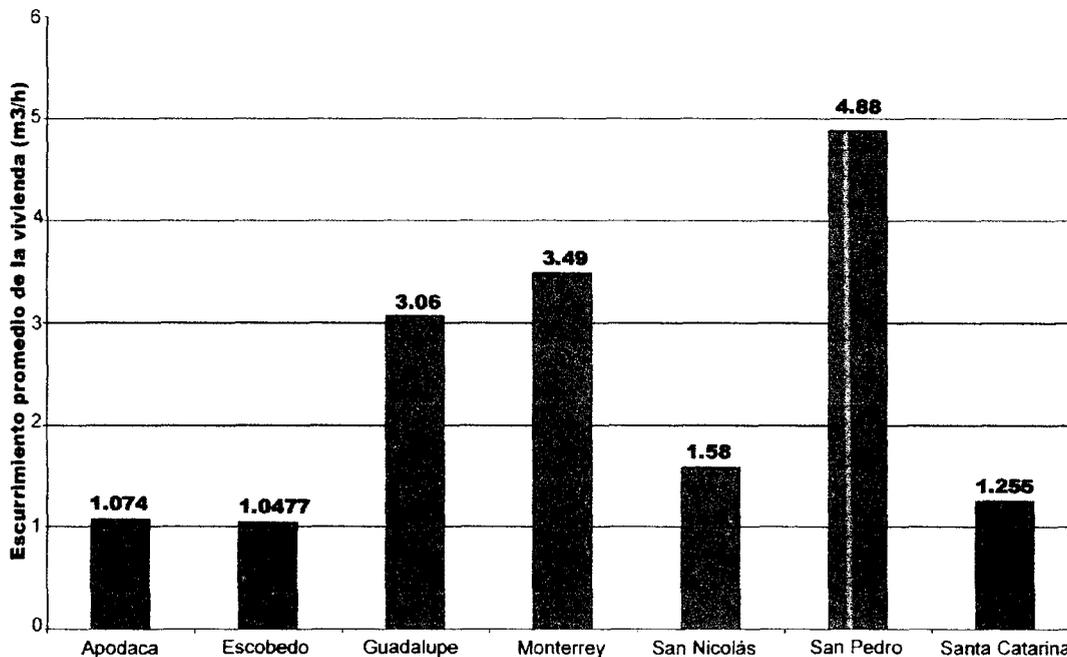


Figura 4.53. Escurrecimiento promedio generado por la vivienda en el AMM.



D) CONFIGURACIÓN DE PATIOS

Los patios que se presentan con mayor frecuencia en el AMM son los que tienen un área de 10 a 20 m², como se puede ver en la Tabla 4.2. Los municipios que difieren de esta tipología son San Pedro con patios más pequeños de 0.1 a 10 m² y Escobedo con patios un poco más grandes en el rango de 20 a 30 m².

Tabla 4.3 .Configuración de patios en el AMM.

| Concepto | Apodaca | Escobedo | Guadalupe | Monterrey | San Nicolás | San Pedro | Santa Catarina |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
| Tamaño de patios (m ²) | 10 a 20 m ² | 20 a 30 m ² | 10 a 20 m ² | 10 a 20 m ² | 10 a 20 m ² | 0 a 10 m ² | 10 a 20 m ² |

Con respecto a los escurrimientos máximos y promedio de estos patios, los municipios tienen un escurrimiento muy similar entre ellos, ya que todos tienen 23 m³/h y difieren por muy poco, debido a que el tamaño de los patios también resulta muy similar (ver Figura 4.54).

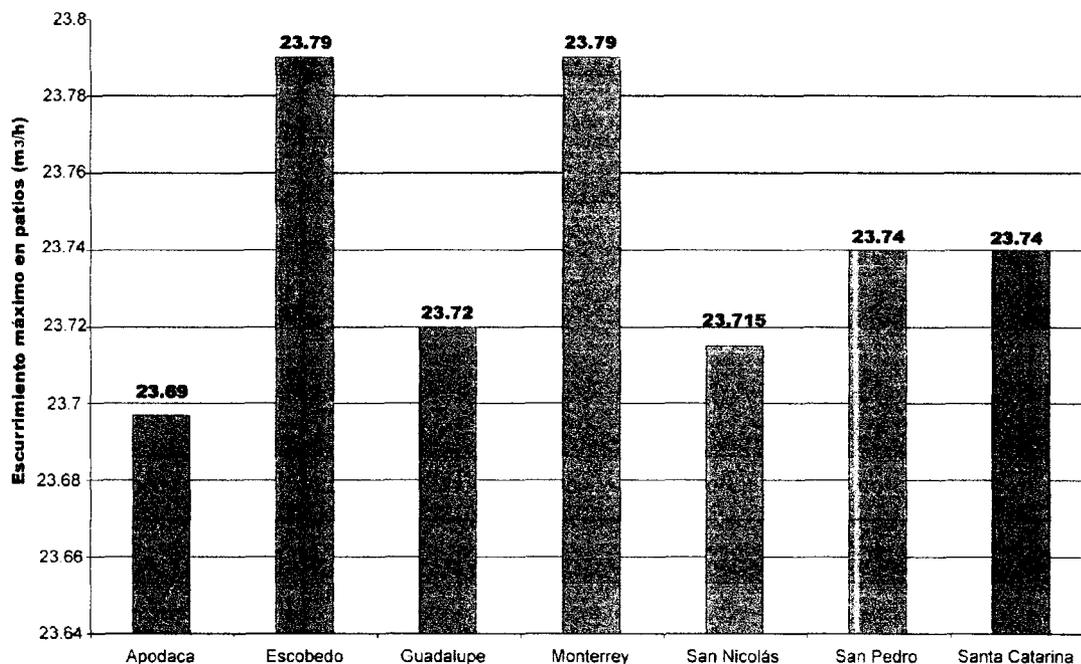


Figura 4.54. Escurrecimiento máximo generado por los patios en el AMM.

Sin embargo, en el escurrimiento promedio generado por estos patios si estuvieran pavimentados, hay varias diferencias, San Pedro tiene un promedio en patios de 3.67 m³/h, mientras que los demás municipios no superan los 2.5 m³/h. Los municipios con menor escurrimiento promedio en patios son Apodaca y San Nicolás (ver Figura 4.55).

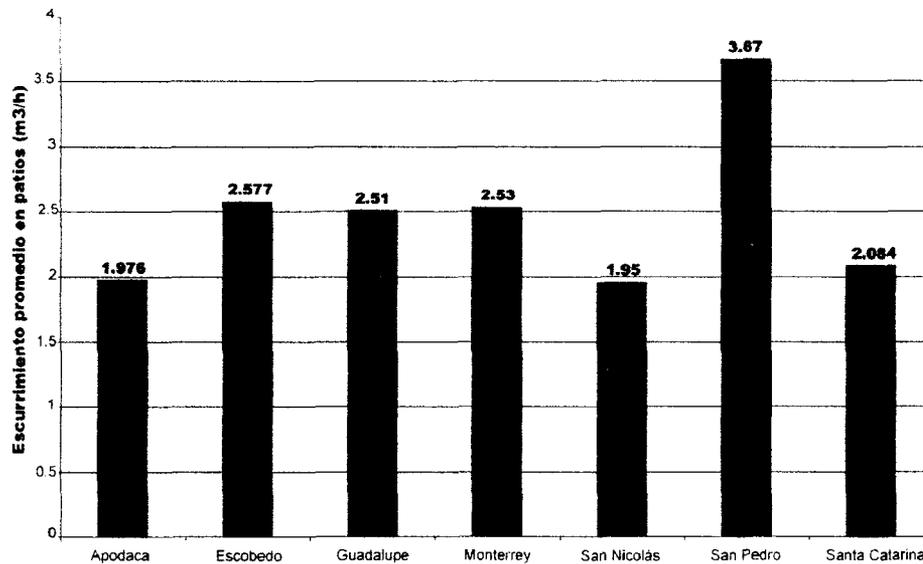


Figura 4.55. Escorrentamiento promedio de los patios en el AMM.

En conclusión, el municipio con mayor área de vivienda con respecto a su superficie total urbanizada es San Pedro. Este municipio necesita un enfoque especial para el manejo de sus escurrimientos, en primer lugar por las pendientes donde están ubicadas sus viviendas y en segundo lugar porque tiene viviendas muy grandes con patios muy grandes, donde pueden realizarse combinaciones de técnicas de manejo de escurrimientos.

En los demás municipios, la planeación del manejo de los escurrimientos del AMM debe de estar enfocada a una tipología de vivienda con área de 40 a 80 m² y con patios de 10 a 20 m². Estas estrategias deben de estar orientadas a controlar un promedio de 2.34 m³/h de escurrimiento.

En el siguiente capítulo se explora la capacidad de infiltración de los suelos del AMM en sus primeros 60 cm con fin de proponer estrategias específicas de infiltración para el control de estos escurrimientos.



V. CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DEL SUELO

Una de las estrategias que se recomiendan con mayor frecuencia para el manejo in situ de las aguas pluviales es la infiltración dentro del lote. Esto no es realista si no se conoce con certidumbre la capacidad de infiltración del suelo y su pendiente. En casos en que una estructura de infiltración se proponga sobre un suelo inadecuado, se pueden crear problema a las estructuras, debido a la expansión del suelo, o se pueden favorecer deslizamientos creando nuevos y mayores problemas. Por esta razón, una vez que se obtuvo el gasto que generan las zonas impermeables, se realizó el análisis de la permeabilidad de suelo del AMM para ubicar las zonas de posible infiltración. Primero se procedió a la digitalización de los puntos de verificación de las cartas Edafológicas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, (1990a, 1990b, 1990c y 1990d) y el análisis de la información del suelo de estos puntos. De la Carta Edafológica GI4C15 se digitalizaron 12 puntos, de la Carta Edafológica GI4C25 14, de la GI4C26 32 y de la GI4C16, 23 puntos. Lo cual dio un total de de 81 puntos digitalizados. Sin embargo, en las cartas de INEGI existen muy pocos datos acerca de los pozos de infiltración dentro del área urbanizada. La mayor parte de los puntos de verificación se encuentran en los alrededores (ver Figura 5.3) y no tienen los datos necesarios para poder analizar su capacidad de infiltración. De los 81 puntos digitalizados, solamente 23 tienen datos analíticos, en especial lo relativo a su clase textural. Esto representa apenas un 28% del total de los puntos reportados por INEGI. Por ello se concluye que se tiene insuficiente información para toda el área metropolitana y como primer paso es necesario levantar nuevos puntos de verificación que se encuentren dentro de las zonas urbanizadas con el fin de poder proponer estrategias de infiltración a un nivel más amplio y detallado.

Los puntos de verificación que se digitalizaron incluyen su clase textural es decir, datos de los porcentajes de arcilla, limo y arena, y la profundidad en cm, del limite de suelo con tales características. Ello con el propósito de poder proponer estructuras de infiltración con base en la permeabilidad de suelo.

La clase textural de un suelo está definida por la composición de limo, arcilla y arena dentro del suelo y de esta clase textural depende si el agua de precipitación infiltrará en el suelo. Los límites de estas clasificaciones se basan en los tamaños de las partículas (Hillel, D. 1994)

- Arena: 2.0 a 0.05 mm de diámetro
- Limo: 0.05 a 0.002 mm de diámetro
- Arcilla: menores a 0.002 mm de diámetro (ver Figura 5.1)

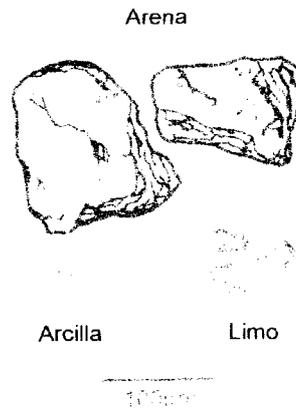


Figura 5.1. Representación visual de los tamaños de la arena, limo y arcilla.

Fuente: Hillel, D. 1994.

A las diferentes proporciones de arena, limo y arcilla se les asignan diferentes clases por medio del triángulo de clasificación textural propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés). Según este triángulo, las zonas más apropiadas para la infiltración son aquellas que tienen hasta 20% de arcilla, 50% de arena y 60% de limo. Asimismo, existen suelos que tienen posibilidad de infiltrar, que tienen hasta aproximadamente un 30% de arcilla, hasta 70% de limos y prácticamente sin arena (ver Figura 5.2). En este segundo caso la posibilidad de usarlos para infiltración depende de la profundidad del suelo en relación con la lluvia máxima horaria

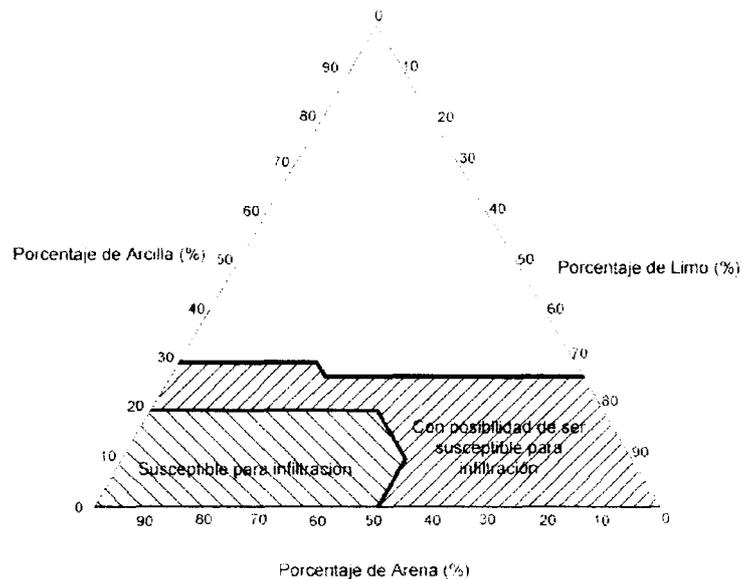


Figura 5.2. Triángulo textural de la USDA.

Fuente: Braja, D. 1994



Figura 5.3. Puntos de verificación digitalizados en el AMM de las Cartas Edafológicas de INEGI.

Fuente: INEGI, (1990a, 1990b, 1990c y 1990d).



Con la información de los puntos de verificación y de su composición de arcilla, limo y arena, se clasificó cada uno de ellos para determinar su capacidad de infiltración. Para el análisis práctico se separaron estos puntos por su ubicación municipal. La profundidad de infiltración óptima para la absorción de la lluvia máxima horaria que tiene el AMM (0.0500 m/h) es de 60 cm, por lo cual se incluyó solamente la información del punto con esta profundidad.

A continuación se comentarán los puntos de verificación de cada municipio y sus características.

Para finalizar se mostrará un análisis metropolitano de las áreas susceptibles de infiltración.

5.1 APODACA

En el Municipio de Apodaca solamente se cuenta con información de ocho puntos de verificación. La mayor parte de estos se encuentran fuera de las áreas urbanizadas del municipio como puede apreciarse en la Figura 5.4. Estas zonas, de resultar aptas, aún tendrían la capacidad de normarse para promover la infiltración ya que Apodaca es uno de los municipios que presenta mayor conflicto con respecto a las inundaciones.

Los puntos digitalizados en el Municipio de Apodaca pertenecen a dos Cartas Edafológicas:

G14C26

G14 C16

La textura que predomina en las áreas urbanizadas del municipio es la 3 que no es muy susceptible de infiltrar. Algunas de las zonas sin urbanizar tienen textura 2.

El Municipio de Apodaca, en comparación con otros de los municipios del AMM, si tiene muchos puntos de verificación, sin embargo, solamente 8 de estos puntos tienen información para su clasificación textural. Los puntos que están en color amarillo en la Figura 5.4 son aquellos que tienen información con respecto a su porcentaje de arcilla, limo y arena y que servirán para el análisis textural que se detalla más adelante.



Con la información de los puntos de verificación y de su composición de arcilla, limo y arena, se clasificó cada uno de ellos para determinar su capacidad de infiltración. Para el análisis práctico se separaron estos puntos por su ubicación municipal. La profundidad de infiltración óptima para la absorción de la lluvia máxima horaria que tiene el AMM (0.0500 m/h) es de 60 cm, por lo cual se incluyó solamente la información del punto con esta profundidad.

A continuación se comentarán los puntos de verificación de cada municipio y sus características.

Para finalizar se mostrará un análisis metropolitano de las áreas susceptibles de infiltración.

5.1 APODACA

En el Municipio de Apodaca solamente se cuenta con información de ocho puntos de verificación. La mayor parte de estos se encuentran fuera de las áreas urbanizadas del municipio como puede apreciarse en la Figura 5.4. Estas zonas, de resultar aptas, aún tendrían la capacidad de normarse para promover la infiltración ya que Apodaca es uno de los municipios que presenta mayor conflicto con respecto a las inundaciones.

Los puntos digitalizados en el Municipio de Apodaca pertenecen a dos Cartas Edafológicas:

G14C26

G14 C16

La textura que predomina en las áreas urbanizadas del municipio es la 3 que no es muy susceptible de infiltrar. Algunas de las zonas sin urbanizar tienen textura 2.

El Municipio de Apodaca, en comparación con otros de los municipios del AMM, si tiene muchos puntos de verificación, sin embargo, solamente 8 de estos puntos tienen información para su clasificación textural. Los puntos que están en color amarillo en la Figura 5.4 son aquellos que tienen información con respecto a su porcentaje de arcilla, limo y arena y que servirán para el análisis textural que se detalla más adelante.

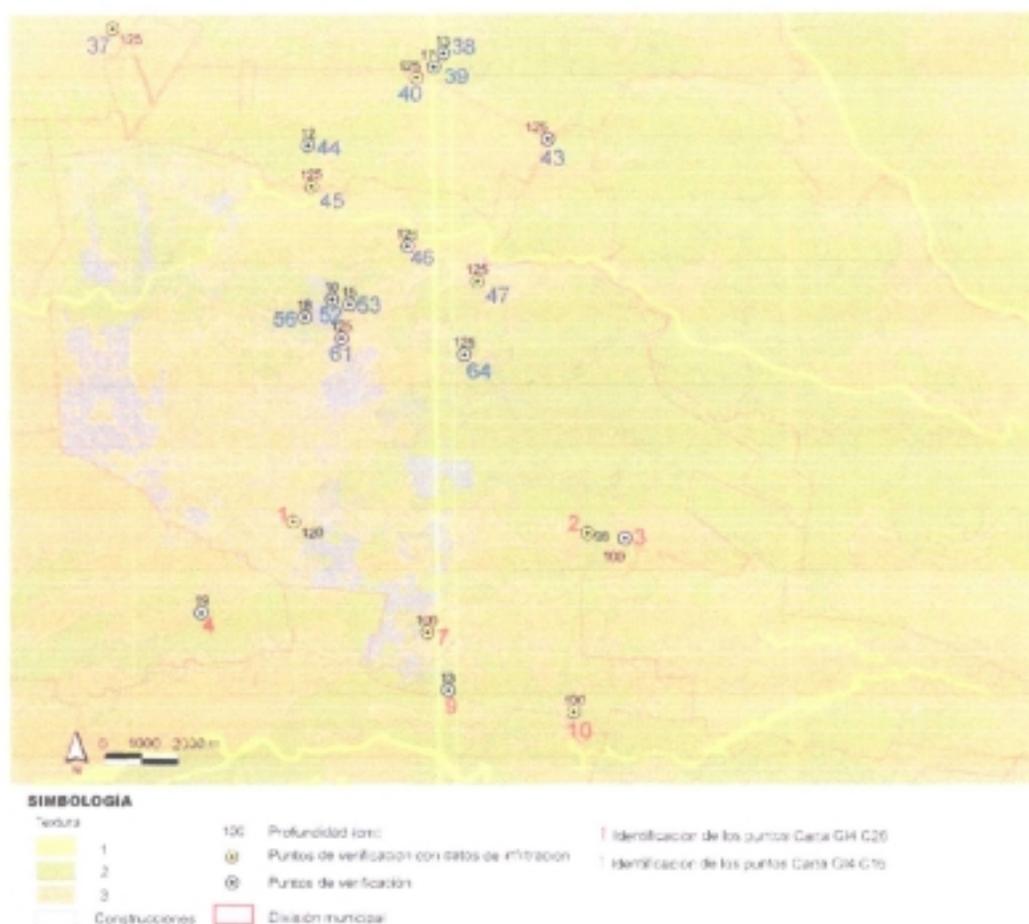


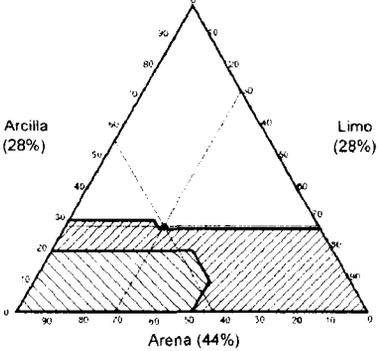
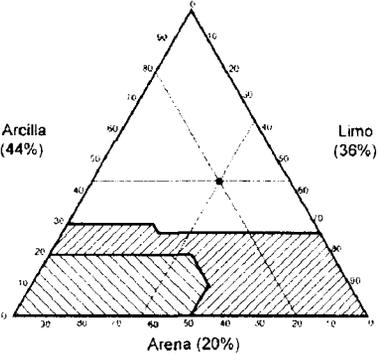
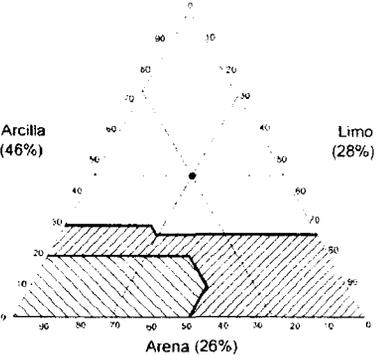
Figura 5.4. Puntos de verificación en el Municipio de Apodaca.

Fuente: INEGI, (1990b y 1990d).

Cada uno de esos puntos se incluye en la Tabla 5.1 con sus datos de identificación INEGI, su composición de acuerdo al triángulo de clasificación textural y su profundidad, así como su aptitud para colocar en ellos estructuras de infiltración.

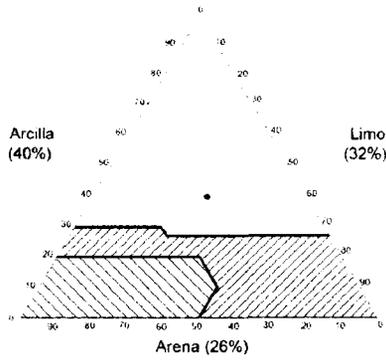


Tabla 5.1. Puntos de verificación en el Municipio de Apodaca de la Carta G 14 C26.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|---|---|-----------|--------|---------|------------------|
| 1 |  <p>Arcilla (28%) Limo (28%) Arena (44%)</p> | 28 | 28 | 44 | 0-30 |
| <p>Este suelo es susceptible de mantener estructuras de infiltración.</p> | | | | | |
| 2 |  <p>Arcilla (44%) Limo (36%) Arena (20%)</p> | 44 | 36 | 20 | 60-90 |
| <p>El tipo de suelo se encuentra fuera de las zonas que son susceptibles de infiltración.</p> | | | | | |
| 7 |  <p>Arcilla (46%) Limo (28%) Arena (26%)</p> | 46 | 28 | 26 | 62-100 |
| <p>El tipo de suelo se encuentra fuera de las zonas que son susceptibles de infiltración</p> | | | | | |



10



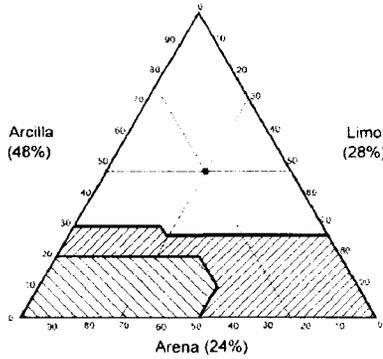
| | | | |
|----|----|----|--------|
| 40 | 32 | 26 | 50-105 |
|----|----|----|--------|

Este suelo no tiene capacidad óptima para infiltrar.

Tabla 5.2. Puntos de verificación en el Municipio de Apodaca de la Carta G14 C16.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|----|------------------------|-----------|--------|---------|------------------|
|----|------------------------|-----------|--------|---------|------------------|

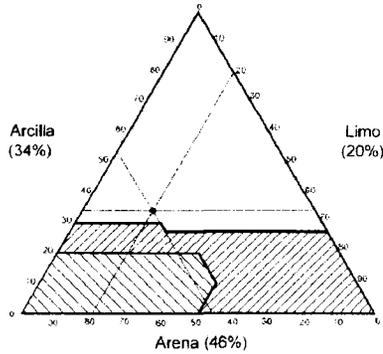
37



| | | | |
|----|----|----|-------|
| 48 | 28 | 26 | 23-56 |
|----|----|----|-------|

Este suelo no tiene las características óptimas para infiltrar

40

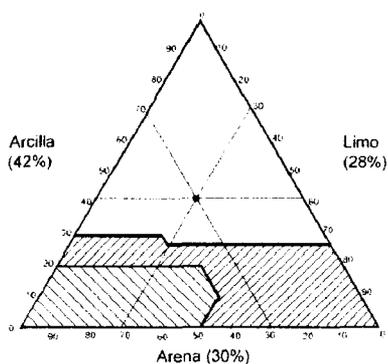


| | | | |
|----|----|----|-------|
| 34 | 20 | 46 | 27-53 |
|----|----|----|-------|

En este caso, el suelo está en la frontera para ser capaz de infiltrar.



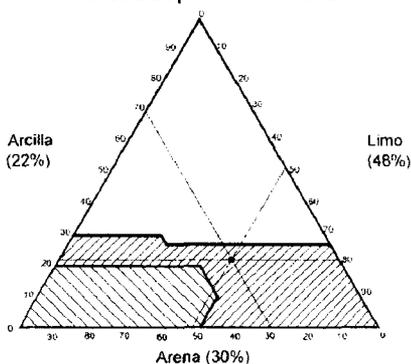
45



42 28 30 63-79

No es susceptible de infiltrar.

47



22 48 30 26-51

Este suelo si tiene capacidad de infiltración

De los ocho puntos analizados, dos son susceptibles de soportar estructuras de infiltración, uno más está muy cerca de la frontera de 30% de arcilla, por lo cual habría que hacer estudios más detallados para comprobar su condición real. Los cinco restantes no tienen la capacidad para infiltrar con la rapidez requerida.

5.2 ESCOBEDO

En el Municipio de Escobedo también se encontraron 17 puntos en total, más que en la mayoría de los demás municipios del AMM. En este caso las Cartas Edafológicas que corresponden a este municipio son:

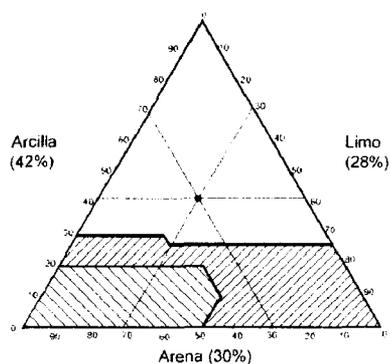
G14C15

G14 C16

Sin embargo, a pesar de que existen muchos pozos de verificación, solamente cinco tienen la información relativa a la capacidad de infiltración y ninguno de éstos se encuentra en las zonas más urbanizadas del municipio (ver Figura 5.5). Por una parte esto es favorable, ya que son zonas de crecimiento que pueden todavía ser planeadas para un desarrollo con menos áreas impermeables y por ende que produzca menor escurrimiento superficial.



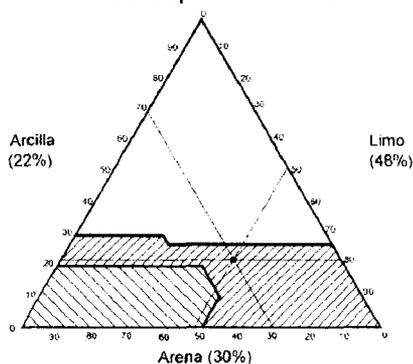
45



42 28 30 63-79

No es susceptible de infiltrar.

47



22 48 30 26-51

Este suelo si tiene capacidad de infiltración

De los ocho puntos analizados, dos son susceptibles de soportar estructuras de infiltración, uno más está muy cerca de la frontera de 30% de arcilla, por lo cual habría que hacer estudios más detallados para comprobar su condición real. Los cinco restantes no tienen la capacidad para infiltrar con la rapidez requerida.

5.2 ESCOBEDO

En el Municipio de Escobedo también se encontraron 17 puntos en total, más que en la mayoría de los demás municipios del AMM. En este caso las Cartas Edafológicas que corresponden a este municipio son:

G14C15

G14 C16

Sin embargo, a pesar de que existen muchos pozos de verificación, solamente cinco tienen la información relativa a la capacidad de infiltración y ninguno de éstos se encuentra en las zonas más urbanizadas del municipio (ver Figura 5.5). Por una parte esto es favorable, ya que son zonas de crecimiento que pueden todavía ser planeadas para un desarrollo con menos áreas impermeables y por ende que produzca menor escurrimiento superficial.

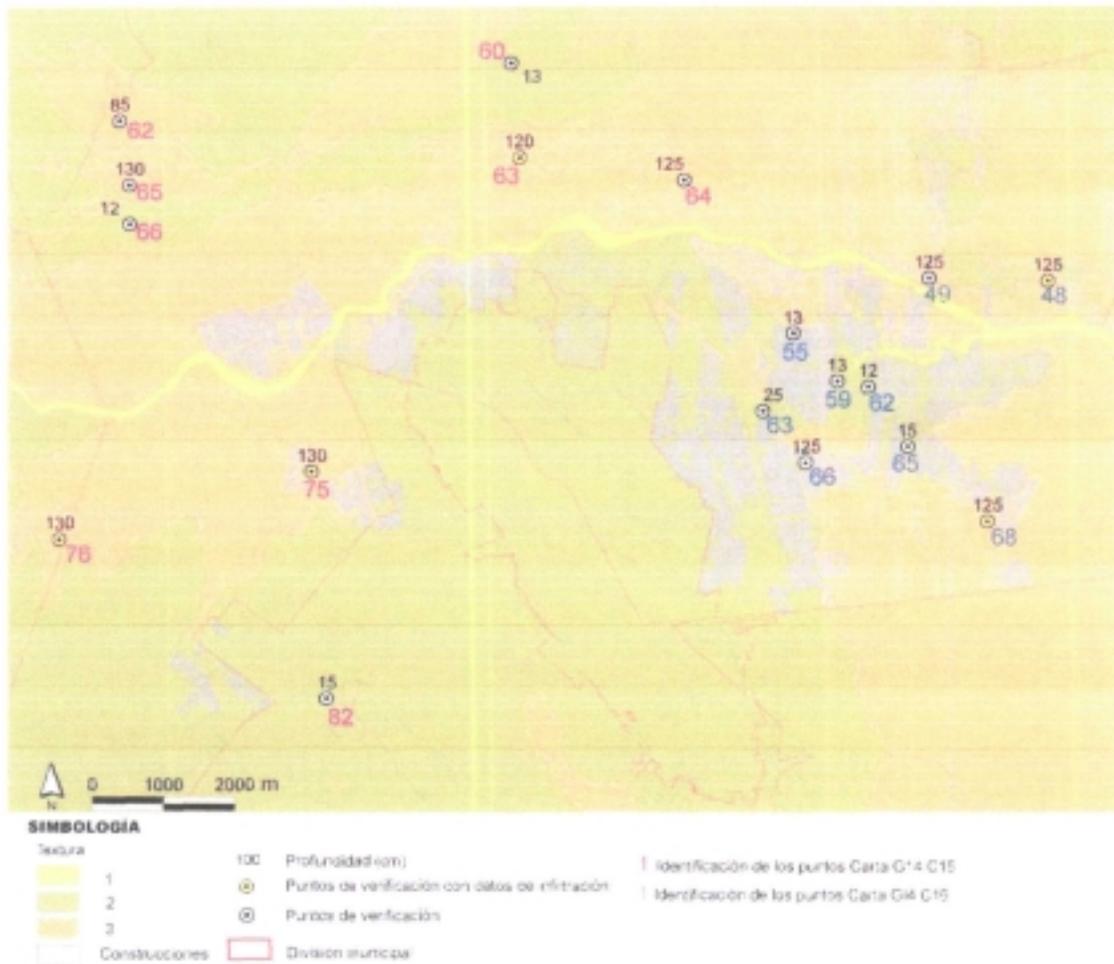


Figura 5.5. Puntos de verificación en el Municipio de Escobedo.

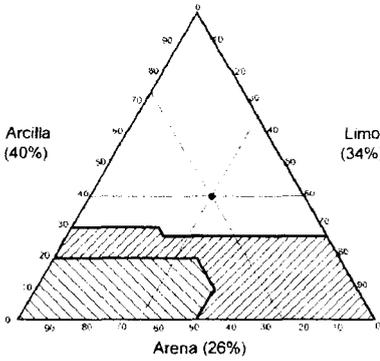
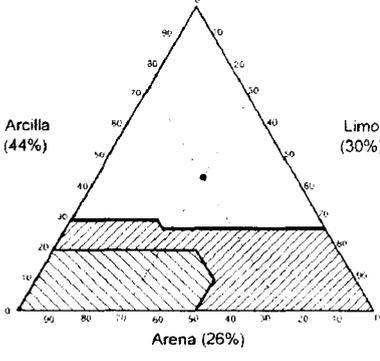
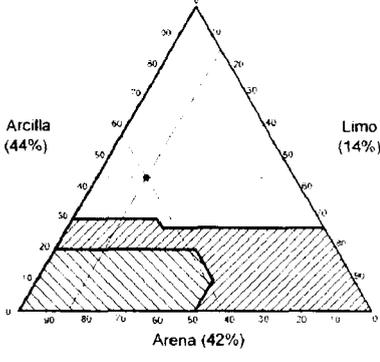
Fuente: INEGI, 1990a y 1990b.

En general el municipio se encuentra en una zona de suelos con textura 3 y solamente en las partes cercanas al Cerro del Topo Chico hay textura 2 que es más adecuada para infiltración, sin embargo ahí habría que considerar las pendientes. La zona de Escobedo es una de las entradas más importantes de agua de lluvia a la cuenca.

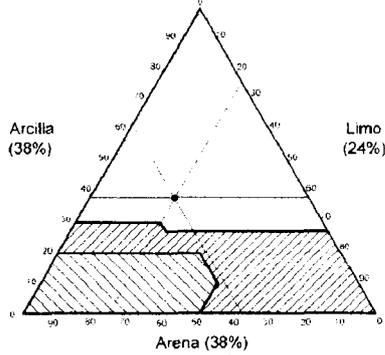
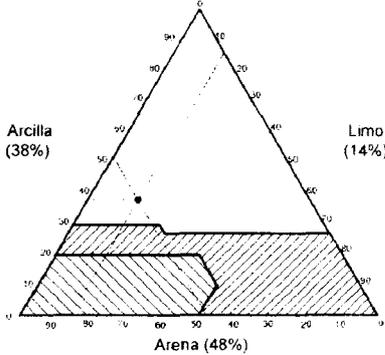
El análisis de cada uno de los puntos mostró los siguientes resultados:



Tabla 5.3. Puntos de verificación en el Municipio de Escobedo de la Carta G 14 C15.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|----|--|-----------|--------|---------|------------------|
| 63 |  | 40 | 34 | 26 | 65-125 |
| 75 | <p>Este suelo no es susceptible para infiltración</p>  | 44 | 30 | 26 | 72-130 |
| 76 | <p>El tipo de suelo se encuentra alejado de los suelos que son adecuados para infiltrar.</p>  | 44 | 14 | 42 | 72-130 |

**Tabla 5.4.** Puntos de verificación en el Municipio de Escobedo de la Carta G 14 C15.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|----|---|-----------|--------|---------|------------------|
| 48 |  <p>Este suelo no es susceptible para infiltración.</p> | 38 | 24 | 38 | 27-63 |
| 68 |  <p>Este suelo no es susceptible para infiltración.</p> | 38 | 14 | 48 | 33-65 |

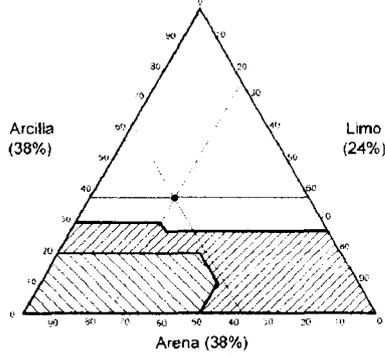
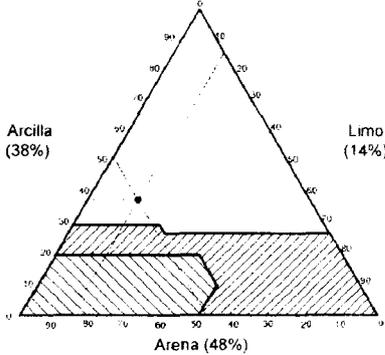
De los cinco puntos de verificación que tenían información, ninguno tiene capacidad de infiltración, por lo cual no pueden sugerirse estructuras de infiltración para este municipio sin realizar mayores investigaciones y levantar más puntos.

5.3 GUADALUPE

En este municipio se digitalizaron 12 puntos de la Carta Edafológica G14 C 26. De éstos, 4 tienen información para estudiar la capacidad de infiltración. En cuanto a textura del suelo, en este municipio hay textura 2 y 3 (ver Figura 5.6).



Tabla 5.4. Puntos de verificación en el Municipio de Escobedo de la Carta G 14 C15.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|----|--|-----------|--------|---------|------------------|
| 48 |  <p>Arcilla (38%)</p> <p>Limo (24%)</p> <p>Arena (38%)</p> | 38 | 24 | 38 | 27-63 |
| | Este suelo no es susceptible para infiltración. | | | | |
| 68 |  <p>Arcilla (38%)</p> <p>Limo (14%)</p> <p>Arena (48%)</p> | 38 | 14 | 48 | 33-65 |
| | Este suelo no es susceptible para infiltración. | | | | |

De los cinco puntos de verificación que tenían información, ninguno tiene capacidad de infiltración, por lo cual no pueden sugerirse estructuras de infiltración para este municipio sin realizar mayores investigaciones y levantar más puntos.

5.3 GUADALUPE

En este municipio se digitalizaron 12 puntos de la Carta Edafológica G14 C 26. De éstos, 4 tienen información para estudiar la capacidad de infiltración. En cuanto a textura del suelo, en este municipio hay textura 2 y 3 (ver Figura 5.6).

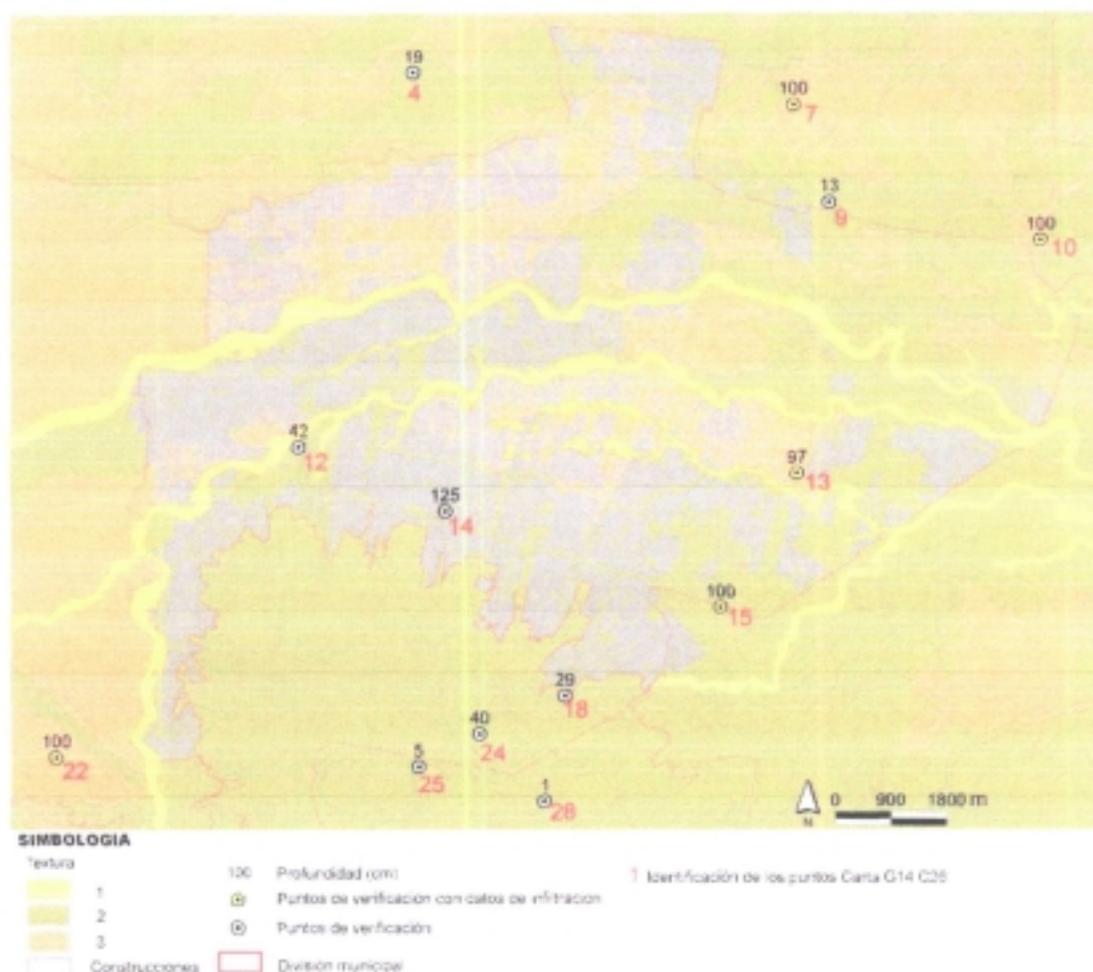


Figura 5.6. Puntos de verificación en el Municipio de Guadalupe.

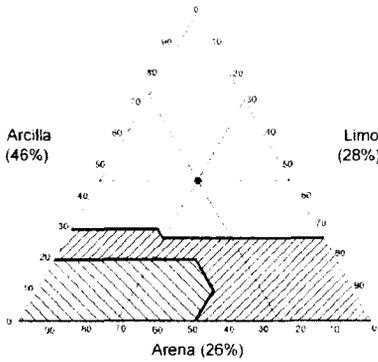
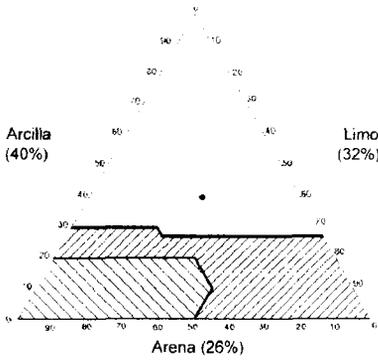
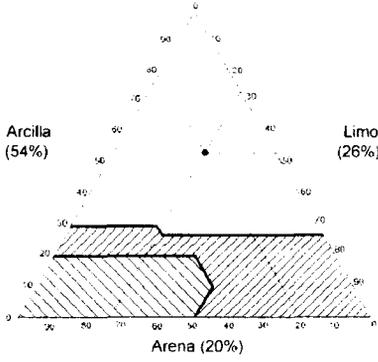
Fuente: INEGI, 1990d.

Al igual que en otros municipios, en las zonas de mayor densidad urbana no se cuenta con un levantamiento de las características del suelo, por lo cual es difícil poder dar conclusiones para todo el municipio. Se puede observar que una gran parte de los puntos existentes se encuentran en el Cerro de la Silla, o en las zonas de las periferias del municipio, donde no hay mucho desarrollo. Solamente se observan dos puntos dentro de la zona urbana, ninguno de los cuales tiene la información completa para caracterizar el suelo según el triángulo textural de la USDA. Incluso el punto 12, se encuentra en lo que es el Parque La Pastora, es decir no está en un área de vivienda propiamente, pero que de haber tenido información y el haber resultado tener suelo susceptible para infiltración, se pudiesen proponer estructuras de captación muy interesantes.



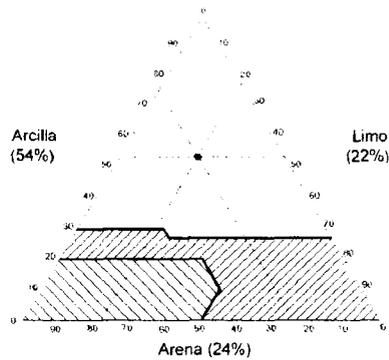
A continuación se presenta la clasificación textural de suelo de los puntos que tienen información de este municipio.

Tabla 5.5. Puntos de verificación en el Municipio de Monterrey de la Carta G 14 C26.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|----|--|-----------|--------|---------|------------------|
| 7 |  | 46 | 28 | 26 | 62-100 |
| 10 | <p>Este suelo no tiene capacidad de infiltración</p>  | 40 | 32 | 26 | 47-105 |
| 13 | <p>El suelo de este punto no tiene las características para infiltrar debido a su alto contenido de arcilla (>30%)</p>  <p>Este punto tampoco tiene capacidad de infiltración.</p> | 54 | 26 | 20 | 36-110 |



15



54

22

24

43-125

Este punto tampoco tiene capacidad de infiltración.

De los cuatro puntos estudiados para este municipio, ninguno presenta capacidad de infiltración, por lo que para este municipio es importante buscar otras estrategias para el uso de agua pluvial. Aún así es importante considerar que faltan muchos datos y es importante que se realicen más puntos de verificación con la información necesaria para la caracterización del suelo.

5.4 MONTERREY

Este municipio tiene un buen número de puntos de verificación, sin embargo se puede observar en la Figura 5.7 que estos se encuentran concentrados hacia el Sur de la ciudad y hacia el Norte de ésta. En el centro del municipio, que está más consolidado y presenta una mayor densidad de construcción no se tiene información acerca de las características del suelo.

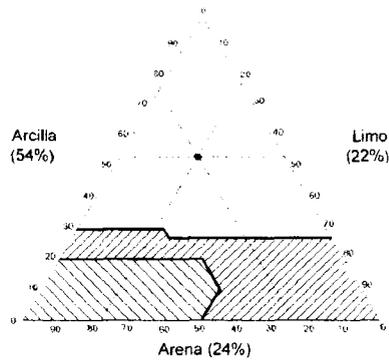
Los puntos digitalizados corresponden a las siguientes cartas Edafológicas.

- G14 C26
- G14 C25
- G14 C15

De un total de 19 puntos que se ubican en el municipio, se tiene información de aproximadamente una tercera parte de éstos (6). Al igual que otros municipios, es importante tener mayor información de las características del suelo para poder proponer estrategias de infiltración.



15



54

22

24

43-125

Este punto tampoco tiene capacidad de infiltración.

De los cuatro puntos estudiados para este municipio, ninguno presenta capacidad de infiltración, por lo que para este municipio es importante buscar otras estrategias para el uso de agua pluvial. Aún así es importante considerar que faltan muchos datos y es importante que se realicen más puntos de verificación con la información necesaria para la caracterización del suelo.

5.4 MONTERREY

Este municipio tiene un buen número de puntos de verificación, sin embargo se puede observar en la Figura 5.7 que estos se encuentran concentrados hacia el Sur de la ciudad y hacia el Norte de ésta. En el centro del municipio, que está más consolidado y presenta una mayor densidad de construcción no se tiene información acerca de las características del suelo.

Los puntos digitalizados corresponden a las siguientes cartas Edafológicas.

- G14 C26
- G14 C25
- G14 C15

De un total de 19 puntos que se ubican en el municipio, se tiene información de aproximadamente una tercera parte de éstos (6). Al igual que otros municipios, es importante tener mayor información de las características del suelo para poder proponer estrategias de infiltración.

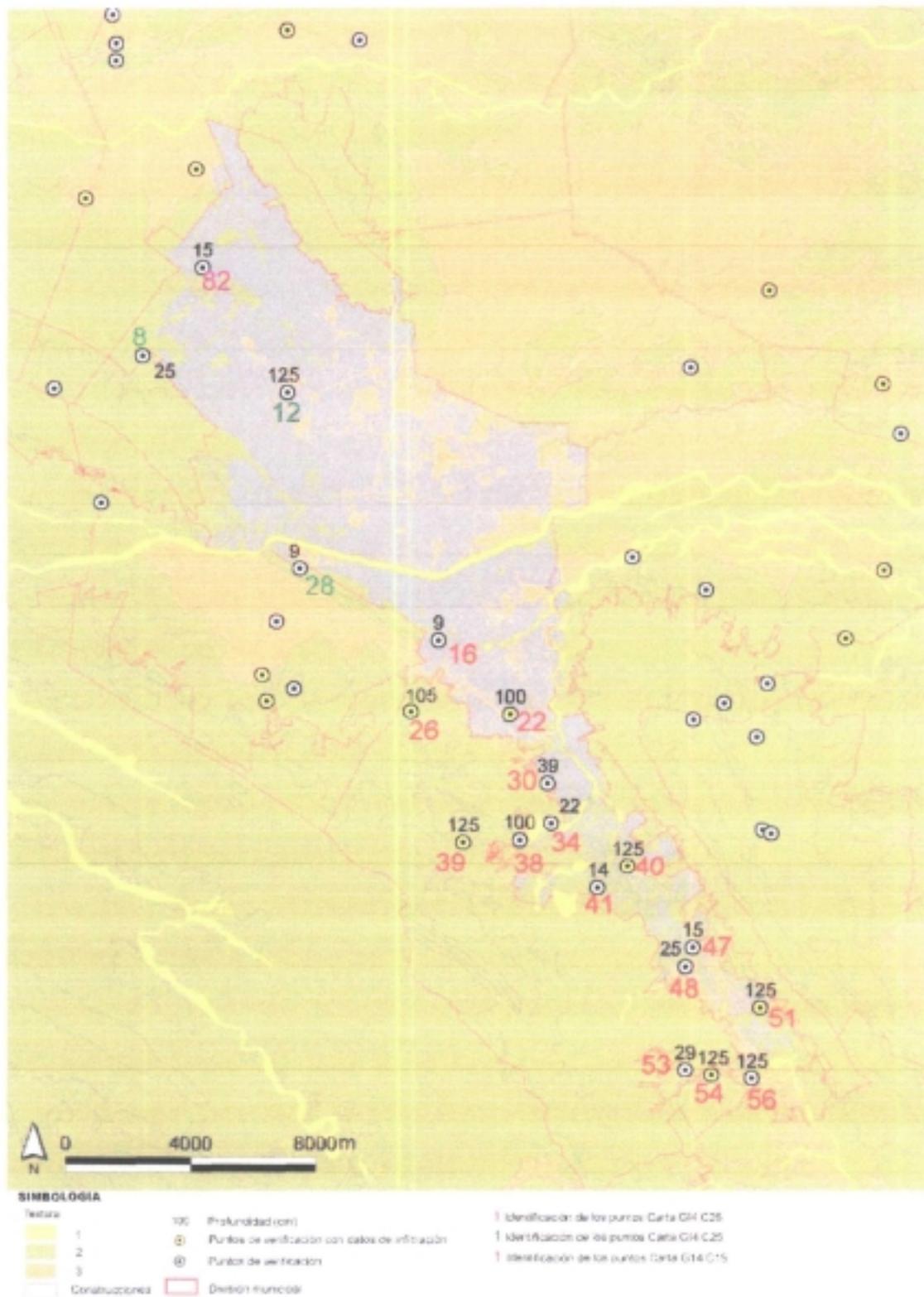


Figura 5.7. Puntos de verificación en el Municipio de Monterrey.

Fuente: INEGI, 1990a, 1990c y 1990d.

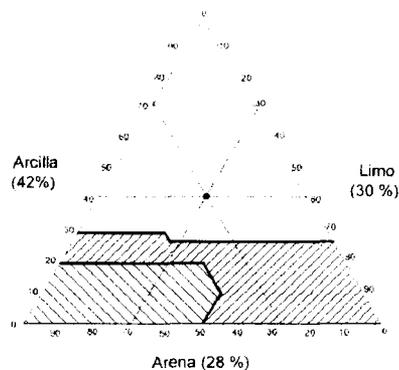


Los puntos con información se ubican en la parte Sur del municipio, lo cual es favorable ya que de resultar zonas óptimas para la infiltración, al ser áreas de crecimiento, tienen mayor posibilidad de normarse. Además es interesante notar que los puntos 54, 39 y 26 se encuentran en zonas de montaña donde en los últimos años se han desarrollado fraccionamientos de nivel socioeconómico alto. Estos puntos de ser susceptibles de infiltración pueden dar lugar a diseños de fraccionamientos interesantes utilizando estrategias de captación, infiltración y retención de agua pluvial. Sin embargo es importante resaltar que aún cuando estos puntos presenten características que los hagan susceptibles de infiltración, debido a que se encuentran en zonas de montaña no es conveniente proponer infiltraciones ya que la alteración de los patrones de drenaje ocasiona movimientos de suelo, como derrumbes y deslizamientos. Hay que considerar que las estrategias de infiltración no son adecuadas cuando existen pendientes de más del 25%.

Tabla 5.6. Puntos de verificación en el Municipio de Monterrey de la Carta G 14 C26.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|----|------------------------|-----------|--------|---------|------------------|
|----|------------------------|-----------|--------|---------|------------------|

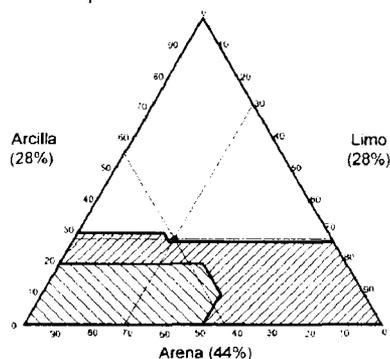
22



| | | | |
|----|----|----|-------|
| 42 | 30 | 28 | 62-95 |
|----|----|----|-------|

26

No tiene capacidad de infiltración.

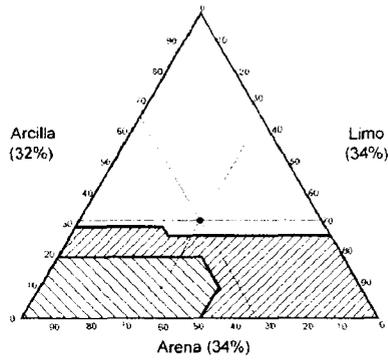


| | | | |
|----|----|----|--------|
| 40 | 28 | 32 | 47-105 |
|----|----|----|--------|

Este punto se encuentra en el límite, por lo cual para ser susceptible, debe de hacerse un muestreo en el sitio y verificar que las pendientes no superen el 25%.



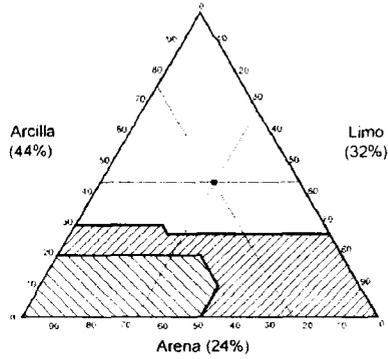
39



32 34 34 36-110

No tiene capacidad de infiltración

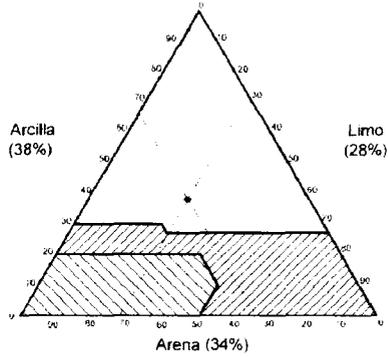
40



44 32 24 43-125

El suelo no tiene capacidad de infiltración

51

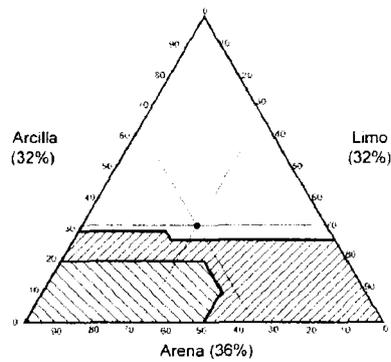


38 28 34 26-51

El suelo de este punto no tiene las características para infiltrar debido a su alto contenido de arcilla (>30%)



54



32

32

36

65-125

Este punto de verificación no tiene capacidad de infiltración

De los seis puntos con información que se encontraron en el Municipio de Monterrey, ninguno tiene las características óptimas para infiltrar, sin embargo se encontraron dos que se encuentran en la "frontera" (el punto 26 y el punto 54), los cuales requieren de estudios de campo más precisos, en los que se incluya el aspecto de su pendiente

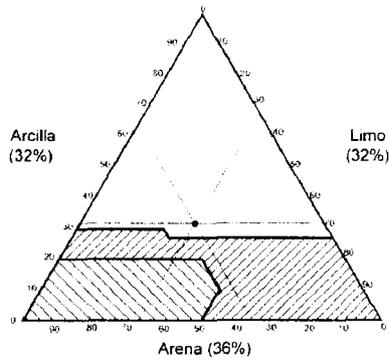
5.5 SAN NICOLÁS DE LOS GARZA

San Nicolás de los Garza es uno de los municipios con menor información, ya que dentro de su área urbana solamente se encontró un punto de verificación y de este mismo no se tiene información para analizar su capacidad de infiltración (ver Figura 5.8). El punto encontrado pertenece a la Carta Edafológica G14 C 26.

Lo que puede concluirse de este municipio es que en su mayor parte, el suelo presenta una textura del tipo 3 y que hacen falta datos.



54



32

32

36

65-125

Este punto de verificación no tiene capacidad de infiltración

De los seis puntos con información que se encontraron en el Municipio de Monterrey, ninguno tiene las características óptimas para infiltrar, sin embargo se encontraron dos que se encuentran en la "frontera" (el punto 26 y el punto 54), los cuales requieren de estudios de campo más precisos, en los que se incluya el aspecto de su pendiente

5.5 SAN NICOLÁS DE LOS GARZA

San Nicolás de los Garza es uno de los municipios con menor información, ya que dentro de su área urbana solamente se encontró un punto de verificación y de este mismo no se tiene información para analizar su capacidad de infiltración (ver Figura 5.8). El punto encontrado pertenece a la Carta Edafológica G14 C 26.

Lo que puede concluirse de este municipio es que en su mayor parte, el suelo presenta una textura del tipo 3 y que hacen falta datos.

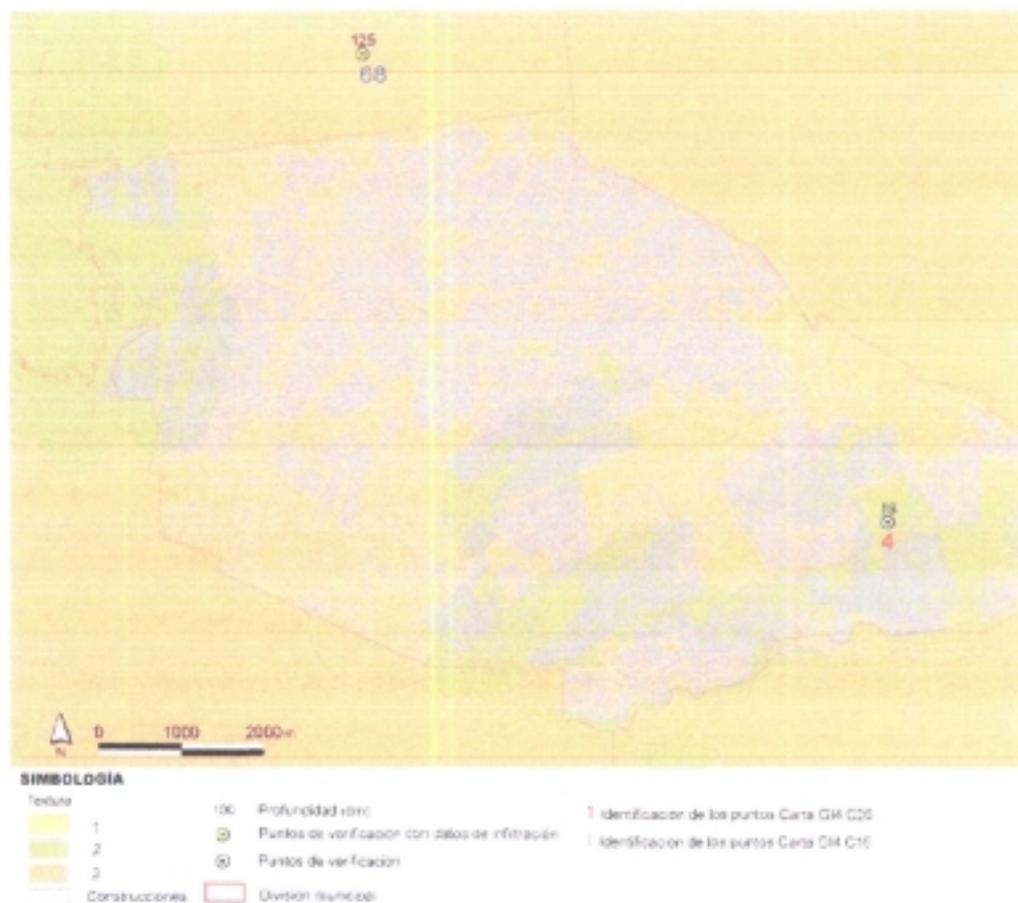


Figura 5.8. Puntos de verificación en el Municipio de Monterrey.

Fuente: INEGI, 1990b y 1990d.

5.6 SAN PEDRO GARZA GARCÍA

En este municipio tampoco se tienen muchos datos, ya que solamente hay seis puntos de verificación levantados en la Carta Edafológica de INEGI G14C25 y de éstos, solamente dos (una tercera parte) tienen información relevante para analizar.

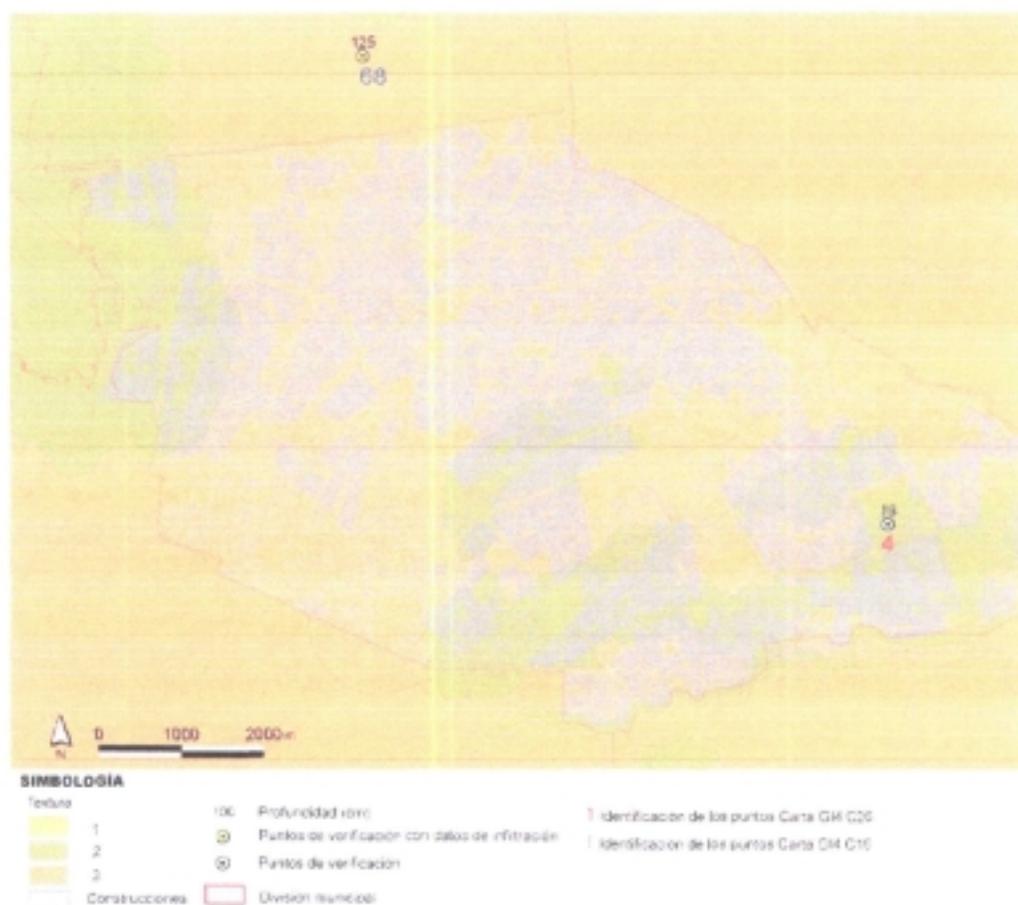


Figura 5.8. Puntos de verificación en el Municipio de Monterrey.

Fuente: INEGI, 1990b y 1990d.

5.6 SAN PEDRO GARZA GARCÍA

En este municipio tampoco se tienen muchos datos, ya que solamente hay seis puntos de verificación levantados en la Carta Edafológica de INEGI G14C25 y de éstos, solamente dos (una tercera parte) tienen información relevante para analizar.

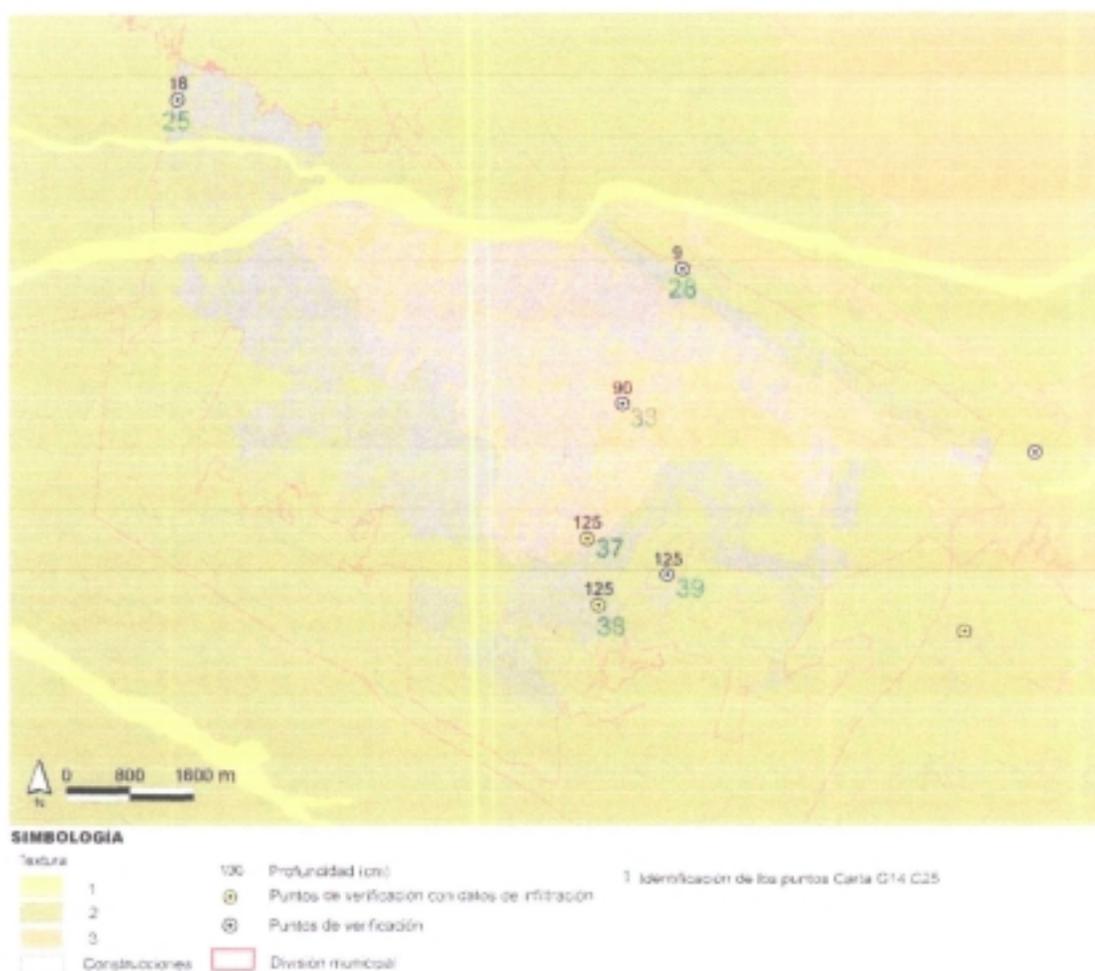


Figura 5.9. Puntos de verificación en el Municipio de San Pedro Garza García.

Fuente: INEGI, 1990c.

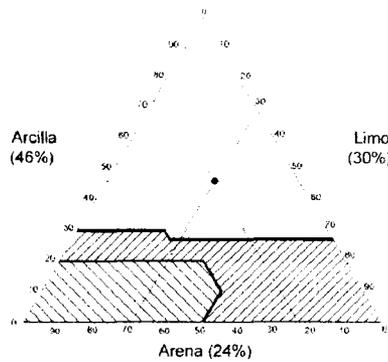
Este municipio también se encuentra en su mayor parte sobre suelo de textura 3 y las zonas montañosas tienen textura 2. Los puntos de análisis, al igual que en los casos anteriores no se encuentran en las áreas de mayor densidad urbana del municipio, sino que más bien se ubican en las zonas periféricas, especialmente en la zona montañosa, donde se ubica vivienda de nivel medio alto. Sin embargo, sucede lo mismo que con los otros municipios, donde no todos los puntos de verificación levantados en la Carta Edafológica G14C25 de INEGI tienen información que permite su análisis textural utilizando el triángulo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.



Tabla 5.7. Puntos de verificación en el Municipio de San Pedro de la Carta G 14 C25.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|----|------------------------|-----------|--------|---------|------------------|
|----|------------------------|-----------|--------|---------|------------------|

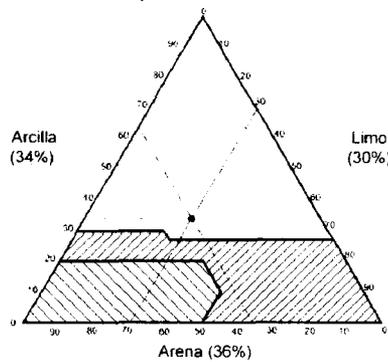
37



| | | | |
|----|----|----|--------|
| 46 | 30 | 24 | 30-100 |
|----|----|----|--------|

No tiene capacidad de infiltración.

38



| | | | |
|----|----|----|--------|
| 34 | 30 | 36 | 26-100 |
|----|----|----|--------|

Se encuentra en "frontera" por lo cual, con mayores estudios en campo pudiera ser apto para infiltración, pero hay que tener en cuenta las pendientes que deben de ser menores al 25%.

En el caso de San Pedro, uno de los puntos de verificación tiene 34% de arcilla, por lo cual podría considerarse como adecuado para la infiltración, sin embargo, es necesario realizar estudios más detallados en el sitio para determinar su capacidad real de infiltración.

5.7 SANTA CATARINA

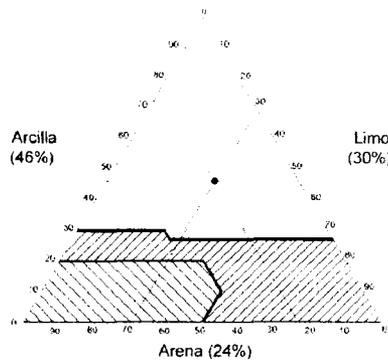
Los puntos de la Carta Edafológica G15 C25 se ubican dentro del Municipio de Santa Catarina. La imagen muestra que 8 puntos de verificación se encuentran dentro de este municipio, sin embargo no hay datos de infiltración para ninguno de estos puntos. La textura que predomina en el municipio es del tipo dos, es decir que tiene una textura media, más limosa y que presenta un buen drenaje. En este municipio también hacen falta muchos datos para analizar si



Tabla 5.7. Puntos de verificación en el Municipio de San Pedro de la Carta G 14 C25.

| ID | Clasificación textural | % Arcilla | % Limo | % Arena | Profundidad (cm) |
|----|------------------------|-----------|--------|---------|------------------|
|----|------------------------|-----------|--------|---------|------------------|

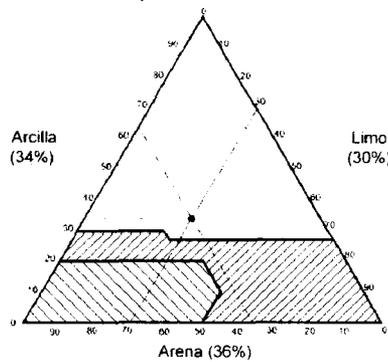
37



| | | | |
|----|----|----|--------|
| 46 | 30 | 24 | 30-100 |
|----|----|----|--------|

No tiene capacidad de infiltración.

38



| | | | |
|----|----|----|--------|
| 34 | 30 | 36 | 26-100 |
|----|----|----|--------|

Se encuentra en "frontera" por lo cual, con mayores estudios en campo pudiera ser apto para infiltración, pero hay que tener en cuenta las pendientes que deben de ser menores al 25%.

En el caso de San Pedro, uno de los puntos de verificación tiene 34% de arcilla, por lo cual podría considerarse como adecuado para la infiltración, sin embargo, es necesario realizar estudios más detallados en el sitio para determinar su capacidad real de infiltración.

5.7 SANTA CATARINA

Los puntos de la Carta Edafológica G15 C25 se ubican dentro del Municipio de Santa Catarina. La imagen muestra que 8 puntos de verificación se encuentran dentro de este municipio, sin embargo no hay datos de infiltración para ninguno de estos puntos. La textura que predomina en el municipio es del tipo dos, es decir que tiene una textura media, más limosa y que presenta un buen drenaje. En este municipio también hacen falta muchos datos para analizar si



en verdad se pueden proponer estructuras de infiltración para el control de escurrimientos pluviales.

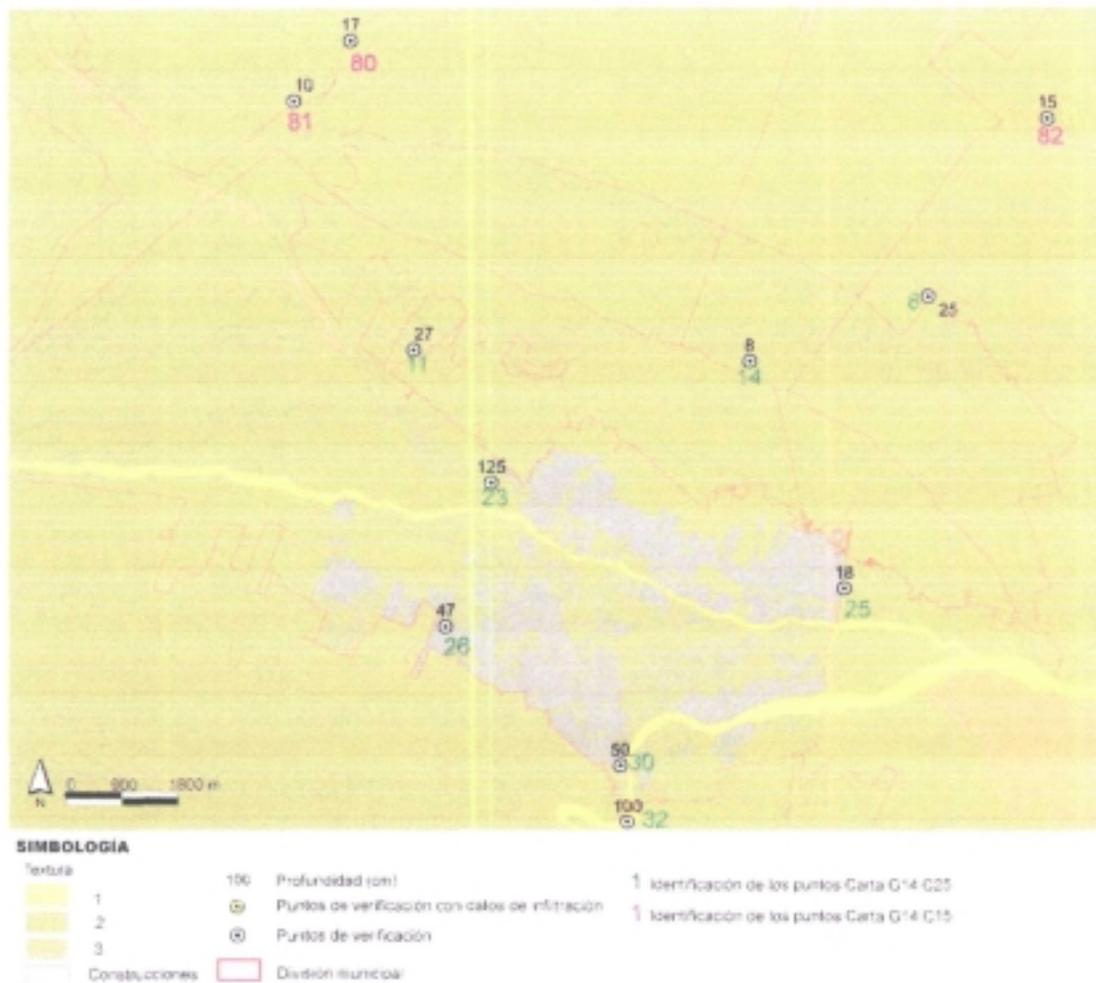


Figura 5.10. Puntos de verificación en el Municipio de Santa Catarina.

Fuente: INEGI, 1990a y 1990c.

De los puntos que se observan en el mapa, se puede notar que el punto 30 y el punto 32 de la Carta Edafológica G14 C15 se encuentran cercanos al lecho del Río Santa Catarina, por lo cual presentan una textura 1. Esta textura es típica de los suelos arenosos y se presenta con mayor frecuencia en los lechos de los ríos. Aún cuando no se tienen datos acerca de la clasificación textural de estos puntos, se puede inferir que probablemente son adecuados para la infiltración, sin embargo por su ubicación en el lecho del Río Santa Catarina, no son zonas donde se pueda desarrollar vivienda.



5.8 ZONAS SUSCEPTIBLES DE INFILTRACIÓN

A continuación se presenta un mapa a nivel metropolitano con los siete municipios del AMM, con la conclusión de los análisis textural de los suelos, para identificar los puntos que resultaron adecuados para la infiltración (ver Figura 5.11)

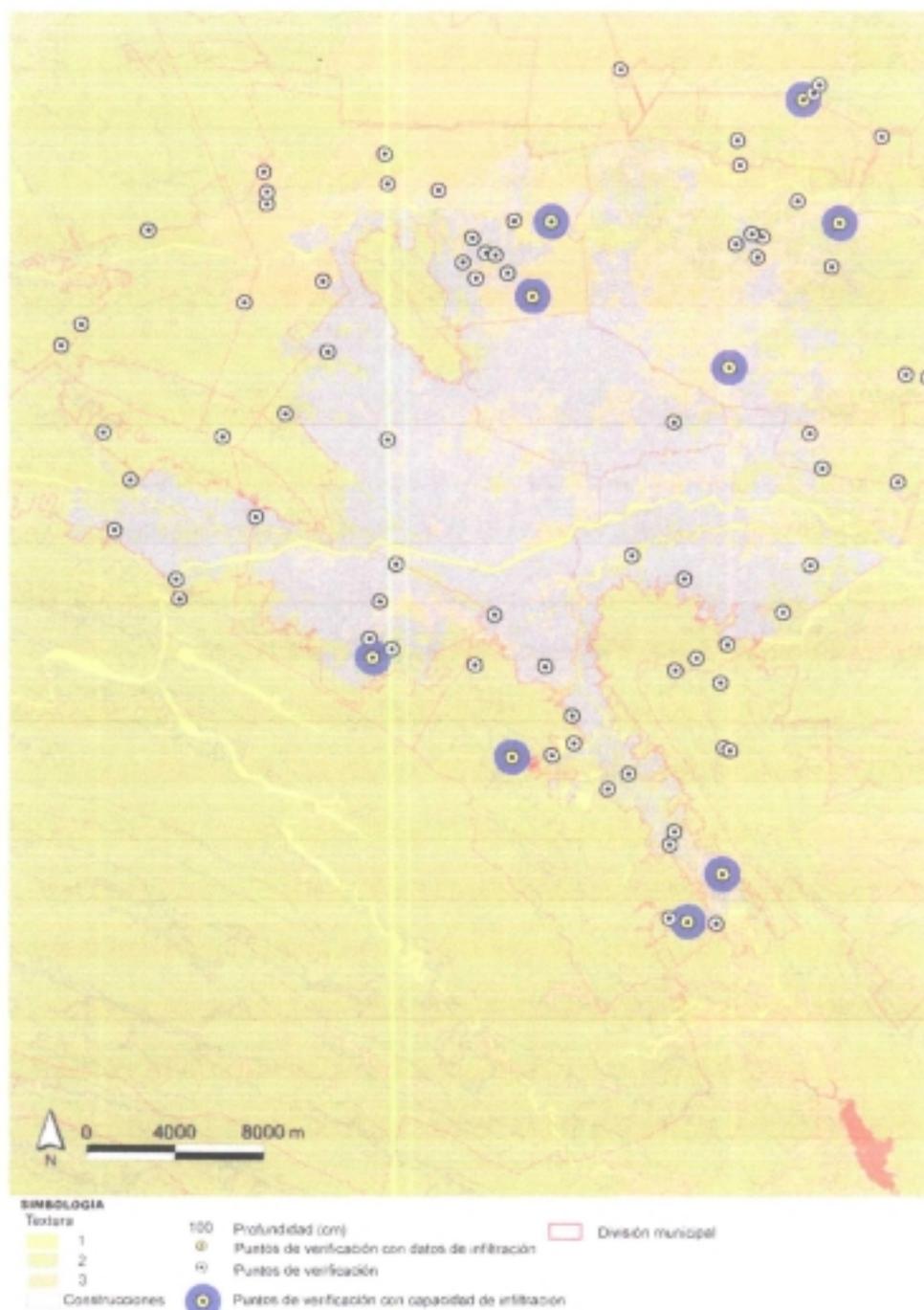


Figura 5.11. Puntos de verificación con capacidad de infiltración en el AMM.

Fuente: INEGI, 1990a, 1990b, 1990c y 1990d.



Los municipios donde los puntos analizados resultaron adecuados según la clasificación textural resultaron ser Apodaca, Escobedo, el Sur del Municipio de Monterrey y una parte en la zona montañosa del Municipio de San Pedro en donde no se recomienda realmente la estrategia de infiltración a causa de las altas pendientes. Es interesante ver que el suelo en dos de los municipios que presentan mayor crecimiento del AMM tiene la capacidad de infiltrar y esto es bastante positivo ya que los nuevos desarrollos que pudieran hacerse en estas zonas pueden entrar a una normatividad que evite la construcción de áreas impermeables. Las otras zonas de infiltración que se encontraron en el Sur del Municipio de Monterrey y en la zona montañosa de San Pedro también deben de normarse ya que el AMM ha ido creciendo hacia la zona del Cañón del Huajuco por lo cual también sería importante que estos desarrollos consideraran una normativa de Administración de zonas impermeables.

Esta parte del estudio puede llevar a una reflexión en cuanto a los perfiles de suelo que existen en el AMM, ya que aún cuando hubiera información acerca de los puntos de verificación dentro del área urbana, como en el centro metropolitano, realmente los suelos han sido alterados, los perfiles de los suelos se cortan y se rellenan con materiales de desecho y finalmente se cubren con una pequeña capa fértil con el fin de poder plantar un jardín, por lo que los datos que pudiese haber dentro del Área Metropolitana tampoco serían concluyentes debido a esta alteración. Por lo que para proponer estructuras de infiltración en cierta zona se debería de hacer un estudio puntual de caracterización del perfil.

Finalmente, se puede concluir con esta parte del estudio que la infiltración que muchas veces se plantea como una solución a priori de los problemas de las cuencas realmente no es una opción muy viable para el AMM, porque predominan los suelos arcillosos en su mayor parte, como se comprobó con el análisis textural. En este caso, la solución para la mitigación de las avenidas sería más bien la implantación de estructuras de captación y retención del agua que contribuyan a la evapotranspiración y que puedan captar agua para servir en algunos usos domésticos como los WC o el riego del jardín.

En el siguiente capítulo se hace un análisis más profundo de estas estrategias de infiltración, captación y retención y cuáles pudieran ser las más adecuadas para los municipios del AMM.



VI. TÉCNICAS DE CAPTACIÓN, RETENCIÓN E INFILTRACIÓN.

Debido a que en el crecimiento del AMM implicará una mayor demanda de agua potable y que como se mencionó en la introducción las obras para traer mayores volúmenes son cada vez más costosas, además de que regionalmente no existe una alta disponibilidad de agua, es importante pensar en el agua de lluvia como una fuente alterna de abastecimiento para usos que no requieren agua de primera calidad, o una forma de recarga el acuífero.

En este capítulo se abordará el tema de las diferentes técnicas que se usan para manejar el agua de lluvia, para evitar inundaciones en primer lugar, y en segundo lugar para disponer de volúmenes adicionales de agua.

Una ventaja adicional de estos sistemas de manejo de agua de lluvia es que permiten, además de ayudar a reducir los escurrimientos, aliviando las avenidas pico durante reducen la demanda y los costos de inversión en infraestructura hidráulica y pluvial.

Como ya se dijo en el Capítulo 2, que la vivienda es el componente mayoritario de la superficie urbana y encontrar soluciones que se apliquen en la vivienda que es la fuente misma de generación del problema es importante. En la actualidad en el AMM casi siempre se espera a que se genere un problema de dimensiones extraordinarias que se intenta resolver mediante altas inversiones en lo que se conoce como "soluciones al final de la tubería". (Drenaje profundo por ejemplo).

Algunas de las alternativas para el control de los escurrimientos naturales generados por las áreas impermeables pueden representar además una solución para proveer a la ciudad de volúmenes adicionales de agua, Estas soluciones utilizan tres principios generales: la retención, la detención y la infiltración del agua de lluvia.

En el Capítulo V se analizó la posibilidad de infiltración por considerar que sería barata, práctica y beneficiosa por la recarga al acuífero. Sin embargo, con los datos disponibles sólo se pudo concluir que para el horizonte superficial de suelo no es posible la infiltración por el tipo de suelo predominante en el AMM. Sería motivo de investigaciones ulteriores el definir mediante pruebas de campo, horizontes de suelo más profundos para ser usados en la infiltración. Desde luego el costo de una infiltración a capas más profundas sería más alto.



6.1 EL DESARROLLO DE BAJO IMPACTO

El manejo eficiente de los escurrimientos debe partir de un enfoque general que se conoce como Desarrollo de Bajo Impacto (DBI). Este manejo reconoce en principio la lógica del control de problema de manera cercana la fuente que lo genera y sistematiza los diversos componentes que se tiene que tomar en cuenta.

El Desarrollo de Bajo Impacto (Low-Impact Development) LID, por sus siglas en inglés implica el desarrollo funcional de un sitio con ciertas medidas de control de contaminación, con el fin de compensar los impactos en la hidrología y la calidad del agua que produce el desarrollo de un territorio (urbanización) (EPA, 2002d). El principal objetivo que el DBI pretende, es imitar la hidrología que el sitio tenía antes de su desarrollo, utilizando técnicas de diseño que capten, infiltren, evaporen y retengan el escurrimiento para asegurar la recarga adecuada de mantos acuíferos, así como otras herramientas de diseño sencillas que buscan “imitar” las condiciones hidrológicas existentes antes del desarrollo. Estas técnicas deben de planearse específicamente para cada sitio y al combinarse se pueden obtener mecanismos de control que funcionan de una manera similar a los mecanismos naturales (EPA, 2002d). A través del DBI, los escurrimientos pueden ser manejados en el sitio a través de pequeñas estructuras baratas en lugar de esperar a la construcción costosa de manejo pluvial cuando ya se hayan acumulado el agua de muchas áreas. De esta manera, se pueden mantener funciones hidrológicas como la infiltración, la frecuencia y volumen de la descarga, el tiempo de escurrimiento y la recarga de acuíferos a través de la reducción de áreas impermeables, uso de canales abiertos de captación y el uso de zonas de paisajismo para la infiltración/ bioretención (EPA, 2002d).

Las técnicas de manejo de escurrimientos y reducción de contaminantes se les conoce como Mejores Prácticas (Best Management Practices) BMP, por sus siglas en inglés. Algunas de estas BMPs son las Prácticas Integradas de Administración de Escurrimientos (Integrated Management Practices, IMP por sus siglas en inglés). Este tipo de prácticas se enfocan a una micro escala con el fin de minimizar el daño a los sistemas hidrológicos así como alcanzar condiciones hidrológicas saludables al ecosistema en un lugar después de ser desarrollado (Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999b). Las IMPs se deben de establecer cerca de las fuentes mayores de impacto, para que su eficacia sea mayor.



Su método trata de mantener el volumen de escurrimiento que el sitio tenía antes de ser desarrollado y su aplicación pretende ser a nivel de lotes individuales (micro escala).

El Desarrollo urbano de Bajo Impacto planea el desarrollo del sitio como un paisajismo funcional, donde se busca la detención y retención del agua dentro de la zona (EPA, 2002d). Este paisajismo funcional se basa en el control de escurrimientos, control de avenidas pico, control de frecuencia/duración del escurrimiento y control de la calidad del agua.

La preservación de la hidrología pre-desarrollo se evalúa por medio de la comparación entre las condiciones pre y post desarrollo. Esta evaluación se realiza mediante cuatro medidas fundamentales que se explican a continuación.

A. Control del Volumen de Escurrimiento.

Si aumentan las áreas impermeables en un sitio, esto hace que el volumen generado por el escurrimiento también aumente. Se debe de tratar de mantener el coeficiente de escurrimiento típico del sitio mediante la compensación de la pérdida de área libre, mediante la planeación del sitio y a través de consideraciones de diseño (intercepción, retención, infiltración y almacenaje del agua de lluvia) (Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999b).

B. Control de Tasa Pico de Escurrimiento. (Peak Runoff Rate Control).

El Desarrollo de Bajo Impacto trata de mantener los picos de escurrimiento anteriores al desarrollo del sitio. Esto también puede lograrse mediante las mismas técnicas para el control del volumen de escurrimientos.

El Tiempo de concentración (T_c) que había en el sitio previo al desarrollo se debe de mantener y luego, se utilizan Prácticas Integradas de Administración de Escurrimiento que promuevan la retención y detención para controlar la Tasa Pico de Escurrimiento (Peak Runoff Rate). Se trata de mantener el tiempo de concentración del sitio mediante la extensión del paso de escurrimiento y además reduciendo la longitud de los sistemas de transporte del escurrimiento. La estrategia de retención, capta el escurrimiento de manera temporal para evitar los picos en las avenidas y luego lo libera el exceso de manera gradual (Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999b).



C. Frecuencia y Duración del Flujo.

Ya que el Desarrollo de Bajo Impacto está diseñado para emular el sistema hidrológico pre-desarrollo a través tanto del control de volumen como de los picos, la frecuencia y duración deberían de ser casi idénticas que aquéllas del sitio sin haber sido desarrollado.

D. Control de la Calidad del Agua.

El Desarrollo de Bajo Impacto está diseñado para proveer un control del tratamiento de la calidad del agua para la primera media pulgada de escurrimiento proveniente de las áreas impermeables a través de prácticas de retención. El LID también implica una prevención de contaminación mediante la modificación de las actividades humanas con el fin de reducir la introducción de contaminantes al medio ambiente (Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999b).

Las herramientas de análisis y control hidrológico que pueden manipularse para emular las condiciones del sitio previas al desarrollo son las siguientes:

1. *Coefficiente de Escurrimiento*. Se trata de manipular mediante la reducción de áreas impermeables y la preservación de vegetación existente en el lugar.
2. *Tiempo de concentración (Tc)*. Es el tiempo que le toma al agua del punto más distante en llegar a un punto de desagüe. Cuando se aumentan las áreas impermeables y los caminos que sigue el flujo son alterados, el tiempo que el agua tarda en llegar a un drenaje final se acorta.
3. *Retención del Agua*. Evitar el flujo de agua para que los picos de inundación sean menores y más lentos.
4. *Detención del Agua*. En el sitio, durante el flujo del agua, detenerla mediante estrategias como minimización de pendientes. También provee retención adicional en caso de requerirse.

Para conjunta estas cuatro herramientas mencionadas existen muchas estrategias. A continuación se hace un análisis de cada uno de los cuatro puntos anteriores y cuales son las más eficientes para lograr cierto objetivo, ya sea el mantener los coeficientes de escurrimiento antes del desarrollo, la detención y retención del agua o el aumento del tiempo de concentración.



6.2 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Las herramientas que el Departamento de Recursos Naturales del Condado Prince George's Maryland (1999b) recomienda para mantener el escurrimiento original del sitio se enfocan hacia las características de los suelos y de la vegetación, así como el tratamiento de las áreas impermeables existentes.

- Preservar suelos permeables. La construcción de áreas impermeables debe de realizarse sobre los suelos que sean poco permeables, es decir sobre suelos arcillosos preferentemente. Asimismo, es importante proteger los sitios donde el suelo es más susceptible a erosión. Para ubicar áreas de infiltración se deben de utilizar los suelos con características de drenaje favorables, con vegetación; por lo cual los estudios de geotecnia son muy importantes para averiguar el perfil de suelo sobre el cual se va a desarrollar la construcción.
- Mantener la vegetación existente. La vegetación del sitio es muy importante para evitar el escurrimiento ya que actúa como áreas de infiltración natural y también la rugosidad que pueden presentar en esos suelos impide que el agua corra con tanta velocidad.
- Xeriscapía. De igual manera es importante promover la vegetación nativa del sitio y un sistema adecuado de riego que permita la reducción de pérdidas de agua y erosión del suelo.
- Minimizar las áreas impermeables existentes. El promover los pavimentos impermeables y el eliminar las zonas impermeables que no son necesarias como banquetas innecesarias o cocheras ayuda a reducir directamente el volumen de escurrimientos generados.
- Desconectar las áreas impermeables. Las áreas impermeables no deben de estar conectadas entre si o a la red de agua pluvial directamente, más bien es conveniente que el escurrimiento generado por éstas sea descargado hacia áreas libres para promover la infiltración y la evapotranspiración.
- Creación de zonas de transición y bioretención. Estas zonas pueden dado su naturaleza de vegetación y de pendientes ayudan a almacenar en el sitio el escurrimiento generado para infiltrarlo o evaporarlo y crear un microclima más agradable.



Según el Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George (1999b), la aplicación de técnicas de DBI para el control del volumen generado produce de manera sustancial una reducción clara en los gastos generados, al compararlos con áreas donde no se han aplicado estas técnicas (ver Figura 6.1), así como una reducción del pico de inundación.

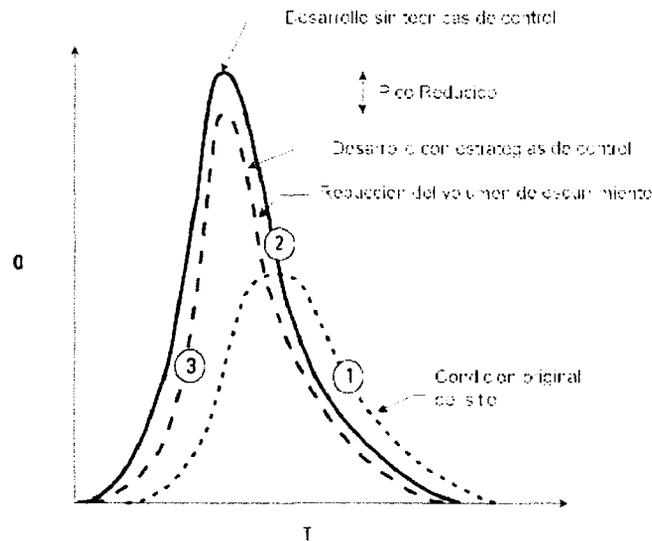


Figura 6.1. Reducción del volumen y el pico de escurrimientos al aplicar técnicas de desarrollo de bajo impacto.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999b.

La figura muestra tres líneas diferentes: la línea 1 establece la condición original de escurrimientos del sitio, la 2 muestra el desarrollo del sitio sin ninguna técnica de control o administración de escurrimientos y finalmente, en la línea 3 se establece el volumen y pico de inundación del lugar aplicando técnicas de control.

La Tabla 6.1 muestra un listado de algunas de las prácticas que se mencionaron anteriormente y su relación directa con los componentes de desarrollo de bajo impacto, en cuanto al control del coeficiente de escurrimiento original del sitio. Puede observarse que la cobertura del suelo afecta directamente el coeficiente, así como el mantener las condiciones hidrológicas existentes, por lo que una prioridad del desarrollo de bajo impacto en relación con al coeficiente de escurrimientos debe de ser el tratar de mantener las condiciones existentes lo más posible.

**Tabla 6.1.** Relación entre técnicas de LID y coeficiente de escurrimiento.

| Factores que afectan el coeficiente | Uso limitado de zonas impermeables en el sitio | Conservación de áreas naturales | Reducir daños al sitio | Conservación de suelos permeables | Conservación de áreas con depresiones naturales | Uso de zonas de transición | Uso de vegetales swales | Preservar vegetación |
|--------------------------------------|--|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------|-------------------------|----------------------|
| Cobertura del suelo | | ✓ | ✓ | | | ✓ | ✓ | ✓ |
| Porcentaje de áreas impermeables | ✓ | | | | | ✓ | | |
| Drenaje del suelo | | ✓ | | ✓ | | | | |
| Condiciones hidrológicas | | ✓ | ✓ | ✓ | | | | |
| Desconexión entre áreas impermeables | ✓ | | | | | | | |
| Infiltración y Almacenamiento | | | | | ✓ | | | ✓ |

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999b.

6.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el agua en llegar a un punto de descarga final, ya sea un drenaje o una zona abierta para su infiltración. Debido a la construcción de zonas impermeables, el agua acelera este tiempo, lo cual causa picos más altos de inundación. Para que el tiempo de concentración se retarde pueden aplicarse varias técnicas de Desarrollo de Bajo Impacto. Algunas de las que menciona la EPA (2000b) y el Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, (1999b) son las siguientes:

- Mantener el camino que sigue el flujo, así como dispersar y redirigir el mismo, a través de estructuras de retención.
- Conservar la topografía natural del sitio, ya que esta topografía también involucra un drenaje natural y mientras menos se altere, mejor será su infiltración y manejo de agua de lluvia.
- Aumentar la rugosidad de la superficie ya sea por medio de vegetación, clusters de vegetación o por disminución de pendientes.



- Detener el escurrimiento mediante jardines o estructuras de retención.
- Minimizar los cambios a la vegetación natural del sitio, conservando los árboles existentes y promoviendo la xeriscapía.
- Desconectar las áreas impermeables y conectar las áreas permeables y con vegetación.

Estas técnicas, combinadas con las herramientas que se mencionaron anteriormente pueden ayudar a disminuir los picos de inundación y a retardar el tiempo de concentración (ver Figura 6.2).

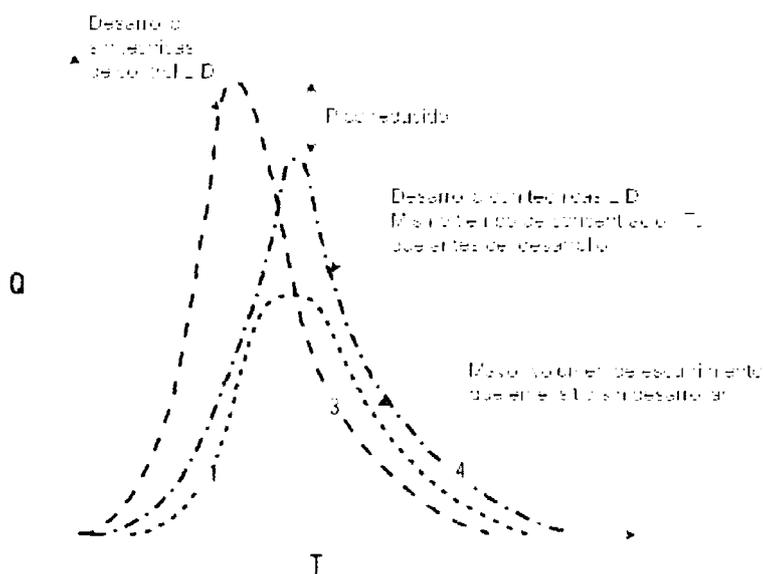


Figura 6.2. Reducción del volumen y el pico de escurrimientos al aplicar técnicas de desarrollo de bajo impacto.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999b.

Como puede observarse en la Figura 6.2, la línea 1 es la situación original del sitio, la 2 corresponde a la zona desarrollada sin tomar en cuenta las técnicas de LID y la línea 3 muestra como las técnicas mencionadas anteriormente ayudan a mantener el tiempo de concentración original y aunque presentan un escurrimiento mayor que el del sitio original, este se presenta más tarde y con un pico más reducido.

La relación que existe entre las técnicas de LID mencionadas y el efecto en el tiempo de concentración puede observarse en la siguiente tabla. Aquí, se puede ver que las técnicas se enfocan a minimizar pendientes, mantener la topografía natural y además incrementar la rugosidad del suelo por medio de vegetación.

**Tabla 6.2.** Relación entre técnicas de LID y tiempo de concentración.

| Factores del tiempo de concentración | Bioretención en el sitio | Estructuras de captación más anchas y planas | Clusters de árboles y vegetación | Zonas de transición | Desconectar áreas impermeables | Conservar topografía original del sitio | Conservación de árboles del sitio |
|--------------------------------------|--------------------------|--|----------------------------------|---------------------|--------------------------------|---|-----------------------------------|
| Minimizar afectación al sitio | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Reducir pendientes | | | | | | ✓ | |
| Aumentar el camino del flujo | | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ |
| Incrementar la rugosidad | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ |

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999b.

6.4 REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE ESCURRIMIENTO

Ya que se hayan aplicado las técnicas anteriores para reducir el coeficiente de escurrimiento y el tiempo de concentración, aún puede haber escurrimiento adicional que debe de manejarse. Para lograr esto se puede recurrir a las técnicas de retención y almacenamiento, a las cuales se les llama prácticas integradas de administración de escurrimientos (Integrated Management Practices, IMP por sus siglas en inglés). Éstas permiten reducir el volumen y la tasa pico de escurrimientos (Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a). Algunas de las herramientas que permiten reducir el volumen dentro del mismo sitio son las siguientes:

- Bioretención
- Zanjas de infiltración
- Tanques de lluvia
- Cisternas



Estas técnicas permiten acumular cierta cantidad de lluvia que luego puede ya sea utilizarse para el mismo sitio en forma de riego o liberarse poco a poco, después del evento de tormenta, para evitar los picos y también los volúmenes altos de escurrimiento que ocurren cuando se ha desarrollado un sitio.

A continuación se explicarán con mayor profundidad estas técnicas de retención y almacenamiento, así como otras cuantas que promueven la infiltración.

6.5 PRÁCTICAS INTEGRADAS DE ADMINISTRACIÓN DE ESCURRIMIENTOS

Las prácticas integradas de administración de escurrimientos se pueden dividir en varias categorías: las que promueven la infiltración, las que promueven la retención y las que promueven la evapotranspiración. Dentro de las que promueven la infiltración se encuentran la bioretención, los pozos secos, los canales desarenadores y las estructuras de captación. Las prácticas que se basan en la retención son los tanques de lluvia y las cisternas; finalmente, las prácticas que promueven la evapotranspiración son las cubiertas vegetales, la xeriscapía y los pavimentos permeables. A continuación se da una explicación general acerca de estas prácticas.

A) BIORETENCIÓN

La Bioretención es una práctica para administrar y tratar los escurrimientos por medio de la utilización de una cama de tierra para plantación y una capa de vegetación que se utiliza para infiltrar el agua hacia una depresión de manera gradual, imitando el proceso natural de infiltración del suelo. Este método combina la infiltración física y la absorción con los procesos biológicos (EPA, 2002c). Los sistemas de bioretención se diseñan con base en los tipos de suelo, su uso y las condiciones del sitio. Según el Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's (1999a) las unidades de bioretención constan de siete componentes principales:

- Un buffer de pasto que ayuda a reducir la velocidad del flujo y permite infiltrar el escurrimiento.
- Una cama de arena que promueven la aireación y el drenaje del suelo donde se encuentran las plantas.



- Un área de inundación de agua excedente de escurrimiento que ayuda a la evaporación. Ésta no debe de exceder los 15 cm.
- Una capa orgánica que tiene la función de descomponer el material orgánico y provee de un medio para el crecimiento de microorganismos que degradan los contaminantes. También previene la erosión del suelo
- Suelo fértil que almacena el agua de lluvia y los nutrientes para las plantas. Puede contener arcillas para absorber contaminantes como metales pesados.
- Material del sitio. De preferencia con una permeabilidad mayor a 1.3 cm/hr.
- Vegetación (plantas). De preferencia se deben de utilizar tres especies nativas que deben de seleccionarse siguiendo varios criterios como su morfología, su susceptibilidad a plagas, la cantidad de agua que necesitan y su tolerancia a los contaminantes (ver Figura 6.3).

Además de considerar la selección de las plantas, la fertilidad del suelo es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta, ya que del escurrimiento puede presentar contaminantes que pueden afectar el drenaje natural del suelo. El analizar la fertilidad del suelo es importante para mantener un sistema de bioretención efectiva. Los suelos utilizados en un sistema de bioretención deben de evaluarse anualmente y cambiarse en caso que haya perdido su fertilidad (Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a).

Otras consideraciones importantes para el diseño de zona de bioretención son el área que ocupa, la tasa de infiltración del suelo y la cercanía a construcciones o cimentaciones. Según el Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's (1999a), las medidas que se recomiendan para una zona de bioretención son:

- área de 4.6 a 18 m²
- ancho de 1.5 m a 3 m
- largo de 3 a 6 m
- profundidad de 0.6 m a 12 m

El suelo del sitio debe de tener una tasa de infiltración mayor a 0.68 cm/h, pero si no la tiene se pueden utilizar mecanismos de drenaje profundo adicionales; se debe de asegurar que estas zonas se encuentren a por lo menos 3 metros de construcciones y cimentaciones existentes en el sitio. Este tipo de soluciones no se pueden aplicar dentro de las viviendas típicas del AMM debido a las reducidas dimensiones de los lotes y son más aptas para su aplicación en lotes



mayores como los que se ubicaron en San Pedro, o en corazones de manzana desocupados como los que existen en el Centro Metropolitano o en Santa Catarina.

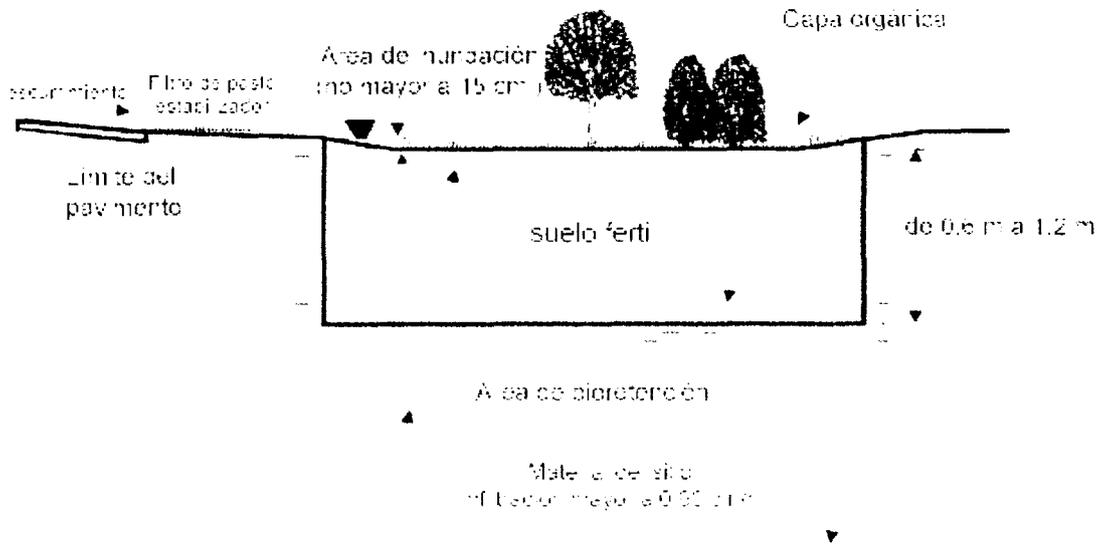


Figura 6.3. Sistema de bioretención y sus componentes.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.

Es importante considerar que debido a su tamaño, las zonas de retención deben de planearse para áreas libres bastante grandes y con suelos específicos, además que requieren mantenimiento anual en especial en cuanto a los suelos fértiles, por lo cual su aplicación la hace más limitada.

B) POZOS SECOS

Los pozos secos son trincheras o pozos que están rellenos de piedra o grava, diseñados para almacenar y retener el escurrimiento de los techos y poco a poco infiltrarlo o evaporarlo. Las consideraciones de diseño que se consideran para este tipo de pozos se refieren a tres aspectos principales:

- Permeabilidad del suelo. Los suelos donde se ubiquen estos pozos deben de tener una permeabilidad de 0.68 a 1.32 cm/h.
- Profundidad. 1.82 m a 3.05 m dependiendo del tipo de suelo
- Medidas. Área: de 0.743m² a 1.85 m². Ancho de 0.6096 m a 1.219 m Longitud: 1.219 m a 2.43 m Profundidad: 1.219m a 2.43 m

Otras consideraciones importantes son la instalación de un tubo de observación, el cual debe ser de PVC de 4 pulgadas y debe tener una tapa removible para inspección y mantenimiento (Washington State Department of Ecology, Water Quality Program, 2003). Además de esto,



deben de instalarse filtros en el drenaje pluvial de los techos para captar obstrucciones (ver Figura 6.4). Al igual que los sistemas de bioretención, los pozos secos deben de instalarse a una distancia mínima de 3 metros de una construcción o una cimentación.

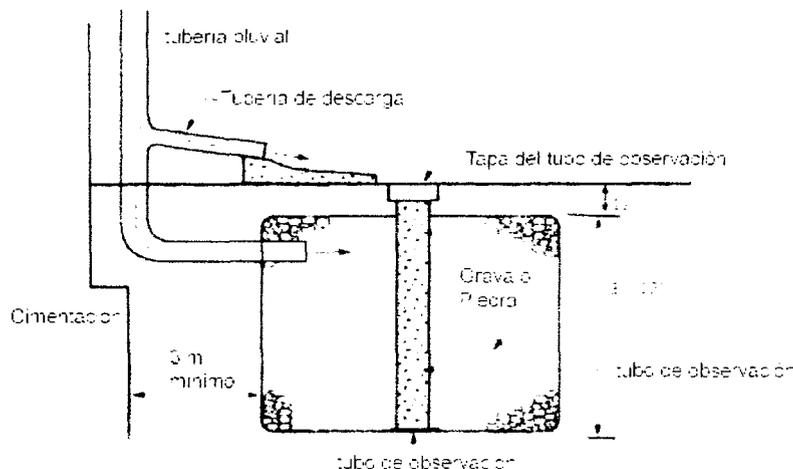


Figura 6.4. Pozo seco.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.

Se debe de tomar en cuenta que estos pozos deben de utilizarse en suelos relativamente permeables y no expansivos (preferentemente en suelos arenosos). El mantenimiento de estas estructuras debe de realizarse antes de las temporadas para retirar el sedimento que se acumule en el fondo. Una solución de este tipo también requiere distancias de 3 m hasta la cimentación, lo que no es posible lograr en lotes típicos del AMM

C) FILTER STRIPS / CANALES DESARENADORES

Los canales desarenadores son franjas de vegetación en clusters, generalmente pasto y árboles que se colocan entre una zona de contaminación importante y una fuente de hidrología superficial. Su principal función es la de controlar la calidad del agua que llega a la hidrología superficial. Esta estrategia debe de utilizarse en conjunto con otras prácticas de administración de escurrimientos para ser totalmente efectiva. Sus condiciones de diseño son el tener una pendiente mínima de 2% y máxima de 6% (Washington State Department of Ecology, Water Quality Program, 2003). La longitud que se recomienda para estos canales debe ser de 4.5 m a 6 m, y aunque actúan mejor con suelos permeables, esto no es un factor obligatorio. Al igual que las otras herramientas comentadas anteriormente, debe de colocarse a por lo menos 3 metros de cimentaciones y construcción (ver Figura 6.5).

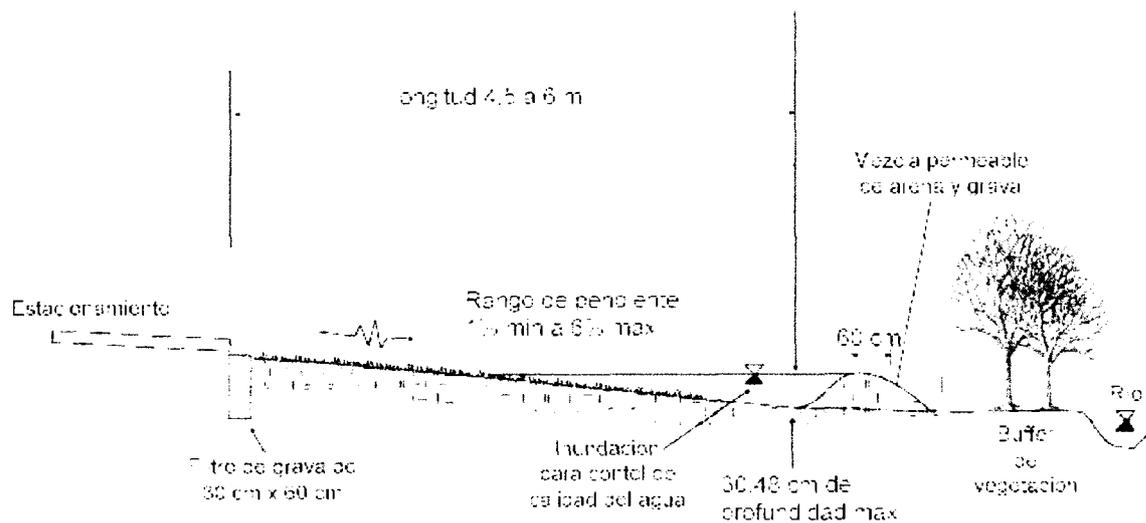


Figura 6.5. Canal desarenador.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.

Puede observarse en la figura que el escurrimiento proveniente de estacionamientos pasa por varios filtros. El primero es un pozo seco de grava. De ahí, el agua pasa por la pendiente hasta llegar a una depresión para acumular la inundación de una profundidad máxima de 30 cm. Aquí, el agua se retiene mediante un pequeño montículo permeable de grava y arena que funciona como un segundo filtro. La presencia de árboles, el tercer filtro, ayuda a controlar la contaminación que el montículo permeable deja pasar. Su aplicación en el AMM es para estacionamientos y grandes vialidades a las que habría que dotar en sus cercanías de este tipo de diseños. También se puede ligar con los cauces dentro del Área Metropolitana.

D) ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN (SWALES)

Las estructuras de retención son canales con vegetación ya sea con una forma de parábola o con forma trapezoidal. Se pueden adaptar a diferentes condiciones del sitio ya que son muy flexibles en su diseño, su tamaño y son relativamente baratas (Center for Watershed Protection, 2000). Las estructuras de captación pueden tener varias aplicaciones, las más usuales son a lo largo de calles residenciales o en carreteras, ya que en esos lugares se puede contar con una pendiente que propicia la captación del agua y su retención. Su principal función es la de reducir la velocidad del escurrimiento y promover la infiltración y la evaporación. También ayudan a reducir las partículas que tapan los drenajes mediante la sedimentación.



Las estructuras de retención pueden ser de dos tipos:

- Secas
- Húmedas

Las estructuras de infiltración secas proveen un mecanismo de control tanto de volumen de escurrimiento como de calidad del agua, al limitar la cantidad de contaminantes que llegan a la hidrología superficial (ver Figura 6.6).

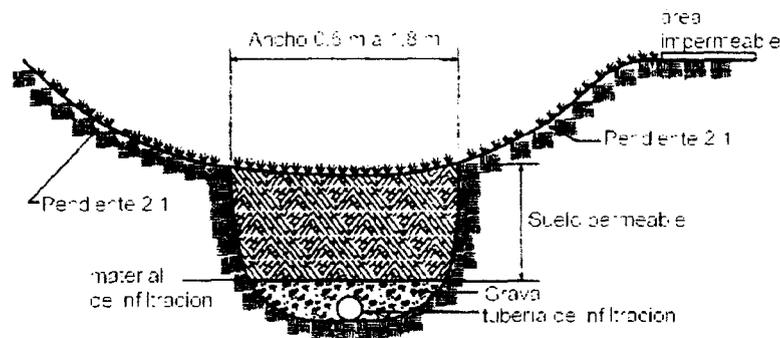


Figura 6.6. Estructura de retención seca.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.

Puede observarse que en el fondo de la estructura hay un material de infiltración, algo de grava para infiltrar y una tubería.

Las estructuras de retención húmedas también proveen un mecanismo de control de la calidad del agua y además disminuyen la tasa pico de escurrimiento mediante vegetación (ver Figura 6.7).

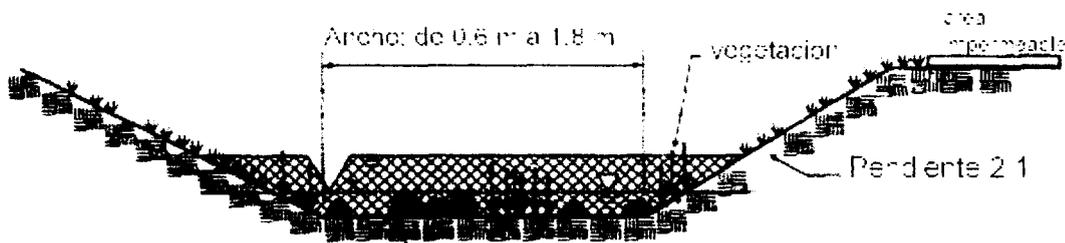


Figura 6.7. Estructura de retención húmeda.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.

En estas estructuras húmedas es importante la selección de vegetación adecuada que pueda sobrevivir en cuando la estructura está inundada, así como cuando la estructura está seca.

Las condiciones de diseño de estas estructuras son las siguientes son las siguientes:



- El tipo de suelo y su tasa de infiltración determinan si se utilizará una estructura de captación húmeda o seca. Para las estructuras secas se recomienda una tasa de 0.68 cm/h a 1,32 cm/h.
- El ancho en la parte inferior debe de ser 0.609 m como mínimo, y 1.828 m como máximo
- Pendientes: en los lados de 3:1 o más plano, la longitudinal debe ser de 1.0% mínimo.

E) TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA

Los tanques para lluvia son recipientes que se instalan en las salidas de drenaje pluvial y que sirven principalmente como almacenamiento del agua de lluvia. Además de que esta lluvia puede utilizarse para consumo humano en riego de jardines y en limpieza del WC, este mecanismo también sirve para minimizar los picos de inundación. Su funcionamiento consiste en retener el volumen de escurrimiento determinado por el tamaño del área impermeable que representa la cubierta. Son mecanismos muy prácticos ya que su costo es relativamente pequeño, son de fácil mantenimiento y pueden utilizarse en cualquier tipo de construcción. Su tamaño depende del escurrimiento que desplaza la construcción. Se pueden incorporar al paisaje fácilmente si se utilizan herramientas de paisajismo para esconderlos o mimetizarlos con el jardín. Se pueden equipar con una conexión a una manguera para el uso del agua en el jardín (ver Figura 6.8). Este tipo de solución si es aplicable a los lotes típicos del AMM

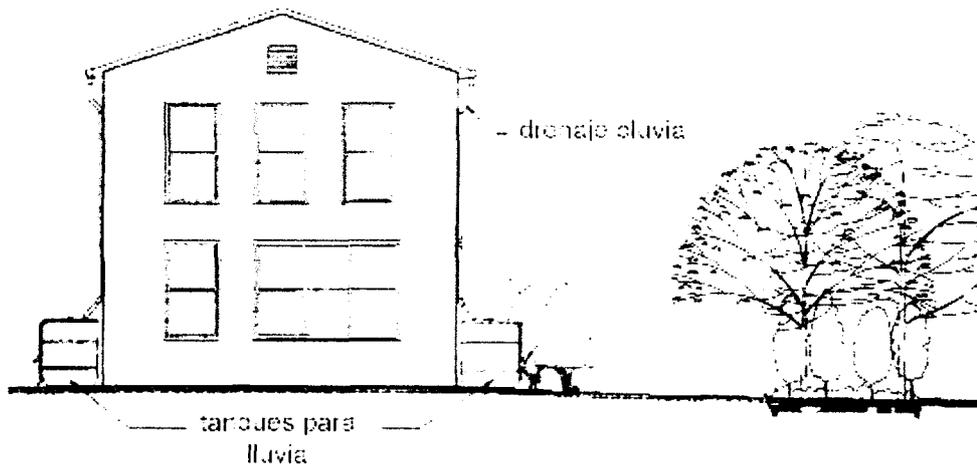


Figura 6.8. Tanque para almacenamiento de agua de lluvia.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.



F) CISTERNA

La cisterna es un mecanismo parecido al tanque de recolección de agua de lluvia, sólo que son tanques de lluvia sepultados en la tierra. Estos tanques o cisternas enterrados mantienen el agua con mayor frescura y también impiden la formación de algas. Las cisternas pueden estar construidas de anillos de hormigón armado, de piezas de hormigón fraguado en encofrado (sin juntas), plástico reforzado, fibra de vidrio o de polietileno que se pueden enterrar. Los anillos deben de montarse unos sobre otros con mortero hermético o bandas de impermeabilización de plástico (Bastian, H., 1999). Para poder aprovechar el agua de lluvia que se acumule en esta cisterna se puede instalar un antepozo para el filtrado grueso, para que retenga las partículas de suciedad que provengan del tejado. Se puede utilizar una bomba sumergible o una bomba manual para extraer el agua de la cisterna y utilizarla para el riego del jardín o para la limpieza del WC. También es aplicable para las viviendas del AMM

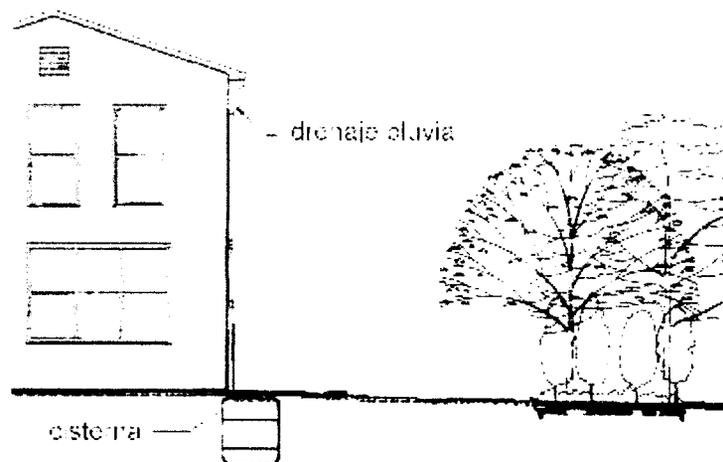


Figura 6.9. Cisterna para almacenamiento de agua de lluvia.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.

G) TRINCHERA DE INFILTRACIÓN

Estos elementos son franjas excavadas que se han rellenado con piedras para formar un área de infiltración. El escurrimiento se canaliza hacia esta zona para infiltrarlo al suelo, lo cual ocurre a lo largo de varios días. Son muy adaptables y pueden tener muchas configuraciones diferentes, lo cual las hace ideales para áreas de drenaje pequeñas. Pueden incluir algunos elementos de tratamiento como zonas de vegetación. Se debe de tener cuidado de que estas



trincheras no se tapen con los sedimentos. Las consideraciones de diseño que deben de tomarse en cuenta para estos elementos son la permeabilidad del suelo que debe de ser de 0.60 cm/h a 1.32 cm/h. Las medidas que debe de tener este elemento son:

- área 0.7 m² a 1.8m²
- ancho 0.6 c a 1.2 m
- largo de 1.2 m a 2.4 m
- Profundidad de 1.82 m a 3 m

Su ubicación depende de la permeabilidad del sitio que debe ser mayor a 1.3 cm/h. Se puede plantar un buffer de pasto con cierta pendiente que conduzca el agua hacia la trinchera que se conforma de grava o piedra. En el fondo de ésta se debe de colocar un filtro de arena de 100 a 300 mm (ver Figura 6.10).

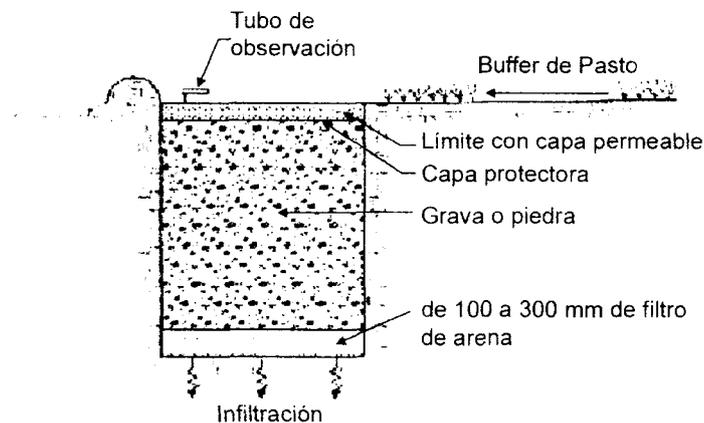


Figura 6.10. Trinchera de infiltración.

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.

Estas estructuras son de mantenimiento periódico, cada 4 meses el primer año y una vez al año después. Solo son aplicables para lotes urbanos de mayores dimensiones.

H) CUBIERTAS VEGETALES

Los techos con cubierta vegetal, son una manera muy efectiva para reducir el escurrimiento urbano ya que disminuyen el porcentaje de áreas impermeables dentro del sitio y además promueven la infiltración y evapotranspiración. Son muy adecuadas para áreas urbanas densificadas, en especial donde las estructuras de drenaje pluvial han alcanzado sus límites (Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a).

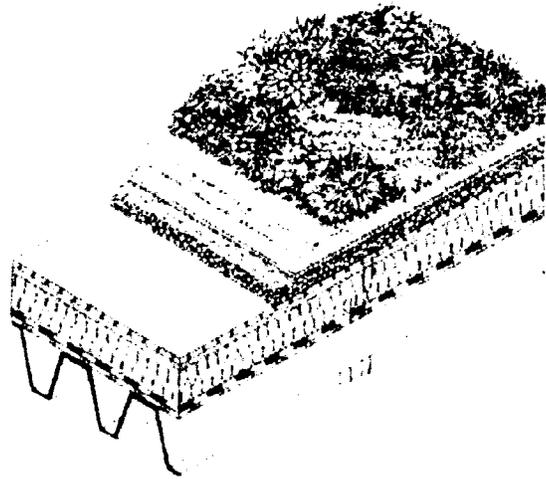


Figura 6.11. Cubierta Vegetal.

Fuente: EPA, 2002f.

La cubierta vegetal tiene varias capas:

- capa vegetal
- suelo fértil
- capa geotextil
- capa de drenaje sintético
- capa impermeable

Los beneficios de las cubiertas vegetales, además del beneficio estético, son el mejoramiento de la calidad del aire (un 85% de las partículas de polvo pueden filtrarse), temperaturas más bajas y mayor humedad por la evapotranspiración y se puede almacenar y luego evaporar de un 10 a un 100% del escurrimiento (EPA, 2002f). Además, el uso de este mecanismo ayuda a alargar el tiempo de concentración y permite ahorros energéticos ya que funge como aislante de la techumbre.

I) PAVIMENTO PERMEABLE

El pavimento permeable es un método que reduce las áreas impermeables, pero a la vez puede proporcionar una cubierta del suelo con cierta capacidad de carga y con la cualidad de tener espacios libres por donde infiltra el escurrimiento en el suelo. Su función principal es la infiltración profunda. Al utilizar estos pavimentos se puede reducir el área impermeable pero sin sacrificar la intensidad de su uso.



Los pavimentos permeables deben de colocarse en suelos con una pendiente de 5% o menos y pueden utilizarse en áreas donde haya poco tráfico como estacionamientos, banquetas y caminos de jardín (Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a) Existen varios tipos de pavimentos permeables, los hechos a base de concreto permeable, asfaltos porosos, adoquín, concreto ecológico (donde el concreto está hueco en el centro y puede plantarse vegetación) y piedra natural (ver Figura 6.12)

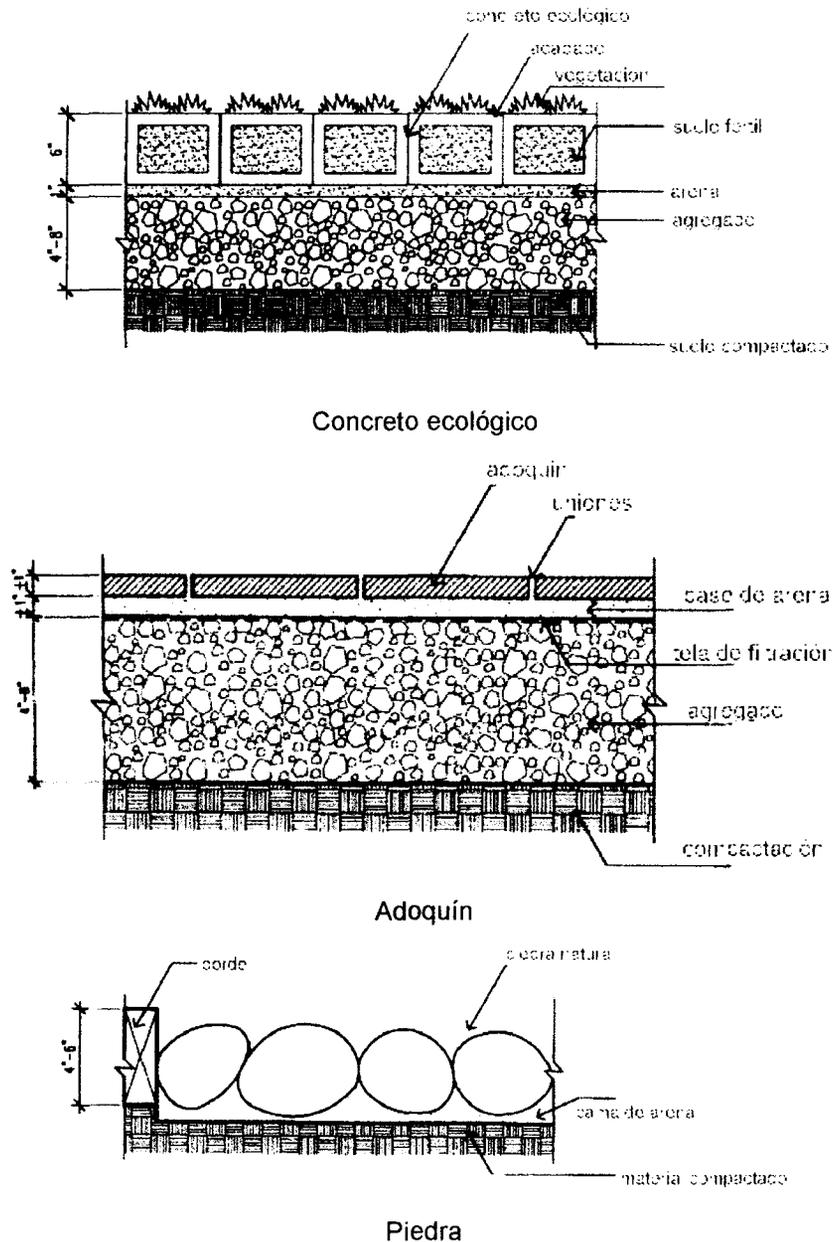


Figura 6.12. Pavimentos Permeables.

Fuente: BASMAA, 1999.



J) XERISCAPÍA

Para la selección de plantas puede recurrirse a la xeriscapía. La xeriscapía es un concepto de paisajismo que trata de maximizar la conservación del agua dentro de un sitio, mediante la utilización de plantas apropiadas y de un sistema de riego apropiado. La combinación de la xeriscapía junto con un sistema de bioretención puede dar muchas ventajas para el control de escurrimientos. Las ventajas de esta técnica son las siguientes:

- Reducción de pérdidas de agua y de erosión del suelo si se planea e implementa adecuadamente.
- Reducción de utilización de fertilizantes debido a la preparación que tiene el suelo
- Reducción de áreas de mantenimiento.

Para la aplicación de la xeriscapía se deben de estudiar las especies adecuadas (evitando las de tipo invasivo) y las condiciones de uso de éstas.

A continuación se muestra una tabla con las principales limitantes del sitio para algunas de las estrategias de administración de escurrimientos que se explicaron anteriormente. Las variables que maneja esta tabla son el espacio requerido, las características del suelo, las pendientes, la distancia necesaria con respecto a una construcción, la profundidad máxima y el mantenimiento requerido (ver Tabla 6.3).

Es importante notar que las estrategias que tienen menor número de limitantes para instalarse en un sitio son las cisternas y los tanques para lluvia, por lo cual pueden representar una alternativa para el Área Metropolitana de Monterrey en lugares muy pequeños o con calidad de suelo muy pobre para infiltrar.



Tabla 6.3. Comparación de las limitantes del sitio de las alternativas de LDI.

| Limitantes del sitio | Bioretención | Pozos Secos | Canales desarenadores | Estructuras de captación húmedas o secas | Taques de lluvia | Cisternas | Trinchera de infiltración |
|-------------------------------|---|--|--|--|--|--------------------------------|---|
| Espacio requerido | Área:de 4.645 m ² a 18.58 m ² Ancho:1.52 m a 3.05 m Largo:3.05 m a 6.096 m Profundidad: 0.6096 m a 1.219 m | Área: 0.743m ² a 1.85 m ² . Ancho. 0.6096m a 1.219m Longitud:1.219 m a 2.43 m Profundidad:1.219m a 2.43m | Longitud: 4.572 m a 6.09m | Parte inferior. Ancho: 0.609m mínimo 1.828 m máximo | No es un factor limitante | No aplica | Área:de0.7432 m ² a 18.58 m ² Ancho:0.6096 m a1.219 m Largo:1.219 m a 2.438 m |
| Suelos | Suelos permeables con tasas de infiltración > 0.6859 cm/h Se puede aplicar a suelos con otras características si se asegura el drenaje profundo | Suelos permeables con tasas de infiltración > 0.6859 cm/h | Se recomiendan suelos permeables, pero esto no es una limitante | Suelos permeables tienen mejor desempeño hidrológico, pero no es una limitante. Su tipo depende de las características del suelo | No es un factor limitante | No aplica | Suelos permeables con tasas de infiltración > 1.3288 cm/h |
| Pendientes | No es una limitante, sino más bien una consideración de diseño | No es una limitante, sino más bien una consideración de diseño | No es una limitante | Lados 3:1 o más plano, longitudinal 1.0% mínimo. Máximo con base en la velocidad permisible | No es un factor limitante, sino más bien una consideración de diseño | No aplica | No es un factor limitante |
| Cercanía a cimentación | Mínima de 3.05 m de las edificaciones y de la cimentación | Mínima de 3.05 m de las edificaciones y de la cimentación | Mínima de 3.05 m de las edificaciones y de la cimentación | Mínima de 3.05 m de las edificaciones y de la cimentación | No es un factor limitante | No aplica | Mínima de 3.05 m de las edificaciones y de la cimentación |
| Profundidad máxima | 0.696 a 1.219 m dependiendo del suelo | 1.82 m a 3.05 m dependiendo del tipo de suelo | No aplica | No aplica | No aplica | No aplica | 1.828 m a 3.05 m dependiendo del tipo de suelo |
| Mantenimiento | Bajo. Se le puede dar un mantenimiento parecido a una zona se paisajismo | Bajo | Bajo. Se le puede dar un mantenimiento parecido a una zona se paisajismo | Bajo | Muy bajo | Muy bajo | Medio a alto |
| Aplicación al AMM | Adecuado para lotes grandes | Adecuado para lotes medianos a grandes | Adecuado para lotes grandes | Adecuado para lotes medianos a grandes | Aplicable a todo tipo de lotes | Aplicable a todo tipo de lotes | Adecuado para lotes grandes |

Fuente: Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, 1999a.



Las técnicas de desarrollo de bajo impacto presentan muchas oportunidades para controlar los escurrimientos y la contaminación generada por éstos. La primera parte para controlar los escurrimientos es la planeación adecuada del sitio, pensando en la administración de los escurrimientos mediante el BDI. Una vez que se haya realizado esta planeación y se hayan desconectado las áreas impermeables, se incremente la rugosidad, se mantenga la vegetación del sitio y se minimice las áreas impermeables, se puede pasar a la implantación de prácticas integradas de administración de escurrimientos como la construcción de cisternas, tanques, áreas de bioretención entre otros. La conjunción de estas estructuras de captación e infiltración, junto con la planeación adecuada del sitio permiten imitar las condiciones de hidrología que tenía antes del desarrollo urbano.

Sin embargo, para tener un manejo adecuado de la hidrología del lugar es importante estudiar a profundidad, el tipo de suelo, su drenaje y sus pendientes y la cercanía de otras construcciones. Asimismo, las regulaciones metropolitanas deben de tratar de promover este tipo de prácticas para evitar inundaciones pico.



VII. PRÁCTICAS INTEGRADAS DE ADMINISTRACIÓN DE ESCURRIMIENTOS PARA EL AMM.

En el capítulo anterior se exploró la posibilidad de estructuras de infiltración, pero se comprobó que su aplicación es limitada por el tipo de suelo del AMM y la alteración que ha sufrido, por lo cual resta recomendar otro tipo de estructuras para el manejo de escurrimientos dentro del AMM.

Según el análisis realizado en el Capítulo 4, el tamaño de las construcciones en el AMM que más predomina en los Municipios de Apocada y Escobedo es de 40 a 60 m² (con 41.73 y 29.58% respectivamente). Para los municipios de Guadalupe la vivienda que predomina es de 60 a 80 m² al igual que para San Nicolás y Santa Catarina (ver Tabla 7.1 y Figura 7.1).

En Monterrey un 17.71 % de las viviendas tiene entre 60 y 80 m² construidos y en San Pedro, las construcciones de vivienda que predominan son mucho más grandes, con un área de 300 a 500 m² (20.62%).

Tabla 7.1. Tamaño de construcción de la vivienda en el AMM.

| Tamaño de construcción (m2) | Porcentaje (%) | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|----------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| | Apodaca | Escobedo | Guadalupe | Monterrey | San Nicolás | San Pedro | Santa Catarina |
| 0.01-20 | 0.87 | 2.98 | 2.63 | 0.65 | 0.22 | 0.44 | 0.89 |
| 20-40 | 14.50 | 21.65 | 8.00 | 3.44 | 6.13 | 2.35 | 15.04 |
| 40-60 | 41.73 | 29.58 | 16.23 | 7.93 | 16.83 | 4.97 | 20.99 |
| 60-80 | 17.79 | 20.36 | 17.71 | 11.98 | 21.38 | 7.08 | 23.42 |
| 80-100 | 10.41 | 9.44 | 16.56 | 14.32 | 18.54 | 7.61 | 16.58 |
| 100-120 | 5.16 | 5.81 | 14.40 | 14.67 | 13.47 | 7.24 | 10.17 |
| 120-140 | 3.47 | 3.46 | 9.95 | 12.03 | 8.61 | 6.42 | 4.89 |
| 140-160 | 1.56 | 2.31 | 5.61 | 8.46 | 5.13 | 6.13 | 2.37 |
| 160-180 | 0.92 | 1.22 | 2.80 | 5.88 | 2.95 | 4.44 | 1.53 |
| 180-200 | 0.63 | 0.75 | 1.59 | 4.08 | 1.64 | 3.83 | 0.75 |
| 200-250 | 0.97 | 0.90 | 2.04 | 6.28 | 2.42 | 9.20 | 1.13 |
| 250-300 | 0.51 | 0.52 | 1.06 | 3.23 | 1.08 | 8.67 | 0.55 |
| 300-500 | 0.90 | 0.62 | 0.97 | 4.26 | 1.22 | 20.62 | 0.91 |
| mayor a 500 | 0.58 | 0.41 | 0.45 | 2.82 | 0.37 | 11.00 | 0.79 |

Los tamaños de patios también son importantes para proponer una estrategia de escurrimientos para la vivienda dado que estos patios pueden convertirse en zonas propicias para la evapotranspiración al mantenerse con una cubierta vegetal, utilizar la xeriscapía o los pavimentos permeables. Asimismo, su área es importante dado que el tamaño de las estructuras de captación debe de adecuarse al área libre disponible.



En la Tabla 7.2 se observa que el tamaño de patios más común en el AMM es de 10 a 20 m², y se presenta en los Municipios de Apodaca, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás y Santa Catarina en primer lugar.

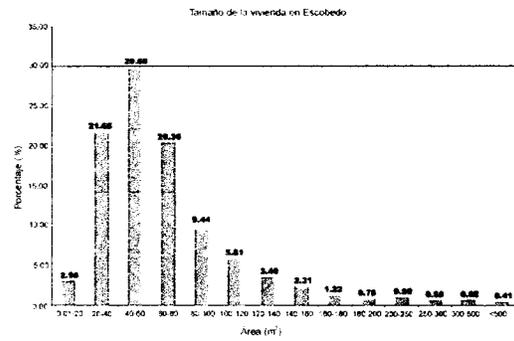
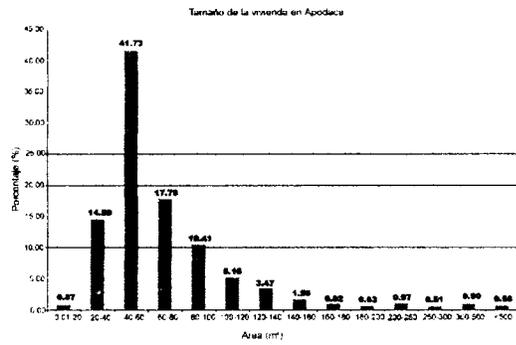
En el Municipio de San Pedro predominan los patios más pequeños con áreas de 0 a 10 m². Sin embargo muchas de las viviendas de este municipio cuentan con jardines muy grandes, en los cuales se pueden albergar estructuras más complejas de retención y captación de agua.

En Escobedo se observan que los patios con un área de 20 a 30 m² (en un rango más alto que en el resto del AMM) son los imperan.

Tabla 7.2. Tamaño de los patios en el AMM.

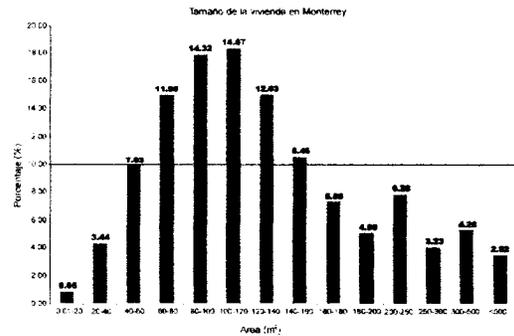
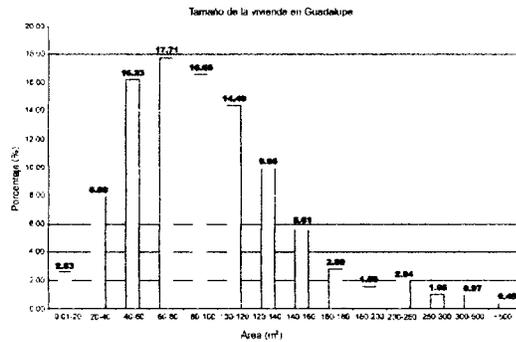
| Tamaño de patio (m ²) | Apodaca | Escobedo | Guadalupe | Monterrey | San Nicolás | San Pedro | Santa Catarina |
|-----------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|-------------|-----------|----------------|
| 0.1 a 10 | 8.65 | 7.49 | 12.06 | 15.30 | 13.07 | 19.44 | 12.24 |
| 10 a 20 | 23.57 | 16.07 | 16.69 | 17.23 | 19.27 | 15.06 | 17.43 |
| 20 a 30 | 22.05 | 17.03 | 13.26 | 12.99 | 17.86 | 10.04 | 15.74 |
| 30 a 40 | 10.23 | 11.85 | 11.34 | 10.09 | 12.85 | 8.06 | 12.24 |
| 40 a 50 | 8.60 | 8.89 | 10.21 | 8.16 | 10.24 | 6.11 | 10.82 |
| 50 a 60 | 7.92 | 8.28 | 8.25 | 6.45 | 7.64 | 5.00 | 9.03 |
| 60 a 70 | 5.70 | 6.64 | 6.61 | 5.21 | 5.25 | 3.82 | 7.56 |
| 70 a 80 | 3.42 | 5.51 | 5.20 | 4.28 | 3.50 | 3.20 | 4.02 |
| 80 a 90 | 2.58 | 3.92 | 3.76 | 3.51 | 2.29 | 2.79 | 2.60 |
| 90 a 100 | 1.66 | 2.77 | 2.63 | 2.80 | 1.58 | 2.36 | 1.92 |
| 100 a 110 | 0.98 | 1.91 | 1.97 | 2.13 | 1.25 | 1.90 | 1.35 |
| 110 a 120 | 0.62 | 1.48 | 1.55 | 1.76 | 0.96 | 1.72 | 1.02 |
| 120 a 130 | 0.56 | 1.28 | 1.19 | 1.39 | 0.77 | 1.57 | 0.75 |
| 130 a 140 | 0.44 | 1.18 | 0.91 | 1.15 | 0.56 | 1.37 | 0.53 |
| 140 a 150 | 0.38 | 0.91 | 0.73 | 1.00 | 0.47 | 1.26 | 0.40 |
| 150 a 200 | 1.20 | 1.96 | 1.74 | 3.20 | 1.27 | 5.66 | 0.97 |
| 200 a 250 | 0.51 | 1.06 | 0.70 | 1.59 | 0.54 | 3.61 | 0.50 |
| más de 250 | 0.93 | 1.75 | 1.19 | 1.76 | 0.62 | 7.56 | 0.88 |

De esta manera, si se proponen estrategias generales para los casos más comunes de tipología de la vivienda se puede reducir considerablemente el escurrimiento total producido por la vivienda en cada municipio. Esto, junto con las características del suelo encontradas en el análisis de los puntos de verificación muestra que para administrar los escurrimientos se pueden proponer las siguientes estrategias generales que son adecuadas para el AMM:



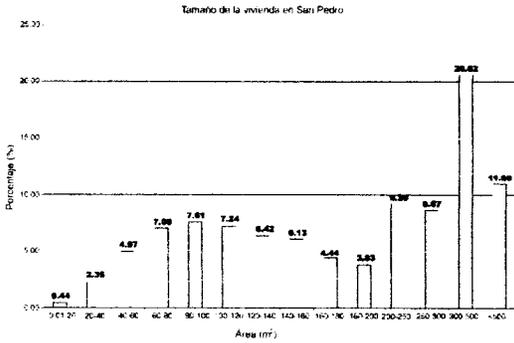
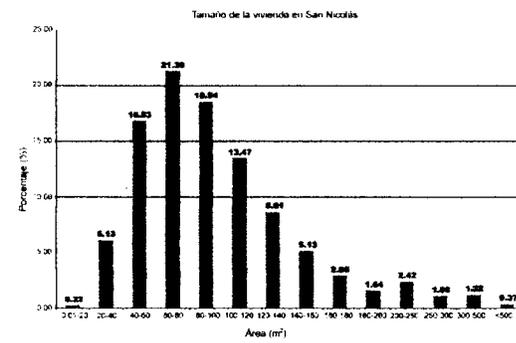
APODACA

ESCOBEDO



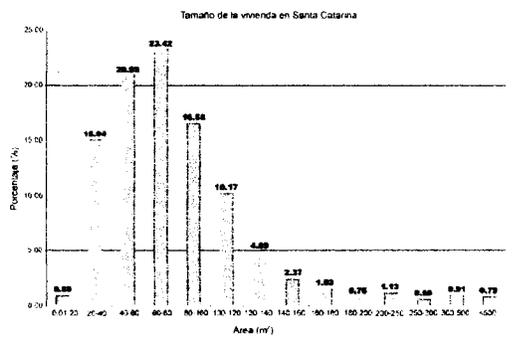
GUADALUPE

MONTERREY



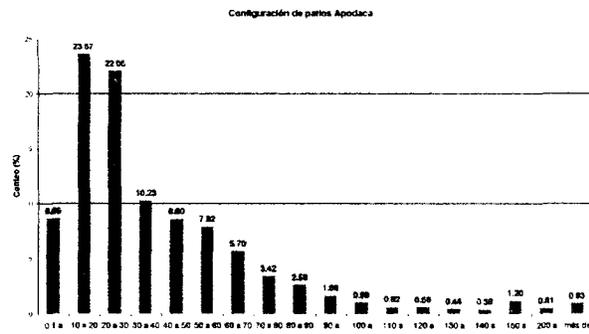
SAN NICOLÁS DE LOS GARZA

SAN PEDRO GARZA GARCÍA

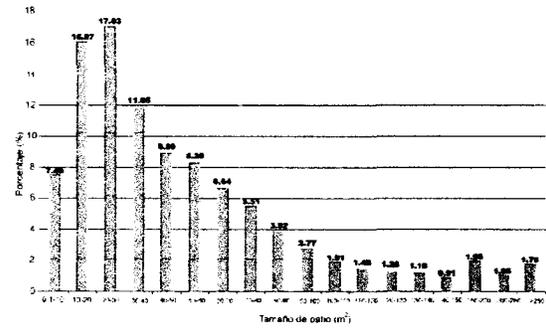


SANTA CATARINA

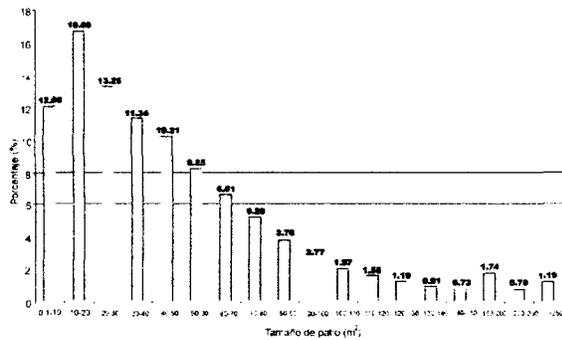
Figura 7.1. Tamaño de la vivienda en los municipios del Área Metropolitana de Monterrey.



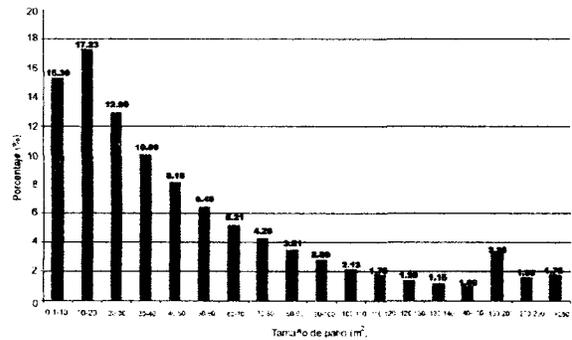
APODACA



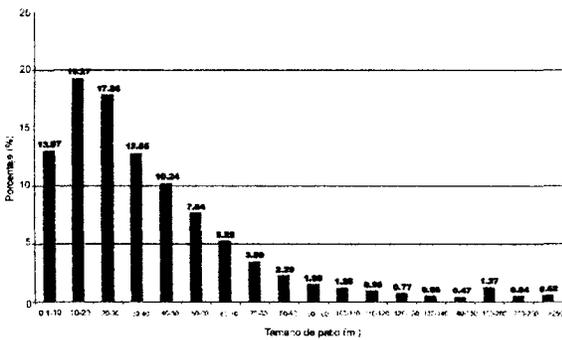
ESCOBEDO



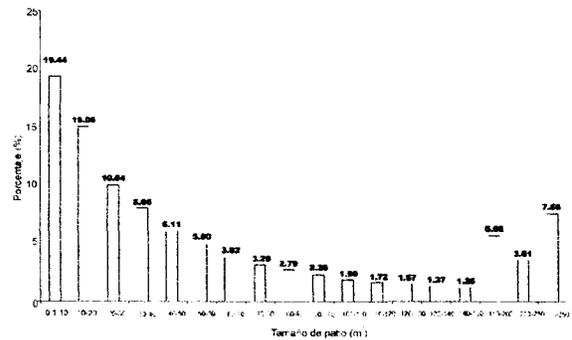
GUADALUPE



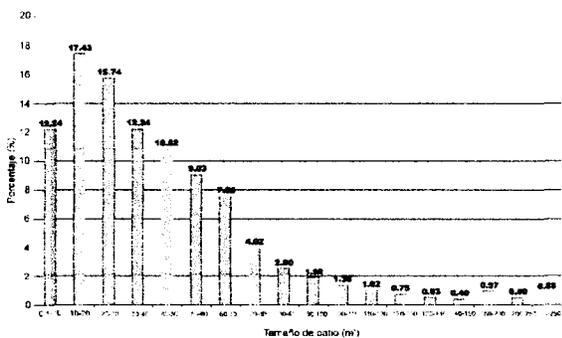
MONTERREY



SAN NICOLÁS DE LOS GARZA



SAN PEDRO GARZA GARCÍA



SANTA CATARINA

Figura 7.2. Tamaño de los patios de la vivienda en los municipios del Área Metropolitana de Monterrey.



- a) **Cisternas.** Las cisternas se utilizan de manera corriente en el AMM para el agua potable de la ciudad, por lo cual la construcción de este tipo de estructuras no presenta ningún problema. Estas estructuras pueden proponerse para patios medianos o grandes y son una de las mejores alternativas ya que tienen un bajo mantenimiento. Mediante un sistema de bombeo, el agua recogida puede utilizarse para el riego del jardín o para el WC mediante tubería adecuada.

- b) **Tanques para agua de lluvia.** Los tanques para agua de lluvia son la solución más práctica para el control directo de escurrimientos, ya que no son caros y pueden acomodarse fácilmente en lotes aun cuando estos sean pequeños. Ya que la capacidad de infiltración del suelo no afecta esta estructura puede proponerse para todo tipo de patios del AMM siempre y cuando se tenga el espacio suficiente. El agua cosechada de esta manera puede utilizarse para el riego del jardín.

- c) **Pavimentos permeables.** Aún cuando el suelo del AMM no presente capacidad de infiltración óptima, esta estrategia puede ayudar a crear un microclima más fresco mediante la evapotranspiración, con lo cual se detiene el agua de escurrimientos y además se imitan las condiciones hidrológicas preexistentes del sitio.

- d) **Cubiertas vegetales** en otros países es común el uso de cubiertas vegetales, sobre todo en ciudades donde hay un gran volumen de precipitación. Incluso en México, en el Distrito Federal existen varios arquitectos interesados en el manejo bioclimático del Edificio que han construido este tipo de estructuras como el Arq. Picciotto. Este tipo de cubiertas puede aplicarse de manera óptima al AMM ya que con un buen sistema constructivo (ver anexos) es posible su construcción en muchas áreas de la ciudad. Las ventajas de su implementación son la contribución a la evapotranspiración y la creación de un microclima más fresco además de la disminución de áreas impermeables.

Para el análisis y dado que el tamaño de la vivienda es similar en varios municipios, para dar una alternativa al escurrimiento generado se les agrupará con respecto a sus características.



7.1 APODACA Y ESCOBEDO

Dado que la vivienda en Apodaca y Escobedo es en su mayoría de interés social debido a que son municipios en crecimiento, la vivienda que se presenta con mayor frecuencia en estos municipios es de 40 a 60 m², lo cual representa un 41.73%. El segundo tamaño de vivienda que aparece con mayor frecuencia en Apodaca (17.79%) es de 60 a 80 m² y el segundo tamaño de vivienda que aparece en el Municipio de Escobedo es el rango de 20 a 40 m². Dado que el análisis de estos dos municipios se hace en conjunto, se incluyeron los tres los tres porcentajes en importancia de cada municipio. En el caso de Apodaca y Escobedo, estas estrategias son válidas para más de un 70% de las viviendas totales (ver Tabla 7.3)

Tabla 7.3. Porcentajes correspondientes al tamaño de vivienda en los Municipios de Apodaca y Escobedo.

| Tamaño de construcción (m2) | Apodaca | Escobedo |
|--------------------------------|--------------|--------------|
| 0.01-20 | 0.87 | 2.98 |
| 20-40 | 14.50 | 21.65 |
| 40- 60 | 41.73 | 29.58 |
| 60-80 | 17.79 | 20.36 |
| 80-100 | 10.41 | 9.44 |
| 100-120 | 5.16 | 5.81 |
| 120-140 | 3.47 | 3.46 |
| 140-160 | 1.56 | 2.31 |
| 160-180 | 0.92 | 1.22 |
| 180-200 | 0.63 | 0.75 |
| 200-250 | 0.97 | 0.90 |
| 250-300 | 0.51 | 0.52 |
| 300-500 | 0.90 | 0.62 |
| mayor a 500 | 0.58 | 0.41 |
| <i>Sumatoria de porcentaje</i> | <i>74.01</i> | <i>71.59</i> |

Para municipios, como Apodaca donde la infiltración se comprobó que es adecuada, hay estructuras diferentes a recipientes de captación que pueden proponerse, pero desgraciadamente la geometría de los lotes no permite instalar estructuras de este tipo, dado que estas alternativas de infiltración necesitan estar alejadas por lo menos 3 m de otras construcciones o de cimentaciones como se explicó en el Capítulo 6.

Por esto, las alternativas que se proponen para estos dos municipios se consideran solamente como estructuras de retención y captación a base de tinacos y cisternas.

En la Tabla 7.4 se ejemplifican las alternativas de retención de agua que pueden utilizarse para los tres rangos de tamaños de vivienda que se presentan con mayor frecuencia en Apodaca y Escobedo. Asimismo, se muestra el costo aproximado de esta alternativa, según el Catálogo de



Costos de Construcción y Edificación BIMSA, de septiembre de 2004. Las alternativas propuestas se enfocan a viviendas cuyos tamaños oscilan entre 20 m² hasta 80 m², las cuales son más del 70% del total de viviendas de estos municipios.

Tabla 7.4. Alternativas de retención de agua de lluvia con respecto al tamaño de la vivienda en los Municipios de Escobedo y Apodaca.

| Municipios de Escobedo y Apodaca | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------|---|----------|----------|
| Tamaño de la vivienda (m2) | Lluvia máxima horaria (m2/h) | Escurremient o generado (m2/h) | Escurremie nto más probable (60%) | Litros | Alternativa | Cantidad | Costo |
| 20 | 0.05 | 1 | 0.6 | 600 | Tinaco de 600 litros Rotoplas | 1 | 966.97 |
| 30 | 0.05 | 1.5 | 0.9 | 900 | Tinaco de 750 litros Rotoplas | 1 | 1,036.24 |
| 40 | 0.05 | 2 | 1.2 | 1200 | Tinaco de 1100 litros Rotoplas | 1 | 1,359.37 |
| 50 | 0.05 | 2.5 | 1.5 | 1500 | Tinaco de 1100 litros Rotoplas | 1 | 1,359.37 |
| 60 | 0.05 | 3 | 1.8 | 1800 | Tinaco horizontal de asbesto cemento de 1600 litros | 1 | 2,195.40 |
| 70 | 0.05 | 3.5 | 2.1 | 2100 | Tinaco horizontal de asbesto cemento de 1600 litros | 1 | 2,195.40 |
| 80 | 0.05 | 4 | 2.4 | 2400 | Tinaco de 2500 litros Rotoplas | 1 | 2,855.00 |

En muchos casos, las alternativas de retención de agua de lluvia no corresponden completamente a los litros necesarios para controlar el escurrimiento producto del área impermeable de la vivienda, sin embargo, el excedente puede canalizarse hacia áreas libres del terreno que se sugiere que estén cubiertas con pavimento permeable o vegetación para favorecer la evapotranspiración.

Otra consideración que hay que tomar en cuenta para la aplicación de estas alternativas es el tamaño del predio en el cual se emplazarán estas soluciones y el costo que representa para las familias ocupantes de estas viviendas, ya que los costos de éstos varían desde aproximadamente \$1,000 pesos a casi \$3,000 pesos según el tamaño de la construcción. Sin embargo, si se considera que el costo del drenaje pluvial es de \$340 pesos por metro lineal de tubería de 8 pulgadas, el costo de estas estructuras es mucho más reducido y en muchos casos su funcionamiento es más efectivo.

Una alternativa a los costos de compra de este tipo de aditamentos es el proporcionar estímulos fiscales a las viviendas que administren sus escurrimientos o que el gobierno municipal proporcione apoyo económico para la compra de tinacos. En cuanto a las construcciones nuevas, se sugiere generar una legislación que apoye el manejo de



escurrimientos en la fuente, en especial en los fraccionamientos de vivienda, para que los desarrolladores de vivienda se encarguen de minimizar las áreas impermeables, canalizar los escurrimientos a áreas de captación y en dado caso proporcionar tanques de retención.

7.2 GUADALUPE, SAN NICOLÁS Y SANTA CATARINA

Se agruparon estos tres municipios debido a que el tamaño de vivienda que predomina en estos tres casos es de 60 a 80 m², con un porcentaje de 17.7, 16.56 y 16.23 % respectivamente. La Tabla 7.4 indica que para Guadalupe y San Nicolás el segundo tamaño más común es el de 80 a 100 m² y el tercero es de 40 a 60 m². En Santa Catarina este orden se invierte (ver Tabla 7.5).

Tabla 7.5. Porcentajes correspondientes al tamaño de vivienda en los Municipios de Guadalupe, San Nicolás y Santa Catarina.

| Tamaño de construcción (m2) | Guadalupe | San Nicolás | Santa Catarina |
|--------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| 0.01-20 | 2.63 | 0.22 | 0.89 |
| 20-40 | 8.00 | 6.13 | 15.04 |
| 40- 60 | 16.23 | 16.83 | 20.99 |
| 60-80 | 17.71 | 21.38 | 23.42 |
| 80-100 | 16.56 | 18.54 | 16.58 |
| 100-120 | 14.40 | 13.47 | 10.17 |
| 120-140 | 9.95 | 8.61 | 4.89 |
| 140-160 | 5.61 | 5.13 | 2.37 |
| 160-180 | 2.80 | 2.95 | 1.53 |
| 180-200 | 1.59 | 1.64 | 0.75 |
| 200-250 | 2.04 | 2.42 | 1.13 |
| 250-300 | 1.06 | 1.08 | 0.55 |
| 300-500 | 0.97 | 1.22 | 0.91 |
| mayor a 500 | 0.45 | 0.37 | 0.79 |
| <i>Sumatoria de porcentaje</i> | <i>50.51</i> | <i>56.74</i> | <i>60.98</i> |

Estas alternativas de manejo de escurrimientos para estas tres tipologías de vivienda son validas para más de un 50% del total de viviendas de estos municipios.

Las alternativas de captación que pueden proponerse se indican en la Tabla 7.6.

**Tabla 7.6.** Alternativas de retención de agua de lluvia con respecto al tamaño de la vivienda en los Municipios de Guadalupe, San Nicolás y Santa Catarina.

| Tamaño de la vivienda (m ²) | Lluvia máxima horaria (m ² /h) | Escorrentamiento generado (m ² /h) | Escorrentamiento más probable (60%) | Litros | Alternativa | Cantidad | Costo |
|---|---|---|-------------------------------------|--------|---|----------|--------------------------------------|
| 40 | 0.05 | 2 | 1.2 | 1200 | Tinaco de 1100 litros Rotoplas | 1 | 1,359.37 |
| 50 | 0.05 | 2.5 | 1.5 | 1500 | Tinaco de 1100 litros Rotoplas | 1 | 1,359.37 |
| 60 | 0.05 | 3 | 1.8 | 1800 | Tinaco horizontal de asbesto cemento de 1600 litros | 1 | 2,195.40 |
| 70 | 0.05 | 3.5 | 2.1 | 2100 | Tinaco horizontal de asbesto cemento de 1600 litros | 1 | 2,195.40 |
| 80 | 0.05 | 4 | 2.4 | 2400 | Tinaco de 2500 litros Rotoplas | 1 | 2,860.64 |
| 90 | 0.05 | 4.5 | 2.7 | 2700 | Cisterna de 2500 litros Rotoplas | 1 | 2,860.64 |
| 100 | 0.05 | 5 | 3 | 3000 | Cisterna de 3000 litros a la medida | 1 | Costo variable según diseño en sitio |

Se puede notar que para las viviendas con áreas mayores de 100 m², se debe de diseñar una estrategia a la medida, dado que las alternativas de tinacos y cisternas comerciales no tienen la capacidad para los escurrimientos calculados.

Para obtener el costo de estas alternativas se deben de estudiar los casos específicos in situ. Cuando las viviendas no se ajustan a una tipología específica, como sucede en los rangos mayores a 100 m² de construcción, las soluciones propuestas de manejo de escurrimientos deben de ser analizadas específicamente para cada caso.

7.3 MONTERREY

El Municipio de Monterrey presenta una tipología distinta a los demás municipios ya que la vivienda que predomina tiene un tamaño mucho mayor al de los demás municipios con 100 y 120 m², que corresponden a un 14.67%.

En este municipio hay un balance entre los diferentes tamaños de construcción, donde los porcentajes individuales no superan el 20% como sucede en otros municipios como Apodaca y Escobedo (ver Tabla 7.7).

**Tabla 7.7.** Porcentajes correspondientes al tamaño de vivienda en el Municipio de Monterrey.

| Tamaño de construcción (m2) | Monterrey |
|--------------------------------|--------------|
| 0.01-20 | 0.65 |
| 20-40 | 3.44 |
| 40- 60 | 7.93 |
| 60-80 | 11.98 |
| 80-100 | 14.32 |
| 100-120 | 14.67 |
| 120-140 | 12.03 |
| 140-160 | 8.46 |
| 160-180 | 5.88 |
| 180-200 | 4.08 |
| 200-250 | 6.28 |
| 250-300 | 3.23 |
| 300-500 | 4.26 |
| mayor a 500 | 2.82 |
| <i>Sumatoria de porcentaje</i> | <i>40.96</i> |

En Monterrey, la aplicación de estructuras de captación y retención para las tres tipologías más comunes del municipio, solamente sería válido para un 40% de las viviendas del municipio.

Las alternativas correspondientes a estos tamaños de vivienda se ejemplifican en la Tabla 7.8.

Tabla 7.8. Alternativas de retención de agua de lluvia con respecto al tamaño de la vivienda en Monterrey.

| Tamaño de la vivienda (m2) | Lluvia máxima horaria (m/h) | Escorrentamiento generado (m3/h) | Escorrentamiento más probable (60%) | Litros | Alternativa | Cantidad | Costo |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------|-------------------------------------|----------|--------------------------------------|
| 80 | 0.05 | 4 | 2.4 | 2400 | Tinaco de 2500 litros Rotoplas | 1 | 2,860.64 |
| 90 | 0.05 | 4.5 | 2.7 | 2700 | Cisterna de 2500 litros Rotoplas | 1 | 2,860.64 |
| 100 | 0.05 | 5 | 3 | 3000 | Cisterna de 3000 litros a la medida | 1 | Costo variable según diseño en sitio |
| 110 | 0.05 | 5.5 | 3.3 | 3300 | Cisterna de 3300 litros a la medida | 1 | Costo variable según diseño en sitio |
| 120 | 0.05 | 6 | 3.6 | 3600 | Cisterna de 4000 litros a la medida | 1 | Costo variable según diseño en sitio |
| 130 | 0.05 | 6.5 | 3.9 | 3900 | Cisterna de 4000 litros a la medida | 1 | Costo variable según diseño en sitio |
| 140 | 0.05 | 7 | 4.2 | 4200 | Cisterna de 4000 litros a la medida | 1 | Costo variable según diseño en sitio |



En Monterrey los tamaños de construcción son mucho más grandes, por lo cual generan escurrimientos mucho más grandes, que para captarlos necesitan sistemas de mayor capacidad que deben de diseñarse según las características del sitio.

7.4 SAN PEDRO

El caso de San Pedro es más complejo, ya que además que el área que ocupa la vivienda es mucho mayor que en los demás municipios, una gran parte de estas viviendas se encuentra en zonas de montaña.

Las viviendas características del Municipio de San Pedro tienen un tamaño de 300 a 500 m² en primer lugar y son mayores a 500 m² en segundo lugar (ver Tabla 7.9). En este municipio, al igual que en Monterrey, ninguna de las categorías de tamaño supera el 21% de manera individual.

Tabla 7.9. Porcentajes correspondientes al tamaño de vivienda en el Municipio de San Pedro.

| Tamaño de construcción (m2) | San Pedro |
|--------------------------------|-----------|
| 0.01-20 | 0.44 |
| 20-40 | 2.35 |
| 40- 60 | 4.97 |
| 60-80 | 7.08 |
| 80-100 | 7.61 |
| 100-120 | 7.24 |
| 120-140 | 6.42 |
| 140-160 | 6.13 |
| 160-180 | 4.44 |
| 180-200 | 3.83 |
| 200-250 | 9.20 |
| 250-300 | 8.67 |
| 300-500 | 20.62 |
| mayor a 500 | 11.00 |
| <i>Sumatoria de porcentaje</i> | 40.82 |

Este tipo de construcciones, junto con patios mucho más grandes que otros municipios (ver Figura 7.2) permite un manejo de escurrimientos con estrategias más interesantes como podría ser el uso de estanques de retención, pozos secos, pozos desarenadores, pavimentos permeables, jardines de lluvia, xeriscapía entre otros. Sin embargo en este municipio es necesario realizar estudios a profundidad de las condiciones específicas del sitio, en especial



las pendientes, dado que muchas viviendas se encuentran en zonas de montaña y en alta pendiente no es conveniente tener cantidades de lluvia almacenada puesto que el manejo pluvial es mucho más complejo. Con esto se refuerza el argumento de que no es conveniente construir en altas pendientes y que deben de respetarse los límites de construcción en montaña.

Como conclusión, las prácticas de administración de escurrimientos que son más adecuadas para el Área Metropolitana de Monterrey son en primer lugar la captación y retención, dado que no existe suficiente información en algunos lugares de la ciudad de la capacidad de infiltración del suelo. Por otro lado, en la mayor parte de los municipios que están en crecimiento, las viviendas de interés social son las que predominan, con construcciones entre los 60 y 80 m² y patios de alrededor de 10 a 20 m². Estas áreas libres tan pequeñas limitan mucho las alternativas de control de escurrimientos, aún cuando se haya comprobado la capacidad del suelo para la instalación de estructuras de infiltración como sucede en el caso de Apodaca. Debido a esto, solamente es posible recomendar tanques de captación según la superficie impermeable de cada vivienda. Los costos de este tipo de estructuras también se exploraron un poco, y los rangos de gastos de estos van desde los \$800 pesos hasta los \$2500 pesos. Estos costos, no resultan tan caros al compararlos con el costo de la instalación de drenaje pluvial en nuevos fraccionamientos, lo cual va de acuerdo con el Desarrollo de Bajo Impacto, donde se promueve el control en la fuente por ser mucho más efectivo y barato. Una alternativa para la compra de tinacos y cisternas para manejo pluvial sería el otorgamiento de incentivos fiscales para las viviendas que instalasen este tipo de estructuras. Incluso habría que compararlos con los costos que ocasionan las inundaciones, como la ocurrida en los últimos días de agosto y primeros de septiembre del año 2004 donde, según García, J. (14 de octubre de 2004) se registraron daños producto de las inundaciones con un valor de alrededor de los 120 millones de pesos y varios municipios del Área Metropolitana de Monterrey fueron declarados zona de desastre (Apodaca, San Nicolás y Santa Catarina). Ante este tipo de daños producto de las inundaciones, los costos de actuar en la fuente resultan mínimos.

Uno de los municipios que requiere un tratamiento especial es el Municipio de San Pedro, el cual presenta construcciones entre los 300 y 500 m², las cuales escurren cantidades muy grandes de agua. De igual manera puede observarse en este municipio que los patios predominantes son mucho más grandes y pueden observarse áreas libres mayores a los 200 m², lo cual da posibilidad a explorar estructuras más interesantes para el manejo de



escurrimientos; sin embargo, hay que considerar que una gran parte de la vivienda de este municipio se encuentra en pendiente, por lo cual el manejo de sus escurrimientos es mucho más complejo. Para las recomendaciones del manejo de escurrimientos en este municipio es necesario un estudio más a profundidad.

Aún así, no hay que olvidar que este tipo de alternativas de manejo de escurrimientos debe de estar complementada con una planeación del sitio adecuada, donde se desconecten las áreas impermeables, se incremente la rugosidad del suelo, se mantengan los árboles y vegetación natural del sitio y se incrementen las zonas permeables.

Sin embargo, uno de los principales problemas que involucra la administración de escurrimientos es el cambio cultural; según Shaver, E. (1998), uno de los factores más importantes para el éxito de técnicas de captación, infiltración y retención de agua es el concepto del escurrimiento como un recurso y no como un "subproducto". Para el éxito de la implementación de estas prácticas es necesario en primer lugar un cambio de mentalidad de la población del AMM.



VIII. CONCLUSIONES

Es importante señalar que el uso de un Sistema de Información Geográfico hace algunos años era más complicado y que para la realización de estudios como este se hubiera tenido que recurrir a equipos muy grandes y complicados, mientras que actualmente, estudios como éste pueden realizarse manipulando la cartografía en una computadora portátil.

En cuanto a la Cartografía de Catastro, a pesar de ser muy valiosa y tener mucha información, aún debe de ser depurada de los errores que presenta en cuanto a la clasificación de uso de suelo, lo cual tomó mucho tiempo del actual estudio.

El uso del Sistema de Información Geográfica permitió definir de una manera práctica y con certeza, que las áreas ocupadas por la vivienda son el componente mayoritario de las superficies impermeables del Área Metropolitana de Monterrey y por ende son el principal componente en la alteración del patrón natural de escurrimientos. Sin el uso de esta herramienta un estudio de esta naturaleza hubiera tomado mucho más tiempo.

El uso de suelo dedicado a la vivienda difiere notablemente entre los distintos municipios del AMM. Mientras que algunos municipios como San Pedro tienen un 35.43% del total de su superficie urbanizada, otros como Santa Catarina y Apodaca tienen solamente un 18.55% y un 17.06% respectivamente. En cuanto a viviendas por hectárea los municipios con mayor número de viviendas por hectárea son Santa Catarina con 66.37, San Nicolás con 65.56 y Guadalupe con 62.03 viviendas/ha. En cuanto al tamaño de la vivienda San Pedro se caracteriza por tener las viviendas de mayor tamaño con áreas de 300 a 500 m². Monterrey tiene viviendas de 100 a 120 m² y Santa Catarina, San Nicolás y Guadalupe de 60 a 80 m². Finalmente, Apodaca y Escobedo tienen viviendas más pequeñas con áreas de 40 a 60 m². Es claro que la reducción en el tamaño de la vivienda corresponde al desarrollo secuencial de los municipios. Siendo los más recientemente urbanizados los que albergan a las viviendas de menor tamaño

Dado estas diferentes áreas de construcción, los escurrimientos difieren entre cada uno de los municipios. Los dos municipios que presentan mayores áreas impermeables son San Pedro y Monterrey y los que tienen viviendas con menores áreas impermeables son Apodaca Escobedo y Santa Catarina donde se encuentran las áreas de crecimiento y además predominan las viviendas de interés social.



Las áreas de patios son similares en casi todos los municipios, con un área de 10 a 20 m², solamente San Pedro tiene patios más pequeños de 0.1 a 10 m² que compensa con amplias áreas de jardines. En Escobedo resulta que los patios son más grandes, entre 20 y 30 m². Sin embargo, como las casas en este municipio corresponden a pie de casa, es muy posible que con la construcción progresiva disminuya de forma importante la superficie dedicada a patios y la opción de colocar en ellos sistemas de control de escurrimientos.

La caracterización de la vivienda, sus dimensiones y las áreas de patios, son esenciales para permitir la definición de escurrimientos y las estrategias de control de los mismos

San Pedro es peculiar en cuanto a sus tamaños de viviendas y de patios, además de que la vivienda se encuentra en zonas de alta pendiente, por lo cual es necesario realizar estudios específicos para este municipio, para poder proponer estrategias de manejo de escurrimientos adecuadas.

En los demás municipios, y como resultado de los análisis derivados de este trabajo se encontró que la vivienda típica consiste en vivienda con área de 40 a 80 m² y con patios de 10 a 20 m². Es a este grupo principal al que se deben dirigir las estrategias de control de escurrimientos, específicamente las orientadas a controlar un promedio de 2.34 m³/h de escurrimiento (que es el valor del escurrimiento generado por estas viviendas en caso de lluvia con intensidad para un periodo de retorno de 20 años).

Al estudiar la tipología de vivienda, se encontró que las edificaciones antiguas tenían más espacio abierto, lo cual permitía detener los escurrimientos pluviales de mejor manera que los desarrollos actuales. En especial las viviendas de interés social, donde los patios son mucho más pequeños y las áreas impermeables están conectadas entre sí, lo que contribuye a acumular mayores volúmenes en tiempos de concentración muy cortos.

El manejo actual de los escurrimientos a partir de estructuras de control al final de la tubería es caro en su inversión inicial y en su mantenimiento y va en contra de las nuevas teorías de manejo integral de escurrimientos.



Con respecto a la capacidad de infiltración del suelo basada en las Cartas Edafológicas de INEGI, se encontró que no existen suficientes puntos de verificación dentro de las zonas urbanizadas de la ciudad. Aunado a esto, de los que se encuentran dentro de la zona urbana, solamente un 28% (23 puntos de 81) tiene información respectiva a su perfil textural. De los 23 puntos de mencionados, solamente 9 tienen capacidad de infiltración y tres de ellos se encuentran en zonas de "frontera" por lo que hay que realizar estudios más específicos de su capacidad de infiltración.

Los puntos que resultaron aptos para la infiltración se encuentran en los municipios de Apodaca, y en algunas zonas de montaña: la zona Sur del Municipio de Monterrey y en San Pedro. Para estas zonas de montaña, con altas pendientes, no es conveniente promover estrategias de captación e infiltración, ya que esto puede provocar problemas de expansión de suelos o cambios en el equilibrio del suelo causando deslizamientos o derrumbes.

Este estudio se enfocó a la capacidad de infiltración de los primeros 60 cm de suelo, que de acuerdo con las recomendaciones del experto en edafología tiene la capacidad de captar 5 cm de lluvia (o sean 2.5 cm de lluvia por cada 30 cm de profundidad de suelo permeable)

Para predios más grandes y de niveles socioeconómicos más altos se puede recomendar bajar a niveles mayores a 60 cm para intentar la infiltración, aún cuando esto sea más costoso. Es necesario reconocer sin embargo que el proceso de urbanización altera el suelo mediante rellenos e incluso escombros, y por ello la capacidad de infiltración de un predio a pesar de hallarse en un sitio teóricamente adecuado, en la práctica no podrá captar la cantidad de lluvia esperada

Es necesario tomar en cuenta las recomendaciones referentes a distancias de 3 m y más que se deben respetar entre las estructuras de infiltración y la construcción más próxima, con el fin de evitar alterar la capacidad de carga de suelo y por ende la estabilidad e integridad de la construcción

Dado la baja capacidad del suelo de infiltración en el AMM, y lo reducido de las superficies de infiltración dentro de los lotes típicos, las estrategias de manejo de escurrimientos que pueden emplearse en general en el AMM están enfocadas directamente a la captación de escurrimientos y a promover la Evapotranspiración. Estas estrategias son los tanques para almacenamiento de agua de lluvia, las cisternas, los pavimentos permeables y las cubiertas



vegetales. Aún cuando hay estructuras diferentes a tinacos que pueden proponerse, la geometría de los lotes en lugares donde la infiltración es adecuada, no permiten instalar este tipo de estructuras de infiltración.

Los costos de los tanques de captación van desde los \$800 pesos hasta los \$2500 pesos de acuerdo al volumen que pueden captar. Estos costos, no resultan tan altos al compararlos con el costo de la instalación de drenaje pluvial en nuevos fraccionamientos, lo cual va de acuerdo con la filosofía propuesta por el Desarrollo de Bajo Impacto, donde se promueve el control en la fuente por ser mucho más efectivo y barato.

Una alternativa para la compra de tinacos y sistemas para manejo pluvial sería el otorgamiento de incentivos fiscales para las viviendas que instalasen este tipo de estructuras. Incluso en un estudio posterior habría que compararlos con los costos que ocasionan las inundaciones anuales en el AMM. De esta manera se puede concluir que el control en la fuente es más efectivo y más barato.

Es importante considerar que el primer paso para la administración de escurrimientos es la planeación adecuada del sitio. En esta etapa es donde se puede aún remediar gran parte de los daños a la hidrología natural y pueden preservarse elementos del área que ayudarán a evitar escurrimientos, como es la desconexión de áreas impermeables, mantener las áreas libres con superficies permeables, conservar la vegetación natural del sitio, incrementar la rugosidad del suelo y el promover las áreas permeables, entre otras cosas.

IX. RECOMENDACIONES

Los proyectos como el de modernización Catastral, deben ser diseñados con una visión integral que permita el uso de los datos recabados para actividades de planeación y diseño urbano y no sólo para tomar decisiones fiscales. Es necesario también que este tipo de proyectos se actualicen constantemente para evitar que caigan en obsolescencia.

Es importante para los municipios considerar que los datos cartográficos deben de ser consistentes con los planes directores de desarrollo que manejan para que mediante la actualización continua de los coverages, se puedan tener datos correspondientes a la realidad consistentes con los planes, que permitan su actualización y modificación en caso necesario.

En cuanto a la edafología del AMM dado que se tiene insuficiente información de los perfiles de suelos, es necesario levantar nuevos puntos de verificación con el detalle y a profundidades suficientes y dentro de las zonas ya urbanizadas, con el fin de proponer estrategias de infiltración a un nivel más amplio y detallado.

El otro elemento principal que produce grandes volúmenes de escurrimientos es la vialidad, debido al uso de pavimento impermeable. Por ello se debe realizar un estudio adicional al de esta tesis, que se enfoque al diagnóstico y a la definición de estrategias de acción para el control de escurrimientos generados por la vialidad urbana.

. En este caso se estudió la vivienda por ser el componente más importante de áreas impermeables y por la relativa facilidad para actuar puntualmente sobre lotes individuales, pero en el caso de la vialidad existen estrategias de infiltración y manejo de pavimentos que pueden estudiarse para su aplicación en el AMM.

Es necesario legislar para normar el manejo de escurrimientos en los nuevos desarrollos y fraccionamientos en los Municipios de Apodaca, Escobedo y Santa Catarina, que son los municipios con mayor crecimiento en la actualidad. Con datos los específicos de la cantidad de escurrimientos generados por cada municipio estudiados en este trabajo de investigación, pueden reformarse las normas correspondientes a los coeficientes de uso y ocupación del suelo (CUS, COS), para que tengan una base científica y permitan el manejo adecuado de escurrimientos en las áreas nuevas de vivienda. Así se promueve el manejo en la fuente tanto a nivel de lote como a nivel de vialidad.



Aunado a la generación de legislación, es importante la vigilancia y el cumplimiento de la normatividad por parte de las autoridades, ya sea mediante incentivos o en caso de incumplimiento, mediante multas.

Este estudio se dirigió específicamente a la vivienda existente y a una manera de mejorarla, sin embargo, puede haber estudios cuyo enfoque sea la legislación de los nuevos fraccionamientos, con base en un Desarrollo de Bajo Impacto y una estrategia de manejo integral de los escurrimientos generados por estos fraccionamientos, tanto a nivel de lote como de fraccionamiento.

Para casas ya existentes se pueden proponer estímulos fiscales y apoyos económicos para la compra de tinacos y la construcción de cisternas de captación, como en otros programas propuestos por dependencias federales, donde por medio del pago de recibos de servicios se amortizan a largo plazo ciertos aditamentos ahorradores (por ejemplo en la Comisión Federal de Electricidad).

De igual manera, para hacer atractiva la idea del manejo de escurrimientos a los desarrolladores de vivienda, se pueden realizar estudios de los ahorros que representa la reducción de áreas impermeables dentro de un fraccionamiento, al reducir la cantidad de zona pavimentadas, y los costos asociados al desmonte y remoción de la vegetación natural, así como los costos que representa el control de escurrimientos mediante tinacos o cisternas. Estos costos pueden compararse con los incurridos en los fraccionamientos que no tienen el manejo integral de escurrimientos y obtener los ahorros resultantes. Estudios como éstos pueden ayudar a convencer a los desarrolladores para que inviertan en construir fraccionamientos que promuevan el control en la fuente y que además resulten en una mejor calidad de vida para los usuarios, lo cual también aumenta la plusvalía del lugar.

Es necesario que la autoridad internalice los costos de las inundaciones anuales que año con año afectan a la población del AMM y que como se hace en otras ciudades del mundo (Los Ángeles, Berlín, Curitiba) quienes alteran el patrón natural de escurrimientos paguen los costoso de estos desarrollos o desarrollen de una manera diferente



Asimismo, es importante la generación de un mapa del AMM que muestre las zonas con mayores riesgos de inundaciones y que esta información esté disponible para el comprador final de la vivienda, para poder tomar una decisión informada de su compra.

Por último, es importante realizar estudios puntuales del rol de la vegetación en el manejo de escurrimientos, y su capacidad de captación e infiltración a nivel urbano y ver como esta vegetación disminuye los escurrimientos totales producidos por la vivienda y por otros componentes urbanos.



X. BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, J. (1989). *Fundamentos de Hidrología de superficie*. México, DF: Noriega Editores.
- Bay Area Stormwater Management Agencies Association (1999). *Start at the source. Design Guidance Manual for Stormwater Quality Protection*. [En línea]. Disponible en: <http://www.sanjoseca.gov/planning/stormwater/startatsource.pdf>
- Bay Area Stormwater Management Agencies Association (2003). *Using Site Techniques to meet development standards for Stormwater Quality*. [En línea]. Disponible en: http://www.sanjoseca.gov/planning/stormwater/using_sas.pdf
- Bastian, H. (1999). *Cómo aprovechar el agua de lluvia*. Barcelona, España: Compact Verlag GmbH
- BIMSA (2004). *Costos de construcción y edificación*. México, DF: BIMSA Editores.
- Boewles, J. (1982). *Propiedades Geofísicas de los suelos*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Braja, D. (1994). *Principles of Geotechnical Engineering*. Boston, EUA: PWS Publishing Co.
- Center for Watershed Protection, (2000). *The importance of imperviousness*. [En línea]. Disponible en: <http://www.cwp.org>
- Comisión Nacional del Agua, (2000) *Manual de Agua Potable y Alcantarillado de la Comisión Nacional del Agua*, Distrito Federal, México: Autor.
- Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá, Colombia: McGrawHill.
- Corbitt, R.A., (1990) *Standard Handbook of Environmental Engineering*, McGrawHill, Nueva York
- Costanza, R. Darge, R. y De Groot, R. (1997, mayo). *The value of world's ecosystems services and natural capital*. Nature 387, 253-260.
- Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, (1999a). *Low impact Development Hydrology Analysis* [En línea]. Disponible en: http://www.psat.wa.gov/Programs/LID/lid_cd/pdf_docs/LID_HYDR.PDF
- Departamento de Recursos Naturales del Condado de Prince George's, (1999b). *Low impact Development Design Strategies. An integrated Design Approach*. [En línea]. Disponible en: http://www.psat.wa.gov/Programs/LID/lid_cd/pdf_docs/LID_NATL.PDF
- El Norte (2003, 12 de octubre). *Acumulan Planes de Captación en DF*. pp. 17 Sección A. Monterrey, México.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2003a). *Urban Runoff Notes*. [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/owow/wtr1/info/NewsNotes/issue49/nnd49.html>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2003b). *Urbanization and Streams: Studies of Hydrologic Impacts*. [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/OWOW/NPS/urbanize/report.html>
- Environmental Protection Agency (EPA), (2003c). *What is the Ecological Condition of Urban and Suburban Areas?* [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/indicators/roe/pdf/tdEco5-5.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2003d) *Eight Tools of Watershed Protection in Developing Areas*. [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/owow/watershed/wacademy/acad2000/protection/>



- Environmental Protection Agency (EPA) (2002a) *Economic Benefits of Runoff control*. [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/owow/nps/runoff.html>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2002b). *Environmental Assessment for Proposed Effluent Guidelines and Standards for the Construction and Development Category*. [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/OWOW/NPS/facts/point7.htm>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2002c). *Managin urban runoff*. [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/OWOW/NPS/facts/point7.htm>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2002d). *Low impact development. A literature review*. [En línea]. Disponible en: http://www.psat.wa.gov/Programs/LID/lid_cd/pdf_docs/EFFECT.PDF
- Environmental Protection Agency (EPA) (2002e). *National Management Measures Guidance to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas* [En línea]. Disponible en: <http://www.epa.gov/owow/nps/urbanmm/mm04.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA) (2002f). *Vegetated Roof Cover* [En línea]. Disponible en: http://www.psat.wa.gov/Programs/LID/lid_cd/pdf_docs/LID_ROOF.PDF
- García, J. (2004, 14 de octubre). *Cuantifican Daños por llluvias*. Periódico El Norte, Sección A. Monterrey, México. En línea]. Disponible en: <http://www.elnorte.com/monterrey/articulo/460835/>
- Gibbons, (1998) *Addressing Imperviousness in Plans, Site Design and Land Use Regulations* [En línea]. Disponible en: http://nemo.uconn.edu/publications/tech_papers/tech_paper_1.pdf
- Gobierno del Estado de Nuevo León. (1996). *Programa de Modernización Catastral 1993-1996. (Cartografía digital)*. Disponible en la Dirección de Informática del Gobierno del Estado de Nuevo León en Monterrey, México.
- Gobierno del Estado de Nuevo León. (1996). *Programa de Modernización Catastral 1993-1996. (Cartografía digital)*. Disponible en la Dirección de Informática del Gobierno del Estado de Nuevo León en Monterrey, México.
- Guajardo, A., Salinas, J. et al. (2004). *Uso de suelo del AMM*. Análisis Estratégico del Área Metropolitana de Monterrey. Monterrey, México: ITESM.
- Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics*. San Diego, CA: Academic Press.
- Hogson, M. et al. *Synergistic Use of Lidar and Color Aerial Photography for Mapping Urban Parcel Imperviousness*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, No. 9, septiembre 2003, pp. 973-980
- Holguera, D., Castillo, R. et al. (2004). *Ordenamiento del Territorio Regional*. Análisis Estratégico del Área Metropolitana de Monterrey. Monterrey, México: ITESM.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1990). *Cuademo de Edafología*. Aguascalientes, México: Autor.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1999a). *Carta Edafológica GI4C15*. Aguascalientes, México: Autor.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1999b). *Carta Edafológica GI4C16*. Aguascalientes, México: Autor.



Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1999c). *Carta Edafológica GI4C25*. Aguascalientes, México: Autor.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (1999d). *Carta Edafológica GI4C26*. Aguascalientes, México: Autor.

Martin, P. et al (2000). Sustainable Urban Drainage Systems [En línea]. Disponible en: <http://www.ciria.org.uk/acatalog/c523.pdf>

Miranda, C., (2000). *Condiciones de la Vivienda del Área Metropolitana de Monterrey*. Documento no publicado.

Morales, M. (1999). *Reducción de escurrimientos de agua pluvial a través de un nuevo diseño de jardineras en estacionamientos*. Monterrey, México: ITESM.

Múñiz, S. (2001). *Prevé CNA riesgos de inundaciones*. El Norte [En línea]. Disponible en: <http://www.elnorte.com>

Murillo, E. (2002). *Estudio del efecto del cambio de uso de suelo en el escurrimiento en la subcuenca 24bf "Monterrey", aplicando un Sistema de Información geográfica*. Monterrey, México: ITESM.

Musiake, K., Srikanta, H. y Sadayuki, H. *Efectos de los sistema de infiltración de agua pluvial y su evaluación* [En línea]. Disponible en: http://unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/musiake.html

Noriega, P. et al. (2004a). *Infraestructura de redes y servicios públicos en el Área Metropolitana de Monterrey*. Análisis Estratégico del Área Metropolitana de Monterrey. Monterrey, México: ITESM.

Noriega, P. et al (2004b). *Vivienda del Área Metropolitana de Monterrey*. Análisis Estratégico del Área Metropolitana de Monterrey. Monterrey, México: ITESM.

Rodríguez, F. (1982). *Riego por goteo*. México, DF: AGT Editor.

Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado de Nuevo León. (200). *Plan Metropolitano 2001*. Monterrey, México: Secretaría de Desarrollo Urbano y Obras Públicas del Estado de Nuevo León.

Silgado, A., Román, J. y Mantecón, R. (2000) *Optimización de recursos hidráulicos mediante la recarga artificial. Experiencia de la cuenca de Guadalquivir*. [En línea]. Disponible en: http://unesco.org.uy/phi/libros/uso_eficiente/silgado.html

Taniguchi, H. (2003a, 12 de octubre). *Desaprovecha México 72% del agua de lluvia*. El Norte, pp. 1, Monterrey, México.

Taniguchi, H. (2003b, 12 de octubre). *Impide Falta de obras aprovechar diluvio*. El Norte, pp. 17 Sección A, Monterrey, México.

Torres, E. y M.A. Santoscoy. (1985). *La historia del agua en Monterrey desde 1577 hasta 1985*. Monterrey, N.L. México: Ediciones Castillo.

Tragsatec. (1998). *Ministerio del Medio Ambiente. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Madrid: Grupo Mundi Prensa.

United Status Department of Agriculture (USDA). (2000). *Benefits and Costs of the urban trees. Urban forestry : A manual for the state forestry agencies in the southern region*. [En línea]. Disponible en: <http://www.urbanforetrysouth.org/pubs/ufmanual/benefits/index #top>



UNISYS Weather (2004). *Unisys Weather Data* [En línea]. Disponible en: <http://weather.unisys.com/hurricane/atlantic/>

University of Calgary (2002). *Lecture 11. Storm Runoff*. [En línea]. Disponible en: http://www.geo.ucalgary.ca/~hayashi/glgy699_15/lectures/415w02_11.pdf

Valladares, L. y Prates, M. (2000). *La Investigación Urbana en América Latina: Tendencias Actuales y Recomendaciones*. UNESCO. [En línea]. Disponible en: <http://www.unesco.org/most/vallspa.htm#TENDENCIAS>

Velasco, H. (1984). *Cosecha de Agua de lluvia en el altiplano semidesértico de México*. México, DF: instituto Mexicano del Petróleo,

Yang, L. et al. *Urban Land-Cover Change Detection through Sub-Pixel Imperviousness Mapping Using Remotely Sensed Data*. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 69, No. 9, septiembre 2003, pp. 1003-1010.

Washington State Department of Ecology, (2003). *Water Quality Program*. [En línea]. Disponible en: <http://www.ecy.wa.gov/pubs/0310038b.pdf>

Watercom Engineering (2000). *Values of Relative Imperviousness*. [En línea]. Disponible en: <http://www.watercom.ca/modelling.htm>

**XI. ANEXOS**

Name: Table.Append
'
'
' Headline: Appends tables
'
'
' Self: <not needed>
'
'
' Called by: <stand alone> (User is presented with a list of tables to
' select for merging.)
'
'
' Returns: <not defined>
'
'
' Description: Merges tables into a single table. A new table is created
' that combines the attributes of the tables. The tables to
' be merged need NOT have the same set of attributes (fields).
' The union of all the visible fields found is used to
' define the new table's structure. Where fields from
' separate tables have the same alias and type but differ in
' width or precision, the largest of the widths and precisions
' is used in defining the output fields. One more field is
' added to the output for identifying the source table of each
' record.
'
'
' Topics: Table
'
'
' Search Keys: Table, merge, append
'
'
' Requires: <nothing>
'
'
' History:
' AV 3.2, 16 May 2000. Fixed a bug in the LongYesNo error
' message.
' AV 3.2, 3 Jan 2000. Use only visible fields.
' AV 3.1, 26 July 1999. Field type checking and resolution.
' AV 3.0a. 11 Sep 1998.
' William A. Huber @ Quantitative Decisions, Merion, PA.
' mailto:whuber@QuantDec.com
'
'
' Comments: Originally was a modification of the mergeThemes script from
' ESRI. However, as of the AV 3.2 version, there's essentially
' nothing left of the original code.
'
'
' This script is not intended to merge themes into a shapefile.
'-----'
strTitle = "Table.Append"



```
' .....'  
,  
' Find all tables in the project.  
,  
  
lstTables = {}  
for each theDoc in av.GetProject.GetDocs  
  if (theDoc.Is(Table)) then lstTables.Add(theDoc) end  
end  
  
if (lstTables.Count < 2) then  
  MsgBox.Error("Must have at least two tables to append.", strTitle)  
  exit  
end  
' .....'  
,  
' Allow the user to choose tables to be merged.  
,  
  
lstTablesToAppend = {}  
'while (true)  
  lstNew = MsgBox.MultiList (lstTables, "Choose tables to append", strTitle)  
  if (lstNew = NIL) then  
    'break  
  else  
    lstTablesToAppend.Merge(lstNew)  
  end  
'end  
  
if ((lstTablesToAppend = Nil) or (lstTablesToAppend.Count < 2)) then  
  MsgBox.Error("Not enough tables to merge.", strTitle)  
  exit  
end  
' .....'  
,  
' Specify the output table.  
,  
  
FNOut = av.GetProject.MakeFileName("table", "dbf")  
FNOut = FileDialog.Put(FNOut, "*.dbf", "Output Table")  
if (FNOut = Nil) then  
  exit  
end  
' .....'  
,  
  
' Construct a list of fields. This list will be the union  
' of all visible fields found in the tables. It is checked for type  
' mis-matches; errors are reported and cause the operation  
' not to complete. Otherwise, mismatches of length or precision  
' alone are resolved by choosing the widest lengths and precisions
```



```
' found among matching fields.
.

lstStrFields = List.Make
.

' Dictionary entries are {field, table, error status}.
' Keys are the field aliases.
.

FField = 0
FTable = 1
FStatus = 2

.

dctFields = Dictionary.Make(lstTablesToAppend.Count * 10) ' Rough guess
strErrs = "" ' Accumulate all errors for display afterwards
for each t in lstTablesToAppend
  for each f in t.GetVTab.GetFields
    if (f.IsVisible.Not) then continue end
    if (f.IsTypeShape) then continue end

    s = f.GetAlias
    objG = dctFields.Get(s)
    if (objG = NIL) then
      dctFields.Add(s, {f.Clone,t,NIL})
      lstStrFields.Add(s)
    else
      .

      ' Compare field types.
      .

      g = objG.Get(FField)
      isMatch = false

      if (f.IsTypeNumber and g.IsTypeNumber) then
        p = f.GetPrecision max g.GetPrecision
        w = ((f.GetWidth - f.GetPrecision) max (g.GetWidth - g.GetPrecision) + p) min 254
        if ((g.GetPrecision < p) or (g.GetWidth < w)) then
          if ((f.GetPrecision < p) or (f.GetWidth < w)) then
            f = Field.Make(s, g.GetType, w, p)
          else
            f = f.Clone
          end
          dctFields.Set(s, {f, t, NIL})
        end

      elseif (f.IsTypeString and g.IsTypeString) then
        if (f.GetWidth > g.GetWidth) then
          dctFields.Set(s, {f.Clone, t, NIL})
        end

end
```



```
elseif (f.IsTypeShape and g.IsTypeShape) then

elseif (f.GetType = g.GetType) then

else
  objG.Set(FStatus, true)
  strErrs = strErrs + NL +
    t.GetName + "[" + s + "]" is " + f.GetType.AsString + "; " +
    objG.Get(1).GetName + "[" + s + "]" is " + g.GetType.AsString
end
end
end ' for each field f
end ' for each table t

if (strErrs <> "") then
  strErrs = "Field mis-matches found: continue processing?" + strErrs
  if (MsgBox.LongYesNo(strErrs, strTitle, false).Not) then
    exit
  end
end

' .....
' Find all fields whose status is good (NIL).
'
lstFields = {}
for each s in lstStrFields
  objS = dctFields.Get(s)
  if (objS.Get(FStatus) = NIL) then
    lstFields.Add(objS.Get(FField))
  end
end
' .....

' Create the new VTab and
' add fields that we've gathered from the input tables.
'
vtbMerge = VTab.MakeNew( FNOOut, dBase )
if (lstFields.Count > 0) then
  vtbMerge.AddFields( lstFields )
end
' .....

' Include one more field to track the source of each record.
'
fldFile = Field.Make("Table", #FIELD_CHAR, 24, 0)
vtbMerge.AddFields({fldFile})
```



```
theTable = Table.Make(vtbMerge)
theTable.SetName(FNOut.AsString)
'.....'
' Populate the new VTab from the VTabs of the input tables.
'
canIterate = true ' Manages a user break from the inner loop
for each t in lstTablesToAppend
  if (canIterate.Not) then break end

  av.SetStatus(0)
  av.ShowMsg( "Appending"++t.GetName )
  strName = t.GetName
  vtbln = t.GetVTab

  'if (vtbln.GetSelection.Count = 0) then
    theRecordsToMerge = vtbln
    numRecs = vtbln.GetNumRecords
  'else
    ' theRecordsToMerge = vtbln.GetSelection
    ' numRecs = theRecordsToMerge.Count
  'end
  '
  ' Construct a map from output fields to input fields.
  '
  lstFldPairs = {}
  for each f in vtbMerge.GetFields
    g = vtbln.FindField(f.GetAlias)
    if (g <> NIL) then
      lstFldPairs.Add({f,g})
    end
  end
  '
  ' Append the records.
  '
  for each rec in theRecordsToMerge
    if(av.SetStatus( (rec / numRecs) * 100 ).not) then
      canIterate = false
      break
    end

    newRec = vtbMerge.AddRecord ' Appends a new blank record
    for each fg in lstFldPairs ' Copies field values from the input record
      objValue = vtbln.ReturnValue( fg.Get(1), rec )
      vtbMerge.SetValue( fg.Get(0), newRec, objValue )
    end
```



```
' Identify the source table for this record:
  vtbMerge.SetValue(fidFile, newRec, strName)
end ' for each rec
end ' for each t
'.....'
,
' Clean up.
,

vtbMerge.SetEditable(false)
av.ClearMsg
av.ClearStatus
theTable.GetWin.Activate
' end of script
```



'M.R. Binkley
'Davey Resource Group
'1500 N. Mantua St.
'Kent OH 44240
,

'email bugs to:
'mbinkley@davey.com
'mr_binkley@yahoo.com
,

'created: 03/05/99

'Open this script in a script document
'and compile it with the check button.
,

'Select a field in your table and then
'make the script active (click on it)
'and run it.
,

'If you want to search for dupes on
'a subset, query or select the desired
'records first, select the field, click
'the script to make it active, and run it.
,

'A list of duplicates (if any) will
'be listed. You can cancel at this
'point or click "ok" to automatically
'select them in the table.
,

,

```
theTable = av.getActiveDoc  
theVtab = av.getActiveDoc.getVtab  
theField = thetable.GetActiveField  
theFieldName = theField.GetName  
mylist = list.make  
theFldPrec = theField.getprecision
```

```
av.showmsg("Searching the field "+theFieldName.AsString.quote+"...")
```

```
theSelCount = thevtab.GetSelection.Count  
recCount = 1
```

```
If (theSelCount >1) then
```

```
  For each rec in theVtab.GetSelection
```

```
    theValue = theVtab.ReturnValue(theField,rec)
```

```
    If (theField.istypenumber) then
```

```
      theValue.setformatprecision(theFldPrec)
```

```
    end
```

```
    myList.Add(theValue)
```



```
    progress = (recCount/theselCount) * 100
    av.SetStatus( progress )
    recCount = recCount + 1
End
Else
For each rec in theVtab
    theValue = theVtab.ReturnValue(theField,rec)
    If (theField.istypenumber) then
        theValue.setformatprecision(theFidPrec)
    end
    myList.Add(theValue)
    progress = (recCount/theVtab.GetNumRecords) * 100
    doMore = av.SetStatus( progress )
    if (not doMore) then
        break
    end
    recCount = recCount + 1
End
End
av.clearstatus

theCount = 0
theduplicatelist = List.make
av.Showstopbutton
av.showmsg("Identifying duplicate values in "+theFieldName.AsString.quote+"...")
for each elem in mylist
    thenewlist = myList.clone
    theNewList.Remove(theCount)
    theListNumber = theNewList.FindByValue (elem)
    if (theListNumber <> -1) Then
        theObj = elem.AsString
        theduplicatelist.add(theObj)
    end
    progress = (theCount/myList.Count) * 100
    doMore = av.SetStatus( progress )
    if (not doMore) then
        msgbox.Warning("Partial search results will be displayed","Duplicate Value search interrupted")
        break
    end
    theCount = theCount + 1
end
theduplicatelist.removeduplicates
theduplicatelist.sort(true)
av.Clearstatus
av.clearmsg

If (theDuplicateList.Count < 1) then
```



```
msgbox.Info("No duplicate values found.", "Duplicate Values")
return nil
Else
  If (msgbox.listsasstring(theduplicatelist, "OK to select the associated records; Cancel to quit:", "Duplicate Values in field
"+theFieldName.AsString.Quote) = nil) then
    Return nil
  End
End

theIndexFlag = false
If (theVtab.IsFieldIndexed(theField).Not) then
  theIndexFlag = true
  thevtab.CreateIndex(theField)
  av.Clearmsg
End

queryCount = 1
theVtab.GetSelection.ClearAll
theVtab.UpdateSelection
theTempBitmap = theVtab.GetSelection
If (theField.IsTypeString) Then
  For each fieldVal in theduplicateList
    theQuery = "["+theFieldName+"] = "+fieldVal.quote+"
    theVtab.Query(theQuery, thetempBitmap, #VTAB_SELTYPE_or)
    progress = (queryCount/theDuplicateList.Count) * 100
    av.SetStatus( progress )
    queryCount = queryCount + 1
  End
Else
  For each fieldVal in theduplicateList
    theQuery = "["+theFieldName+"] = "+fieldVal+"
    theVtab.Query(theQuery, thetempBitmap, #VTAB_SELTYPE_or)
    progress = (queryCount/theDuplicateList.Count) * 100
    av.SetStatus( progress )
    queryCount = queryCount + 1
  End
End
If (theIndexFlag) then
  av.ShowMsg("Temporary index has been removed.")
  theVtab.RemoveIndex(theField)
End
If (theIndexFlag) then
  av.ShowMsg("Temporary index has been removed.")
  theVtab.RemoveIndex(theField)
End
av.getactivedoc.PromoteSelection
av.clearmsg
```

